

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de una planta de producción de biodiésel por transesterificación de aceite de colza con metanol supercrítico

Autores: Noelia María FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  
y Manuel Alejandro ANGARITA FRANCISCONI

Fecha: Octubre 2007







# ÍNDICE GENERAL

---

**1. RESUMEN**

**2. MEMORIA DESCRIPTIVA.**

**3. ANEXOS.**

- ANEXO 1 MEMORIA DE CÁLCULO.
- ANEXO 2. ANEXO GRÁFICO.
- ANEXO 3. FICHAS TÉCNICAS.
- ANEXO 4. CINÉTICA DE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN
- ANEXO 5. AMPLIACIÓN DE LA PLANTA. ACEITES USADOS COMO MATERIA PRIMA
- ANEXO 6. ANEXO DE SEGURIDAD

**4. PLANOS.**

**5. PLIEGO DE CONDICIONES.**

**6. PRESUPUESTO.**

---



# RESUMEN

---

El cambio climático, la escasez del recurso energético con la consiguiente subida de los precios del petróleo y la preocupación por el futuro abastecimiento hacen que aumente el interés por la utilización de la biomasa con fines energéticos. En éste contexto, los biocombustibles pueden contribuir de forma importante a la solución de los dos problemas tanto como combustibles alternativos y renovables como por sus ventajas medioambientales por su significativa reducción de emisiones de gases de efecto invernadero responsables del cambio climático.

El biodiesel es un combustible renovable y limpio (combustible vegetal) que además contribuye a la conservación del medio ambiente, gracias a la utilización como materia prima de aceites vegetales.

El aceite vegetal se extrae de la semilla cultivada dejando atrás la pulpa de la semilla que puede usarse para forraje animal. El aceite es refinado antes de incorporarlo al proceso de producción del biodiesel. Aunque existen más de trescientos tipos de oleaginosas, las más comunes en la producción de Biodiesel son la colza, la soja, el girasol y la palma.

Los aceites vegetales usados también pueden ser reciclados, y ser transformados en biodiesel, estos provienen generalmente de sectores alimentarios, cocinas domésticas y hostelería. Actualmente se produce y elabora en toda Europa, y está ganando popularidad mundial como energía alternativa por sus múltiples ventajas medioambientales.

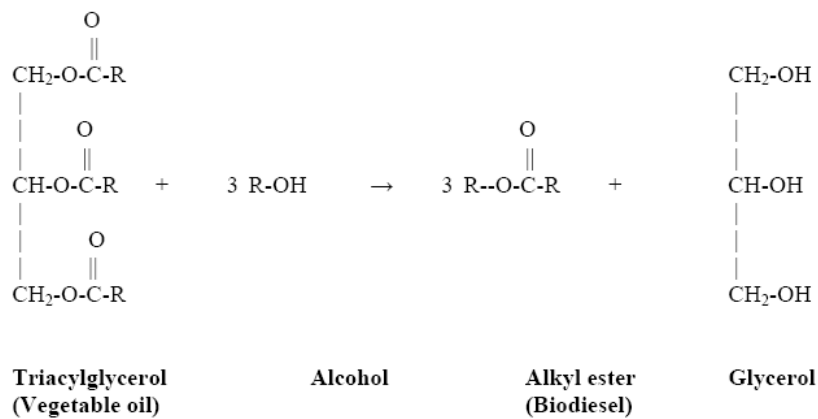
El biodiesel se puede utilizar en todo tipo de vehículos que funcionen con gasoil. No hace falta efectuar ningún tipo de modificación en el motor, su rendimiento y consumo es idéntico al del gasóleo convencional.

---

Por las propiedades del aceite vegetal (girasol, soja, colza, oliva...) se incrementa la lubricidad y detergencia, manteniendo el motor más lubricado y limpio.

El biodiesel producido en el presente proyecto, se realiza a partir de **aceite de colza natural** que entre sus ventajas cabe destacar su alto porcentaje en aceite y su bajo contenido en ácidos grasos saturados, además de ser un aceite vegetal natural por el que se extraen beneficios, por menor inversión, no es inflamable, explosivo, no emite gases tóxicos y su transporte y manejo será más fácil.

El biodiesel es producido por una reacción de transesterificación, en la que un alcohol (metanol), reacciona con los triglicéridos y ácidos grasos del aceite cortando sus cadenas carbonadas y obtener de esta manera tres moléculas de metilésteres (Biodiesel) y una de glicerina.



**FIG 1.** Reacción de Transesterificación

Realizando algunas modificaciones al proceso convencional de transesterificación mediante la adición de **metanol supercrítico**. Se consiguen los mejores resultados para un proceso de producción de biodiesel

---



sin catalizador, para alcanzar condiciones supercríticas es necesario trabajar a una temperatura de reacción de 370°C y una relación molar de metanol de 62:1

Entre las ventajas que tiene este proceso es la obtención de un biocombustible con una conversión completa de triglicéridos y ácidos grasos, la eliminación de las etapas de pretratamiento del aceite, la eliminación del uso de catalizadores, que tanto complican el proceso, eliminación de los problemas de saponificación por el agua en el sistema que crea emulsiones y eliminación de los tratamientos posteriores de purificación.

El proceso de transesterificación se lleva a cabo en un reactor al cual entra una corriente de aceite y otra de metanol, esta última precalentada en un intercambiador de calor de doble tubo. En el mismo reactor se juntan las dos corrientes, el metanol cede calor al aceite y empieza la reacción a unas condiciones de **45MPa** y **370°C**.

Para obtener esas condiciones al intercambiador de calor y al reactor llega una corriente de vapor a 40 bar, para ello se tiene un generador de vapor o caldera que suministra vapor sobrecalentado y que es impulsado y presurizado por un equipo de compresores.

Una vez terminada la etapa de obtención de los ésteres metílicos, se disponen una serie de unidades que sirven para la separación de los compuestos obtenidos por la transesterificación para así obtener el Biodiesel con la pureza deseada.

Se citan las unidades que se encuentran en el diagrama de flujo de la Planta, una vez que la corriente ha salido del reactor.

---

- Una columna de destilación flash donde se vaporiza la mayor parte de metanol, para su recirculación, y se separa de esta manera de la corriente de Biodiesel y glicerina.
- Un Decantador para separar las dos fases inmiscibles formadas por Biodiesel, Glicerina y las trazas de metanol
- Dos tanques de lavado en serie con sistema de agitación, para realizar el lavado del Biodiesel.
- Dos evaporadores flash, el primero destinado a concentrar la corriente de Biodiesel y el segundo para concentrar la corriente de Glicerina.
- Filtro de coalescencia para eliminar la posible agua que pueda quedar en el biodiesel y de esta manera cumpla las especificaciones fijadas en la norma UNE 14214/2003.
- Tanques de recogida de los productos terminado.

A parte de las unidades principales de la Planta se dispone de bombas centrífugas y peristálticas para el trasiego de fluidos así como diferentes válvulas: de compuerta, de aguja, de seguridad y una válvula de despresurización que llevará la corriente de salida del reactor hasta la presión atmosférica.

Por último, se hace una ampliación de la planta, con la ubicación de tres tanques de sedimentación como tanques de acogida de aceites usados. Con el proceso de producción propuesto se admite todo tipo de aceites sin necesidad de pretratamientos previos por lo que de esta forma se ayuda a la reutilización de los aceites reciclados, dando así una mayor versatilidad a la Planta.

---

- *Capacidad y Producción de la Planta*

La Planta de Biodiesel ubicada en el Polígono Industrial de La Isla, en Dos Hermanas, Sevilla, dispone de una parcela de **3600 m<sup>2</sup>**.

La capacidad de producción de la planta, para una conversión del 99%, es de **6420 ton/año** de Biodiesel y **774,3 ton/año** de Glicerina que se obtiene en el proceso con una pureza del 98% por lo que se puede vender directamente a las diferentes empresas farmacéuticas y cosmética sin necesidad de purificación.

La planta trabaja las 24 horas al día en proceso continuo, durante dos meses, y durante dos semanas hace una parada para limpieza y mantenimiento, siendo un total de 308 días lo que está funcionando la planta al año.

A continuación se muestra una tabla con las cantidades de materias primas necesarias y productos obtenidos diariamente.

| <b>MATERIAS PRIMAS</b>    |                |
|---------------------------|----------------|
| Aceite de colza           | 20956,8 kg/día |
| Metanol                   | 47616 kg/día   |
| <b>PRODUCTOS ACABADOS</b> |                |
| Biodiesel                 | 20844 kg/día   |
| Glicerina                 | 2150,83 kg/día |

---



# MEMORIA DESCRIPTIVA

---

# ÍNDICE

---

## 0. INDICE.

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. ANTECEDENTES.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1.1. Generales.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.2. Locales. ....</b>   | <b>9</b>  |
| <br>  |           |
| <b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....</b>                                | <b>11</b> |
| <b>2.1. Objeto del proyecto.....</b>                                    | <b>11</b> |
| <b>2.2. Justificación.....</b>  | <b>11</b> |
| 2.2.1. <i>Justificación desde el punto de vista medio ambiental.</i>    |           |
| 2.2.2. <i>Justificación desde el punto de vista económico y social.</i> |           |
| <b>2.3. Viabilidad.....</b>   | <b>14</b> |
| 2.3.1. <i>Viabilidad técnica.</i>                                       |           |
| 2.3.2. <i>Viabilidad Económica.</i>                                     |           |
| 2.3.3. <i>Viabilidad Legal.</i>   |           |
| <b>2.4. Ubicación.....</b>  | <b>17</b> |
| 2.4.1. <i>Decisión del emplazamiento.</i>                               |           |
| 2.4.2. <i>Factores que influyen en la decisión del emplazamiento</i>    |           |
| 2.4.2.1. Mercados.  |           |
| 2.4.2.1.1. <i>Materias primas</i>                                       |           |
| 2.4.2.1.2. <i>Obtención del Capital.</i>                                |           |
| 2.4.2.2. <i>Comunicaciones.</i>   |           |
| 2.4.2.3. <i>Climatología.</i>   |           |
| 2.4.2.4. <i>Distribución del Suelo.</i>                                 |           |
| 2.4.2.5. <i>Disponibilidad de recursos.</i>                             |           |
| 2.4.2.6. <i>Obtención de Capital.</i>                                   |           |
| <br>  |           |
| <b>3. MATERIAS PRIMAS.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>3.1. Aceites vegetales.....</b>                                      | <b>23</b> |
| 3.1.1. <i>Aceite de Colza.</i>  |           |
| 3.1.1.1. <i>Producción y Disponibilidad.</i>                            |           |



|   |           |
|---|-----------|
| 3.1.1.2. Características.   |           |
| 3.1.1.3. Subvenciones para el cultivo de colza en España.   |           |
| 3.1.1.4. Ventajas e inconvenientes de su uso en el proceso.   |           |
| 3.1.1.5. Proveedores.   |           |
| 3.1.1.6. Legislación Aplicable.   |           |
| <b>3.2. Metanol.....</b>  | <b>36</b> |
| 3.2.1. Características.   |           |
| 3.2.2. Disponibilidad.  |           |
| 3.2.3. Proveedores.   |           |
| <b>4. PROCESOS DE FABRICACIÓN.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>4.1. Descripción general del proceso de obtención de aceite .....</b>                                    | <b>40</b> |
| <b>4.2. Biodiésel .....</b>   | <b>44</b> |
| <b>4.3. Procesos para la obtención de biodiésel.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>4.4. Química de la reacción de transesterificación (alcoholisis).....</b>                                | <b>51</b> |
| <b>4.5. Tipos de transesterificación.....</b>   | <b>53</b> |
| <b>4.6. Selección del proceso de transesterificación. transesterificación<br/>        supercrítica.....</b> | <b>60</b> |
| <b>4.7. Modos de operación.....</b>   | <b>62</b> |
| <b>4.8. Descripción de la planta.....</b>   | <b>65</b> |
| 4.8.1. Diagrama de Flujo  |           |
| 4.8.2. Almacenamiento de las materias primas.   |           |
| 4.8.3. Almacenamiento del aceite de colza (T2)  |           |
| 4.8.4. Almacenamiento de metanol (T1 y T5)  |           |
| 4.8.5. Reactor de Transesterificación Supercrítico.   |           |
| 4.8.6. Intercambiador de calor IC-01  |           |
| 4.8.7. Unidades de Separación   |           |
| 4.8.7.1. Columna de Destilación Flash. CF-01  |           |
| 4.8.7.2. Decantador D-01  |           |
| 4.8.7.3. Evaporadores EV-01 y EV-02   |           |
| 4.8.7.4. Filtros.   |           |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 4.8.8.    | <i>Almacenamiento de los productos</i>                  |            |
| 4.8.9.    | <i>Almacenamiento de biodiesel (T3)</i>                 |            |
| 4.8.10.   | <i>Almacenamiento de glicerina (T4)</i>                 |            |
| <b>5.</b> | <b>CONTROL DEL PROCESO.....</b>                         | <b>90</b>  |
| <b>6.</b> | <b>VÁLVULAS.....</b>                                    | <b>93</b>  |
| 6.1.      | <i>Válvula de corte de flujo.....</i>                   | <i>94</i>  |
| 6.2.      | <i>Válvula de regulación.....</i>                       | <i>95</i>  |
| <b>7.</b> | <b>BOMBAS.....</b>                                      | <b>98</b>  |
| 7.1.      | <i>Bombas de desplazamiento positivo.....</i>           | <i>99</i>  |
| 7.2.      | <i>Bombas Centrífugas.....</i>                          | <i>100</i> |
| 7.3.      | <i>Bombas de Vacío.....</i>                             | <i>101</i> |
| 7.4.      | <i>Compresores.....</i>                                 | <i>102</i> |
| <b>8.</b> | <b>RESIDUOS GENERADOS POR LA PLANTA.....</b>            | <b>103</b> |
| <b>9.</b> | <b>EQUIPO INDUSTRIAL.....</b>                           | <b>105</b> |
| 9.1.      | <i>Tanque de almacenamiento de metanol .....</i>        | <i>105</i> |
| 9.2.      | <i>Tanque de almacenamiento de aceite de colza.....</i> | <i>107</i> |
| 9.3.      | <i>Intercambiador de calor .....</i>                    | <i>108</i> |
| 9.4.      | <i>Reactor de transesterificación.....</i>              | <i>109</i> |
| 9.5.      | <i>Columna de destilación CF-01.....</i>                | <i>110</i> |
| 9.6.      | <i>Decantador .....</i>                                 | <i>112</i> |
| 9.7.      | <i>Tanques de lavado.....</i>                           | <i>113</i> |
| 9.7.1.    | <i>Tanque de lavado W-01</i>                            |            |
| 9.7.2.    | <i>Tanque de lavado W-02</i>                            |            |
| 9.8.      | <i>Evaporadores.....</i>                                | <i>115</i> |
| 9.8.1.    | <i>Evaporador EV-01.</i>                                |            |
| 9.8.2.    | <i>Evaporador EV-02</i>                                 |            |
| 9.9.      | <i>Tanques de almacenamiento de productos.....</i>      | <i>119</i> |
| 9.9.1.    | <i>Tanque de almacenamiento de biodiésel.</i>           |            |

### **9.9.2. *Tanque de almacenamiento de glicerina***

## **10. BIBLIOGRAFÍA.**

## **1. ANTECEDENTES.**

### ***1.1. Generales***

Después del sector doméstico y de servicios, el transporte registra la mayor parte de las necesidades energéticas de La Unión Europea (UE), contribuyendo además de manera significativa al crecimiento actual de la demanda de energía final. A finales del siglo XX el consumo de energía de la unión europea en el sector del transporte fue de 238,27 millones de Tep (toneladas equivalentes de petróleo), lo que representó un 30% del consumo final de energía y un 46% del consumo final de petróleo.

En este contexto, las energías renovables, al ser autóctonas, representan un potencial imprescindible para reforzar la seguridad del abastecimiento en Europa, reduciendo el nivel de importaciones energéticas. La comisión ha fijado el objetivo de duplicar la cuota de las energías renovables en el consumo global de energía, pasando de un 6% en 1997 al 12 % en el 2010. En línea con esta aspiración, se promulgó la Ley 54/1997 del sector eléctrico en España, que enuncia entre sus objetivos la garantía del suministro y la calidad del mismo al menor coste posible, la mejora de la eficiencia energética, la reducción del consumo y la protección del medio ambiente.

Además, para dar cumplimiento a estos objetivos, el Instituto para la Diversificación Energética y Ahorro de la Energía (IDAE) del Ministerio de Ciencia y Tecnología ha elaborado un Plan de Fomento de las energías renovables, que ha sido aprobado por el Consejo de Ministros el 30 de diciembre de 1999.

Por otro lado, el transporte tiene un efecto negativo sobre el medio ambiente, especialmente en las grandes ciudades. En la UE, el transporte es responsable de un 7% de las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), un 28% de

las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), del 87 % de las de monóxido de carbono (CO) y del 66% de las de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Por este motivo, se ha generado la necesidad de llevar a cabo actuaciones que contribuyan a conservar el medio ambiente y, en este sentido, la mayor preocupación está dirigida hacia los efectos del cambio climático. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), desde 1900 se acelera el calentamiento de la atmósfera debido al efecto invernadero, siendo este efecto aun más intenso en los últimos 25 años. Este calentamiento se debe en un 80% a las emisiones de dióxido de carbono, siendo, por tanto, su causante principal. Debido a la dependencia del transporte de las energías fósiles y al crecimiento de la demanda de estos combustibles, se prevé un aumento de las emisiones de dióxido de carbono en el transporte. En efecto, los aumentos previstos de dióxido de carbono entre 1990 y el 2010 pueden atribuirse en un 90% al sector del transporte. En esta dirección, los principales compromisos para la reducción del efecto invernadero se adoptaron a través de un Protocolo firmado en Kioto en 1997. Donde, la UE se comprometió a reducir en un 8% sus niveles de emisiones de gases de efecto invernadero en el 2010 respecto a los niveles en 1990.

Según datos de EuroObserver de junio 2005 la producción de biodiésel ascendió en Europa a 1.933.400 toneladas en el 2004, estos datos colocan a la UE como líder mundial en el desarrollo de este sector. Pese a esto, los biocarburantes deben experimentar todavía un fuerte desarrollo para alcanzar los objetivos preestablecidos para el 2010

En este contexto, los biocarburantes son de las alternativas con ventajas más claras y, que por su carácter renovable y su menor impacto ambiental, ayudarían a cumplir los compromisos adoptados a nivel europeo

El empleo de combustibles alternativos, derivados de productos vegetales, aceites o grasas, en sustitución al carburante diesel mineral, es un hecho que ha sido afrontado durante varias décadas y que ha presentando una

serie de desventajas en el funcionamiento de los motores diesel, deteriorando y disminuyendo notablemente su rendimiento. Se observó que estos problemas podían subsanarse parcialmente mediante la mezcla de éste aceite con el diesel convencional, o resolverlos por completo mediante la transformación del aceite en ésteres metílicos, denominándose a éste producto **biodiesel**. Este biocombustible presenta unas características muy satisfactorias para ser usados en los motores sin presentar los problemas mencionados anteriormente.

El primer biodiésel producido comercialmente en Europa fue obtenido a partir del aceite de colza (Alemania, 1988), con el cual se efectuaron pruebas sobre los motores de los vehículos que lo empleaban, como controles de la calidad del aire y control de las emisiones. Los primeros en utilizarlo fueron los servicios públicos de autobuses de diversas ciudades europeas y en menor medida fue empleado para sistemas de calefacción de viviendas. Este aceite, que poseía una elevada proporción de ácidos grasos monoinsaturados, mostraba una buena estabilidad y una fácil manipulación durante el período invernal, y hoy en día es una de las principales materias primas para producir biodiesel.

El aceite de colza es la materia prima con mayor cuota de utilización en la producción de biodiésel. En segundo lugar, está el aceite de girasol, seguido por el aceite de soja y palma. Las otras materias primas son el aceite de coco, el sebo y los aceites usados

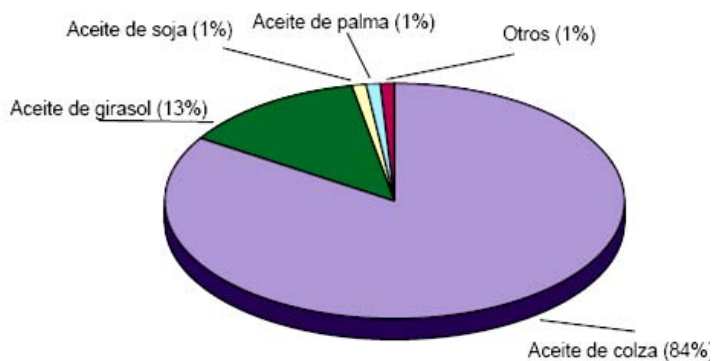


FIG. 1 Materias primas en la producción de biodiesel

El aceite de colza se ha convertido en una alternativa significativa para la producción de biodiésel por diversas razones, entre ellas la más importante es que es una especie que no es apta para el consumo humano por el alto contenido de ácido erúxico pero de fácil cultivo.

Además de ser una producción impulsada por la Política Agraria Común (PAC) que permite el cultivo de semillas oleaginosas a precios razonables. Con la entrada en vigor de la reforma de la PAC en 1992 se introduce el concepto de la retirada obligatoria de tierras, que básicamente consiste en dejar un % mínimo de la tierra de labor en barbecho, pudiéndose cultivar únicamente si los fines son no alimentarios. En la actualidad el porcentaje mínimo de tierras de retirada es del 10 %.

### **1.2. Locales**

En 1992 se inicio la producción a escala industrial del Biodiésel en toda Europa (Alemania, Francia, Italia, Austria y Suecia) y se ha extendido totalmente en Europa en los últimos 10-12 años. En países como Alemania y Austria hay mas de 1000 gasolineras que incorporan un surtidor de biodiésel (ya sea 100% o mediante una mezcla del 2% al 30% de biodiésel y el resto de gasóleo, debido a que éste puede ser utilizado bien directamente como combustible puro, o bien como un aditivo oxigenado.)

En España, al auge de este mercado fue más tardío, y es en 2002 cuando comienza a funcionar en Cataluña la primera planta española de biodiesel, la cual se abastece de aceites vegetales usados. Por tanto, es recientemente cuando este biocombustible empieza a venderse en las gasolineras como sustitutivo del diesel; a pesar de esto la producción de biodiésel en España es todavía reducido, en comparación con la de otros países de la Unión Europea. En 2003, alcanzó unas 6.000 toneladas.

Actualmente existen en funcionamiento o en fase de puesta en marcha ocho plantas de biodiésel: la de Stocks del Vallés (Montmeló, Barcelona, 6.000 ton/año), Bionet Europa (Reus, Tarragona, 50.000 ton/año), Bionor Transformación (Berantevilla, Alava, 30.000 ton/año), IDAE- Universidad de Alcalá, (5000 ton/año) y ACCIONA-EHN (Caparroso, Navarra, 35.000 ton./año).

| <i>Promotor</i>                       | <i>Emplazamiento</i>   | <i>Capacidad(Tm/a)</i> | <i>Tecnología</i> | <i>Observaciones</i>    |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|
| Stocks del Vallès                     | Montmeló (B)           | 6.000                  | B.D.I. (A)        | En producción (12/02)   |
| Bionor Transformación                 | Berantevilla (A)       | 30.000                 | Nopek (EE.UU)     | En producción (05/03)   |
| Bionet Europa                         | Reus (T)               | 50.000                 | AT Agrar (D)      | En producción (10/03)   |
| UCM / IDAE                            | Alcalá de Henares (M)  | 5.000                  | UCM               | En producción (04/04)   |
| Bionorte                              | San Martín (As)        | 4.000                  | -                 | En producción (03/05)   |
| Biodiésel Castilla la Mancha          | Santa Olalla (To)      | 10.000                 | B.D.I. (A)        | En producción (05/05)   |
| E.H.N.                                | Caparroso (Na)         | 35.000                 | Lurgi (D)         | En producción (05/05)   |
| Biocarburantes Almadén                | Almadén (CR)           | 20.000                 | Enegea (A)        | En construcción (11/05) |
| General de Bicarburos                 | Pontejos (S)           | 150.000                | AT Agrar (D)      | En construcción (12/05) |
| Grupo Ecológico Natural               | Palma de Mallorca (IB) | 6.000                  | -En proyecto      |                         |
| EMTs de Cataluña/ IDAE/Sammet on Plus | Martorell (B)          | 100.000                | -En proyecto      |                         |

Y otras. A excepción de la planta de EHN, que emplea aceites de primera utilización, el resto utilizan como materia prima aceites residuales.

La planta de biodiésel de EHN en Caparroso (Navarra), que entró en funcionamiento hace algunos meses, es capaz de operar con todo tipo de aceites vegetales lo que convierte a la instalación en una de las más avanzadas de Europa. A diferencia de las plantas de biodiésel existentes en España la de Caparroso emplea únicamente aceites vegetales de primera



utilización (36.000 toneladas/año) y el biodiésel producido cumple los 26 parámetros de calidad exigidos para este tipo de producto por la norma europea EN 14214, transpuesta a la legislación española por el RD1700/2003.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.**

### ***2.1. Objeto del proyecto.***

El objetivo del presente proyecto es el diseño de un proceso industrial para la obtención de biodiésel a partir de aceite de colza, así como la descripción y dimensionamiento de las principales unidades de proceso de la planta industrial, además se realizará una descripción general de las etapas adicionales.

En definitiva se pretende proponer un proceso que funcione como una opcional adicional al proceso convencional en el que se promueva el uso de los recursos naturales para producir energías alternativas y disminuir así la demanda energética de combustibles fósiles y al mismo tiempo conseguir un producto de alta calidad, biodegradable, libre de generación de residuos, donde se aprovechen todos los subproductos y se obtenga un biocombustible que en su utilización disminuya las emisiones a la atmósfera de agentes contaminantes y por tanto apto para cumplir normativa medioambiental.

### ***2.2 Justificación***

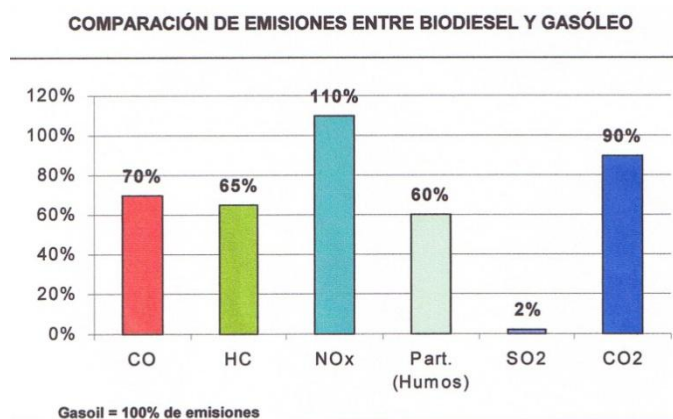
Se justifica la realización de este proyecto y se precisa el diseño de dicha planta, por la necesidad de desarrollar una tecnología alternativa menos compleja al proceso convencional que permita obtener biodiésel de una mayor calidad, disminuya el impacto medio ambiental y utilice cualquier aceite tanto vegetal como animal como materia prima.

En éste caso en concreto se justifica el uso del aceite de colza como materia prima de referencia por su trascendente utilización y por la necesidad de incentivar el desarrollo agrícola para estos fines.

### 2.2.1. Justificación desde el punto de vista medioambiental;

Entre los beneficios para el medio ambiente que tiene el uso del biodiésel se tiene:

1. Menor nivel de emisión de gases nocivos para la salud, siendo nulas las emisiones de azufre y metales pesados.
2. Reducción en las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), principal causante del efecto invernadero, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos de Kioto. La combustión de 1 litro de biodiésel emite un 12% menos de  $\text{CO}_2$  que en la combustión de 1 litro de gasóleo convencional.



**FIG 3.1** Emisiones entre biodiésel y gasóleo

3. El biodiésel es un producto biodegradable.
4. El ciclo del biodiésel tiene además un "efecto sumidero", es decir se elimina más  $\text{CO}_2$  del que se emite en su combustión:
  - a. Plantas oleaginosas - Fotosíntesis: eliminación de 3,1 kg de  $\text{CO}_2$  por litro de biodiésel generado.
  - b. Combustión de biodiésel: se genera 2,3 kg  $\text{CO}_2$ /litro.

Según el artículo 204 del estatuto de Andalucía. **Utilización racional de los recursos energéticos.** “Los poderes públicos de Andalucía pondrán en marcha estrategias dirigidas a evitar el cambio climático. Para ello potenciarán las energías renovables y limpias, y llevarán a cabo políticas que favorezcan la utilización sostenible de los recursos energéticos, la suficiencia energética y el ahorro.”

Según el Artículo 12.3.5 del estatuto de Autonomía para Andalucía establece entre los objetivos básicos de de la Comunidad Autónoma, “...el fomento de la calidad de vida del pueblo andaluz mediante la protección de la naturaleza y el medio ambiente...” Lo que permite que la administración autonómica pueda adoptar medidas y actuaciones con ese objetivo.

En este proyecto se pretende diseñar un proceso libre de generación de residuos, aprovechar todos los subproductos y obtener un biocombustible que en su utilización disminuya las emisiones a la atmósfera de agentes contaminantes, de tal forma que este proyecto es susceptible a ser subvencionado y totalmente respaldado según el Decreto 23/2001, de 13 de febrero, donde se establece el marco regulador de las ayudas a favor del medio ambiente que se concedan por la administración de la junta de Andalucía.

### *2.2.2. Justificación desde el punto de vista económico y social.*

El proyecto que se plantea describe el diseño de una planta industrial con una capacidad relativamente alta; toda puesta en marcha de una industria genera puestos de empleo tanto directos como indirectos, generará mayor riqueza en la provincia, incentiva el desarrollo en la investigación por parte de las universidades provinciales, etc.

Crea oportunidades de desarrollo del mundo rural abriendo un nuevo mercado de productos agrícolas innovadores: los cultivos energéticos, apoyados desde la Unión Europea mediante el Reglamento 2237/2003. Contribuirá a reducir la dependencia de las importaciones de productos petrolíferos

Además al ser un proyecto que no requiere grandes emplazamientos de terreno para su establecimiento, provocará un mínimo impacto paisajístico.

### **2.3. Viabilidad.**

#### *2.3.1. Viabilidad técnica.*

En el presente proyecto se describe un proceso de transesterificación de aceite de colza con metanol supercrítico, proceso que cuenta con un gran número de publicaciones científicas (2,4,5,etc...) lo que permite conocer el comportamiento de los principales elementos que actúan en el sistema, además la propuesta es respaldada por una empresa llamada Integral Bioenergies systems, S.L. Que promueven la comercialización de este tipo de proceso a mediana escala.

Además la viabilidad tecnológica recoge las ventajas que tiene este tipo de proceso.

- Transformación directa a ésteres metílicos, sin pasar por etapas intermedias.
- Elevada conversión, alcanzándose la transformación completa de los ácidos grasos libres presentes en el aceite.
- No requiere el uso de catalizadores.
- Proceso limpio e inexistencia de emisiones y residuos al medio.
- Menor número de unidades de proceso que el sistema convencional.

- Obtención de un Biocombustible de mayor calidad.
- Etc...

### 2.3.2. Viabilidad Económica.

Los costes energéticos serán ciertamente elevados debido a que el sistema trabaja a elevadas condiciones de presión y temperatura, se plantea su viabilidad económica plantando el uso de sistemas de autogeneración de energía y el uso de energías renovables para el aporte energético, lo que reducirá los costes de energía.

Para este análisis se deben considerar los siguientes factores principales:

- Costo de la materia prima (aceites) regidos por precios internacionales.
- Costos de procesamiento, producción y almacenamiento del biodiesel.
- Variables en función de la tecnología aplicada.
- Proporción final de biodiésel en el combustible final.
- Carga impositiva aplicada al producto final.
- Costos de distribución y comercialización.



FIG 2. Representación del coste desglosado de producción de biodiésel

El precio del biodiésel sin carga tributaria es similar al del gasoil, por lo que el costo para el usuario dependerá de la decisión política que se tome al respecto. Habrá que tener en cuenta que esta decisión de producción y utilización del combustible lleva consigo un número de objetivos de gran importancia, como los beneficios ambientales, desarrollos de nuevos mercados para los productos de producción primaria y sector industrial, otorgamiento de valor agregado a los cultivos, desarrollo de nuevos circuitos económicos, ocupación de mano de obra, etc.

La rentabilidad económica se pone de manifiesto a partir de los siguientes resultados:

- Análisis de rentabilidad. Valor comercial de los productos obtenidos.
- Estudio de mercado. Análisis de precio y de competencia.
- Obligación de los organismos públicos competentes y/o el gobierno de facilitar su viabilidad con exenciones fiscales, subvenciones varias a la inversión y explotación de proyectos de innovación, política de fomento de biocombustibles, etc.

### *2.3.3. Viabilidad Legal y Laboral.*

Esta vendrá determinada por la política fiscal y medio ambiental a nivel estatal y europeo relativo a los biocarburantes, a nuevos proyectos de innovación que supongan una reducción de la contaminación, potencien las fuentes de energía renovable y a la política de prevención de riesgos laborales, que se estudiará con minuciosidad en el anexo de seguridad.

Una de las ventajas del proceso de transesterificación supercrítica es que no se obtiene ningún residuo sólido y el efluente líquido va a un colector público, esta ventaja ya lo hace viable dentro del marco legal medio ambiental.

## **2.4. Ubicación.**

### *2.4.1. Decisión del emplazamiento.*

El polígono industrial donde se ubicará la planta de producción de Biodiésel está situado en Dos Hermanas, Sevilla, denominado Polígono Industrial **La Isla** que dispone de una superficie total de 3.460.000 m<sup>2</sup>. El plano y mapa del polígono se detalla en la FIG 3.

### *2.4.2. Factores que influyen en la decisión del emplazamiento*

En este punto se detallan los factores que influyen en la situación geográfica de la planta de producción de biodiésel

2.4.2.1. Mercados: Los mercados que van a estar relacionados con la implantación de la planta de producción de biodiésel son:

- Venta de glicerina con un 98% de pureza, útil para venderla directamente a empresas farmacéuticas, cosméticas y demás empresas de la comunidad andaluza
- Disposición de Biodiésel en diversas estaciones de servicio

#### 2.4.2.1.1. Materias primas:

Es un factor fundamental en el emplazamiento de la planta ya que es la provincia de Sevilla la de mayor producción de colza en la comunidad andaluza, por este motivo se decide ubicar la planta en este Polígono. En la tabla 1 se recoge la producción de colza en las provincias de Andalucía.

Debido al auge creciente que está teniendo en la actualidad los campos de colza en esta comunidad, se pretende que en un futuro cercano la planta se autoabastezca de los propios cultivos de la zona, de esta manera se esta promoviendo una mayor industrialización en Andalucía.

| <b>CULTIVOS INDUSTRIALES</b>  |                        |            |              |                     |              |                        |
|---|------------------------|------------|--------------|---------------------|--------------|------------------------|
| <b>COLZA: Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción, 2003</b> |                        |            |              |                     |              |                        |
| Provincias y Comunidades Autónomas  | Superficie (hectáreas) |            |              | Rendimiento (kg/ha) |              | Producción (toneladas) |
|   | Secano                 | Regadío    | Total        | Secano              | Regadío      |                        |
| Alava   | 10                     | -          | 10           | 2.500               | -            | 25                     |
| <b>PAÍS VASCO</b>   | <b>10</b>              | <b>-</b>   | <b>10</b>    | <b>2.500</b>        | <b>-</b>     | <b>25</b>              |
| <b>NAVARRA</b>  | <b>380</b>             | <b>224</b> | <b>604</b>   | <b>2.111</b>        | <b>500</b>   | <b>914</b>             |
| <b>LA RIOJA</b>   | <b>47</b>              | <b>-</b>   | <b>47</b>    | <b>875</b>          | <b>-</b>     | <b>41</b>              |
| Huesca  | 114                    | 200        | 314          | 1.228               | 2.100        | 560                    |
| Zaragoza  | 8                      | 11         | 19           | 400                 | 1.200        | 16                     |
| <b>ARAGÓN</b>   | <b>122</b>             | <b>211</b> | <b>333</b>   | <b>1.174</b>        | <b>2.053</b> | <b>576</b>             |
| Barcelona   | 467                    | 6          | 473          | 1.343               | 2.860        | 644                    |
| Girona  | 300                    | 67         | 367          | 600                 | 1.194        | 260                    |
| Lleida  | 685                    | 109        | 794          | 1.165               | 2.110        | 1.028                  |
| Tarragona   | 12                     | 13         | 25           | 1.500               | 3.538        | 64                     |
| <b>CATALUÑA</b>   | <b>1.464</b>           | <b>195</b> | <b>1.659</b> | <b>1.109</b>        | <b>1.914</b> | <b>1.996</b>           |
| Avila   | 2                      | -          | 2            | 1.200               | -            | 2                      |
| Burgos  | 127                    | -          | 127          | 1.300               | -            | 165                    |
| Palencia  | 17                     | -          | 17           | 1.100               | -            | 19                     |
| Segovia   | 6                      | 2          | 8            | 650                 | 1.025        | 6                      |
| Soria   | 28                     | -          | 28           | 1.500               | -            | 42                     |
| Valladolid  | 30                     | 2          | 32           | 1.200               | 2.200        | 40                     |
| Zamora  | 4                      | -          | 4            | 1.000               | -            | 4                      |
| <b>CASTILLA Y LEÓN</b>  | <b>214</b>             | <b>4</b>   | <b>218</b>   | <b>1.271</b>        | <b>1.613</b> | <b>278</b>             |
| <b>MADRID</b>   | <b>7</b>               | <b>-</b>   | <b>7</b>     | <b>700</b>          | <b>-</b>     | <b>5</b>               |
| Albacete  | 10                     | 205        | 215          | 750                 | 1.900        | 397                    |
| Ciudad Real   | 6                      | 464        | 470          | 375                 | 1.500        | 698                    |
| Cuenca  | 27                     | -          | 27           | 950                 | 1.800        | 26                     |
| Guadalajara   | 20                     | 20         | 40           | 800                 | 2.100        | 58                     |
| <b>CASTILLA-LA MANCHA</b>   | <b>63</b>              | <b>689</b> | <b>752</b>   | <b>816</b>          | <b>1.636</b> | <b>1.179</b>           |
| Alicante  | -                      | 1          | 1            | -                   | 1.500        | 2                      |



|                      |              |              |              |              |              |              |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Valencia             | 2            | 34           | 36           | 1.000        | 2.200        | 77           |
| <b>C. VALENCIANA</b> | <b>2</b>     | <b>35</b>    | <b>37</b>    | <b>1.000</b> | <b>2.180</b> | <b>79</b>    |
| Badajoz              | 80           | 25           | 105          | 700          | 1.500        | 94           |
| Cáceres              | 80           | 76           | 156          | 800          | 1.000        | 140          |
| <b>EXTREMADURA</b>   | <b>160</b>   | <b>101</b>   | <b>261</b>   | <b>750</b>   | <b>1.124</b> | <b>234</b>   |
| Cádiz                | –            | 15           | 15           | –            | 3.500        | 53           |
| Córdoba              | –            | 54           | 54           | –            | 1.400        | 76           |
| Granada              | 13           | 6            | 19           | 277          | 800          | 8            |
| Huelva               | –            | 8            | 8            | –            | 1.600        | 13           |
| Málaga               | 79           | 55           | 134          | 550          | 1.600        | 131          |
| Sevilla              | 126          | 16           | 142          | 962          | 1.441        | 144          |
| <b>ANDALUCÍA</b>     | <b>218</b>   | <b>154</b>   | <b>372</b>   | <b>772</b>   | <b>1.667</b> | <b>425</b>   |
| <b>ESPAÑA</b>        | <b>2.687</b> | <b>1.613</b> | <b>4.300</b> | <b>1.211</b> | <b>1.549</b> | <b>5.752</b> |

Tabla 1. Producción de colza por comunidades autónomas

#### 2.4.2.1.2. Obtención de Capital

La implantación de esta planta de producción de biodiesel, queda dentro de los proyectos de biomasa a los que se les proporcionan unos incentivos registrados dentro del marco de la orden del 18 de julio de 2005, por la que se establecen las bases reguladoras de un programa de incentivos para el desarrollo energético sostenible de Andalucía.

El producto se vende posteriormente a las distribuidoras para servirlo en las estaciones de servicio mezclado con gasóleo, en una proporción del 15% de biodiésel y un 85% de gasóleo convencional o bien sin mezcla con gasóleo.

El subproducto obtenido, también genera beneficios ya que la glicerina se obtiene con una alta pureza que no necesita de tratamientos posteriores para su purificación, por lo tanto se vende directamente a empresas farmacéuticas y de cosmética para su utilización.

#### 2.4.2.2. Comunicaciones.

Se analizan las comunicaciones del polígono por las diferentes vías de acceso a él, según sea la comunicación será más o menos dificultoso el transporte de materias primas, productos y subproductos obtenidos en la planta.

Las vías de comunicación que conectan directamente con el polígono son: autovía A-4, carretera Nacional N-IV, carretera comarcal A-392 y además cercano a la vía férrea Madrid- Cádiz y al aeropuerto de Sevilla.

Por tanto se concluye que la situación geográfica del polígono “La Isla” le confiere una posición estratégica que facilita la distribución a empresas con actividades comerciales en el resto de España y el extranjero.

#### 2.4.2.3. Climatología.

El clima de la zona es de tipo mediterráneo, con una temperatura media anual próxima a los 20 ° C, siendo Enero el mes más frío y Julio - Agosto los más calurosos, llegando a sobrepasar los 40° C.

Las precipitaciones no son muy abundantes, la media anual es algo superior a los 500 Litros /m<sup>2</sup>. Las máximas se registran en otoño y las mínimas en verano.

#### 2.4.2.4. Distribución del suelo

En materia de industria, Dos Hermanas perteneció al polo de desarrollo de Sevilla y a la gran área de expansión industrial de Andalucía. Debe destacarse la existencia de este Polígono Industrial, con una situación extraordinariamente atractiva y dotada de una moderna urbanización suficiente para cualquier tipo de industria. Está situado a escasa distancia de la capital, cuya 1ª Fase ocupa una superficie de 346 Has., dividida en 234 parcelas desde 500 a 106000 m<sup>2</sup>. La

segunda Fase del Polígono tiene una superficie de 995 Has, en la que podrían desarrollarse proyectos de envergadura en la línea de creciente expansión económica de Dos Hermanas. Existen, además, otros polígonos Industriales magníficamente situados en diversos puntos del término municipal: La Palmera, Fuente del Rey, Industrial Autovía, etc...

El precio del m<sup>2</sup> está fijado en 100 €, para una parcela media y de 120€ para una nave industrial media. Además, se suma a estos gastos las cuotas anuales establecidas por el complejo del polígono por ocupación del territorio y mantenimiento de las instalaciones y servicios comunitarios.



**FIG 3** Vista aérea del Polígono La Isla



#### 2.4.2.5. Disponibilidad de recursos.

Este factor hace referencia a los elementos auxiliares que son necesarios en una planta química como puede ser red de alumbrado público, red de agua potable, red de telefonía, señalización, red de alcantarillado, etc.

En cuanto a la energía eléctrica y vapor, requeridas por todas las plantas químicas serán suministradas. La energía eléctrica, por una empresa de servicios eléctricos del municipio, para el vapor, se dispone de un generador de vapor ecológico (energía solar o biomasa) que ofrece el vapor de agua necesario para intercambiadores de calor y reactor. Para ello el agua será suministrada por la empresa EMASESA: Empresa Municipal de Aguas de Sevilla, S.A.

### **3. MATERIAS PRIMAS.**

#### ***3.1. Aceites vegetales.***

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas oleaginosas u otras partes de estas plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía. Algunos no son aptos para consumo humano, como el de colza, castor o algodón. Aunque en la mayoría de los casos en que no son aptas para el consumo ya se han encontrado formas para modificar genéticamente estas especies y hacer consumibles sus aceites.

Estos aceites están compuestos de un 90% de triglicéridos, contienen además, una serie de componentes menores, los que deben, en la mayoría de los casos, removerse o disminuir su concentración durante su procesamiento. Los triglicéridos y los ácidos grasos de 18 átomos de carbono en su molécula (éstos últimos otorgan las características físicas y químicas propias a cada aceite) son los constituyentes fundamentales de los aceites vegetales y en proporción menor algunos ácidos grasos de menor y mayor número de átomos de carbono. Estos ácidos grasos, así configurados, pueden a su vez contener diversos grados de insaturación en su conformación.

Puede considerarse que un triglicérido se forma por la condensación de una molécula de glicerol con tres de ácidos grasos, es decir.



Los ácidos grasos que contienen dobles o triples enlaces se llaman ácidos grasos insaturados. Estos compuestos pueden experimentar reacciones de adición con varios reactivos que hacen que los dobles o triples enlaces sean sustituidos por enlaces simples. Las reacciones de adición convierten los compuestos insaturados en saturados. Estos últimos son por lo general más

estables que los insaturados al ser hidrocarburos lineales con todos sus enlaces simples.

Cuando predominan los ácidos grasos saturados, se mantienen sólidos o semisólidos a temperatura ordinaria (20°C), constituyendo las grasas (predominantemente de origen animal y en algún caso de origen vegetal). Mientras que si predominan los ácidos grasos no saturados son líquidos a dicha temperatura componiendo los aceites que se denominan fijos. En contraposición existen los aceites volátiles o esenciales que se extraen del grupo de las especies aromáticas

Entre los ácidos grasos saturados presentes en los aceites vegetales se encuentran:

- Ácido Láurico: Deriva su nombre de las lauráceas, familia botánica que agrupa una serie de especies cuyas semillas contienen aceite en la composición del cual el ácido láurico entra siempre en proporciones elevadas. Las fuentes más ricas de este aceite son los aceites de coco y palmiste.
- Ácido Mirístico: Es un componente menor (<2%) de muchos aceites de semillas y frutos. Como del aceite de coco y palmiste. Es el principal componente de los aceites de semillas de la familia de las Miristicáceas (Mantecas de nuez moscada, de ucuhuba, etc.) puede alcanzar hasta un 70%.
- Ácido Palmítico. Es el más ampliamente distribuido de los ácidos grasos saturados se encuentra prácticamente en todos los aceites vegetales en cantidades de aproximadamente 6-8% y es el principal constituyente del aceite de palma, manteca de cacao y otras mantecas vegetales.
- Ácidos Arcaico, Behénico y Lignocerínico: No se encuentran en gran cantidad, el aceite de cacahuete contiene pequeñas trazas de 1% de estos ácidos, se puede encontrar en mayor proporción por separado en algunos aceites orientales.

Los ácidos grasos insaturados que se encuentran en los aceites y grasas, debido a su relativa dificultad de aislamiento y caracterización, son conocidos con menos seguridad que los saturados, especialmente aquellos intensamente insaturados, con cuatro o más enlaces dobles. Entre los más importantes tenemos.

1. Ácidos con un solo doble enlace.

- Ácido Palmitoleico: Se presenta en pequeña cantidad, es decir alrededor del 1% en muchos aceites vegetales incluyendo los de oliva, palma, algodón, cacahuate, soja ..etc Se encuentran en mayor proporción en grasas animales, especialmente en grasas de cetáceos y peses.
- Ácido Oleico: Es el ácido graso más ampliamente distribuido, se encuentra en más o menos proporción en todos los aceites y grasas. Es el principal componente de la mayor parte de los aceites vegetales importantes.
- Ácido Erúxico: Se encuentra principalmente en los aceites de las semillas de las Crucíferas. Comprenden, aproximadamente el 50% del total de los ácidos grasos de los aceites de mostaza y colza.

2. Ácidos con dos o tres dobles enlaces.

- Ácido Linólico: éste ácido se encuentra subordinado en cantidad al oleico, pero en el caso de los más insaturados, tales como los de soja, linaza, perilla, etc. Hay más ácido linólico que oleico
- Ácido docosadienoico: Se encuentra en cantidades cercanas al 2% en el aceite de colza.
- Ácido linolénico: Se encuentra en cantidades variables en algunos de los aceites vegetales más insaturados. En la linaza y perilla es el principal ácido graso

La calidad de los aceites es de gran importancia para justificar el cultivo de la especie que lo provee en forma rentable. Existen una gran serie de propiedades e índices que en su conjunto revelan el grado de calidad y conservación del aceite. Ellos son: punto de fusión y de solidificación, densidad, índice de refracción, índice de acidez, índice de yodo, índice de secantabilidad, etc.

El grado de insaturación que presentan los ácidos que constituyen los glicéridos de un aceite, determinan el grado de secantabilidad o poder secante de un aceite, al poseer mayor cantidad de dobles enlaces y al estar expuestos al aire se oxidan (absorben  $O_2$ ) espesándose y endureciéndose rápidamente. Los que poseen esta propiedad se denominan secantes y generalmente son de uso industrial. El más representativo es el aceite de lino, luego le sigue el tung. Uno de los usos del aceite del lino es en la industria de las pinturas. Los aceites que bajo la acción del oxígeno del aire se oxidan, es decir que se espesan y endurecen más lentamente y no por completo, se llaman semisecantes. Aquí se encuentra la mayoría de los aceites comestibles. Por ejemplo soja, girasol, algodón, etc. Por último los no secantes no solidifican en absoluto, ni siquiera después de largo tiempo. Ej. Aceite de oliva, maní. Etc.

Las ventajas más importantes del aceite vegetal natural para la producción de Biodiésel son:

- Gran valor calorífico: gran densidad energética
- Forma líquida y, por ello, fácil de usar
- Cuando se quema emite menos hollín
- Cuando se quema tiene una eficiencia energética más grande
- No es tóxico ni dañino para humanos, animales, suelos o agua
- No es inflamable ni explosivo y no emite gases tóxicos
- Es fácil de almacenar, transportar y utilizar
- No causa daños si accidentalmente se vierte
- En su manejo no se requiere tomar precauciones especiales



- Es producido de forma directa por la naturaleza: no ha de ser transformado
- Es una forma reciclable de energía
- No tiene efectos ecológicos adversos cuando es utilizado
- No contiene sulfuro: no genera lluvia ácida cuando es usado
- Cuando se quema es neutral en CO<sub>2</sub>: no contribuye al efecto invernadero

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiésel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos) y el coco (Filipinas); y los aceites de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia). En España se produce principalmente estas tres especies vegetales para la producción de biodiésel

| <b>PRODUCCIONES ESPAÑOLAS DE LAS PRINCIPALES OLEAGINOSAS</b> |             |             |             |              |
|--|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>(MILES DE TONELADAS)</b>                                  |             |             |             |              |
| <b>PRODUCTO</b>  | <b>2002</b> | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2005*</b> |
| GIRASOL  | 771         | 769         | 785         | 361          |
| COLZA  | 10          | 11          | 8           | 5            |
| SOJA   | 1           | —           | —           | 3            |

\* Estimación. FUENTE: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

**Tabla 2** Producciones españolas de Oleaginosas

Se ha elegido el aceite de colza para el desarrollo de este proyecto por razones que se describirán en el siguiente apartado.

### *3.1.1. Aceite de Colza.*

#### 3.1.1.1. Producción y Disponibilidad.

Los cultivos energéticos surgen en el mundo agrícola ante la demanda de biomasa para la producción de energías renovables y para contribuir de este modo a cumplir con los compromisos derivados del Protocolo de Kioto. Dos son las energías renovables que podemos desarrollar desde el cultivo de colza: la utilización de la biomasa completa de la planta para centrales de generación eléctrica y la producción de aceite para su transformación en biodiesel.

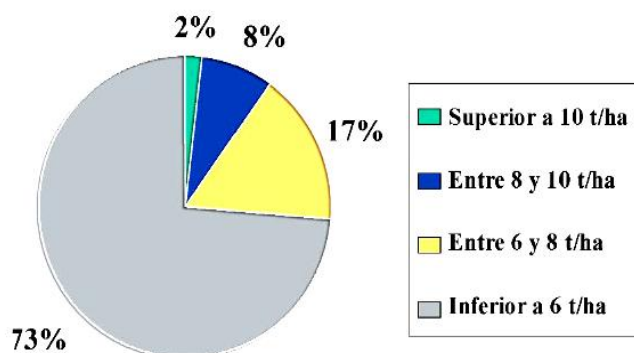
El ITG (Instituto tecnológico ganadero) Agrícola ha trabajado en los últimos años estudiando las posibilidades de desarrollo de estos dos aprovechamientos del cultivo de colza, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Desde la campaña 2001 la empresa EHN, con el apoyo técnico del ITGA ha puesto en marcha un programa de desarrollo del cultivo de colza, para aprovechamiento de planta entera y con destino a la generación eléctrica y la producción de biodiesel. Este programa ha permitido la siembra de un número significativo de hectáreas, que superan ya las 500 het.

La ventaja de este aprovechamiento consiste en que el cultivo se recolecta muy pronto, por siega de la planta entera al final de la floración, normalmente desde mediados de mayo. Esto permite una mayor tolerancia de la presencia de malas hierbas y un manejo más extensivo del cultivo, además de un mejor reparto de las tareas de recolección de los cultivos.

El cultivo de colza para este aprovechamiento se realiza exactamente de la misma manera que cuando el destino previsto es el sector alimentario. Las técnicas de producción y en consecuencia los costes de producción son totalmente equiparables.

Otra ventaja de esta producción es que puede realizarse en tierras de retirada, al tratarse de un cultivo no alimentario.

Agronómicamente el cultivo ha resultado muy interesante para los agricultores al no presentar su cultivo dificultades especiales, y muy favorable para su introducción en las rotaciones cerealistas.



**Fig 5** Resultado de los Rendimientos de la colza en Las parcelas en las Campañas 2001,2002,2003

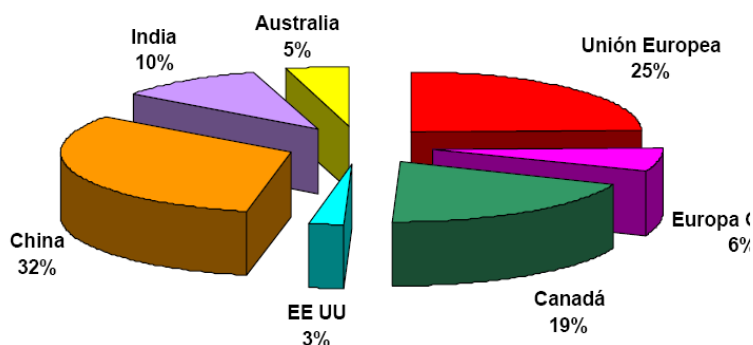
La colza es quizás el cultivo oleaginoso que experimentó el mayor crecimiento en los últimos años. Este cultivo ocupa el segundo lugar en orden de importancia dentro de los diez primeros oleaginosos, en cuanto se refiere a producción mundial. Sobre una producción total de semillas oleaginosas estimada para el ciclo 00/01 de 299 millones, la colza aporta aproximadamente 38 millones de toneladas, es decir 12.7%.

El área total dedicada a la colza a principios de los años 70 alcanzaba los 8.3 millones de hectáreas, con rendimientos medios del orden de los 800 kg/ha, y una producción de 7.1 millones de toneladas; tres décadas más tarde el área se expandió a 25 millones, con una producción total que llega a 38 millones, considerándose rendimientos medios cercanos a 1450 kg/ha.

La producción se centra en su mayoría, en los países asiáticos con un 44% (China e India son los principales productores mundiales), el 23% en

países de la CEE (Francia, Alemania, etc), y el 18% en Canadá. El resto se distribuye por Australia y Europa Central, entre otros.

La colza se industrializa en un 91%, es decir aproximadamente 33.4 millones de toneladas, de las cuales el 55% del total se elaboran en China y la UE.



**FIG 6** Producción mundial de Colza

| PRODUCCIONES ESPAÑOLAS DE COLZA<br>POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS (MILES DE TONELADAS) |            |            |
|---|------------|------------|
| CC AA   | 2004       | 2005*      |
| ANDALUCÍA   | 0,2        | 0,1        |
| ARAGÓN  | 1,0        | 0,5        |
| CASTILLA-LA MANCHA  | 2,9        | 0,6        |
| CATALUÑA  | 0,3        | 2,3        |
| EXTREMADURA   | 0,1        | —          |
| OTRAS CC AA   | 3,6        | 1,3        |
| <b>TOTAL ESPAÑA</b>   | <b>8,1</b> | <b>4,8</b> |

\* Estimación. FUENTE: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

**Tabla 3** Producción de colza en España

El clima templado de Andalucía en invierno requiere el uso de variedades de tipo primaveral como la asociación híbrida *Jura* perfectamente adaptada para las siembras de otoño en la zona mediterránea, No Obstante, en las zonas más frías de la comunidad donde las temperaturas de invierno

provocan una verdadera parada invernal del cultivo de colza, se pueden sembrar variedades híbridas de tipo invierno

Las consejerías de Innovación, Ciencia y Empresa, Agricultura y Pesca y Medio Ambiente, junto al Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y seis empresas privadas, formalizaron la constitución de la Sociedad Andaluza de la Valorización de la Biomasa, que impulsará el uso de esta materia como fuente energía. Esta nueva entidad, que tiene un capital social de seis millones de euros, potenciará el desarrollo de proyectos e iniciativas destinadas al empleo de la biomasa como recurso renovable generador de energía, un ámbito con un «gran potencial» en Andalucía. Así, las perspectivas energéticas de la biomasa en Andalucía ascienden a 3.327 Ktep (kilotoneladas equivalentes a petróleo) al año, lo que supone, según la Junta de Andalucía, la cuarta parte del consumo final de energía en la región.

Por otro lado, las empresas andaluzas Ebro Agrícolas y Libitec han presentado un proyecto coordinado a la orden de incentivos para proyectos de I+D+I de la consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, para la realización de trabajos de investigación y promoción del cultivo de la colza en Andalucía. Esta iniciativa, que actualmente se encuentra en fase de evaluación, está coordinada con la RAEA de cultivos energéticos.

Además, recientemente el IFAPA se ha incorporado a un proyecto CENIT liderado por Repsol en el que se centrará en la realización de ensayos agronómicos para el cultivo de la colza.

#### 3.1.1.2. Características.

El aceite de colza en estado bruto es de color amarillo oscuro o ámbar, después de refinado, tiene un color amarillo, semejante al de los otros aceites de semillas. El aceite puro tiene grandes cantidades de fosfátidos y otras impurezas. El refinado tiene olor acre característico, como de mostaza, que se elimina por desodorización; sin embargo, el aceite de colza

desodorizado, tiene cierta tendencia a la reversión del sabor y adquiere un gusto desagradable. Tanto el aceite bruto como el refinado suelen contener compuestos de azufre.

Las características estándar aconsejadas para estos aceites son las siguientes:

|                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| Densidad a 25°C (kg/l)                | 0,906-0,910     |
| Índice de refracción a 25°C           | 1,470-1474      |
| Índice de Iodo                        | 98              |
| Índice de Saponificación              | 172             |
| Materia Insaponificable %             | No mas de 1,5%  |
| Viscosidad a 100°C                    | No menos de 210 |
| Punto de ignición, en vaso abierto °C | No menos de 288 |
| Bromuros Insolubles, en éter %        | No mas de 4%    |

**Tabla 4** Algunas características del aceite de colza.

El aceite de colza se distingue por su bajo índice de saponificación, alto índice de refracción en relación con su índice de yodo, bajas temperaturas de solidificación y enturbiamiento; es también algo más viscoso que los aceites ordinarios.

| Ácido Graso             |       | Porcentaje en Peso(%) |
|-------------------------|-------|-----------------------|
|                         | C<14  | ---                   |
| Mirístico(sat)          | C14:0 | ---                   |
| Palmitito(sat)          | C16:0 | 1,5-6                 |
| Palmitoleico(monoinsat) | C16:1 | 3                     |
| Esteárico (poliinsat)   | C18:0 | 0,5-3,1               |
| Oleico (monoinsat)      | C18:1 | 8-60                  |
| Linoleico (poliinsat)   | C18:2 | 11-23                 |
| Linolénico (poliinsat)  | C18:3 | 5-13                  |
|                         | C>20  | 0,1-4,3               |
| Ácidos grasos libres    |       | 1,5                   |

**Tabla 5.** Composición en ácidos grasos del aceite de colza

### 3.1.1.3. Ventajas e inconvenientes de su uso en el proceso.

Las principales características que presentan las semillas de colza son:

- Alto porcentaje de aceite de primera calidad
- Bajo contenido de ácidos grasos saturados
- Residuos de extracción de alto nivel proteico

La elección de colza como semilla oleaginosa para la producción de Biodiésel se debe a una serie de ventajas con respecto a otras semillas oleaginosas.

- Al tratarse de un aceite con bajo porcentaje en ácidos grasos saturados, se obtienen combustibles de mejor calidad.
- Mejor comportamiento a bajas temperaturas
- Menor coste de producción que el girasol
- Rendimiento en aceite mayor que la soja.
- Cultivo con posibilidades de adaptación a diferentes áreas agroecológicas

Si bien cualquier aceite vegetal o grasa animal es posible de utilizar, el aceite de colza es uno de los que presenta menores problemas de carbonización en motores al utilizarse puro.

El aceite de colza tiene bajo contenido en ácidos grasos libres, por lo que se produce menor cantidad de jabones, como producto indeseable, que posteriormente complican la fase de purificación del biodiesel.

Al tratarse el aceite de colza de un aceite vegetal crudo desaparecen problemas de incrustaciones y depósitos de sólidos en los conductos, problemas de temperatura, de combustión.

#### 3.1.1.4 Subvenciones para el cultivo de colza.

El desarrollo de los biocombustibles es incesante en las últimas décadas, por tanto se habla de las ayudas a los cultivos energéticos que consisten en permitir el cultivo de estos productos en tierras retiradas. Aunque los cultivos energéticos representan el mayor volumen de producción no alimentaria de esas tierras, se ha introducido también una ayuda específica a los cultivos energéticos con el objetivo de incrementar la sustitución del dióxido de carbono.

Se concede una ayuda de 45 euros por hectárea a los agricultores que produzcan cultivos energéticos, aplicable en una superficie máxima garantizada de 1500000 hectáreas en el conjunto de la UE. Los agricultores tienen derecho a esa ayuda si su producción de cultivos energéticos se halla recogida en un contrato entre el agricultor y la industria de transformación correspondiente. Cuando la transformación se efectúa en la propia explotación, es innecesario ese contrato. El agricultor y el transformador no tienen que estar necesariamente en el mismo Estado miembro.

El aceite de colza, por otro lado, es la materia prima que aporta características al biodiésel producido adaptándose perfectamente a la normativa EN 14214 de calidad del Biodiesel. En consecuencia, es de prever que la superficie destinada al cultivo de colza aumente en España en los próximos años.



#### 3.1.1.5. Proveedores.

Entre las empresas proveedoras de aceite se encuentran:

- Arlesa
- Bayer CropScience
- Ecocert.
- Cereol.
- Ecotenca.
- Orgánicos el Cerrillo.
- Aceites Borges Pont S.A
- Etc.

#### 3.1.1.6 Legislación Aplicable.

- Real Decreto 1618/2005, de 30 de diciembre, sobre aplicación del régimen de pago único y otros regímenes de ayuda directa a la agricultura y a la ganadería.
- Reglamento (CE) 1782/2003, del Consejo de 29 de septiembre de 2003, por el que se establecen disposiciones comunes aplicables a los regímenes de ayuda directa en el marco de la política agrícola común y se instauran determinados regímenes de ayuda a los agricultores.
- Reglamento (CE) 1973/2004 de la Comisión de 29 de octubre de 2004, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) 1782/2003 del Consejo en lo que respecta a los regímenes de ayuda previstos en los títulos IV y IV *bis* de dicho Reglamento y a la utilización de las tierras retiradas de la producción con vistas a la obtención de materias primas.

- Resolución de 1 de agosto de 2007, de la Dirección General de la Producción Agrícola y Ganadera, por la que se establecen los rendimientos comarcales representativos de girasol y colza que realmente deberán obtenerse en la utilización de tierras retirada

### **3.2. Metanol.**

#### *3.2.1. Características.*

El metanol, también llamado alcohol metílico, carbinol y alcohol de quemar, es el primero de los alcoholes. Su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{OH}$

La estructura química del metanol es muy similar a la del agua, con la diferencia de que el ángulo del enlace C-O-H en el metanol ( $108.9^\circ$ ) es un poco mayor que en el agua ( $104.5^\circ$ ), porque el grupo metilo es mucho mayor que un átomo de hidrógeno.

En condiciones normales es un líquido incoloro, de escasa viscosidad y de olor y sabor frutal penetrante, miscible en agua y con la mayoría de los solventes orgánicos, muy tóxico e inflamable. El olor es detectable a partir de los 2 ppm.

Es considerado como un producto petroquímico básico, a partir del cual se obtienen varios productos secundarios.

Las propiedades físicas más relevantes del metanol, en condiciones normales de presión y temperatura, se listan en la siguiente tabla:

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| <b>Peso Molecular</b>      | 32 g/mol  |
| <b>Densidad</b>            | 0.79 kg/l |
| <b>Punto de fusión</b>     | -97 °C    |
| <b>Punto de ebullición</b> | 65 °C     |

**Tabla 6** Propiedades del metanol

De los puntos de ebullición y de fusión se deduce que el metanol es un líquido volátil a temperatura y presión atmosféricas. Esto es destacable ya que tiene un peso molecular similar al del etano (30 g/mol), y éste es un gas en condiciones normales.

La causa de la diferencia entre los puntos de ebullición entre los alcoholes y los hidrocarburos de similares pesos moleculares es que las moléculas de los primeros se atraen entre sí con mayor fuerza. En el caso del metanol estas fuerzas son de puente de hidrógeno, por lo tanto esta diferencia es más remarcada.

El metanol y el agua tienen propiedades semejantes debido a que ambos tienen grupos hidroxilo que pueden formar puente de hidrógeno. El metanol forma puente de hidrógeno con el agua y por lo tanto es miscible (soluble en todas las proporciones) en este solvente. Igualmente el metanol es muy buen solvente de sustancias polares, pudiéndose disolver sustancias iónicas como el cloruro de sodio en cantidades apreciables.

De igual manera que el protón del hidroxilo del agua, el protón del hidroxilo del metanol es débilmente ácido. Se puede afirmar que la acidez del metanol es equivalente a la del agua. Una reacción característica del alcohol metílico es la formación de metóxido de sodio cuando se lo combina con este.

El metanol es considerado como un producto o material inflamable de primera categoría; ya que puede emitir vapores que mezclados en proporciones adecuadas con el aire, originan mezclas combustibles. El metanol es un combustible con un gran poder calorífico, que arde con llama incolora o transparente y cuyo punto de inflamación es de 12,2 °C.

Al ser considerado como inflamable de primera categoría, las condiciones de almacenamiento y transporte deberán ser extremas. Está prohibido el transporte de alcohol metílico sin contar con los recipientes especialmente diseñados para ello.

Las áreas donde se produce manipulación y almacenamiento de metanol deberán estar correctamente ventiladas para evitar la acumulación de vapores. Además los pisos serán impermeables, con la pendiente adecuada y con canales de escurrimiento. Si la iluminación es artificial deberá ser antiexplosiva, prefiriéndose la iluminación natural. Así mismo, los materiales que componen las estanterías y artefactos similares deberán ser antichispa. Las distancias entre el almacén y la vía pública será de tres metros para 1000 litros de metanol, aumentando un metro por cada 1000 litros más de metanol. La distancia entre dos almacenes similares deberá ser el doble de la anterior. (mirar que coincida con lo nuestro )

### *3.2.2. Disponibilidad.*

Actualmente el metanol se obtiene como derivado del petrolífero posee un valor de mercado muy competitivo siendo este alcohol el más utilizado en este proceso productivo es un compuesto químico muy utilizado en la industria.

### 3.2.3. Proveedores.

Entre las posibles empresas proveedoras de metanol en España se encuentran:

- Rebain International.
- Quimidroja Plásticos.
- Coralin Aditivos.
- CEPSA.

## 4. PROCESOS DE FABRICACIÓN.

### 4.1. Descripción general del proceso de obtención de aceite.

Este proceso comprende las siguientes etapas:

- 1.- Almacenamiento y conservación de la semilla.
- 2.- Limpieza y clasificación.
- 3.- Descascarado.
- 4.- Desección y molienda
- 5.- Extracción del aceite:
  - Por presión.
  - Por solventes.
  - Sistema combinado (presión más solvente)
- 6.- Refinación.

• *Almacenamiento:* Si la materia prima es seco, debe ser almacenado de modo que permanezca seco, para la extracción óptima y la calidad del aceite. Si la materia prima es el tejido de planta mojado, debería ser procesado para la extracción del aceite cuanto antes después de la cosecha de modo que el tiempo de almacenaje sea mínimo. Los aceites en la presencia de agua se deterioran rápidamente, formando ácidos grasos libres y el sabor se vuelve rancio.

• *Limpieza:* La preparación de la materia prima incluye la eliminación de cáscaras o de cualquier envoltura de las semillas y la separación de las semillas. La preparación de la semilla es importante porque, si el aceite posee un cuerpo extraño puede hacer variar los índices característicos del aceite que se va a obtener. Esta tarea se realiza utilizando cernidores.

- *Descascarado*: esta operación debe realizarse cuando la cáscara impide la extracción de aceite, o bien cuando por no poseer materia grasa la absorbe en el proceso de extracción, disminuyendo el rendimiento y la calidad del subproducto. En el caso de las semillas de colza estas no pueden ser descascaradas pero tampoco supone un problema para la molienda por el pequeño tamaño de la semilla. Se realiza con una descascaradora y luego por medio de una zaranda se separa las cáscaras de las semillas.

- *Desección y molienda*: el secado se hace usando secadores verticales u horizontales, con la finalidad de que la humedad no supere ciertos límites, sobre los cuales afectaría el proceso de extracción.

La extracción del aceite es más eficiente si la semilla está en forma de pequeñas partículas. La molienda de la semilla del aceite es un modo eficaz de reducir el tamaño de dichas partícula, generalmente, los pedazos de tamaño más pequeño son mejor para el retiro del aceite. Pero si los pedazos son demasiado pequeños, ellos pueden contaminar el aceite y ser difíciles de quitar del producto final.

- *Extracción del aceite.*

- *Por presión.*

Una vez que las semillas han sido molidas, se las somete al prensado. Las prensas pueden ser hidráulicas, discontinuas y continuas (Expellers)-

En la actualidad la extracción por presión se lleva a cabo casi exclusivamente por prensas continuas, por la economía de sus instalaciones, pero no realiza una profunda extracción de las materias grasas contenidas en sus semillas.

En recipientes calentadores de doble fondo se calienta la harina (semillas molidas) a temperaturas que oscilan entre 90°C y 95°C, dependiendo del material con que se trabaje. El calentamiento busca eliminar el exceso de humedad de la harina, con lo cual se aumenta el rendimiento al lograrse mayores presiones y facilitarse la fluidez del material trabajado.

Luego el material pasa a una cuba de acero, que posee en su interior un tornillo sinfín, en el cual, el número de espiras y el diámetro aumenta de un extremo al otro, viéndose el material obligado a pasar por espacios cada vez más reducidos, aumentando de esa manera la compresión.

El aceite obtenido se vierte a tanques de sedimentación, quedando como subproducto el expeller, el cual generalmente se somete a una segunda presión. El expeller final posee entre el 6–7 % de aceite.

Posteriormente por un proceso de filtración se elimina del aceite todo lo no sea materia grasa, (resto de expeller, harina de molienda, materias mucilaginosas). Se obtiene de esta manera el aceite crudo, el cual se almacena en tanques o depósitos. Para aceites de uso industrial puede usarse pasada ésta operación y para aceites comestibles deben ser sometidos a una posterior refinación.

- *Por solvente.*

Este sistema se caracteriza por su gran rendimiento, poco empleo de mano de obra y fuerza motriz. Permitiendo la recuperación del solvente utilizado.

Para el eficaz cumplimiento de los fenómenos de ósmosis, difusión y extracción, la materia prima debe recibir una adecuada preparación. Esta consiste en el laminado de la misma, donde el material, sin sufrir extracción ni molienda, toma forma de láminas delgadas que favorecen la difusión.



La semilla laminada circula por una cinta transportadora, donde queda sometida a un rociado intenso del disolvente. La solución obtenida de aceite-solvente, denominada micela, es enviada a destilación para separar el aceite del solvente. A su vez la materia prima agotada se seca y tuesta para recuperar el resto del solvente.

El disolvente usado es hexano, siendo este el más inofensivo para la salud y el que produce aceite más puros.

El subproducto de esta extracción es la harina, con no más de 1-2 % de aceite. Por prensado de las harinas se obtienen los pellets.

- *Sistema combinado.*

Se hace una primera extracción utilizando el método por presión continua y luego una segunda extracción con solvente. En el país cuando se usa solvente, se hace en forma combinada, siendo poco común el uso exclusivo del método por solvente.

- *Refinado:* la finalidad de la misma es la eliminación de impurezas, tales como ácido grasos libres, sustancias proteicas, resinas, algunas aminos estables, carbohidratos y fosfátidos.

Las operaciones son:

- Neutralizado: para reducir el grado de acidez de los aceites.
- Decoloración o blanqueado: para la obtención de un aceite claro, límpido y brillante.
- Desodorización: se eliminan del aceite las sustancias que tienen olores y sabores desagradables.
- Desmargarización: es la eliminación de ciertos lípidos que precipitan a temperatura ambiente, enturbiando el aceite

## **4.2. Biodiésel**

El biodiésel es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo, puede usarse en motores de ciclo diésel, aunque algunos motores requieren modificaciones.

El término biodiésel puede resultar ambiguo, ya que en un principio englobaba varios tipos diferentes de productos cuando son utilizados como combustibles diesel:

- Aceites vegetales.
- Aceites vegetales mezclados con gasóleo en proporciones variables.
- Aceites vegetales mezclados con disolventes: microemulsiones.
- Productos resultantes de la pirólisis de aceites vegetales.
- Ésteres metílicos o etílicos preparados a partir de aceites vegetales o grasas animales.
- Ésteres metílicos o etílicos preparados a partir de aceites vegetales o grasas animales mezclados con gasóleo en proporciones variables.

Sin embargo, con el creciente énfasis en la producción y desarrollo de ésteres metílicos y etílicos, como combustibles diesel, el término biodiésel se refiere, cada vez más, a los ésteres metílicos o etílicos obtenidos por transesterificación de aceites vegetales y de grasas de animales. En cuanto a las mezclas de éstos con gasóleo, es preferible, para evitar ambigüedades, no incluirlas en el término de biodiésel y referirse a ellas simplemente como mezclas de biodiésel con gasóleo y señalar en qué proporción.

Una terminología usada de bastante utilidad consiste en nombrar a la mezcla con una B (de biodiesel) seguida de la proporción de biodiésel en la mezcla. Así, por ejemplo, la mezcla B20 estaría formada por un 20 % de biodiésel y un 80 % de combustible diesel.

Además, hay que resaltar la definición de biodiésel propuesta por las especificaciones ASTM, que describe el biodiésel como: Ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasa de animales, y que se emplea en los motores de ignición de compresión (motores diesel) o en calderas de calefacción.

Esta definición incluye, además de los ésteres metílicos o etílicos, otros ésteres de monoalcoholes como los ésteres isopropílicos, butílicos etc. Sin embargo, como ya se ha señalado, los ésteres de metanol y etanol son los más comunes, especialmente, los de metanol, debido a su bajo coste y a sus ventajas físicas y químicas: molécula polar y alcohol de cadena corta.

- Características de los ésteres metílicos del aceite de colza como combustibles
- La densidad de los ésteres metílicos de colza es bastante próxima a la de los combustibles fósiles e inferior a la del aceite vegetal.
- El valor de la viscosidad de los ésteres es bastante próximo al del gasóleo y muy inferior al del aceite de colza. La viscosidad elevada del aceite es responsable de numerosos problemas: combustión incompleta, mala atomización del combustible en los inyectores, deposición de partículas, aumento de las emisiones de CO e hidrocarburos, etc.

- El índice de cetano de los ésteres mejora. Un índice de cetano alto supone una combustión adecuada y, por tanto, un aumento del rendimiento y una disminución de la contaminación de los gases de salida.
- Los ésteres tienen un calor de combustión ligeramente inferior al del gasóleo, por lo que su utilización presenta un consumo mayor. No obstante, esta situación sólo se presenta si se utilizan ésteres metílicos puros o en mezclas con gasóleo superiores al 30%.
- El punto de inflamación de los ésteres es más alto que el de los combustibles minerales, por lo que presenta un mejor comportamiento respecto a la seguridad.
- No se detectan cantidades de azufre significativas en el aceite de colza y sus ésteres metílicos, por lo que no se producirán óxidos de azufre en la combustión.
- El residuo carbonoso de los ésteres es significativamente menor que en los combustibles minerales, por tanto, la formación de partículas será también menor.
- En general, los ésteres presentan un buen comportamiento a bajas temperaturas, ligeramente superiores a la especificación de los gasóleos en invierno.
- Además de las propiedades señaladas, el biodiésel debe cumplir otras especificaciones relacionadas con su origen vegetal y su proceso de fabricación. Entre éstas destacan acidez, contenido en metanol y glicerina, contenido en monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos, contenido en fósforo e índice de yodo.

### ***4.3. Procesos para la obtención de biodiésel.***

Son cuatro las metodologías que se han estudiado más extensamente para la producción de biodiésel. Éstas son las siguientes:

- A. Uso directo y mezcla de aceites vegetales con gasoil
- B. Microemulsión
- C. Pirólisis
- D. Transesterificación

#### ***A. Uso directo y mezcla de aceites vegetales con gasoil***

Esta técnica consiste en usar directamente aceites vegetales como combustible o bien una dilución del aceite vegetal con diesel mineral.

La técnica del uso directo de aceites vegetales presenta ventajas tales como una gran disponibilidad mundial y un alto poder calorífico además de ser un recurso renovable.

Por otro lado, el uso directo de aceite vegetal como combustible presenta problemas, como su elevada viscosidad. Esto genera depósitos de carbón en los motores, contaminación del aceite lubricante y disminución de la vida de los motores.

Para evitar estos problemas se opta por la mezcla de aceite vegetal con diesel, pero según los resultados obtenidos no es recomendable su uso para largos periodos de operación en motores diesel de inyección directa, ya que se produce problemas como depósitos de carbón, contaminación del aceite lubricante del motor y formación de goma debido a la oxidación y polimerización durante el almacenamiento y combustión.

### ***B. Microemulsiones.***

Para solucionar el problema de la alta viscosidad de aceites vegetales, se ha estudiado las microemulsiones de aceites con disolventes como el metanol, etanol y 1- butanol al que se le añade un agente surfactante. Los tensoactivos o surfactantes son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases, (p.ej. dos líquidos insolubles uno en otro).

Una microemulsión está definida como una dispersión de equilibrio coloidal de fluidos inmiscibles que contienen microestructuras. Las microemulsiones pueden ser iónicas o no-iónicas según el surfactante empleado.

El alcohol utilizado en esta técnica preferentemente es el metanol por su disponibilidad y ventaja económica con respecto a otros alcoholes. Se observó que esta microemulsión obtenida producía un menor desgaste del motor que el diesel convencional, pero provocaba, entre otros aspectos desfavorables grandes depósitos de carbón, laca en la punta de los inyectores, una combustión incompleta y muchas veces la viscosidad de dicha microemulsión no cumplía con los límites exigidos.

### ***C. Pirólisis.***

Otro proceso que se puede aplicar a los aceites vegetales para mejorar sus cualidades como combustible es la pirólisis química. Este método, consiste en la conversión de una sustancia en otra por aplicación de calor en ausencia de oxígeno

Utilizado en los años 40 para producir productos combustibles a partir de grasas y aceites, ha sido estudiado en aceites de palma, soja y colza. Como productos de pirólisis se obtienen olefinas, parafinas, una mezcla de esterres insaturados, CO, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>.

Se obtienen productos que son químicamente similares a la gasolina derivada del petróleo, sin embargo, este método presenta los inconvenientes de que el equipamiento es caro y de que se producen productos secundarios de escaso valor, además este método al tratarse de un combustible en ausencia de oxígeno afecta al medio ambiente en mayor medida que el uso de un combustible oxigenado.

#### ***D. Transesterificación.***

La manera más común de producir biodiésel es mediante transesterificación, que se refiere a una reacción química catalizada en la que interviene aceite vegetal y una alcohol para producir ésteres de alquilo de ácidos grasos (biodiesel) y glicerina.

Los alcoholes utilizados en este proceso son monohídricos y tienen 1±8 átomos de carbono. Entre los alcoholes que pueden ser usados en la transesterificación se encuentran el metanol, etanol, propanol y butanol. El metanol y etanol son usados con mayor frecuencia, sobre todo el metanol debido a su bajo coste y ventajas físicas y químicas. En general se usan excesos del alcohol para disminuir la reversibilidad de la reacción y favorecer el equilibrio termodinámico de la ecuación hacia los productos.

Las reacciones de transesterificación (también llamada alcoholisis) pueden ser llevadas a cabo por medio de la adición de diferentes tipos de catalizadores, homogéneos (alcalinos y ácidos) o heterogéneos (por enzimas). Los dos primeros tipos se han estudiado más extensamente, mientras que los sistemas catalizados por enzimas requieren más investigación por los tiempos tan elevados de reacción.

Los triglicéridos, que son el componente principal del aceite vegetal, consisten en tres cadenas largas de ácidos grasos esterificadas a un esqueleto.

Cuando los triglicéridos reaccionan con un alcohol (como el metanol) las tres cadenas de ácidos grasos se separan del esqueleto y se combinan con el alcohol para dar ésteres de alquilo de los ácidos grasos. La estructura restante se queda como un producto secundario (glicerina).

Se ha desarrollado un proceso alternativo al catalítico que realiza la transesterificación con metanol supercrítico, en ausencia de catalizador y con una mínima producción de efluentes. En estas condiciones, los triglicéridos de naturaleza no polar se pueden disolver con el metanol, formando una única fase mezcla de aceite y alcohol. Los ésteres formados son básicamente los mismos que se producen en el método convencional con un catalizador básico o ácido, pero el rendimiento es aún mayor.

La velocidad de conversión de los triglicéridos aumenta drásticamente en estado supercrítico, y los ácidos grasos presentes en los aceites o grasas de partida también son convertidos eficientemente en ésteres metílicos. Además, al ser el proceso no-catalítico, la purificación de los productos tras la transesterificación es más sencilla y más tolerante con el ambiente que otros procesos convencionales en los que el catalizador y los productos saponificados deben ser separados posteriormente.

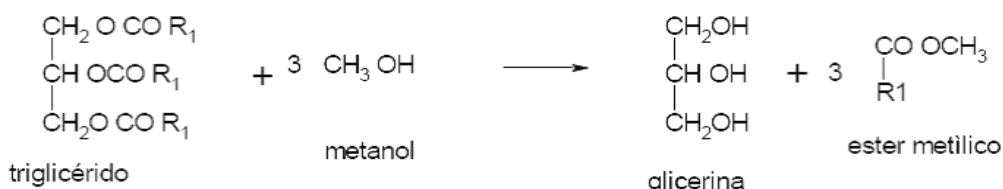
Este proceso se ha empleado altamente para reducir la viscosidad de los triglicéridos, y de este modo, mejorar las propiedades físicas de los combustibles renovables para aumentar el rendimiento de los motores. Por tanto, los ésteres metílicos de los ácidos grasos obtenidos por transesterificación pueden ser usados como un fuel alternativo para los motores diesel. Además de una disminución significativa de las viscosidades de los aceites, se produce una mejora en el proceso de inyección y asegura una correcta atomización del fuel en la cámara de combustión. Además, el efecto de la posible reacción de polimerización es también disminuido.



#### 4.4. Química de la reacción de transesterificación (alcoholisis)

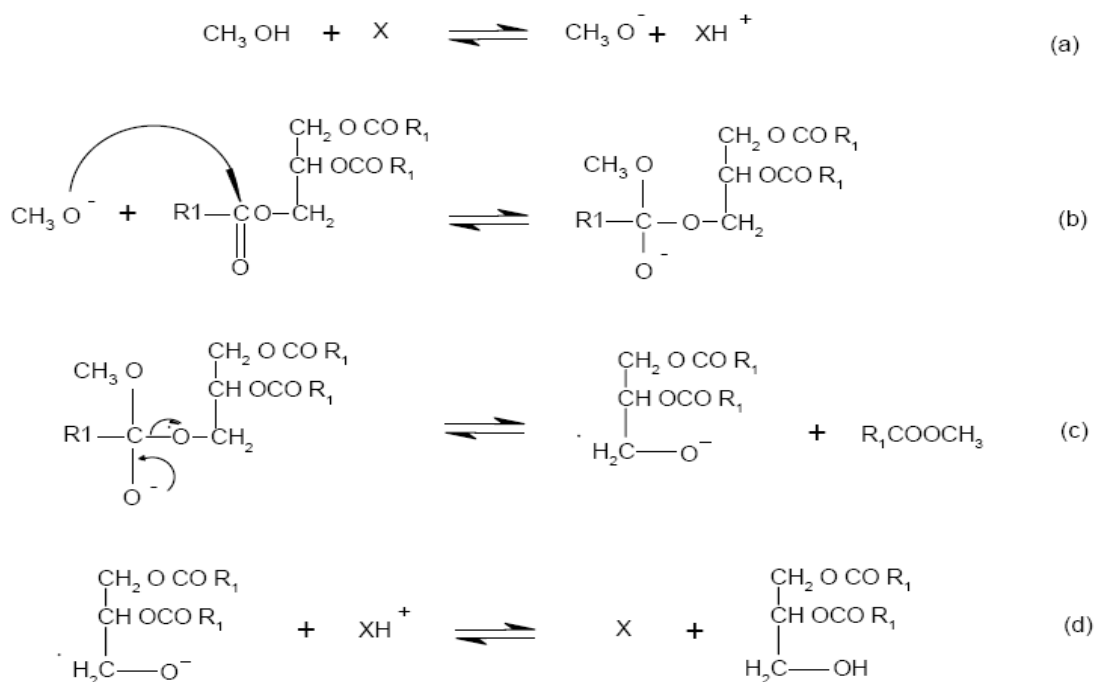
La reacción de transesterificación es una reacción característica de los ésteres, y consecuentemente de los lípidos, en la cual el aceite o las grasas reaccionan con alcoholes u otros esteres con el intercambio de los grupos acilo. Un grupo acilo es un grupo derivado de un oxoácido, por ejemplo en un ácido carboxílico al eliminarse al menos un grupo hidroxilo se obtiene grupos acilo de fórmula general R-CO-.

La reacción de alcoholisis de un triglicérido es:



R1 = Radical alquílico

El mecanismo de reacción es el siguiente:



R1= Radicales alquilo, X = catalizador

- En el paso (a) de la reacción el alcohol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) reacciona con el catalizador básico (X). R1 es el grupo alquilo que forma parte de la cadena del ácido graso del triglicérido.
- En el paso (b) el radical cargado negativamente ( $\text{CH}_3\text{O}^-$ ) reacciona con el doble enlace del grupo carbonilo del triglicérido.
- En el paso (c) se forma una molécula del ester alquílico ( $\text{R1COOCH}_3$ ) – en nuestro caso específico se trata del metilester. En el paso (d) se regenera el catalizador formándose un diglicérido. Los pasos (a) al (d) se repiten hasta la desaparición del triglicérido con la formación del monoalquil ester y glicerina como productos finales.

Para el mecanismo de reacción con metanol supercrítico se propone la reacción de transesterificación dividida en tres pasos: los triglicéridos reaccionan con el metanol para producir diglicéridos, y luego los diglicéridos reaccionan para producir monoglicéridos. Finalmente los monoglicéridos reaccionan con el metanol para obtener los ésteres y glicerina como subproducto.

En cada paso de la reacción, se produce una molécula de metilato por cada molécula de metanol que es consumida.

Según experimentos realizados (anexo 4) en donde se han tomado muestras de aceite de colza tratadas con varias relaciones molares con metanol en condiciones supercríticas, se han analizado por cromatogramas HPLC y se ha observado la existencia de picos intensos que describen la presencia de compuestos metílicos esterificados.

#### 4.5. Tipos de transesterificación

Se comenta las características generales y sus correspondientes ventajas e inconvenientes de los tipos de transesterificación enumerados anteriormente.

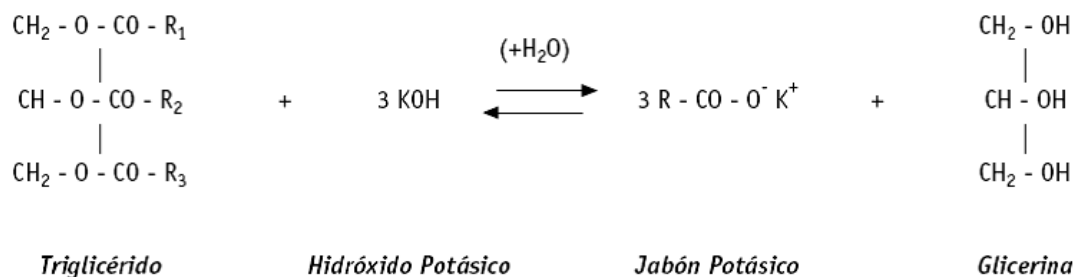
##### 4.5.1. Transesterificación en medio básico

Los catalizadores utilizados en la transesterificación básico son generalmente hidróxidos alcalinos y alcóxidos alcalinos.

En general, la transesterificación catalizada por álcalis es mucho más rápida que la catalizada por ácidos y es la que se suele utilizar a escala comercial. Sin embargo, la utilización de álcalis implica que los glicéridos y el alcohol deben ser sustancialmente anhidros, ya que el agua hace que la reacción cambie parcialmente hacia una saponificación, la cual produce jabones. Además, para la utilización de álcalis se requiere que los triglicéridos tengan una baja proporción de ácidos grasos libres y se evite así su neutralización que conduce también a la formación de jabones, por lo que será necesaria una unidad de pretratamiento para la reducción de los ácidos grasos libres.

La formación de jabones consume parcialmente el catalizador y disminuye sensiblemente el rendimiento del proceso.

- Reacción de saponificación



- Reacción de neutralización

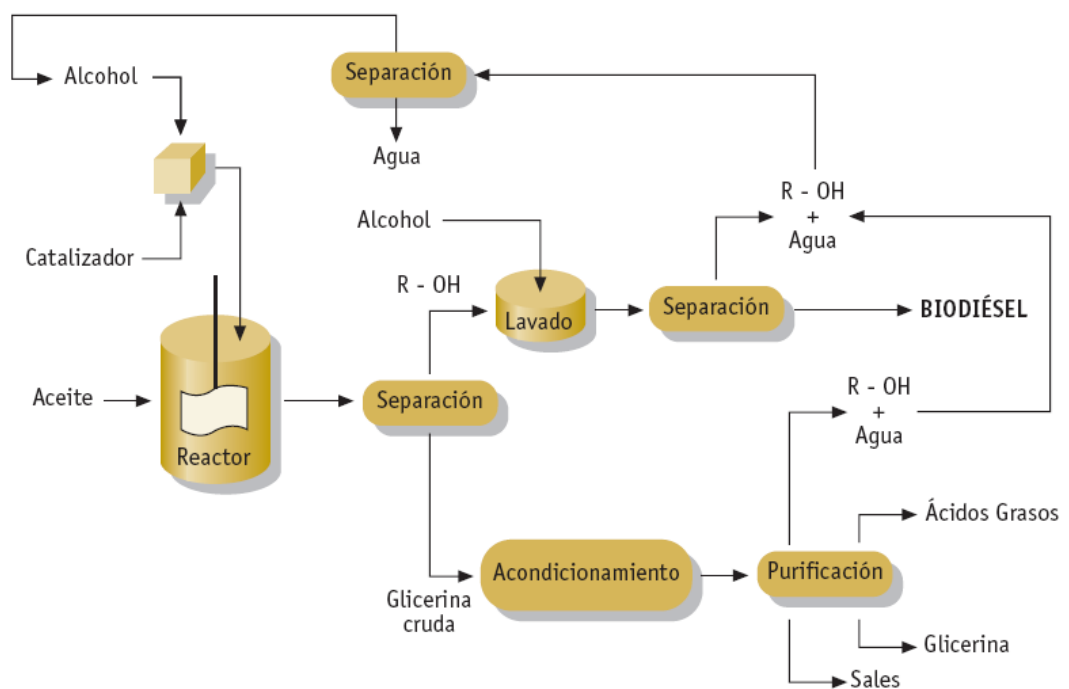
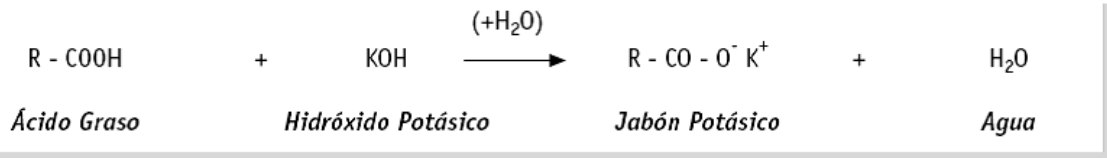


Fig 4.1 Proceso de catálisis básica

#### 4.5.2. Transesterificación en medio ácido

Los ácidos usados como catalizadores en este tipo de transesterificación son el sulfúrico, fosfórico, clorhídrico y ácidos orgánicos sulfónicos. Aunque la transesterificación por catálisis ácida es mucho más lenta que por catálisis alcalina, es más aconsejable para aceites que tienen un alto contenido en ácidos grasos libres y mayor contenido en humedad por lo que el pretratamiento requerido en el proceso alcalino no será necesario en este caso.

Por otro lado, esta técnica tiene como desventaja la necesidad de utilización de acero inoxidable en las unidades de equipo y, por tanto, mayor inversión en materiales de construcción.

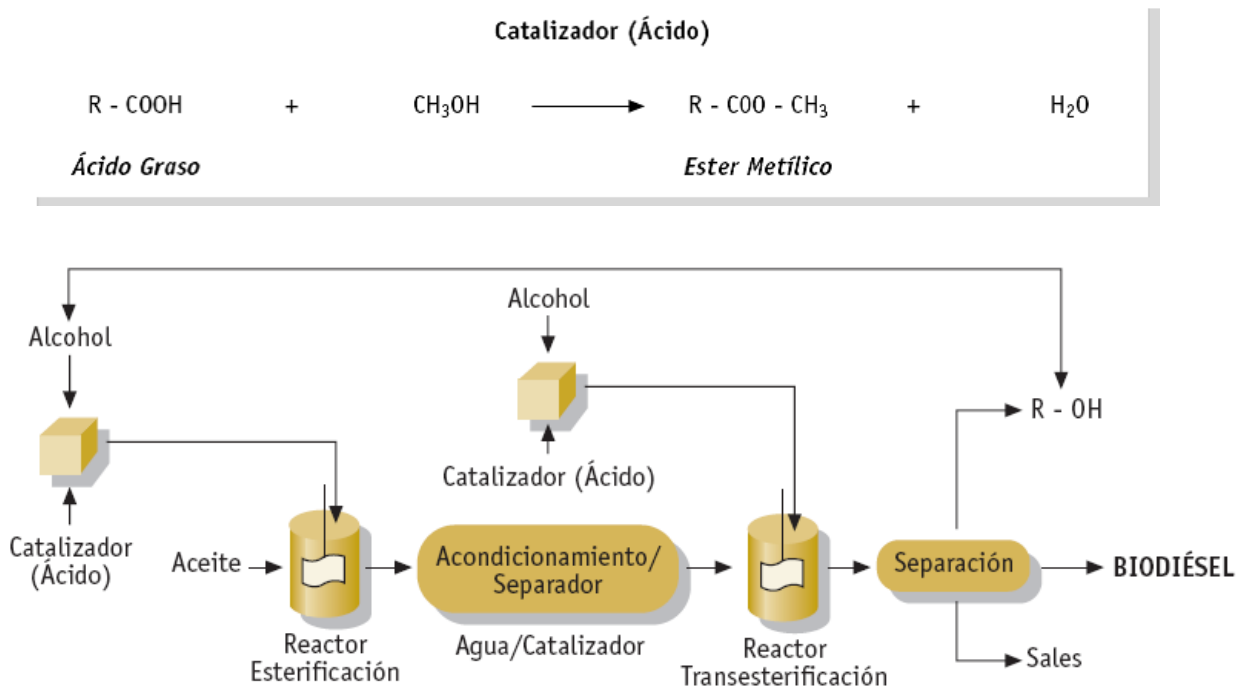


Fig 4.2 Proceso de catálisis ácida

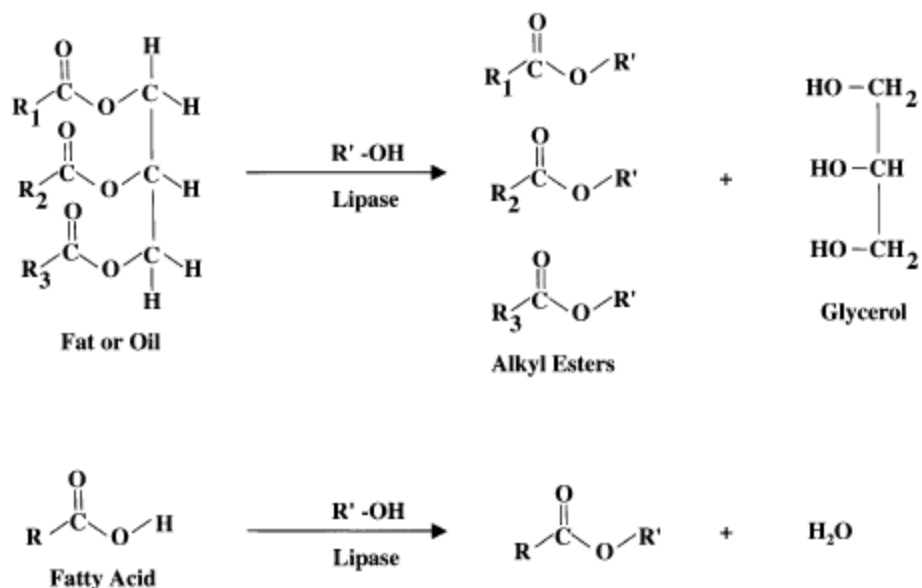
#### 4.5.3. Transesterificación enzimática. Inmovilización de lipasas.

Las enzimas son catalizadores promisorios dadas sus condiciones de proceso (presión, temperatura, tiempo), su buena conversión y selectividad.

La aplicación conveniente de los biocatalizadores usualmente impone su utilización después de ser inmovilizados en un soporte trasladándolos al campo de la catálisis heterogénea.

La enzima inmovilizada permite incrementar la estabilidad, la reutilización, la operación continua, y la posibilidad de mejor control de las reacciones. Por ende, se pueden esperar factores económicos favorables. Las lipasas han sido

inmovilizadas por diferentes métodos: adsorción, entrecruzamiento, unión covalente y atrapamiento físico utilizando como soporte diferentes materiales orgánicos e inorgánicos. Los productos obtenidos mediante catálisis enzimática tienden a ser más puros que los que se obtienen por medios químicos alternativos, dado que la catálisis química tiende a ser no específica y por lo tanto genera varios subproductos. Por lo tanto, el uso de lipasas para realizar la esterificación alivia la necesidad de una variedad amplia de procesos complejos de separación en la post-reacción y conlleva a una disminución de costos totales de operación. Sin embargo, las reacciones catalizadas por lipasas tienen una inconveniencia asociada importante: las conversiones son relativamente bajas en comparación con procesos químicos tradicionales, si se emplean las preparaciones enzimáticas comerciales crudas. Estas bajas productividades volumétricas pueden conducir a productos menos puros que los obtenidos por síntesis química y tal desventaja se puede entonces juntar con la inhibición del catalizador biológico por los productos y/o los sustratos y de la desactivación térmica del biocatalizador.



#### 4.5.4. Transesterificación con metanol supercrítico

Existe un tipo especial de transesterificación llevada a cabo por medio de fluidos en condiciones supercríticas. Esta tecnología consiste en llevar a cabo una alcoholisis sin la presencia de catalizador, utilizando metanol supercrítico. La relación molar necesaria para que la reacción entre metanol y aceite sea óptima es de 42:1.

Se presuriza el aceite hasta 45MPa y se trata varios minutos con metanol supercrítico a ésta misma presión, obteniéndose así ésteres metílicos. En estas condiciones, los triglicéridos de naturaleza no polar se pueden disolver con el metanol, formando una única fase mezcla de aceite y alcohol. El rendimiento con este proceso es mayor que con un proceso convencional.

La velocidad de conversión de los triglicéridos aumenta drásticamente en estado supercrítico, y los ácidos grasos presentes en los aceites iniciales son convertidos eficientemente en ésteres metílicos. Además, al ser el proceso no-catalítico, la purificación de los productos tras la transesterificación es más sencilla.

En anexo 4 “ Cinética de la reacción de transesterificación” se explica con detalle más características de este tipo de transesterificación.

#### 4.5.4.1. Fluidos supercríticos.

En 1869 thomas Andrew (1813-1885) realizó un estudio sistemático del equilibrio de fases del dióxido de carbono. Sus experimentos demostraron que la zona de equilibrio líquido-vapor disminuye a medida que aumenta la presión hasta que ambas se encuentran en un punto característico de cada sustancia, denominado punto crítico.

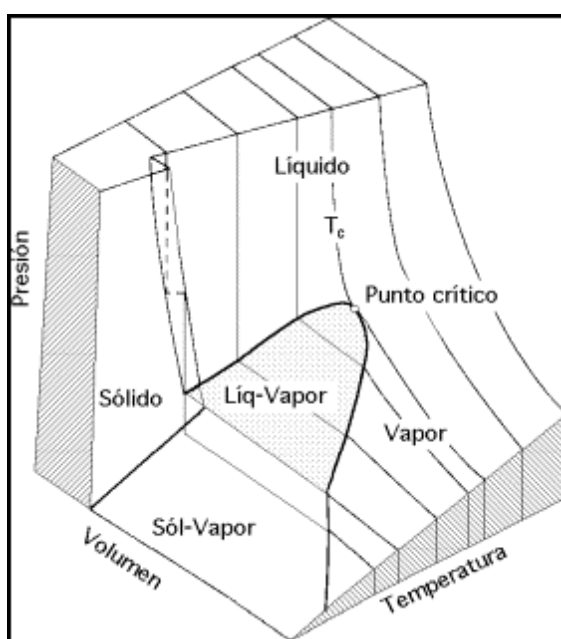


Fig 4.3 Superficie PVT de una sustancia pura.

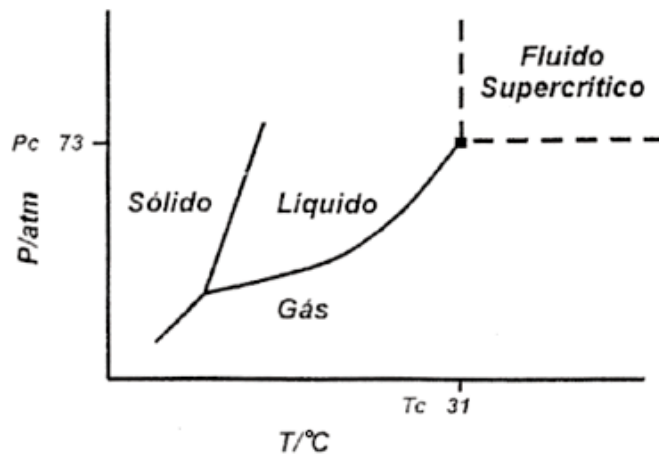
La Fig 4.3 es la representación gráfica de todos los estados de equilibrio posibles de una sustancia pura. En ella se distinguen zonas de una única fase – sólida, líquida y gaseosa – zonas donde coexisten dos fases en equilibrio y la línea triple donde las tres fases se encuentran en equilibrio a una única presión y temperatura. El punto crítico es definido por su temperatura  $T_c$ , presión  $p_c$  y volumen específico  $V_c$ . La temperatura crítica y presión crítica para algunos alcoholes se encuentran en la siguiente tabla.



| Alcohol    | Critical temperature, °C | Critical pressure, MPa |
|------------|--------------------------|------------------------|
| Methanol   | 239                      | 8.09                   |
| Ethanol    | 243                      | 6.38                   |
| 1-Propanol | 264                      | 5.06                   |
| 1-Buthanol | 287                      | 4.90                   |
| 1-Octanol  | 385                      | 2.86                   |

**Tabla 6.** Parámetros críticos de algunos alcoholes.

Los fluidos que se encuentran en estados por encima del punto crítico exhiben comportamientos y propiedades físicas diferentes de aquellas que se encuentran en estado sólido, líquido o gas y se denominan supercríticos (SCFs), es decir un fluido puro se considera en estado supercrítico cuando su presión y su temperatura son superiores a los respectivos valores en su punto crítico y su densidad aproximada o mayor que su densidad crítica.



**Fig 4.4** Diagrama de fases de un componente puro

Los fluidos supercríticos exhiben propiedades intermedias entre las propiedades de los gases y de los líquidos. Densidades similares a la de los líquidos y las propiedades de transporte se aproximan más a las gases

|  | <b>Gas</b>                 | <b>Fluido supercrítico</b>         | <b>Líquido</b>             |
|--|----------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )                    | (0,6-2) x 10 <sup>-3</sup> | 0,2-0,5                            | 0,6-2                      |
| Coefficiente de difusión (cm <sup>2</sup> /s)    | (1-4) x 10 <sup>-1</sup>   | 10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-4</sup> | (0,2-2) x 10 <sup>-5</sup> |
| Viscosidad (g cm <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) | (1-3) x 10 <sup>-4</sup>   | (1-3) x 10 <sup>-4</sup>           | (0,2-3) x 10 <sup>-2</sup> |

**Tabla 7.** Propiedades físicas medias de gases, fluidos supercríticos y líquidos

El metanol supercrítico presenta características importantes como puede ser su alta densidad similar a la densidad de la fase líquida. La baja viscosidad y difusividad comparándola con alcohol líquido, estas características del alcohol supercrítico son parámetros importantes para crear un buen contacto entre el alcohol y el aceite.

Hay un gran número de ventajas asociadas al uso de FSC (fluidos supercríticos), toda sellas asociadas con las propiedades únicas de los fluidos FSC, como su alta difusibilidad, baja viscosidad, y densidad intermedia hacen de los FSC sean particularmente útiles para procesos en flujo continuo, procesos ideales desde un punto de vista industrial.

#### **4.6. Selección del proceso de producción.**

De los métodos disponibles para la producción de biodiesel, la transesterificación de aceites vegetales es actualmente la opción más acertada. El objetivo del proceso es bajar la alta viscosidad del aceite, para ser usado directamente como combustible. Con las técnicas de mezclado de aceites y la microemulsión se consigue una disminución de la viscosidad pero no se solucionan problemas relacionados con el funcionamiento del motor, como el depósito de carbón y la contaminación de aceite lubricante.

Por estos motivos se opta por la técnica de transesterificación para la producción de biodiesel.

#### 4.6.1 Elección del método de transesterificación

Se ha desarrollado un último proceso de transesterificación novedoso y alternativo a los catalíticos. El proceso comprende la transesterificación con metanol supercrítico, en ausencia de cualquier catalizador. A altas temperaturas, el metanol está en un estado supercrítico ( $T_c=240^\circ\text{C}$ ) y forma una fase homogénea con la fase de aceite, esto no ocurre en los procesos catalíticos convencionales, en cierto caso se puede lograr pero dando conversiones de reacción muy bajas.

La transesterificación con metanol supercrítico tiene las siguientes ventajas:

- No necesita de la pre-neutralización de los ácidos grasos libres de la alimentación ya que éstos y los glicéridos reaccionan con velocidades equivalentes en condiciones supercríticas.
- La fase homogénea elimina problemas difusos
- El proceso tolera grandes porcentajes de agua en el sistema
- El proceso tolera grandes porcentajes de agua en la alimentación a diferencia de los procesos catalíticos que requieren de la eliminación del agua en la alimentación y en etapas intermedias para prevenir la desactivación del catalizador y reacciones de saponificación.
- Se eliminan etapas de proceso para remover el catalizador.

- Si se emplean altas relaciones metanol/aceite, puede alcanzarse la conversión total de la alimentación en pocos minutos

Sin embargo, este nuevo proceso presenta también algunas desventajas:

- Trabaja a muy altas presiones
- Las altas temperaturas involucran altos costos de calentamiento y enfriamiento.
- Altas relaciones metanol:aceite involucran altos costos de evaporación del metanol no reaccionado.

No obstante, teniendo en cuenta que todas las posibilidades de transesterificación vistas anteriormente, sabiendo que todas tienen sus ventajas e inconvenientes, optamos por la transesterificación supercrítica por ser una técnica novedosa y en actual desarrollo para la producción de biodiesel. El posible aumento en los costes que supone esta técnica será mitigado con la posterior comercialización de la glicerina obtenida en el proceso con un 98% de pureza por lo que no requiere de etapas posteriores de purificación.

#### **4.7. Modos de operación.**

Hay diferentes modos de operación en la planta, todos los modos de operación pueden considerarse viables, ya que existen instalaciones en funcionamiento que siguen los dos modelos y que así lo demuestran, generalmente la elección dependerá de aspectos como:

- Escala prevista de producción.
- Características de la materia prima.
- Nivel de exigencia en cuanto al control de calidad de productos.
- Coste de inmovilizado inicial y costes de operación.

En el mercado están disponibles tres tecnologías para realizar ambos procesos: lote, semicontinuo y continuo.

➤ Proceso por lotes (batch):

Los volúmenes de producción son pequeños, menores a 10m<sup>3</sup>/día.

Difiere del continuo en que se utilizan diferentes fases tanto de dosificación como de mezcla, transvases de los productos a lo largo del recorrido de la cadena de proceso y siempre bajo la vigilancia de un operario y al final, el resultado es el mismo.

A diferencia de las plantas continuas, en este proceso discontinuo, si aparecieran jabones durante la transesterificación, sería muy fácil eliminarlos por lavado ya que el reactor de lavado y secado de la planta permite esta operación.

- Ventajas

- Tiene gran flexibilidad para la realización de ajustes, cuando se presentan variaciones de materia prima o de condiciones de proceso.
- La tecnología requerida para este tipo de procesamiento es de fácil adquisición, operación y mantenimiento.
- Permite el manejo de producciones de Biodiésel en cantidades pequeñas.

- Inconvenientes

- Los tiempos de producción son grandes.
- Hay dificultades para garantizar uniformidad de la calidad del combustible entre diferentes lotes.

- Hay una gran dificultad para evitar la presencia de contaminantes y productos intermedios (TG, DG y TG) en el producto final.

- Este tipo de procesos tiene elevados requerimientos de espacio.

- No es viable técnicamente ni económicamente para producciones a gran escala.

➤ Proceso semicontinuo.

Es una variante del proceso batch, se utiliza para producciones entre 10 y 40 m<sup>3</sup>/ día. Se trata de varios equipos en serie para realizar tanto la reacción y la decantación como el lavado. El producto intermedio debe ser trasladado a cada uno de estos equipos.

➤ Proceso continuo.

Se utiliza para grandes volúmenes de producción, mayores a 40 m<sup>3</sup>/día.

- Ventajas

- Flujo permanente de materia prima no existen pérdidas de tiempo, ni de calor.

- Menor costo de mano de obra

- Disponibilidad de espacios limitado

- Mayor capacidad de producción

- Mayor control de calidad del producto final

- Inconvenientes

- Mayor costo de inversión inicial

- No permite ajustes al variar las condiciones de materia prima

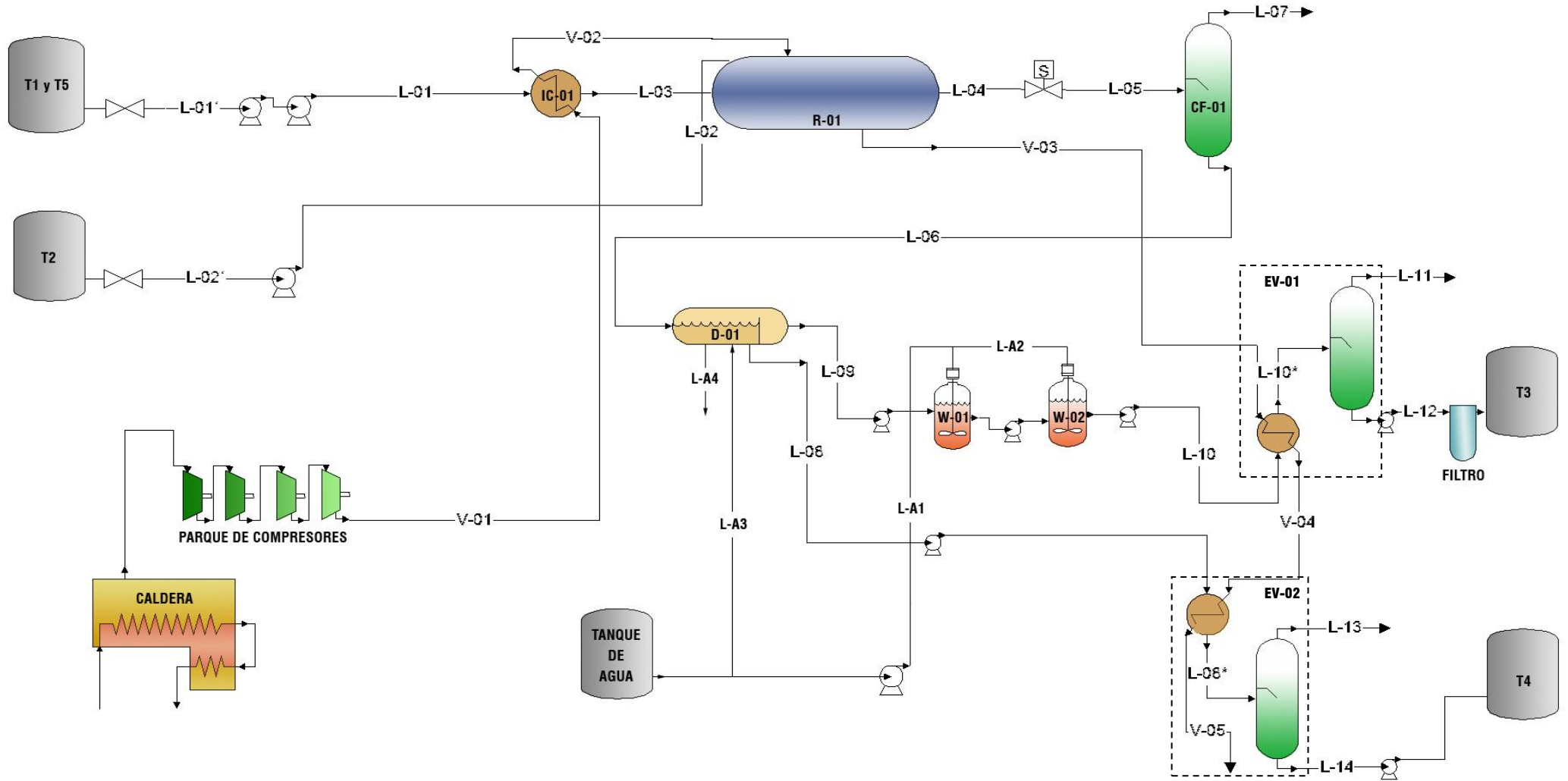
A pesar de que la producción es baja, se va a trabajar en continuo, y la base fundamental de la elección son las ventajas que tiene el trabajar con esta tecnología, es decir, con la transesterificación supercrítica trabajando en continuo, se ven subsanadas muchas de las dificultades del proceso discontinuo, tales como:

- Los tiempos de producción son pequeños.
- Se obtiene uniformidad en las características del combustible.
- Se evita la presencia de compuestos intermedios.
- No requiere de grandes espacios.
- Al utilizar esta tecnología no es necesario la discontinuidad en el proceso para solucionar problemas de formación de jabones.
- Sumando a esto todas las ventajas del proceso en continuo.

#### ***4.8. Descripción de la planta.***

Se hace una breve descripción de los principales equipos que se encuentran en la planta, sus principios de funcionamiento y su objetivo o finalidad dentro de esta planta. Para tener una idea del proceso se presenta en primer lugar el diagrama de flujo.

### 4.8.1. Diagrama de flujo.





#### **4.8.2. Almacenamiento de las materias primas.**

Las materias primas necesarias para la producción de biodiésel a partir de la tecnología descrita anteriormente son: metanol y aceite de colza. Estos productos se van a disponer en depósitos o en tanques separados de la nave de fabricación para ser incorporados al proceso.

El procedimiento que se aplica para la producción de biodiésel admite cualquier tipo de aceite, por tanto para dar mayor versatilidad en el anexo 5 se plantea una ampliación de la planta en donde se dispone de una serie de tanques para tratar aceites usados, éstos al contener impurezas se almacenarán en tanques distintos, es decir, en tanques de sedimentación. Ver anexo 5.

#### **4.8.3. Almacenamiento del aceite de colza (T2)**

A este tanque llega el aceite de colza limpio. Dispone de las proporciones apropiadas para la capacidad de producción diaria de la planta. Se trata de un tanque cilíndrico a presión atmosférica soportado por patas.

#### **4.8.4. Almacenamiento de metanol (T1 y T5)**

Este tanque cumple las normas y especificaciones que se exigen para el almacenamiento de productos líquidos inflamables. Así bien, el tanque se encuentra rodeado por un cubeto de retención, el cual por norma tendrá las dimensiones adecuadas para albergar todo el contenido del tanque. Al igual que el tanque de aceite opera a presión atmosférica.

#### **4.8.5. Reactor de Transesterificación Supercrítico. (R-01)**

Esta es la etapa central y determinante del proceso, y a partir de su diseño quedarán definidas el resto de etapas del proceso.

Un reactor químico es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleve a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad está constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida para sustancias químicas.

Los reactores químicos tienen como funciones principales:

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias y con el catalizador, para conseguir la extensión deseada de la reacción.
- Permitir condiciones de presión, temperatura y composición de modo que la reacción tenga lugar en el grado y a la velocidad deseada, atendiendo a los aspectos termodinámicos y cinéticos de la reacción.

Existen tres tipos de reactores ideales para reacciones homogéneas con un solo fluido reaccionante: reactor discontinuo (flujo no estacionario), reactor de flujo pistón (flujo estacionario) y reactor de mezcla completa (flujo estacionario)

El reactor seleccionado para llevar a cabo esta reacción es un reactor tubular de flujo estacionario, cuya característica principal es la completa uniformidad de temperatura, composición y presión a lo largo de todo el reactor <sup>II,III</sup>.

El reactor está constituido por dos partes, una primera parte está formada por una zona de mezclado de la corriente de metanol supercrítico (L-01) y la corriente de aceite de colza (L-02) [Zona 1], y una segunda parte donde se suministra calor (V-01) a la reacción para que se lleve a cabo la reacción en condiciones isotérmicas y poder alcanzar una mayor conversión de reacción.[Zona 2]

Para que se lleve a cabo dicha reacción y en las condiciones óptimas, se tienen 7 haces de tubos dispuesto de forma circular y de un solo paso, todos los tubos envueltos por una coraza, por ésta circula una corriente de vapor para mantener la temperatura en el reactor constante, (370°C y 45MPa.) [I, III,VI]

Este reactor requiere un diseño específico y tiene una complejidad elevada ya que implica tener un alto conocimiento de mecánica, hay que tener en cuenta factores como la dilatación del haz de tubos y de la carcasa a causa de las altas temperaturas, las altas tensiones circunferenciales en los tubos, carcasa y cabezales debidos a las presión, la soldadura de los tubos y desviadores, el espesor y la resistencia de éstos últimos, la resistencia también de los desviadores ante el flujo y el peligro de acoplamiento por las vibraciones, que puede resultar en la rotura del cambiador, los cálculos de sustentación etc. Esto requiere el trabajo conjunto de ingenieros mecánicos y químicos siendo incluso en si mismo objeto de un proyecto aparte.

Algunas casas comerciales, sugieren la posibilidad de construir dicho equipo específicamente para esta aplicación, pero por supuesto para realizar nada más un estudio previo, es necesario la realización de un contrato dado el alto coste del equipo y del estudio a realizar, lo cual no es ni remotamente posible desde el punto de vista de un proyecto de fin de carrera.

Visto esta situación en el presente proyecto se intentará hacer un estudio más enfocado a la ingeniería química como puede ser el dimensionamiento, transmisión de calor, pérdidas de carga, modelo de flujo etc.)

#### **4.8.6. Intercambiador de Calor IC-01.**

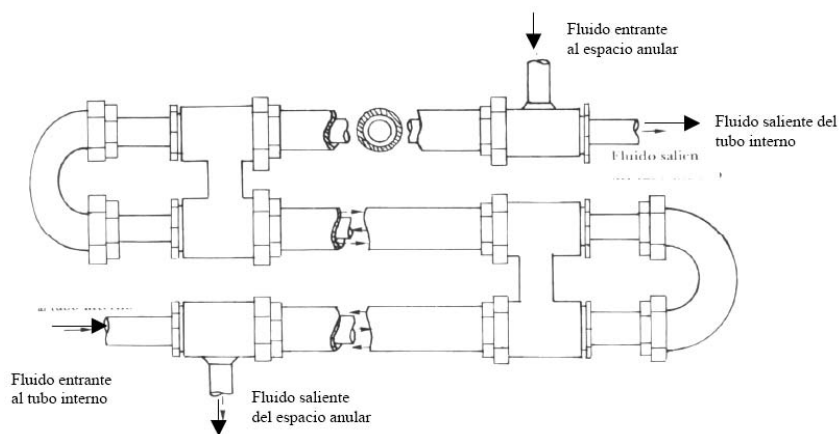
La transferencia de calor es una de las operaciones más importantes que se pueden desarrollar en una planta industrial, ya que si se realiza de manera inadecuada los costes del proceso pueden resultar insostenibles, y por el contrario si se desarrollan de una manera efectiva pueden contribuir con una disminución en los costes por el aprovechamiento de la energía que puede suponer.

Las operaciones de intercambio no sólo incluyen el calentamiento de fluidos, sino también su enfriamiento, incluyendo la condensación de vapores y la solidificación de sólidos fundidos.

Los intercambiadores de calor son dispositivos diseñados para transferir calor de un fluido a otro, sea que estos estén separados por una barrera sólida o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico. La energía en forma de calor se transfiere por medio de una variedad de métodos, que son importantes conocer antes de elegir uno de ellos.

- Cambiadores de doble tubo:

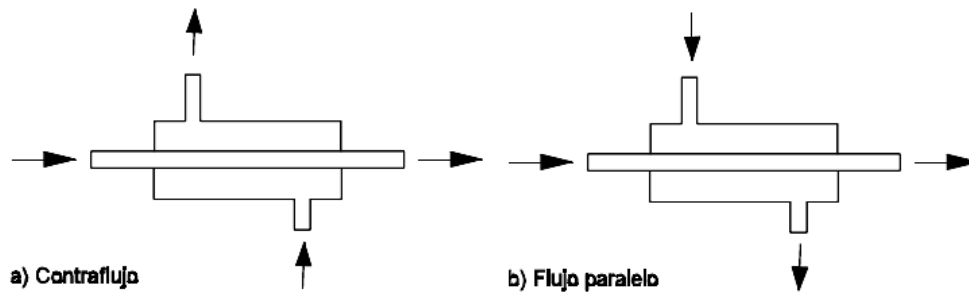
Es el tipo más sencillo de intercambiador de calor. Está constituido por dos tubos concéntricos de diámetros diferentes. Uno de los fluidos fluye por el tubo de menor diámetro y el otro fluido fluye por el espacio anular entre los dos tubos. En este tipo de intercambiador son posibles dos configuraciones en cuanto a la dirección del flujo de los fluidos: contraflujo y flujo paralelo. En la configuración en flujo paralelo los dos fluidos entran por el mismo extremo y fluyen en el mismo sentido. En la configuración en contraflujo los fluidos entran por los extremos opuestos y fluyen en sentidos opuestos.



**FIG 4.5** Intercambiador de doble tubo

En un intercambiador de calor en flujo paralelo la temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente.

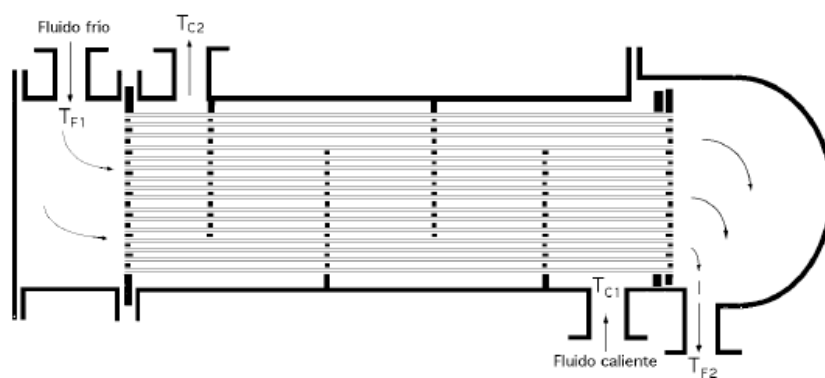
En un intercambiador de calor en contraflujo la temperatura de salida del fluido frío puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente. El caso límite se tiene cuando la temperatura de salida del fluido frío es igual a la temperatura de entrada del fluido caliente. La temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de entrada del fluido caliente.



**FIG 4.6** Dirección del flujo en un intercambiador de doble tubo

- Cambiador de carcasa y tubos:

Es el tipo más común de intercambiador de calor en las aplicaciones industriales. Este tipo de intercambiadores están compuestos por gran cantidad de tubos (a veces varios cientos) contenidos en un casco. Los tubos se disponen con sus ejes paralelos al eje del casco. La transferencia de calor tiene lugar a medida que uno de los fluidos se mueve por el interior de los tubos mientras que el otro se mueve por fuera de éstos, por el casco. Este tipo de intercambiadores se clasifican por el número de pasos por el casco y por el número de pasos por los tubos.

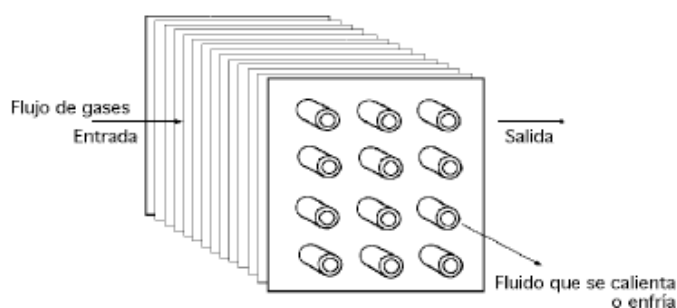


**FIG 4.7** Intercambiador de carcasa y tubos

- Intercambiadores de placas empacadas.

Son intercambiadores diseñados para lograr una gran área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen. La razón entre el área superficial de transferencia de calor y su volumen es la densidad de área  $\beta$ . Un intercambiador con  $\beta > 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$  se clasifica como compacto. Ejemplos de intercambiadores de calor compactos son los radiadores de automóviles, los intercambiadores de calor de cerámica de vidrio de las turbinas de gas, el regenerador del motor Stirling y el pulmón humano.

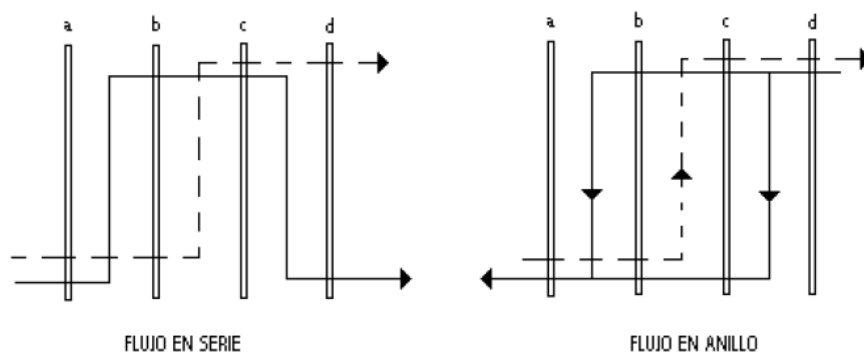
Un cambiador de placas, consiste en varias placas metálicas que sirven como superficies de transferencia de calor y que están montadas sobre un bastidor formado por una barra riel y dos placas gruesas que sirven de extremos al paquete.



**FIG 4.8** Intercambiador de placas empacadas

Las placas, para la mayor parte de las aplicaciones, están construidas de acero inoxidable y se diseñan corrugadas para provocar la turbulencia en los fluidos y romper la película aislante estacionaria de los fluidos que circulan por el equipo. Entre estas placas se ponen juntas de elastómeros sintéticos que separan las placas entre sí, dejando libre el espacio por el que circulan los fluidos.

La eficiencia de la transferencia de calor en estos intercambiadores se debe a la turbulencia que presentan los fluidos a velocidades bajas. Esta turbulencia inducida se produce porque los fluidos fluyen en corrientes de pequeño espesor (3-5 mm) con cambios abruptos en su dirección y velocidad.



La corriente que fluye a través del espacio entre las placas b y c se encuentra en contacto indirecto simultáneamente con dos corrientes adyacentes, es decir con la que fluye entre las placas a y b y la que fluye entre las placas c y d, por lo tanto, cada corriente excepto las dos de los extremos, intercambia calor con dos corrientes. En esta misma figura se observan los dos principales arreglos que existen para los cambiadores de placas:

- a) Flujo en serie. Donde las dos corrientes son continuas y cambian de dirección después de cada paso vertical.
- b) Flujo en anillo. Donde las corrientes se dividen en corrientes menores paralelas y se vuelven a juntar en una corriente de salida.

El intercambiador que se desea diseñar debe soportar unas elevadas condiciones de presión y temperatura, por lo que el intercambiador de doble tubo se presenta como la opción más adecuada. Esto es debido básicamente a las dificultades del diseño de un intercambiador de carcasa y tubos bajo estas condiciones. La gran dificultad que presenta este diseño es el espacio que puede ocupar dicho intercambiador, por lo tanto se tendrá que disponer en tramos en función de la longitud de intercambio necesaria que se obtenga en la memoria de cálculo.



Lo que se pretende en esta unidad es llevar el metanol (L-01') a su estado supercrítico, para ello se utiliza el vapor de agua a una elevada temperatura.

#### **4.8.7. Unidades de Separación.**

Los métodos de separación se basan en diferencias entre las propiedades físicas de los componentes de una mezcla, tales como: punto de ebullición, densidad, presión de vapor, punto de fusión, solubilidad, etc

Las unidades de separación utilizadas en la planta son:

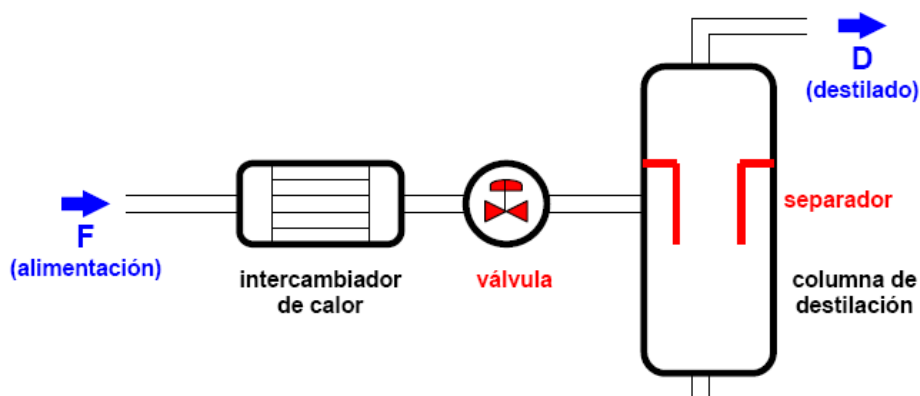
- Columna de destilación flash (CF-01)
- Decantador (D-01)
- Evaporadores (EV-01 y EV-02)
- Tanque de lavado.(W-01 y W-02)
- Filtros

##### *4.8.7.1. Columna de destilación flash ( CF-01)*

La destilación es un proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles.

Sin embargo, la finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura; evaporación y destilación son conceptos distintos en cuanto el objetivo que se persigue aunque se usan mecanismos similares en ambos casos.

El caso concreto de la destilación flash consiste en la vaporización parcial de una alimentación introducida en el destilador a una presión tal que a la temperatura de la alimentación sufre una vaporización instantánea separándose en continuo un líquido y un vapor en equilibrio. Las fracciones líquidas y vapor que resultan al alcanzarse el equilibrio tienen composiciones definidas coincidentes con las composiciones de equilibrio a la temperatura de destilación y presión total de trabajo. La operación puede llevarse a cabo en continuo o en discontinuo



La alimentación (L-05) se calienta en el reactor y luego se expande en forma adiabática a través de la válvula. La vaporización que se produce, a partir de la caída brusca de presión (450bar a 1bar), implica la formación de una mezcla de vapor y líquido que entra en el separador en el que permanece el tiempo suficiente para permitir que se separen las corrientes de vapor y líquido. Debido al gran contacto existente entre el líquido y el vapor antes de su separación, las corrientes que se separan están en equilibrio. El vapor sale a través de la línea L-07 y el líquido a través de la línea L-06.

#### 4.8.7.2. Decantador (D-01)

Muchos métodos de separación mecánica se basan en la sedimentación de las partículas sólidas o gotas de líquido a través de un fluido, impulsadas por la fuerza de gravedad o por la fuerza centrífuga. El fluido puede ser un gas o un líquido; puede estar en movimiento o en reposo.

El objetivo del decantador es la separación de la glicerina, ésteres metílicos y metanol. Estos tres compuestos forman dos fases inmiscibles; una fase pesada y una fase ligera.

- Fase pesada: formada prácticamente por glicerina y metanol.
- Fase ligera: formada por ésteres metílicos y trazas de glicerina y metanol.

El procedimiento de decantación consiste en separar componentes que contienen diferentes fases siempre y cuando exista una diferencia significativa entre las densidades de las fases. <sup>[5]</sup>

Al decantador llega la corriente de cola de la columna flash CF-01, que contiene metilester, glicerina, y metanol; la fases ligera (biodiésel y restos de metanol y glicerina) se envían a los dos tanques de lavado para extraer el metanol y la glicerina y obtener un biodiésel más puro, mientras la fase pesada (glicerina con metanol) se envían directamente hacia un evaporador.

Para dos fases líquidas, al líquido con mayor volumen le llamaremos fase continua, mientras que al líquido con menor volumen se le denominará fase dispersa. Para el caso del decantador que se va a diseñar se asume que la fase dispersa (glicerina) tiene una densidad más alta que la fase continua biodiésel (Esteres metílicos).

### Tipos de sedimentación:

- Sedimentación centrífuga.

Las centrífugas se utilizan para separar partículas finas y pequeñas gotas de líquidos aumentando la velocidad de sedimentación, es decir, La partículas de forma general sedimentan por acción de la gravedad en un fluido dado, a una velocidad máxima constante, para aumentar la velocidad de sedimentación, la fuerza de gravedad que actúa sobre las partículas puede sustituirse por una fuerza centrífuga mucho más intensa. La ecuación del movimiento de una partícula que se desplaza en un fluido bajo la acción de un campo centrífugo, será parecida a la del desplazamiento de una partícula en un campo gravitatorio, exceptuando que la aceleración de la gravedad,  $g$ , debe ser sustituida por la aceleración centrífuga,  $r w^2$ , donde  $r$  es el radio de giro y  $w$  es la velocidad angular.

Una desventaja de este tipo de separador es que un coloide o una emulsión pueden ser completamente estables bajo la acción ordinaria de la gravedad, ya que en estas condiciones las fuerzas de dispersión originadas por el movimiento browniano son mucho mayores que las fuerzas de gravedad. Sin embargo en una centrífuga el coloide o la emulsión pueden destruirse completamente ya que la fuerza centrífuga puede superar los efectos de las fuerzas de dispersión. La relación entre la aceleración centrífuga y la de la gravedad ( $rw^2/g$ ) constituye una medida del poder de separación de una centrífuga. Esta relación puede tener un valor de hasta 10000 (*Coulson y Richarson, 1981*).

- Sedimentación por gravedad.

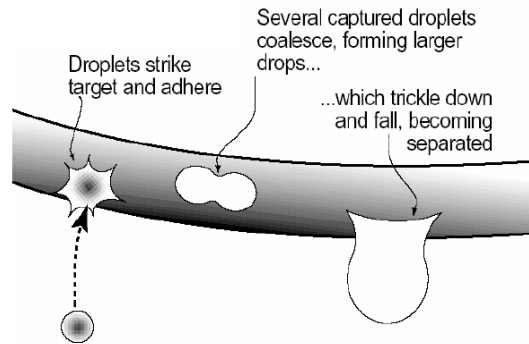
Esta tipo de sedimentación es la opción elegida para evitar posibles emulsiones en el decantador, para aminorar la demanda eléctrica y hacer uso de un método práctico y muy sencillo de buenos resultados.

Las partículas más pesadas en el fluido en el que están suspendidas pueden separarse de un gas o un líquido en un tanque de sedimentación grande, donde la velocidad de fluido es baja y las partículas tienen tiempo suficiente para sedimentar

D-01 es una unidad de separación que consiste en un gran recinto cilíndrico, diseñado para que se separen dos fases líquidas inmiscibles, operando en continuo, para ello es necesario que se diseñe el decantador con las dimensiones necesarias para albergar las dos fases y que estas se logren separar en un tiempo de decantación de 12 horas. Este tiempo es el tiempo recomendado para que se alcance la completa separación entre la glicerina y el biodiesel.<sup>D</sup>

Hay dos características típicas que pueden ser observadas, para la separación por gravedad de dos dispersiones de fase. La sedimentación y la coalescencia (Nadiv y 1995 Semiat).<sup>IX</sup>

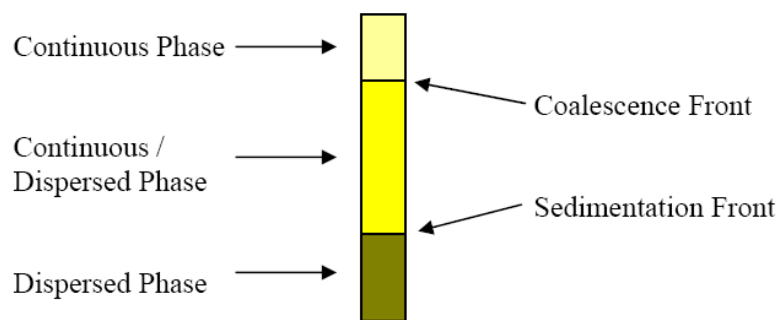
La coalescencia se desarrolla cuando se produce un frente o línea de fusión entre la fase pura continua y la fase mixta (continua/dispersa). Esto por lo general ocurre porque hay un número grande de gotas de fase dispersa que fracasan en la dispersión líquido-líquido y se quedan entre la fase continua pura y la fase dispersa. Cuando el número de estas gotas es bastante grande, cada gota comienza a interactuar unas con otras formando la línea de coalescencia. Las gotas por lo general se van combinando entre ellas hasta que son lo bastante grandes para liberarse de la línea de coalescencia y seguir depositándose en el inferior del decantador. Este frente se mueve hacia abajo con el tiempo a medida que las gotas se van uniendo y cayendo.



**FIG 4.5** Separación de las gotas de la línea de coalescencia

A medida que las gotas de la fase dispersa van cayendo, comienzan a formar una masa grande en el fondo del tanque de decantación.

El frente o línea de sedimentación separa la fase pura dispersa y la fase mixta. Las gotas que alcanzan la línea de sedimentación pueden ser generadas de dos modos. Las gotas pueden ser creadas por el frente de coalescencia, como se ha descrito antes, o ella simplemente puede formarse por las gotas de la fase dispersa que caen si ocurrir la unión.



**FIG 4.6** Separación de las gotas de la línea de coalescencia.

En las dispersiones líquido – líquido que no son las emulsiones, la sedimentación por lo general ocurre; sin embargo, la coalescencia no siempre puede ocurrir. Ésta es la cuestión para la mezcla biodiesel/glicerina. La línea de coalescencia nunca se forma, pero la línea de sedimentación en el fondo del

tanque se va desplazando hacia arriba hasta que toda la glicerina se ha separado del biodiésel

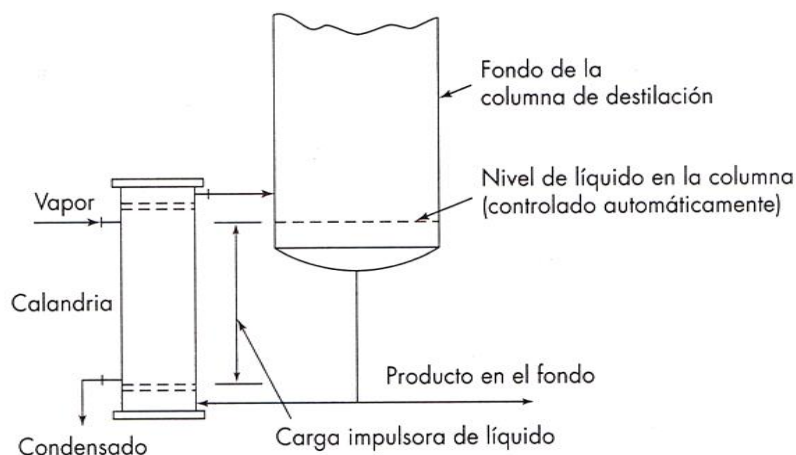
Por lo tanto, transcurrido el tiempo de residencia en el decantador obtenemos las dos fases separadas, la fase ligera es impulsada a través de la conducción L-09 hacia los tanques de lavado y la fase pesada es impulsada a través de la conducción L-08 hacia el evaporador EV-02.

#### 4.8.7.3. Evaporadores

Un evaporador es un intercambiador de calor entre fluidos, de modo que mientras uno de ellos se enfría, disminuyendo su temperatura, el otro se calienta aumentando su temperatura, pasando de su estado líquido original a estado vapor, una vez que se empieza a vaporizar parte de la mezcla pasan a una columna de separación, su funcionamiento es muy similar al de las columnas flash de destilación con la diferencia que el vapor es producido por un intercambio de calor y no por una válvula de despresurización.

La mayoría de los evaporadores se calientan con vapor de agua que condensa sobre tubos metálicos, el material a evaporarse fluye dentro de los tubos; excepto en algunos casos especiales de evaporadores de tubos horizontales,

Generalmente el vapor es de baja presión, y con frecuencia el líquido que hierve se encuentra a un vacío moderado, con presiones hasta de 0,05 atmósferas. Al reducir la temperatura de ebullición del líquido, aumenta la diferencia de temperatura entre el vapor y el líquido en ebullición y, por lo tanto aumenta la velocidad de transferencia de calor en el evaporador.



**FIG 4.7** Modelo de un evaporador de película ascendente de un solo paso

Los evaporadores pueden operar como unidades con un paso o como unidades de circulación. En la operación con un paso, el líquido de alimentación (L-10) pasa una sola vez a través de los tubos, libera el vapor (L-11) y sale de la unidad como solución concentrada (L-12). Toda la evaporación tiene lugar en un solo paso. Los evaporadores de película ascendente y de película descendente pueden también operar de esta forma. Los evaporadores de un solo paso son especialmente útiles para materiales sensibles al calor. Al operar a vacío elevado, es posible mantener baja la temperatura del líquido

En los evaporadores de circulación se mantiene una masa de líquido dentro del equipo. La alimentación que entra se mezcla con la masa global de líquido y después pasa a través de los tubos. El líquido no evaporado descarga de los tubos, retorna al equipo, de forma que en cada paso solamente ocurre una parte de la evaporación total.

Los evaporadores pueden ser de circulación natural o forzada, en un evaporador de circulación natural el líquido entra a los tubos a una velocidad de 0,3 m/s a 1,2 m/s. La velocidad lineal aumenta muy rápido al formarse vapor en los tubos, es decir el vapor tiene la capacidad de arrastrar la película formada hacia la parte superior del equipo, esta altura es denominada carga impulsora



del líquido y se puede definir como la distancia desde el fondo del intercambiador hasta el nivel del líquido en la columna, se debe intentar que el nivel del líquido se mantenga cerca o igual que el nivel de la parte superior del intercambiador para garantizar que la superficie de transferencia de calor está por completo mojada y para establecer velocidades de circulación razonablemente altas.

Los evaporadores de circulación forzada no son muy económicos, pero son necesarios cuando los productos involucrados en la evaporación tienen propiedades incrustantes, altas viscosidades, precipitaciones, cristalizaciones o ciertas características térmicas que imposibilitan una circulación natural.

En la planta se dispone de dos evaporadores, con el objetivo de separar los componentes que constituyen las corrientes de salida del decantador, por lo tanto:

Evaporador EV-01: Corriente: ésteres metílicos – agua

Solvente: agua

Objetivo: separar y concentrar los ésteres metílicos.

Evaporador EV-02: Corriente glicerina- metanol

Solvente: metanol

Objetivo: separar y concentrar la glicerina

Los principales tipos de evaporadores tubulares calentados con vapor de agua que se utilizan actualmente son:

- Evaporadores de tubos largos verticales.
  - Flujo Ascendente.
  - Flujo Descendente.
  - Circulación Forzada

- Evaporadores de película agitada.

Las partes esenciales de un evaporador son:

- Un intercambiador de calor tubular con vapor de agua en el lado de la coraza y el líquido que se desea concentrar en el interior de los tubos.
- Una columna de separación para separar el líquido arrastrado por el vapor.
- Existen entradas para el líquido de alimentación y el vapor de calentamiento y salidas para el vapor de calentamiento, la solución concentrada y el vapor del disolvente.

El EV-01 será un evaporador de película ascendente. En estos tipos de evaporadores la alimentación se introduce por la parte inferior del equipo y la misma asciende por los tubos. Están provistas de una unidad de tubo y coraza conocida como calandrias o calderas de circulación natural.

La alimentación (L-10) se pone en contacto con los tubos calientes, comienza a producirse la evaporación, en donde el vapor se va generando paulatinamente hasta que el mismo, empieza a ejercer presión hacia los tubos, determinando de esta manera, una película ascendente. Esta presión, también genera una turbulencia en el producto que está siendo concentrado, lo que permite mejor la transferencia térmica, y por ende, la evaporación. Al contrario de las calderas no contienen líquido en ebullición; en su lugar, el líquido entra en el intercambiador y es parcialmente vaporizado. La reducción de la densidad causa una mezcla vapor-líquido, para aumentar y succionar líquido de alimentación adicional. El líquido y el vapor dejan la parte superior del intercambiador a una gran velocidad, para ser separados en dos corrientes. <sup>[5]</sup>

El evaporador EV-02 por la sensibilidad de los compuestos a separar es un evaporador de película descendente, es decir, la concentración de

materiales altamente sensibles al calor, tales como el jugo de naranja o en nuestro caso la glicerina, requieren un tiempo mínimo de exposición a una superficie caliente. Esto se consigue con evaporadores de película descendente de un solo paso, en los que el líquido entra por la parte superior (L-08), desciende por el interior de los tubos calentados con vapor de agua, como una película, y sale por el fondo (L-08\*). Los tubos son largos y de 50 a 250 mm de diámetro. El vapor procedente del líquido es generalmente arrastrado hacia abajo con el líquido y sale por el fondo de la unidad. Estos evaporadores parecen largos intercambiadores tubulares verticales con un separador de líquido y vapor en el fondo y un distribuidor de líquido en la parte superior.

El principal problema de un evaporador de película descendente es la distribución uniforme del líquido como en forma de película dentro de los tubos. Esto se consigue mediante una serie de placas metálicas perforadas situadas sobre una placa tubular cuidadosamente nivelada, por medio de inserciones en los extremos de los tubos que generen un flujo uniforme en cada tubo, o mediante distribuidores tipo araña con brazos radiales que distribuyan con velocidad constante la alimentación sobre la superficie interior de cada tubo. Otra forma consiste en utilizar una boquilla individual de pulverización dentro de cada tubo.

En dicho evaporador se consigue una separación de glicerina con un 98% de pureza, idónea para su comercialización sin necesidad de una etapa posterior de purificación. Para conseguir este grado de separación, la temperatura de la columna debe ser de 107°C,

Otra característica de este evaporador es que trabaja a vacío a una presión de 0,1 bar, para conseguir estas condiciones se disponen de dos bombas de vacío en las corrientes de salida del evaporador, es decir, una a la salida de L-13 y otra en L-14 y de una bomba de impulsión a la entrada del

evaporador para evitar que el sistema este abierto, además debe utilizar un sistema de control para regular y controlar dicha presión.

#### 4.8.7.4. Tanques de lavado W-01 y W-02.

Los tanques de lavado son dos depósitos con agitación cuyo objetivo principal es mezclar agua con la corriente de (L-09) o fase ligera del decantador. Para que de esta manera el agua extraiga las trazas de metanol y glicerina del biodiesel si como también todo tipo de impurezas no esterificadas para obtener un biodiesel más acorde con las condiciones especificadas por la normativa.

Se aportan 200L de agua por cada 1000L de biodiesel que se producen<sup>F</sup>,

El agua es más afín por su polaridad a los alcoholes ya que pueden formar puentes de hidrógeno: La formación de puentes de hidrógeno permite la asociación entre las moléculas de alcohol. Estas uniones se forman cuando los oxígenos unidos al hidrógeno en los alcoholes forman uniones entre sus moléculas y las del agua. Esto explica la solubilidad del metanol, etanol, 1-propanol, 2-propanol y 2 metil-2-propanol. A partir de 4 carbonos en la cadena de un alcohol, su solubilidad disminuye rápidamente en agua, porque el grupo hidroxilo (–OH), polar, constituye una parte relativamente pequeña en comparación con la porción de hidrocarburo. A partir del hexanol son solubles solamente en solventes orgánicos.

La extracción líquido-líquido es, junto a la destilación, la operación básica más importante en la separación de mezclas homogéneas líquidas. Consiste en separar una o varias sustancias disueltas en un disolvente mediante su transferencia a otro disolvente insoluble, o parcialmente insoluble,

en el primero. La transferencia de materia se consigue mediante el contacto directo entre las dos fases líquidas.

En una operación de extracción líquido-líquido se denomina *alimentación* a la disolución cuyos componentes se pretende separar (L-09), *disolvente de extracción* al líquido que se va a utilizar para separar el componente deseado (L-A1.L-A2), *refinado* a la alimentación ya tratada y *extracto* a la disolución con el soluto recuperado. En la Figura 1 se muestra un esquema de las corrientes implicadas en la operación.

#### 4.8.7.5. Filtros.

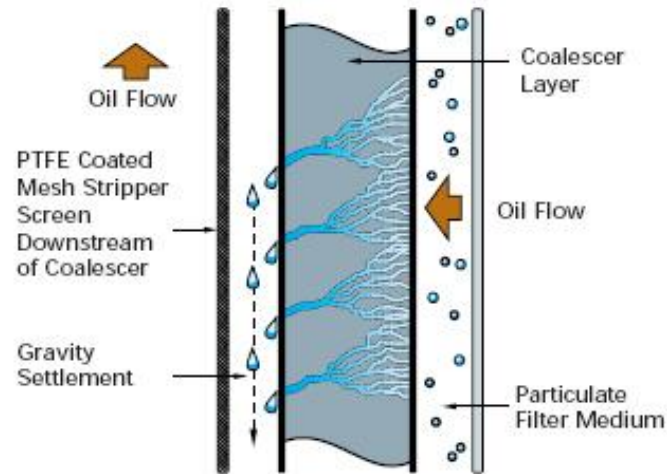
Después de la separación del biodiesel en el evaporador EV-01, es necesario su purificación para alcanzar el cumplimiento de la normativa de calidad para Biodiesel UNE\_EN /14214, concretamente en el contenido de agua remanente (9,8%) en la corriente L-12, para ello se plantea el uso de filtros de coalescencia

El agua y las sales disueltas que arrastra, son unos de los peores males para motores y turbinas. Es el causante de corrosión en motores y de fracturas en las paletas de turbina.

La eliminación de agua del combustible o aceite se lleva a cabo pasando el fluido a través de una espesa capa de fibras inorgánicas, en un proceso de dos etapas explicados a continuación:

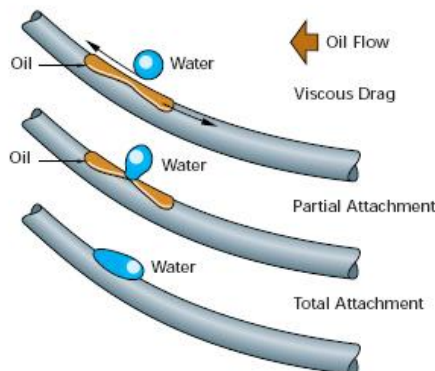
- A. La corriente de biodiesel (L-12) pasa a través de las fibras, el agua que contiene esta corriente quedan interceptadas por la fibra. Cuando una gota se aproxima a una fibra, se reduce el grosor de la película de aceite entre la gota de agua y la fibra (por desplazamiento e inercia). Eventualmente esta película se reduce a tal punto que la atracción molecular entre la gota de agua y la fibra es mayor que la atracción molecular entre el aceite y la fibra. En este punto el agua desplaza al

aceite y la gota rompe, lo que permite su adherencia a la fibra. Inicialmente la gota de agua permanece estacionaria mientras que siguen adhiriéndose otras gotas a la fibra.



**FIG 4.8** Paso del combustible por el filtro.

B. A medida que se van acumulando las gotas de agua, estas son propulsadas a lo largo de las fibras por el flujo del aceite. Esta adherencia se da ya que los grupos OH o centros activos de la membrana, interacciona con las gotas de agua por puentes de hidrógeno, éstas continúan agregándose y acumulándose formando un núcleo de agua hasta el punto en que las gotas llegan a crecer tanto que se separan de la superficie y caen por gravedad al filtro sumidero (al cárter del filtro), es decir, las gotas de agua se juntan y se fusionan entre sí, de una manera similar a las gotas de lluvia que discurren por una ventana. Estas gotas se mantienen en posición gracias a la tensión interfacial. Una rejilla de acero inoxidable tratado con PTFE situado alrededor del cartucho, retiene cualquiera gota de agua pequeña que no decanta por gravedad. Esto asegura que el biodiesel a la salida del filtro esté libre de agua.

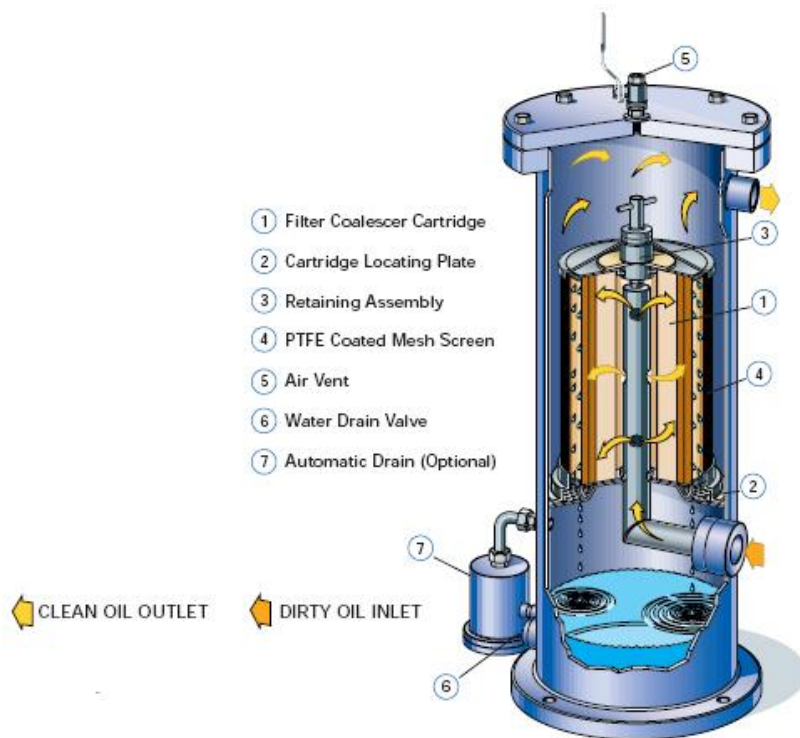


**FIG 4.9** Fenómeno de coalescencia.

Eco Systems suministra Vokes Filter Coalescers, diseñados para reducir el contenido de agua hasta niveles aceptables, de 15ppm (0,0015%). Los filtros coalescentes proporcionan un sencillo y eficaz manera de eliminar tanto agua como contaminantes sólidos de combustibles y aceites lubricantes. No disponen de mecanismos ni piezas móviles que podrían averiarse, por lo tanto no necesitan más mantenimiento que el cambio de cartucho cuando este esté colmatado. El cartucho es de larga vida, generalmente de 1 año o más según las condiciones del fluido filtrado.

El cartucho consiste de dos etapas, uno filtrante para eliminar partículas y el otro de media coalescente para separar y eliminar el agua. Se instala después de los filtros principales o centrifugadora, antes de los filtros finos de pulido. De esta manera se garantiza una larga vida porque la mayor parte de contaminantes gruesos han sido eliminados anteriormente. La cantidad de agua que elimina del combustible o aceite no acorta la vida del cartucho.

El empleo de un filtro coalescente permite un pre-tratamiento con agua de combustibles ligeros. A continuación cuando el combustible pasa por el filtro coalescente se elimina tanto el agua como las sales que estén disueltas en el. Vokes Coalescer Filter ayuda mejorar la efectividad, fiabilidad y vida de maquinaria suministrando fluidos limpios y libres de agua.



**FIG 4.8** Vokes Filter Coalescers

#### **4.8.8. Almacenamiento de los productos.**

Al finalizar el proceso de transesterificación supercríticas, con sus posteriores separaciones de productos, se obtiene como productos acabados:

- Biodiesel
- Glicerina cruda

#### **4.8.9. Almacenamiento de biodiesel (T3)**

El biodiésel que se obtiene tras la reacción y su posterior proceso de separación, es almacenado en un tanque cilíndrico con capacidad de acumular el producto para 2 días. Este recipiente cumple con la normativa de diseño de recipientes con líquidos combustibles y por tanto estará rodeado por un cubeto de retención como norma de seguridad. El biodiesel será un combustible más fácil de manejar y menos peligroso a la hora de almacenar que el diesel convencional, debido principalmente a su mayor punto de inflamación. Aun así



al ser un fluido inflamable, estará resguardado por un cubeto de retención para evitar problemas con posibles derrames

#### **4.8.10. Almacenamiento de Glicerina cruda (T4)**

La glicerina se obtiene como subproducto de este proceso. Se almacena en tanques cilíndricos la cantidad producida en una semana de producción de la planta. La glicerina que se almacena, consigue una riqueza del 98% la cual será vendida a las distintas empresas.

### **5. CONTROL DEL PROCESO.**

El funcionamiento de la instalación precisa de unos elementos de medida para comprobar que la misma cumple con las prescripciones para las que ha sido diseñada.

Teniendo en cuenta que las características del biodiésel tienen una incidencia muy importante en el proceso, es muy importante controlar la misma a lo largo de las distintas fases del tratamiento. Además una instalación de estas características cuentan con instrumentos que permiten comprobar si el funcionamiento de los distintos equipos instalados es correcto con el fin de prevenir fallos en las instalaciones y avisar sobre posibles averías que pueden ocasionar daños de importante repercusión económica.

Para controlar las diferentes fases del tratamiento se han incluido los siguientes instrumentos de medición y control:

- Válvulas, para el control y regulación del caudal circulante por las conducciones de la instalación se ha dispuesto el uso de tres tipos de válvulas.
- Caudalímetros

- Termómetros
- Manómetros
- Medidores de nivel

## 6. VÁLVULAS

Las válvulas son dispositivos que sirven para regular o impedir la circulación del fluido por una conducción. Las partes principales de las que consta una válvula (excepto la de retención) son:

- Órgano de cierre inserto en la conducción, que es el que modifica la sección de paso del fluido al ser accionado exteriormente.
- Aparato de manipulación externo que comunica el movimiento de giro, a través de un eje, al órgano de cierre.

En el eje debe de existir siempre un sistema de ajuste entre la parte móvil y la fija que evite las fugas del fluido, pero permitiendo una aceptable libertad de movimiento al eje.

Existen numerosos tipos de válvulas, según la finalidad a que se destinen, aunque de una forma general se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Válvulas de corte de flujo (también llamadas todo-nada o on-off).
- Válvulas de regulación.

Las válvulas de corte de flujo se caracterizan por sus dos posiciones extremas de funcionamiento: totalmente abiertas o totalmente cerradas; aunque en ocasiones se pueda regular groseramente el caudal de fluido, no están diseñadas para ello. Las válvulas de regulación, sin embargo, están diseñadas específicamente para poder regular el flujo, y son de accionamiento más lento que las anteriores.

## 6.1. Válvulas de corte de flujo

En este tipo de válvulas, el órgano de cierre ocupa prácticamente toda la sección de la conducción, de tal forma que al estar completamente abiertas, el fluido no encuentra apenas estrechamiento alguno, por lo que no se produce pérdida de presión ni aumento de velocidad.

Dentro de las válvulas de corte de flujo existen diversos tipos, pudiendo resumirse los más importantes en:

- De compuerta
  - De retención
  - De bola
  - Tronco-cónica
  - De mariposa
- 
- *Válvula de compuerta*: el órgano de cierre es un disco perpendicular a la dirección del flujo, que se mueve verticalmente, sin girar, bajo la acción del husillo. El disco tiene forma de cuña y se adapta a un asiento que tiene la misma forma. Cuando se abre la válvula el disco se eleva hasta que queda completamente fuera de la trayectoria del fluido, por lo que cuando está totalmente abierta, deja una sección de paso igual a la de la tubería, y no se produce variación en la dirección del flujo. Son adecuadas para abrir o cerrar completamente la conducción.
  
  - *Válvula de retención*: solo permiten el paso de fluido en un solo sentido. Se abren debido a la presión del fluido que circula en un determinado sentido; cuando se detiene el flujo o tiende a invertirse, la válvula cierra automáticamente por gravedad o por medio de un resorte que presiona

la pieza móvil. En la figura se muestran tres de los tipos más utilizados: de bola, de elevación y de bisagra.

- *Válvulas de bola y troncocónicas*: el órgano de cierre es una bola o tronco de cono, respectivamente, con una perforación diametral de igual sección que la de la tubería. El movimiento completo de accionamiento de la válvula es  $\frac{1}{4}$  de vuelta, con el que pasan de estar totalmente cerradas a totalmente abiertas. En esta última posición, como ocurría con las válvulas de compuerta, la pérdida de presión es muy pequeña, y no hay alteración en la dirección del flujo.
- *Válvulas de mariposa*: el órgano de cierre es un disco de igual sección que la tubería, que gira alrededor de su diámetro horizontal (o vertical) accionado por un eje solidario que sale al exterior. Cuando está totalmente abierta, el disco queda en medio de la conducción, paralelamente al flujo del fluido. Cuando está medio cerrada, la presión del fluido sobre el disco tiende a cerrarla del todo.

## 6.2. Válvulas de regulación

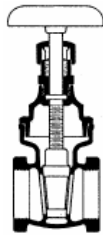
En las válvulas de regulación, el órgano de cierre es de menor tamaño que en las de corte de flujo, y actúa sobre una sección reducida, inferior a la de la tubería. Por ello, provocan una pérdida de presión mayor, alcanzándose velocidades también mayores. El fluido es obligado normalmente a cambiar de dirección, debiendo recorrer un camino tortuoso, por lo que las pérdidas de carga locales pueden ser considerables.

Los dos tipos más importantes son las de asiento y aguja, por un lado, y las de diafragma, por otro.

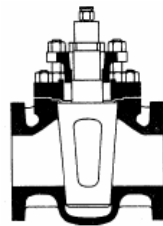
- *Válvulas de asiento y de aguja*: son las válvulas por excelencia para la regulación del caudal. En las válvulas de asiento el órgano de cierre es un asiento troncocónico o semiesférico (forma por las que antes se las llamaba válvulas de globo), mientras que en las válvulas de aguja es una aguja cónica. En cualquier caso, tanto el asiento como la aguja hacen de cierre apoyándose sobre una base fija en forma de silla apoyada en el interior de la conducción.
- *Válvulas de diafragma*: constan de una membrana accionada exteriormente por un eje móvil, que la desplaza hasta producir el cierre total al entrar en contacto con un saliente de la pared interna de la tubería. La membrana suele ser de un material elástico, como caucho, plástico (neopreno), etc, y presenta los inconvenientes de tener una duración limitada y resistir presiones no muy grandes. Son especialmente adecuadas para controlar el caudal de los fluidos con sólidos en suspensión, pudiéndose instalar en cualquier posición.

Conocidos los tipos de válvulas, las necesidades de la planta y la normativa aplicable para el diseño de válvulas se realiza un estudio detallado de la selección de las válvulas en el apartado 10 de la memoria de cálculo. De forma general los dos tipos de válvulas elegidas en la instalación de toda la red de conducciones del presente proyecto son:

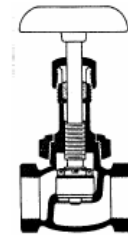
- **Válvula de corte de flujo: válvula de compuerta**
- **Válvula de regulación: válvula de aguja**
- **Válvulas de seguridad.**



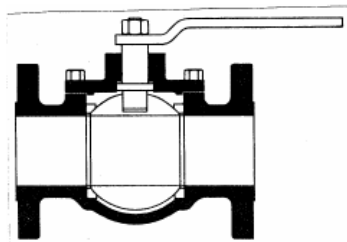
Válvula de compuerta



Válvula troncocónica



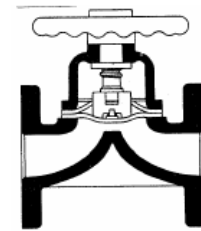
Válvula de asiento



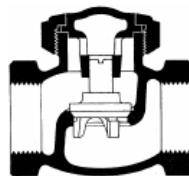
Válvula de bola



Válvula de mariposa



Válvula de diafragma



Válvula de retención (tipo elevación)

## **7. BOMBAS y COMPRESORES.**

Son los aparatos dedicados a la impulsión de líquidos. La selección y aplicación adecuadas de las bombas requiere una comprensión de sus características de funcionamiento.

Cuando se selecciona una bomba, se deben considerar los siguientes factores:

- La naturaleza del líquido que se va a bombear.
- La capacidad requerida (caudal volumétrico).
- La carga total de la bomba.
- El tipo de fuente de alimentación (motor eléctrico, motor diesel, turbina de vapor).
- Costo de la bomba, de su instalación, de operación y mantenimiento.
- Otros factores: códigos y estándares que rigen a las bombas, condiciones en el lado de la succión (entrada) y en el lado de la descarga (salida) de la bomba, tipo de sistema al que la bomba está entregando el fluido, limitaciones de espacio, peso y posición y condiciones ambientales.

Tipos de bombas

La forma en que dicha impulsión se produce puede ser variada, aunque suele ser de dos tipos:

- Por desplazamiento volumétrico del fluido
- Por la acción de una fuerza centrífuga.

En el primer caso, las bombas se denominan de desplazamiento positivo, o volumétricas y en el segundo, bombas centrífugas.

### **7.1 Bombas de desplazamiento positivo**

En estas bombas, en la admisión el líquido es confinado en un cierto espacio de la bomba, donde se le comunica la energía, siendo desplazado a continuación a la zona de expulsión. Este tipo de bombas proporciona una cantidad de líquido constante en cada embolada o revolución de la parte móvil, son que el líquido pueda circular libremente a través del cuerpo de la bomba. En este tipo de bombas, al ser constante el caudal de líquido en cada embolada y trabajar el motor a velocidad constante, el caudal de salida dependerá solamente del tamaño de la bomba, su diseño, y las condiciones de succión.

Según el mecanismo de impulsión del líquido se dividen en:

- Bombas alternativas o reciprocantes
  - Bombas rotatorias
- *Bombas alternativas: de émbolo, pistón y diafragma*

Están constituidas por un cilindro de mayor o menor diámetro que es movido por una biela, la cual comprime al líquido en la cámara que se aloja, en cuya entrada y salida existen las correspondientes válvulas de retención. El líquido es succionado hacia el interior de la cámara a través de una válvula de retención, por acción de la parte móvil (émbolo, pistón) y luego forzado a salir a través de una válvula de retención de descarga.

Son muy útiles para la impulsión de líquidos muy viscosos por el elevado esfuerzo cortante que se crea sobre las paredes del cilindro, lo que favorece la



estanqueidad del conjunto; no se pueden utilizar para líquidos que contengan sólidos abrasivos, debido al daño que ocasionarían sobre las superficies pulidas del interior.

Las presiones alcanzadas a la salida suelen ser elevadas, superiores a  $5 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$  en bombas de pistón y hasta  $1,4 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$  con bombas de émbolo.

- *Bombas rotatorias*

En ellas el desplazamiento del líquido se produce por rotación de una o más piezas móviles en el interior de una carcasa, determinando unas cavidades en las que se aloja el líquido que se desplaza desde la entrada de la bomba hasta la zona de descarga. La velocidad de giro es del orden de las 500 rpm, proporciona medias, hasta de  $10^4 \text{ kN/m}^2$  al líquido presiones

Pueden bombear líquidos que no contengan sólidos abrasivos, aunque están especialmente indicadas para manejar líquidos algo viscosos, con propiedades lubricantes.

## **7.2. Bombas centrífugas**

Son las más usadas debido a sus ventajas: gran versatilidad, bajo coste, fácil diseño, operación y mantenimiento.

Las bombas centrífugas operan casi siempre a velocidad constante, por lo que el caudal suministrado (denominado habitualmente capacidad de la bomba) depende solamente, para una misma bomba, de las presiones de aspiración y descarga. Para la adecuada utilización de una bomba centrífuga resulta necesario conocer la variación de determinadas magnitudes, como la presión de descarga, la potencia consumida y el rendimiento obtenido para cada valor del caudal.

### **7.3. Bombas de vacío**

Una bomba de vacío consiste en un compresor que succiona a una presión por debajo de la atmosférica y descarga a la presión atmosférica. Cualquier tipo de soplador o compresor (reciprocante, rotatorio o centrífugo) puede adaptarse para hacer vacío, modificando el diseño de forma que entre gas a densidad baja por la succión y se alcance la relación de la compresión necesaria. A medida que disminuye la presión absoluta más baja que llega alcanzar la bomba. Por otra parte, la eficiencia mecánica, es en general menor que para los compresores. El desplazamiento requerido aumenta rápidamente al disminuir la caída de presión de succión, ya que se necesita un equipo muy grande para mover una gran cantidad de gas. La relación de compresión de compresión que se utiliza en las bombas de vacío, es mayor que en las de los compresores y tiene un intervalo de 100 o más, con la correspondiente temperatura de descarga adiabática alta. Sin embargo, en realidad, la compresión es casi isotérmica debido a la baja velocidad de flujo másico y la transferencia de calor efectiva desde el área de metal expuesto relativamente grande.

Se dispone de dos bombas de vacío en la planta; la función que tienen estas bombas es lograr que la columna del evaporador EV-2 trabaje a condiciones por debajo de la presión atmosférica, concretamente a 0,1 bar. La ubicación de cada una de las bombas son en las dos corrientes de salida de dicho evaporador, es decir, en la corriente L-13 y L-14. Para que se pueda llevar a cabo este vacío, el sistema debe estar cerrado en ese tramo del proceso; por lo tanto se ubica otra bomba, en este caso de impulsión, en la corriente que entra al evaporador y actuará en función de la variación de presión medida por un controlador.

Para la completa selección de bombas de la planta se recurre a capacidades, potencias y caudales requeridos, todos los resultados de la

selección y los criterios que se siguieron se encuentran recogidos en la memoria de cálculo aparatado 11.

#### **7.4. Compresores.**

La diferencia fundamental entre la impulsión de un líquido y un gas reside en la posibilidad de reducir el volumen de éste último por compresión, a costa naturalmente de aumentar su densidad, fenómeno que no ocurre en la impulsión de líquidos.

Los aparatos destinados a la impulsión de gases suelen clasificarse en tres grupos: ventiladores, soplantes y compresores, según sea el valor de la presión de carga. Para el caso que nos ocupa se eligen compresores.

Estos aparatos se utilizan para impulsar gases a presiones muy superiores a 4 bar. La obtención de estas presiones tan elevadas requieren, naturalmente, la utilización de varias etapas, ya que por razones económicas la razón de compresión conseguida en cada etapa no suele ser superior a 3 ó 4.

Según las condiciones se pueden clasificar en adiabático e isotérmico, siendo este último el elegido en la planta, por lo tanto no se produce una elevación considerable de la temperatura, hecho que si ocurre en los compresores adiabáticos.

Los dos tipos fundamentales de compresores son: los compresores centrífugos alternativos (de desplazamiento positivo) y los compresores centrífugos de múltiples etapas.

Los compresores alternativos son los más utilizados en la industria química. Constan de uno o más cilindros en serie, según sean de una o varias etapas respectivamente, cuyo funcionamiento es totalmente similar al de las bombas alternativas.

En estos compresores existe además un desprendimiento de calor debido a la fricción de las partes móviles (pistón, eje, etc.) contra las fijas (paredes internas, empaquetaduras, etc.) que al ser absorbido por el gas determina una elevación adicional de la temperatura. Esta podría llegar a ser superior a la alcanzada en la compresión adiabática, por lo que normalmente los cilindros se refrigeran exteriormente con camisas de agua fría.

Pueden ser, como ya se ha indicado, de una sola etapa o de múltiples etapas; según los cilindros actúen por una o las dos caras, puede ser de acción simple o doble. Respecto a la posición de los cilindros en un compresor de múltiples etapas, pueden ser en línea (caso más frecuente), en ángulo recto o en V; y respecto al tipo de émbolo pueden ser de émbolo lubricado o no lubricado. Operan a velocidades relativamente bajas, de 200-600 rpm y con rendimientos elevados contrario a lo que ocurre en los compresores centrífugos en los cuales se obtienen rendimientos en torno al 75% y con velocidades de giro altas.

## **8. RESIDUOS GENERADOS EN LA PLANTA.**

Los residuos que se generan en la planta, son los provocados por una corriente de vapor que arrastra impurezas. Este vapor pertenece a la salida de la unidad de evaporación de Biodiesel por lo que lleva trazas de metanol y por tanto estará prohibido su vertido directo.

- ***Legislación aplicable***

- R.D. Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas de 29/1985, de 2 de agosto. Tiene por objeto la regulación del dominio público hidráulico, del uso del agua y en su Artículo 92 queda prohibido con carácter general el vertido

directo o indirecto de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del dominio público hidráulico, salvo que se cuente con la previa **autorización administrativa**.

- ***Solución para los residuos producidos por la planta.***

Para evitar el posible impacto ambiental de estos residuos, las aguas residuales de la Planta de producción de Biodiesel, tienen como destino las instalaciones de la depuradora de Copero, situado en el término de Dos Hermanas, siendo la depuradora que mayor cuenca urbana de la ciudad soporta, recogiendo las aguas, además de El Polígono La Isla, de los colectores principales de Tamarguillo y de Tagarete y Puerto.

Además está en estudio el conceder una subvención para el proyecto de saneamiento y depuración de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir, dentro del que se encuentra el proyecto municipal sobre ***“Red de impulsión separativa de aguas pluviales de los pasos subterráneos de Dos Hermanas”***. El proyecto comprende la construcción de cuatro estaciones de bombeo y de las canalizaciones que conectan cada una con la arqueta de cabecera del colector Dos Hermanas-EDAR El Copero. Igualmente se trata de la realización de la red de saneamiento de aguas pluviales y fecales del Polígono Industrial de La Isla, en los colectores de Calle Río Viejo y Torre de los Herberos, principalmente, con lo que se pretende dotar a dicho polígono de una actuación eficiente para la recogida de aguas residuales, facilitar la explotación de las redes y evitar las inundaciones. El mismo será subvencionado por el Fondo de Cohesión-

## 9. EQUIPO INDUSTRIAL

### 9.1. Tanques de almacenamiento de metanol

- *Elementos y accesorios*
  - Salida para la tubería de descarga del metanol L-01', de acero inoxidable SS 304 y 1" de DN, dispone de válvula de compuerta con terminaciones roscadas a la tubería.
  - Sistema de venteo normal y de emergencia para prevenir la formación de vacío o presión interna, de tal forma que se evite la deformación del techo o de las paredes del tanque como consecuencia de llenados, vaciados o cambios de temperatura. El dispositivo de venteo estará normalmente cerrado, excepto cuando se ventee a la atmósfera en condiciones de presión interna o vacío.
  - Cubeto de retención construido en hormigón, de capacidad igual al 100% del volumen del tanque de metanol de mayor capacidad. Separado 1,5 m de la pared del tanque y su altura es de 0,13 m. Existirán dos accesos normales al interior del cubeto. Su construcción se hace según ITC APQ 1 "Almacenamiento de líquidos combustibles e inflamables".
  - Escalera de acero al carbono para su acceso e inspección.
  - Boca de hombre normalizada situada en la zona baja de la pared del depósito
  - Medidor de nivel e indicador de temperatura.

➤ **Tanques de almacenamiento de metanol**

|                                    |   |                    |
|------------------------------------|---|--------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Tanque cilíndrico vertical cerrado con tapa semielíptica y fondo plano. Dispone de cubeto de retención. |                    |
| <b>Dimensiones características</b> | Volumen total   | 7,5 m <sup>3</sup> |
|                                    | Volumen útil  | 6 m <sup>3</sup>   |
|                                    | Altura  | 2,780 m            |
|                                    | Diámetro interno  | 1,85 m             |
|                                    | Espesor   | 6 mm               |
| <b>Material</b>                    | SA-283-C  |                    |
| <b>Referencia</b>                  | Punto 1 Memoria de Cálculo, Plano N <sup>o</sup> 9  |                    |

➤ **Tanque mezclador de metanol recirculado y metano puro T5**

|                                    |   |                    |
|------------------------------------|---|--------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Tanque cilíndrico vertical cerrado con tapa semielíptica y fondo plano. Sistema de agitación. |                    |
| <b>Dimensiones características</b> | Volumen total   | 3,2 m <sup>3</sup> |
|                                    | Volumen útil  | 2,5 m <sup>3</sup> |
|                                    | Altura  | 2,093 m            |
|                                    | Diámetro interno  | 1,395 m            |
|                                    | Espesor   | 6 mm               |
| <b>Material</b>                    | SA-283-C  |                    |
| <b>Referencia</b>                  | Punto 1 Memoria de Cálculo, Plano N <sup>o</sup> 9  |                    |

## 9.2. Tanque de almacenamiento de aceite de colza

- *Elementos y accesorios*

- Salida para la tubería de descarga de aceite de colza L-02', de acero inoxidable SS 304 y 1" de DN, dispone de válvula de compuerta con terminaciones roscadas a la tubería.
- Escalera de acero al carbono para su acceso e inspección.
- Boca de hombre normalizada situada en la zona baja de la pared del depósito
- Sistema de venteo normal.
- Medidor de nivel e indicador de temperatura.

|                                    |   |                   |
|------------------------------------|---|-------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Tanque cilíndrico vertical cerrado con tapa y fondo semielíptico. |                   |
| <b>Dimensiones características</b> | Volumen total   | 30 m <sup>3</sup> |
|                                    | Volumen útil  | 24 m <sup>3</sup> |
|                                    | Altura  | 4,42 m            |
|                                    | Diámetro interno  | 2,95 m            |
|                                    | Espesor   | 8 mm              |
| <b>Material</b>                    | SA-283-C  |                   |
| <b>Soportes</b>                    | 4 patas IPN-100   |                   |
| <b>Referencia</b>                  | Punto 1 Memoria de Cálculo, Plano N°<br>10                        |                   |



### 9.3. Intercambiador de calor IC-01

- *Elementos y accesorios*
  - Entrada para tubería de alimentación de metanol L-01, de acero aleado Inconel 625 y 1" de DN, dispone de bomba de desplazamiento positivo, de émbolo de varios cilindros, B-01.
  - Entrada por tubo externo para la tubería de vapor V-01, de acero inoxidable SS 316 y 2 ½" de DN, dispone de válvula de seguridad que va unida a la tubería mediante bridas.
  - Salida de la corriente de vapor V-02, de acero inoxidable SS 316 y 2 ½" de DN, dispone de válvula de seguridad conectada a la tubería mediante brida.
  - Controlador de presión y temperatura.

|                                    |   |                            |
|------------------------------------|---|----------------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Intercambiador de calor de doble tubo para el precalentamiento de la corriente de metanol |                            |
| <b>Dimensiones características</b> | Coef. Global de transferencia de calor  | 783,051 W/m <sup>2</sup> K |
|                                    | Área de int. calor  | 2,47 m <sup>2</sup>        |
|                                    | Diámetro interior carcasa   | 0,114 m                    |
|                                    | Nº tubos  | 3                          |
|                                    | Longitud de tubo  | 6,5 m                      |
| <b>Material</b>                    | INCONEL 625   |                            |
| <b>Condiciones de Trabajo</b>      | Presión   | 45 MPa                     |
|                                    | Temperatura   | 425°C                      |

|                   |  |
|-------------------|--|
| <b>Referencia</b> | Punto 3 Memoria de Cálculo, Plano N°<br>3,4 y 13 |
|-------------------|--|

#### **9.4. Reactor de transesterificación R-01**

- *Elementos y accesorios*
  - Entrada para la tubería L-02 que transporta aceite de colza, de Inconel 625 y ½” de DN.
  - Entrada para la tubería L-03 de alimentación de metanol, de acero aleado Inconel 625 y 2” de DN, dispone de válvula de seguridad unida a la conducción mediante bridas.
  - Entrada superior para la tubería de vapor V-02, de acero inoxidable SS 316 y 2 ½” de DN, dispone de válvula de seguridad que va unida a la tubería mediante bridas.
  - Salida de tubería de descarga L-04 hacia la válvula de despresurización, de Inconel 625 y 2” de DN, dispone de válvula de seguridad conectada a la tubería mediante bridas.
  - Salida de la corriente de vapor V-03, de acero inoxidable SS 316 y 2 ½” de DN, dispone de válvula de seguridad conectada a la tubería mediante brida.
  - Soporte horizontal en forma de cuna de Inconel 625.
  - Válvula de seguridad y disco de ruptura.
  - Controlador de presión y temperatura.

|                                    |  |                      |
|------------------------------------|--|----------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Reactor tubular formado por tubos interiores por donde circula la alimentación y por fuera vapor de agua. Con zona de mezclado de metanol y aceite de colza. |                      |
| <b>Dimensiones características</b> | Volumen  | 0,137 m <sup>3</sup> |
|                                    | Dianmetro interior tubos   | 0,12 m               |
|                                    | Diámetro ext. carcasa  | 0,80 m               |
|                                    | Nº de tubos  | 7                    |
|                                    | Longitud de tubo   | 6,3 m                |
|                                    | Espesor de carcasa   | 1,5 cm               |
| <b>Material</b>                    | INCONEL 625  |                      |
| <b>Soportes</b>                    | Estructura metálica a criterio del Ingeniero Mecánico  |                      |
| <b>Condiciones de Trabajo</b>      | Presión  | 45 MPa               |
|                                    | Temperatura  | 370°C                |
| <b>Referencia</b>                  | Punto 2 Memoria de Cálculo, Plano N° 3,4 y 13  |                      |

### 9.5. Columna de destilación flash CF-01

- *Elementos y accesorios*
  - Entrada para la tubería L-05, que comienza tras la válvula de despresurización (con entrada 2" y salida 8" de D.N.) ,de acero inoxidable SS 304 y 8" de DN.
  - Salida para la tubería de descarga de la corriente líquida L-06, de acero inoxidable SS 304 y ½" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería.
  - Salida para la tubería de descarga de la corriente gaseosa L-07, de acero inoxidable SS 304 y 6" de DN, dispone de una válvula de aguja unida a la tubería por bridas.
  - Indicador de presión, controlador de temperatura.

|                               |  |         |
|-------------------------------|--|---------|
| <b>Descripción</b>            | Columna de destilación flash para recuperación de metanol. |         |
| <b>Dimensiones</b>            | Diámetro columna   | 0,9 m   |
|                               | Nivel de líquido   | 2,021m  |
|                               | Nivel de vapor   | 1,345 m |
|                               | Altura de la columna                                       | 4,1 m   |
|                               | Espesor de carcasa   | 3 mm    |
| <b>Soportes</b>               | 4 patas IPN-80   |         |
| <b>Material</b>               | SS-316   |         |
| <b>Condiciones de Trabajo</b> | Presión  | 1 bar   |
|                               | Temperatura  | 100°C   |
| <b>Referencia</b>             | Punto 4 Memoria de Cálculo,<br>Plano N° 5                  |         |

## 9.6. Decantador D-01

- *Elementos y accesorios*
  - Encamisado para enfriamiento de la corriente y fácil separación de las fases.
  - Entrada para la tubería de alimentación de la corriente líquida L-06, de acero inoxidable SS 304 y 1/2" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería.
  - Salida para la tubería de descarga de la fase pesada L-08, de acero inoxidable SS 304 y 1/8" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería y una bomba B-08 de desplazamiento positivo, tipo diafragma.
  - Salida para la tubería de descarga de la fase ligera L-09, de acero inoxidable SS 304 y 1/2" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería y una bomba B-09 centrífuga, de aspiración simple.
  - Entrada para la tubería de suministro de agua L-A3, de acero inoxidable SS 304 y 3/4" de DN, dispone de una válvula de aguja unida a la tubería mediante bridas y bomba de desplazamiento positivo tipo diafragma, BA-03.
  - Salida para la tubería de descarga de agua L-A4, de acero inoxidable SS 304 y 3/4" de DN, dispone de una válvula de aguja unida a la tubería mediante bridas.

|                                    |   |                   |
|------------------------------------|---|-------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Tanque cilíndrico horizontal para separación de Glicerina-Biodiésel por gravedad. |                   |
| <b>Dimensiones características</b> | Volumen total   | 18 m <sup>3</sup> |
|                                    | Volumen útil  | 14 m <sup>3</sup> |
|                                    | Altura  | 1 m               |
|                                    | Diámetro  | 5 m               |
| <b>Material</b>                    | SA-283-C  |                   |
| <b>Condiciones de Trabajo</b>      | Presión   | 1 atm             |
|                                    | Temperatura   | 82 °C             |
| <b>Referencia</b>                  | Punto 5 Memoria de Cálculo,<br>Plano N° 6   |                   |

## 9.7. Tanques de lavado

### 9.7.1 Tanque de lavado W-01

- *Elementos y accesorios*
  - Sistema de agitación de 4 palas y 4 deflectores para los dos tanques de lavado.
  - Entrada para la tubería de alimentación de la fase ligera del decantador, L-09, de acero inoxidable SS 304 y 1/2" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería y una bomba B-09 centrífuga, de aspiración simple.
  - Entrada para la tubería de suministro de agua L-A1, de acero inoxidable SS 304 y 1/8" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería y bomba centrífuga con aspiración simple, BA-01.

- Bomba de desplazamiento positivo, de diafragma, B-10<sub>2</sub> para la tubería de conexión de los dos tanques de lavado.
- Entrada para la tubería de suministro de agua L-A2, de acero inoxidable SS 304 y 1/8" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería.
- Salida para la tubería de descarga de los tanques de lavado, L-10, de acero inoxidable SS 304 y 1/2" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería y una bomba B-10 centrífuga, de aspiración simple.

|                                    |  |                      |
|------------------------------------|--|----------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Tanque agitado con placas deflectoras. Sistema de agitación de turbinas. |                      |
| <b>Dimensiones características</b> | Volumen total  | 1,3 m <sup>3</sup>   |
|                                    | Volumen útil   | 1,012 m <sup>3</sup> |
|                                    | Altura   | 1,6 m                |
|                                    | Diámetro   | 1 m                  |
| <b>Sistema de agitación</b>        | Nº deflectores   | 4                    |
|                                    | Nº palas   | 6                    |
|                                    | Potencia   | 1,046kW              |
| <b>Soportes</b>                    | 4 patas de perfil IPN-80   |                      |
| <b>Material</b>                    | SA-283-C   |                      |
| <b>Condiciones de Trabajo</b>      | Presión  | 1 atm                |
|                                    | Temperatura  | 60 °C                |
| <b>Referencia</b>                  | Punto 6 Memoria de Cálculo,<br>Plano Nº 7                                |                      |

### 9.7.2. Tanque de lavado W-02

|                                    |  |                      |
|------------------------------------|--|----------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Tanque agitado con placas deflectoras. Sistema de agitación de turbinas. |                      |
| <b>Dimensiones características</b> | Volumen total  | 1,4 m <sup>3</sup>   |
|                                    | Volumen útil   | 1,154 m <sup>3</sup> |
|                                    | Altura   | 1,7 m                |
|                                    | Diametro   | 1 m                  |
| <b>Sistema de agitación</b>        | Nº deflectores   | 4                    |
|                                    | Nº palas   | 6                    |
|                                    | Potencia   | 1,070 kW             |
| <b>Soportes</b>                    | 4 patas de perfil IPN-80   |                      |
| <b>Material</b>                    | SA-283-C   |                      |
| <b>Condiciones de Trabajo</b>      | Presión  | 1 atm                |
|                                    | Temperatura  | 54 °C                |
| <b>Referencia</b>                  | Punto 6 Memoria de Cálculo,<br>Plano Nº 7                                |                      |

## 9.8. Evaporadores

### 9.8.1. Evaporador EV-01

- *Elementos y accesorios*
  - Dispone de intercambiador de calor de tubos concéntricos, previo a la entrada del evaporador.
  - Entrada en el intercambiador de calor del evaporador E-01 para la tubería de corriente de alimentación, L-10, que de acero inoxidable SS 304 y 1/2" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones



- roscadas a la tubería y una bomba B-10 centrífuga, de aspiración simple.
- Entrada para la tubería de corriente de alimentación, L-10\*, que sale del intercambiador de calor previo a la columna; de acero inoxidable SS 316 y 6" de DN.
  - Salida para la tubería de descarga de la corriente gaseosa L-11, de acero inoxidable SS 316 y 3" de DN.
  - Salida para la tubería de descarga de la corriente líquida L-12, de acero inoxidable SS 316 y ½" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería y bomba centrífuga B-12.
  - Entrada para la tubería de vapor V-03, de acero inoxidable SS 316 y 2 ½" de DN, dispone de válvula de seguridad que va unida a la tubería mediante bridas.
  - Salida para la tubería de vapor V-04, de acero inoxidable SS 316 y 2 ½" de DN, dispone de válvula de seguridad que va unida a la tubería mediante bridas.
  - Indicador de presión, controlador de temperatura.

|                                    |  |                     |
|------------------------------------|--|---------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Evaporador de película ascendente de circulación natural con tres haces de tubos. Separación de Ésteres metílicos. |                     |
| <b>Dimensiones características</b> | Área de intercambio  | 0,63 m <sup>2</sup> |
|                                    | Diámetro   | 0,836 m             |
|                                    | Nivel de líquido   | 1,996               |
|                                    | Nivel del vapor  | 1,332               |
|                                    | Altura total de la columna   | 4,051 m             |

|                               |   |       |
|-------------------------------|---|-------|
| <b>Soportes</b>               |   |       |
| <b>Material</b>               | SS-316  |       |
| <b>Condiciones de Trabajo</b> | Presión                                       | 1 bar |
|                               | Temperatura                                   | 177°C |
| <b>Referencia</b>             | Punto 7 Memoria de Cálculo,<br>Plano N° 1 y 2 |       |

### 9.8.2. Evaporador EV-02

- *Elementos y accesorios*
  - Dispone de intercambiador de calor de tubos concéntricos, previo a la entrada de la alimentación en el evaporador EV-02.
  - Entrada en el intercambiador de calor previo para la tubería de alimentación de la fase pesada del decantador, L-08, de acero inoxidable SS 304 y 1/8" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería y una bomba B-08 de desplazamiento positivo, tipo diafragma.
  - Entrada para la tubería de corriente de alimentación, L-08\*, que sale del intercambiador de calor previo a la columna; de acero inoxidable SS 304 y 5" de DN.
  - Salida para la tubería de descarga de la corriente gaseosa L-13, de acero inoxidable SS 304 y 2 1/2" de DN.
  - Salida para la tubería de descarga de la corriente líquida L-14, de acero inoxidable SS 304 y 1/8" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería y dos bomba de desplazamiento positivo de etapa simple B-14.
  - Entrada para la tubería de vapor V-04, de acero inoxidable SS 316 y 2 1/2" de DN, dispone de válvula de seguridad que va unida a la tubería mediante bridas.

- Salida para la tubería de vapor V-05, de acero inoxidable SS 316 y 2 ½” de DN, dispone de válvula de seguridad que va unida a la tubería mediante bridas.
- Indicador de presión, controlador de temperatura.

|                                    |  |                     |
|------------------------------------|--|---------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Evaporador de película ascendente de circulación natural con tres haces de tubos. Separación de glicerina. |                     |
| <b>Dimensiones características</b> | Área de intercambio  | 0,31 m <sup>2</sup> |
|                                    | Diámetro   | 0,5 m               |
|                                    | Nivel de líquido   | 0,611 m             |
|                                    | Nivel del vapor  | 1,082 m             |
|                                    | Altura total de la columna   | 2 m                 |
| <b>Soportes</b>                    | 2 patas de perfil IPN-80   |                     |
| <b>Material</b>                    | SS-316   |                     |
| <b>Condiciones de Trabajo</b>      | Presión  | 0,1 bar             |
|                                    | Temperatura  | 107°C               |
| <b>Referencia</b>                  | Punto 8 Memoria de Cálculo,<br>Plano N° 8  |                     |

## 9.9. Tanques de almacenamiento de productos

### 9.9.1. Tanque de almacenamiento de Biodiésel final

- *Elementos y accesorios*
  - Entrada de la tubería L-12 de la corriente líquida del evaporador EV-01, de acero inoxidable SS 316 y ½” de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería y bomba centrífuga B-12.
  - Conducción de descarga de acero inoxidable que se diseñará de acuerdo con la carga del camión cisterna mediante bomba centrífuga que descargará el tanque cada dos días.
  - Escalera de acero al carbono para su acceso e inspección.
  - Boca de hombre normalizada situada en la zona baja de la pared del depósito.
  - Sistema de venteo normal y de emergencia para prevenir la formación de vacío o presión interna, de tal forma que se evite la deformación del techo o de las paredes del tanque como consecuencia de llenados, vaciados o cambios de temperatura. El dispositivo de venteo estará normalmente cerrado, excepto cuando se ventee a la atmósfera en condiciones de presión interna o vacío.
  - Cubeto de retención construido en hormigón, de capacidad igual al 100% del volumen del tanque de biodiesel. Separado 1,5 m de la pared del tanque y su altura es de 1,03 m. Existirán dos accesos normales al interior del cubeto. Su construcción se hace según ITC APQ 1 “Almacenamiento de líquidos combustibles e inflamables”.
  - Filtros de coalescencia en la conducción L-12 para la eliminación de los restos de agua.
  - Medidor de nivel, indicador de temperatura y sensor de pH.

|                                    |  |                   |
|------------------------------------|--|-------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Tanque cilíndrico vertical cerrado con tapa semielíptica y fondo plano. Dispone de cubeto de retención |                   |
| <b>Dimensiones características</b> | Volumen total  | 60 m <sup>3</sup> |
|                                    | Volumen útil   | 48 m <sup>3</sup> |
|                                    | Altura   | 5,56 m            |
|                                    | Diámetro interno   | 3,7 m             |
|                                    | Espesor  | 10 mm             |
| <b>Material</b>                    | SA-283-C   |                   |
| <b>Referencia</b>                  | Punto 1 Memoria de Cálculo, Plano N° 11  |                   |

#### 9.9.2. Tanque de almacenamiento de Glicerina

- *Elementos y accesorios*
  - Entrada para la tubería de descarga de la corriente líquida L-14, de acero inoxidable SS 304 y 1/8" de DN, dispone de una válvula de aguja con terminaciones roscadas a la tubería y dos bomba de desplazamiento positivo de etapa simple B-14.
  - Conducción de descarga de acero inoxidable que se diseñará de acuerdo con la carga del camión cisterna mediante bomba centrífuga que descargará el tanque cada semana.
  - Escalera de acero al carbono para su acceso e inspección.
  - Boca de hombre normalizada situada en la zona baja de la pared del depósito
  - Sistema de venteo normal
  - Medidor de nivel, indicador de temperatura y sensor de pH.

|                                    |   |                     |
|------------------------------------|---|---------------------|
| <b>Descripción</b>                 | Tanque cilíndrico vertical cerrado con tapa y fonfo semielíptico. |                     |
| <b>Dimensiones características</b> | Volumen total   | 14 m <sup>3</sup>   |
|                                    | Volumen útil  | 11,2 m <sup>3</sup> |
|                                    | Altura  | 4,025 m             |
|                                    | Diámetro interno  | 2,282 m             |
|                                    | Espesor   | 7 mm                |
| <b>Soportes</b>                    | 4 patas de perfil IPN-100   |                     |
| <b>Material</b>                    | SA-283-C  |                     |
| <b>Referencia</b>                  | Punto 1 Memoria de Cálculo,<br>Plano N° 12                        |                     |

## 10. BIBLIOGRAFÍA.

- [1.] Propiedades de los gases y líquidos, su estimación y correlación. REID. Robert C., SHERWOOD Thomas K. Unión tipográfica editorial Hispano Americana, México 1968.
- [2.] Transferencia de Calor. MILLS Anthony F. McGraw-Hill/Irwin. 1999.
- [3.] Transferencia de Calor. HOLMAN J.P, Editorial McGraw-Hill, 1998
- [4.] Manuel del Ingeniero Químico, Robert H. Perry.
- [5.] Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, McCabe, Smith, Harriott, Mc Graw Hill, 2002.
- [6.] Ingeniería Química, "Flujo de fluidos", E. Costa Novella, Alambra Universidad. 1985
- [7.] Aceites y Grasas, Colón Virgili, Ramón, Tip Cat Casal Barcelona

### **Publicaciones.**

- I. Biodiesel Fuel Production by transesterificación of Oils; HIDEKI. Fukuda, AKIHIKO. Kondo and HIDEO Noda. *Journal of Bioscience and Bioengineering.* (2001) 92, 405-416,
- II. Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol. SAKA. S and KUSDIANA. D. *Fuel.* (2001), 80, 225
- III. Análisis of two-step, noncatalytic, supercritical Biodiesel production process with heat recovery. D`Ippolito S.A, Yori J.C, Iturria M.E, C.L Pieck and Vera C.R. *American Chemical Society* (2006)
- IV. Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methanol ,D. Kusdiana, S. Saka\*, *Fuel* (2001) 80, 693-698
- V. High-temperature and High-Pressure experimental thermal conductivity for the pure methanol and binary systems methanol + *n*-propanol, methanol + *n*-octanol, and methanol + *n*-undecanol ya.m. nazieva, m.m. bashirova, i.m. abdulagatovb. *Fluid Phase Equilibria*, (2004) 226,221-235

- VI. Reactivity of triglycerides and fatty acids of rapeseed oil in supercritical alcohols. Yuichiro Warabi, Dadan Kusdiana, Shiro Saka, *Bioresource technology* (2004) 91,283-287
- VII. Small-Scale Oilseed Processing, By Janet Bachmann, NCAT Agriculture Specialist
- VIII. Review of Biodiesel Research at university of Georgia, John W. Goodrum
- IX. Numerical and experimental investigation of biodiesel/glycerin separation by John Dail Garner 2005
- X. Blending Rules for formulating Biodiesel Fuel, L Davis Clements, 1996
- XI. Correlating Chemical Structure and Physical Properties of vegetable oil Esters; Jorge de A. Rodriguez...2006
- XII. Biodiesel –Transesterification of Biological Oils with Liquid catalysts. Thermodynamic Properties of Oil-Methanol-Amine Mixtures, Tanja Cerce, Siegfried Peter, *Ind.Eng Chem Res* 2005,44 9535-9541
- XIII. Liquid-Liquid phase equilibrium in glycerol-methanol-Methyl Oleate and Glycerol-Monoolein-methyl Oleate ternary Systems.
- XIV. Modelado y correlación de propiedades en biodiesel. A.E Blangino y S.D Romano.
- XV. Eichardson, A.: *J. Chem. Soc.*, 49 (1886) 761-776
- XVI. Nikitin, E.D., Pavlov, P.A. and Skripov, P.V.: *J. Chem. Thermodyn.*, 25 (1993) 869-880
- XVII. Two-Step Preparation for catalyst-Free Biodiesel fuel Production, Dadan Kusdiana and Chiro Saka
- XVIII. Contribución al estudio de las degradaciones experimentadas por aceites en los procesos de fritura. Aceite de oliva. A.L. Díaz Alonso A.L. Díaz. *Aceites y grasas*. Vol 28, 1977.



**Otras Fuentes.**

- A. Inconel alloy 625.(pdf)
- B. Quest Consultants Inc. “Thermodynamic Properties Page with Final Pressure Other Than One Atmosphere.
- C. Columna flash (pdf)
- D. [www.biodieseldelplata.com](http://www.biodieseldelplata.com). Y otras
- E. Apuntes de Tecnología del Medio ambiente, capítulo: Diseño de una E.D.A.R
- F. Apuntes de Operaciones básicas de flujo de fluidos y transmisión de calor 2007.
- G. Flujo viscoso incomprensible. (Pdf)
- H. Apuntes de Proyecto y Oficina Técnica.
- I. [http://www.etsia.upm.es/fedna/grasasyaceites/aceite\\_colza.htm](http://www.etsia.upm.es/fedna/grasasyaceites/aceite_colza.htm), fundación española para la nutrición animal.
- J. Proyecto “ Diseño de una planta de producción de biodiesel” por Tomas Delgado Perez

# MEMORIA DE CÁLCULO

---

# ÍNDICE

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>0. ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN. ....</b>  | <b>10</b> |
| <b>1. DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO .....</b>                               | <b>11</b> |
| <b>1.1. Descripción de los tanques de almacenamiento.....</b>                     | <b>11</b> |
| <b>1.2. Selección del material de los tanques.....</b>                            | <b>12</b> |
| <b>1.3. Especificaciones técnicas de diseño.....</b>                              | <b>13</b> |
| <b>1.4. Dimensiones características.....</b>                                      | <b>17</b> |
| <b>1.5. Cálculo de espesores.....</b>   | <b>18</b> |
| 1.5.1. Cálculo del espesor de la envolvente en la línea de tangencia.             |           |
| 1.5.2. Cálculo del espesor de los cabezales.                                      |           |
| 1.5.3. Espesores de Tubuladuras.  |           |
| <b>1.6. Dimensiones nominales de los recipientes.....</b>                         | <b>22</b> |
| <b>1.7. Cálculo de las cargas de viento sobre los tanques.....</b>                | <b>23</b> |
| <b>1.8. Cálculo de los soportes de apoyo.....</b>                                 | <b>25</b> |
| <b>1.9. Cubetos de retención.....</b>   | <b>28</b> |
| 1.9.1. Cubeto de retención para los tanques de metanol T1 y T5                    |           |
| 1.9.2. Cubeto de retención para el tanque de biodiesel T3                         |           |
| <b>2. DISEÑO DEL REACTOR DE TRANSESTERIFICACIÓN R-01.....</b>                     | <b>32</b> |
| <b>2.1. Balance de materia a la unidad de reacción de transesterificación....</b> | <b>33</b> |
| <b>2.2. Ecuación de Diseño del Reactor.....</b>                                   | <b>39</b> |
| <b>2.3. Cálculo del volumen y dimensiones características del reactor.....</b>    | <b>41</b> |
| 2.3.1. Cálculo de espesores   |           |
| <b>2.4. Balance de energía.....</b>   | <b>48</b> |
| 2.4.1. Balance de energía a la zona de mezclado del reactor.                      |           |
| 2.4.2. Cálculo de la Entalpía de reacción.  |           |
| 2.4.3. Cálculo del coeficiente global de transferencia de materia del reactor.    |           |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.4.3.1. Cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor en el vapor.                |           |
| 2.4.3.2. Cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor en fluido de alimentación.  |           |
| 2.4.4. Cálculo de la temperatura media del vapor en el reactor.                                 |           |
| 2.4.5. Cálculo del área de intercambio.   |           |
| <b>2.5. Pérdidas de carga en el Reactor.....</b>  | <b>69</b> |
| 2.5.1. Pérdidas de carga en la carcasa.   |           |
| 2.5.2. Pérdidas de carga por el lado de los tubos interiores                                    |           |
| <br>  |           |
| <b>3. DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR.....</b>                                    | <b>77</b> |
| <br>  |           |
| <b>3.1. Generador de vapor.....</b>   | <b>77</b> |
| 3.1.1. Cálculo del calor útil.  |           |
| <b>3.2. Intercambiadores de Calor.....</b>  | <b>80</b> |
| 3.2.1. Características del IC-01  |           |
| 3.2.2. Balance de Energía.  |           |
| 3.2.2.1. Cálculo del calor cedido por el vapor.   |           |
| 3.2.2.2. Cálculo del incremento medio logarítmico.  |           |
| 3.2.2.3. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor.                                |           |
| 3.2.2.3.1. Cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor en el vapor.              |           |
| 3.2.2.3.2. Cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor en fluido de alimentación |           |
| 3.2.2.4. Dimensiones características del Intercambiador.  |           |
| 3.2.3. Pérdidas de Carga.   |           |
| 3.2.3.1. Pérdidas de carga en la tubería exterior.  |           |
| 3.2.3.2. Pérdidas de carga en la tubería interior.  |           |

|   |            |
|---|------------|
| <b>4. DISEÑO DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN FLASH CF-01.....</b>              | <b>104</b> |
| <b>4.1. Estimación de las volatilidades relativas.....</b>                  | <b>105</b> |
| 4.1.1. Presión de Saturación  |            |
| <b>4.2. Cálculo de la Temperatura de la Columna.....</b>                    | <b>107</b> |
| 4.2.1. Ecuaciones para operaciones de una sola etapa de Flash               |            |
| 4.2.2. Método de cálculo de Rachford-Rice.                                  |            |
| 4.2.2.1. Cálculo de la temperatura de burbuja y de la temperatura de rocío. |            |
| 4.2.2.1.1. Cálculo del punto de burbuja.                                    |            |
| 4.2.2.1.2. Cálculo del punto de rocío.                                      |            |
| <b>4.3. Balance de materia a la unidad de destilación flash.....</b>        | <b>117</b> |
| <b>4.4. Dimensiones Características de la columna.....</b>                  | <b>118</b> |
| <b>4.5. Cálculo de Espesores.....</b>                                       | <b>124</b> |
| <b>4.6. Cálculo de los soportes de apoyo.....</b>                           | <b>126</b> |
| <b>5. DISEÑO DEL TANQUE DE DECANTACIÓN D-01.....</b>                        | <b>128</b> |
| <b>5.1. Balance de Materia .....</b>  | <b>129</b> |
| <b>5.2. Balance de Energía.....</b>   | <b>132</b> |
| 5.2.1. Cálculo del área de transferencia de calor.                          |            |
| <b>5.3. Dimensiones características.....</b>                                | <b>135</b> |
| <b>5.4. Velocidad de sedimentación .....</b>                                | <b>138</b> |
| <b>5.5. Cálculo de Espesores.....</b>                                       | <b>142</b> |
| <b>6. DISEÑO DE LOS TANQUES DE LAVADO. W-01 y W-02 .....</b>                | <b>145</b> |
| <b>6.1. Balance de materia .....</b>  | <b>145</b> |
| <b>6.2. Dimensiones características.....</b>                                | <b>147</b> |
| <b>6.3. Cálculo de Espesores.....</b>                                       | <b>150</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>6.4. Sistema de agitación.....</b>  | <b>152</b> |
| 6.4.1. <i>Cálculo de la potencia requerida.</i>                                    |            |
| <b>6.5. Cálculo de los soportes de apoyo .....</b>                                 | <b>158</b> |
| <br>   |            |
| <b>7. DISEÑO DEL EVAPORADOR EV-01.....</b>   | <b>159</b> |
| <br>   |            |
| <b>7.1. Cálculo de la Temperatura de la columna. ....</b>                          | <b>161</b> |
| 7.1.1. <i>Estimación de las volatilidades relativas.</i>                           |            |
| 7.1.2. <i>Presión de Saturación</i>  |            |
| 7.1.3. <i>Método de cálculo de Rachford-Rice.</i>                                  |            |
| 7.1.3.1. <i>Cálculo de la temperatura de burbuja y de la temperatura de rocío.</i> |            |
| 7.1.3.1.1. <i>Cálculo del punto de burbuja.</i>                                    |            |
| 7.1.3.1.2. <i>Cálculo del punto de rocío.</i>                                      |            |
| <b>7.2. Balance de materia a la unidad de evaporación .....</b>                    | <b>169</b> |
| 7.2.1. <i>Composiciones en Equilibrio</i>  |            |
| <b>7.3. Balance de Energía al intercambiador.....</b>                              | <b>171</b> |
| 7.3.1. <i>Cálculo de temperatura de salida del Vapor de calentamiento.</i>         |            |
| <b>7.4. Dimensiones Características del Intercambiador de Calor.....</b>           | <b>178</b> |
| <b>7.5. Dimensiones Características de la Columna.....</b>                         | <b>181</b> |
| <b>7.6. Cálculo de Espesores.....</b>  | <b>186</b> |
| <b>7.7. Pérdidas de carga.....</b>   | <b>190</b> |
| <b>7.8. Cálculo de los soportes de apoyo .....</b>                                 | <b>195</b> |
| <br>   |            |
| <b>8. DISEÑO DEL EVAPORADOR EV-02.....</b>   | <b>196</b> |
| <br>   |            |
| <b>8.1. Cálculo de la Temperatura de la columna. ....</b>                          | <b>197</b> |
| 8.1.1. <i>Estimación de las volatilidades relativas.</i>                           |            |
| 8.1.2. <i>Presión de Saturación</i>  |            |
| 8.1.3. <i>Método de cálculo de Rachford-Rice.</i>                                  |            |
| 8.1.3.1. <i>Cálculo de la temperatura de burbuja y de la temperatura de rocío.</i> |            |
| 8.1.3.1.1. <i>Cálculo del punto de burbuja.</i>                                    |            |

|  |            |
|--|------------|
| 8.1.3.1.2. Cálculo del punto de rocío.                                   |            |
| <b>8.2. Balance de materia a la unidad de evaporación.....</b>           | <b>204</b> |
| 8.2.1. Composiciones en Equilibrio                                       |            |
| <b>8.3. Balance de Energía al intercambiador.....</b>                    | <b>206</b> |
| 8.3.1. Cálculo de temperatura de salida del Vapor de calentamiento.      |            |
| <b>8.4. Dimensiones Características del Intercambiador de Calor.....</b> | <b>213</b> |
| <b>8.5. Dimensiones Características de la Columna.....</b>               | <b>216</b> |
| <b>8.6. Cálculo de Espesores.....</b>                                    | <b>222</b> |
| <b>8.7. Pérdidas de carga.....</b>                                       | <b>225</b> |
| <b>8.8. Cálculo de los soportes de apoyo .....</b>                       | <b>229</b> |
| <br>   |            |
| <b>9. DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERIAS DE PROCESO.....</b>                 | <b>231</b> |
| <br>   |            |
| <b>9.1. Procedimiento de diseño de tuberías.....</b>                     | <b>232</b> |
| <b>9.2. Normas de diseño.....</b>  | <b>233</b> |
| <b>9.3. Cálculo de caudales volumétricos de cada tubería.....</b>        | <b>234</b> |
| <b>9.4. Cálculo del diámetro nominal y del espesor de tubería.....</b>   | <b>234</b> |
| <b>9.5. Red de tuberías de la línea principal de proceso.....</b>        | <b>237</b> |
| <b>9.6. Red de tuberías de la línea de vapor.....</b>                    | <b>241</b> |
| <b>9.7. Red de tuberías de la línea de agua.....</b>                     | <b>243</b> |
| <b>9.8. Pérdidas de Carga.....</b>                                       | <b>245</b> |
| <b>9.9. Uniones.....</b>   | <b>255</b> |
| <br>   |            |
| <b>10. DISEÑO DE VÁLVULAS.....</b>                                       | <b>264</b> |
| <br>   |            |
| <b>10.1. Válvulas de seguridad y disco de rotura.....</b>                | <b>265</b> |



**11. CÁLCULO DE EQUIPOS PARA LA IMPULSIÓN DE FLUIDOS.....271**

**11.1. Cálculo de los parámetros característicos de las bombas y  
compresores.....272**

11.1.1. *Altura manométrica.*

11.1.2. *Potencia.*

11.1.3. *Selección de bombas.*

11.1.4. *Selección de compresores.*



## **0. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.**

Para el diseño de la planta de producción de biodiesel se van a seguir las siguientes consideraciones:

- La carga mínima de entrada a la planta será de 873,2 kg/h de aceite de colza y 1984 kg/h de metanol.

- El régimen de operación de la planta será de 24 horas al día, durante 308 días al año.

La capacidad de producción de la planta para un grado de conversión del 99% es de aproximadamente 868,5 kg/h de biodiesel, que se traduce en un total de 20844 kg/día y unas 6420 ton/año. Este resultado se obtiene en el balance de materia al reactor (ver apartado 2.1).

## **1. DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO.**

### ***1.1. Descripción de los tanques de almacenamiento***

#### ***- T1\_ Tanque de almacenamiento de metanol***

Consiste en un tanque cilíndrico vertical con cabezal semielíptico y fondo plano que está construido en acero al carbono SA-285C. Este tanque tendrá las dimensiones apropiadas para poder albergar la cantidad de metanol inicial necesaria, además de proporciona continuamente una cantidad de metanol puro al tanque T5. Estará resguardado por un cubeto de retención.

#### ***- T2\_ Tanque de almacenamiento de aceite de colza***

Es un tanque cilíndrico vertical con fondo y cabezal semielíptico soportado por patas y construido en acero al carbono SA-285C. Las dimensiones del tanque vienen dadas según el caudal de aceite necesario para un día de operación de la planta.

#### ***- T3\_ Tanque de almacenamiento de biodiesel final***

Consiste en un tanque cilíndrico vertical con cabezal semielíptico y fondo plano y construido en acero al carbono SA-285-C. El diseño de este tanque se sobredimensiona con respecto a la cantidad máxima de biodiesel producida en un día ya que el biodiesel obtenido se deja almacenado durante dos días para favorecer el secado del mismo; una vez transcurrido este tiempo será transportado en sus respectivos camiones cisternas. Estará resguardado por un cubeto de retención

- *T4\_ Tanque de almacenamiento de glicerina cruda*

Es un tanque cilíndrico vertical cerrado con cabezal y fondo semielíptico y soportado por patas, está construido en acero al carbono SA-285-C. El tanque será diseñado para almacenar la cantidad de glicerina producida en una semana, cada semana será transportada para su posterior proceso de purificación.

- *T5\_ Tanque mezclador de metanol recirculado y metanol puro*

Tanque con las mismas características que el tanque T1 pero de menor dimensión. La mayor parte del metanol necesario, después de la primera carga, vendrá del metanol recirculado de (CF-01 y EV-02) con una pequeña proporción de metanol puro. Consiste en un tanque cilíndrico vertical con cabezal semielíptico y fondo plano soportado por patas y construido en acero al carbono SA-285-C. Estará resguardado por un cubeto de retención

### **1.2. Selección del material para los tanques.**

Debido a la existencia de diferentes materiales disponibles en el mercado, en ocasiones no resulta sencilla la tarea de seleccionar el material, ya sea por los requerimientos del proceso o de la operación. Entre los distintos materiales que pueden aplicarse a los recipientes se encuentran:

- Acero al carbono: es el más disponible y económico de los aceros, recomendable para la mayoría de los recipientes donde no existen altas presiones ni temperaturas.

- Aceros de baja aleación: como su nombre lo indica, estos aceros contienen bajos porcentajes de elementos como níquel, cromo, etc. Y en general están fabricados para cumplir condiciones de uso específico. Son un poco más costosos que los aceros al carbono. Por otra parte no se considera que sean

resistentes a la corrosión, pero tienen mejor comportamiento en resistencia mecánica para rangos más altos de temperaturas respecto a los aceros al carbono.

| TEMPERATURA<br>EN °C | TEMPERATURA<br>EN °F | MATERIAL PARA<br>CARCASA | CABEZAS Y PLANTILLAS DE<br>REFUERZO |
|----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| -67 a -46.1          | -90 a -51            | SA-203 B*                | SA-203 A                            |
| -45.6 a -40.5        | -50 a -41            | SA-516-65                | SA-203 B                            |
| -40 a 15.6           | -40 a +60            | SA-516-70+               | SA-516-65                           |
| 15.6 a 343           | +60 a 650            | SA-285-C                 | SA-515-70                           |
| 344 a 412.8          | -651 a +775          | SA-515-70                |                                     |

**Tabla 1.1** Aceros recomendados para diferentes temperaturas<sup>H</sup>

\*Para espesores hasta 51 mm.

+Para temperaturas de hasta -20°F.

El material seleccionado para la construcción del depósito es un acero al carbono de especificación SA-285 de grado C. La elección de este material se ha hecho en relación al rango de temperaturas de servicio al que va a ser sometido, teniendo en cuenta que la sustancia a almacenar no degrade a dicho material.

### **1.3. Especificaciones técnicas de diseño.**

El diseño y cálculo mecánico de los elementos que forman parte de un recipiente consiste, básicamente en la determinación de sus espesores, tomando como datos de partida: la forma del equipo, sus dimensiones, el material utilizado, las condiciones de presión y temperatura, las cargas debidas al viento y terremoto, peso específico del fluido y la reglamentación, norma o código que debe cumplir el diseño del recipiente. En este caso, para las condiciones de presión y temperatura de los tanques, se utiliza el código ASME, que en su sección VIII, división 1, indica los métodos de diseño y cálculo, así como los requisitos mínimos exigidos a los materiales, detalles constructivos y pruebas que deben satisfacer los equipos a vacío, baja, media y alta presión.

En primer lugar, para el diseño de los tanques de almacenamiento hay que reflejar los siguientes datos básicos:

- Presión de diseño o proyecto
- Temperatura de diseño o proyecto.
- Velocidad o presión del viento en la zona para la que se proyecta
- Tipo de material
- Inspección radiográfica
- Etc

#### **A. Presión de Diseño.**

Esta presión debe ser en todo caso mayor a la máxima de operación. Su valor se puede fijar como el mayor de:

$$P \geq 1,1 \times \text{Presión máxima de operación (kg/cm}^2\text{)}$$

$$P \geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$P \geq 3,5 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Si se desconoce la máxima presión de operación, la presión de diseño vendrá dada por la siguiente tabla:

| <u>OPERACIÓN(kg/cm<sup>2</sup>)</u> | <u>DISEÑO</u>  |
|-------------------------------------|--|
| 0-1,5                               | 3,5 kg/cm <sup>2</sup> Manométrico                     |
| 1,6-13,5                            | 2 kg/cm <sup>2</sup> + P.O. (Presión Operación normal) |
| 13,6-20                             | 115% de P.O  |
| 20,1-25                             | 3 kg/cm <sup>2</sup> + P.O                             |
| ≥ 25,1                              | 112% de P.O  |

### **B. Temperatura de Diseño (T).**

Esta temperatura debe ser superior a la máxima que se produzca durante la operación, y es habitual (a no ser que se especifique otro valor en las hojas de datos de recipiente) adoptar como temperatura de diseño el valor de:

$$T = \text{Máxima Temperatura de operación} + 20^{\circ}\text{C}$$

Los tanques de recepción de materias primas se encuentran a temperatura ambiente, sin embargo los tanques de recogida de productos se encuentran a la temperatura de salida de las respectivas unidades de procesos de las que salen.

Así bien, la temperatura del tanque de biodiesel (T3) es de  $177^{\circ}\text{C}$  y el tanque de glicerina (T4) se encuentra a  $107^{\circ}\text{C}$ . (Ver Memoria de Cálculo Punto 7.1 y 8.1 respectivamente).

Por lo tanto la temperatura de diseño para cada tanque será:

| TANQUE | Temperatura de diseño, °C |
|--------|---------------------------|
| T1     | 45                        |
| T2     | 45                        |
| T3     | 197                       |
| T4     | 127                       |
| T5     | 45                        |

### **C. Tensión máxima admisible.**

Los recipientes a presión se calculan con unos espesores de pared capaces de soportar sin deformación la presión a la que se verán sometidos. Es decir, que la presión a la que trabaja el material sea inferior a la máxima tensión admisible del mismo.



Esta tensión máxima admisible depende de las características del material y del coeficiente de seguridad que se adopte, variando con la temperatura de trabajo.

Para el material elegido y la temperatura de operación (temperatura ambiente) la tensión máxima admisible es de **15700 psi**. Según la tabla 8 del anexo gráfico.

#### ***D. Eficiencia de la soldadura (E)***

La unión entre chapas se realiza, normalmente, por medio de la soldadura, y ésta representa una discontinuidad dentro del trazado de chapa que puede producir una intensificación local de las tensiones a que se encuentra sometido el material. Esta razón, junto con la posibilidad de producirse defectos en la realización de la soldadura y el calentamiento y rápido enfriamiento al que está sometida la zona próxima a la soldadura, dan pie a considerar la zona de soldadura como debilitada. Teniendo en cuenta este hecho, en el cálculo de los recipientes se introduce una reducción en la tensión máxima admisible multiplicando ésta por un coeficiente denominado eficiencia a la soldadura  $E$ , cuyo valor varía según las normas o códigos, y de acuerdo a la soldadura y los controles efectuados sobre ella. Ver grafico 44 del anexo gráfico

#### ***E. Carga unitaria del viento sobre los recipientes***

El viento produce unas tensiones en las paredes del recipiente que pueden producir la inestabilidad mecánica del mismo.

Las reglamentaciones de muchos países exigen que las estructuras estén diseñadas con unos coeficientes de seguridad con respecto al viento y, los recipientes, como estructuras autoportantes, deben ajustarse a estas normativas particulares. Por otra parte, se puede indicar que todas las reglamentaciones son muy parecidas, diferenciándose ligeramente en los valores de algún coeficiente de los que intervienen en el cálculo.

#### **1.4. Dimensiones características.**

El diseño de los tanques consiste en el cálculo de las dimensiones de los cilindros, además de los espesores tanto de los cabezales como de la carcasa o virola.

Para depósitos cilíndricos de almacenamiento se aconseja una relación altura-diámetro de 1,5 a 3 (apropiada para baja presión 1 a 5 bar)<sup>[4]</sup>, tomando una relación final de H/D de 1,5 y partiendo de la definición de volumen para un cilindro se puede calcular las dimensiones de los tanques,

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} \qquad V = \frac{1,5 \cdot \pi \cdot D^3}{4} \dots(1.1)$$

El volumen total del tanque se obtiene incrementando el volumen útil necesario en un 20%

El volumen de los tanques de almacenamiento final de glicerina y biodiesel (tanques 3 y 4) se ha calculado considerando el intervalo de tiempo necesario para su vaciado en camiones y su posterior distribución.

Para el caso del tanque de glicerina la descarga se hará cada semana, es decir, el volumen del tanque está diseñado de acuerdo con la cantidad producida en una semana; y para el tanque de biodiesel final se ha estimado el volumen producido de biodiesel en 2 días.

Se calcula el volumen útil con la ec 1.1, el volumen total se calcula incrementando un 20% al volumen útil y el volumen total máximo se calcula considerando los días de almacenamiento.

| TANQUE | Vutil(m <sup>3</sup> ) | Vtotal(m <sup>3</sup> ) | Vtotal max(m <sup>3</sup> ) | Dint(m) | H(m)  |
|--------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------|-------|
| 1      | 6                      | 7,5                     | 7,5                         | 1,853   | 2,780 |
| 2      | 24                     | 30                      | 30                          | 2,942   | 4,413 |
| 3      | 26,4                   | 33                      | 66                          | 3.826   | 5.74  |
| 4      | 1,752                  | 2,2                     | 15,4                        | 2.356   | 3.534 |
| 5      | 2,5                    | 3,2                     | 3,2                         | 1,395   | 2,093 |

**Tabla 1.2** Dimensiones de los tanques del almacenamiento.

### 1.5. Cálculo de espesores.

#### 1.5.1. Cálculo del espesor de la envolvente en la línea de tangencia

Conocidos los datos de Presión de diseño(P), diámetro interno(di), eficacia de soldadura (E), coeficiente de corrosión (c) se puede calcular el espesor mínimo de la envolvente para cada uno de los depósitos usando las siguientes ecuaciones:

Para esfuerzo longitudinal:

$$t_{\delta x} = \frac{P.R_o}{2.SE + 0,4P} + c$$

P: Presión de diseño, (psi).

R<sub>o</sub>: Radio interior del recipiente, (mm)

S: Tensión máxima admisible, (psi).

E: eficiencia de soldadura

c: sobreespesor o margen de corrosión, (mm)

Para esfuerzo circunferencial:

$$t_{\delta c} = \frac{P.R_o}{SE - 0,6P} + c$$

| Tanque | P <sub>diseño</sub> (psi) | S (psi) | c (mm) | D <sub>int</sub> (m) | t <sub>δx</sub> (mm) | t <sub>δφ</sub> (mm) | t <sub>final</sub> (mm) |
|--------|---------------------------|---------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| 1      | 49,781                    | 15700   | 2      | 1,853                | 3,727                | 5,465                | 6                       |
| 2      | 49,781                    | 15700   | 2      | 2,942                | 4,742                | 7,5                  | 8                       |
| 3      | 49,781                    | 15700   | 2      | 3,826                | 5,566                | 9,153                | 10                      |
| 4      | 49,781                    | 15700   | 2      | 2,356                | 4,195                | 6,404                | 7                       |
| 5      | 49,781                    | 15700   | 2      | 1,395                | 3,3                  | 4,608                | 5                       |

**Tabla 1.3** Espesor del casco de los tanques de almacenamiento.

### 1.5.2. Cálculo del espesor de los cabezales

Los fondos y cabezales más aceptados en la industria, de bajo coste y que satisfacen las condiciones de trabajo en este caso son: fondos toriesférico y fondos semielípticos. A continuación se calcula el espesor del fondo o cabezal, según el caso, de éstos dos tipos en todos los tanques.

Espesor toriesférico:

$$t_f = \frac{P.L.M}{2.SE - 0,2P} + c$$

Para este caso, se elige tipo **Klopper** ya que se utilizan en condiciones de presiones de diseño bajas, inferiores a 7 kg/cm<sup>2</sup>.

$$M = \frac{3 + \sqrt{\frac{L}{r}}}{4} \quad \text{Donde: } \begin{cases} L = D_0 \\ r = \frac{D_0}{10} \end{cases}$$

Espesor semielíptico:

$$t_f = \frac{P.D_i}{2.SE - 0,2P} + c$$

Donde:

*P*: Presión de diseño, psi

*D<sub>i</sub>*: radio interior del tanque, mm

*S*: Tensión máxima admisible, psi

*c*: sobreespesor o margen de corrosión, mm

Los espesores de los tanques para los dos tipos de fondos mencionados son los siguientes:

| TANQUE | D <sub>int</sub> (m) | L(mm) | r(mm) | t <sub>f</sub> (mm)<br>toriesférico | t <sub>f</sub> (mm)<br>semi-elíptico | t <sub>f</sub><br>final(mm) |
|--------|----------------------|-------|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1      | 1,853                | 1853  | 185,3 | 7,327                               | 5,458                                | 6                           |
| 2      | 2,942                | 2942  | 294,2 | 10,457                              | 7,489                                | 8                           |
| 3      | 3,826                | 3826  | 382,6 | 12,999                              | 9,140                                | 10                          |
| 4      | 2,356                | 2356  | 235,5 | 8,771                               | 6,395                                | 7                           |
| 5      | 1,395                | 1395  | 139,5 | 4,861                               | 4,603                                | 5                           |

**Tabla 1.4** Espesores de los cabezales

Para similitud en todos los tanques, se coge como tipo de fondo o cabezal semielíptico ya que da como resultado espesores ligeramente menores, la bibliografía <sup>H</sup> dice que los fondos semielípticos son empleados cuando el espesor calculado de una tapa toriesférica es relativamente alto, además las tapas semielípticas soportan mayores presiones que las toriesféricas.

En todos los fondos se realiza la transición de una figura bombeada a otra cilíndrica, que es la carcasa; esta línea de transición, denominada justamente línea de tangencia, se encuentra sometida a grandes tensiones axiales que se traducen en fuertes tensiones locales, y éste resulta ser el punto

más débil de todo el recipiente; por esta razón no es aconsejable realizar la soldadura de unión fondo-carcasa a lo largo de esta línea. Para evitar esta coincidencia los fondos bombeados se construyen con una parte cilíndrica, denominada pestaña o faldilla, cuya altura mínima “h” en general deberá ser no menor que el mayor de los siguientes valores:

$$h \geq 0,3.D_o.t_f$$

$$h \geq 3.t_f$$

$$h \geq 25_{mm}$$

| TANQUE | D <sub>ext</sub> (m) | t <sub>f</sub> (mm) | h (mm) |
|--------|----------------------|---------------------|--------|
| 1      | 1,865                | 6                   | 36,648 |
| 2      | 2,958                | 8                   | 54,115 |
| 3      | 3,846                | 10                  | 67,084 |
| 4      | 2,370                | 7                   | 43,811 |
| 5      | 1,407                | 5                   | 27,567 |

Tabla 1.5 Cálculo de la altura de la Faldilla

### 1.5.3 Espesores de tubuladuras.

Las conexiones están sometidas, además de a la presión interna, a otras tensiones que les transmiten las tuberías que llegan a ellas. Estas tensiones son debidas, básicamente, a las fuerzas y momentos producidos por la dilatación térmica y a los pesos de los fluidos y de la propia línea. Por ello, todas las normas exigen para las tubuladuras unos espesores mínimos superiores a los exigidos para los otros elementos sometidos a presión.

Para el código ASME, Sección VIII, div 1, este espesor mínimo vienen dado por:

$$e_{\min} = \frac{e_{Sch}}{0,875} + c_{(mm)}$$

Siendo  $e_{sch}$  el espesor nominal de la tubería según su correspondiente Schedule y “c” el sobreespesor por corrosión.

|                             | Identificador de la tubería | DN   | $e_{sch}(m)$ | $e_{min}(m)$ |
|-----------------------------|-----------------------------|------|--------------|--------------|
| <b>T1 ( Metanol)</b>        |                             |      |              |              |
| Línea de carga              | No se diseñó                | -    | -            | -            |
| Descarga a T5               | No se diseñó                | -    | -            | -            |
| <b>T5 (Metanol)</b>         |                             |      |              |              |
| Descarga a IC-01            | L-01´                       | 1"   | 0,00277      | 0,005166     |
| Carga de Recirculación      | No se diseñó                | -    | -            | -            |
| Carga de T1                 | No se diseñó                | -    | -            | -            |
| <b>T2 (Aceite de Colza)</b> |                             |      |              |              |
| Descarga a R-01             | L-02´                       | 1/2" | 0,00277      | 0,005166     |
| Línea de carga              | No se diseñó                | -    | -            | -            |
| <b>T3 (Biodiesel)</b>       |                             |      |              |              |
| Carga desde EV-01           | L-12                        | 1/2" | 0,00277      | 0,005166     |
| Línea de carga              | No se diseñó                | -    | -            | -            |
| <b>T4 (Glicerina)</b>       |                             |      |              |              |
| Carga desde EV-02           | L-14                        | 1/8" | 0,00242      | 0,004766     |
| Línea de carga              | No se diseñó                | -    | -            | -            |

**Tabla 1.5.1** Espesores de Tubuladuras

### 1.6. Dimensiones nominales de los recipientes.

Para el fondo semielíptico, se puede obtener el volumen de la parte bombeada a partir de:

$$V_b \approx 0,13.D_{int}^3$$

El volumen de la parte cilíndrica será igual a:  $V_c = V_T - V_b$

Por ello, a continuación se recalcula el volumen y la altura de la parte cilíndrica así como la altura de la zona bombeada:

$$V_c = \frac{\pi.D^2.H_c}{4} \quad H_c = \frac{4.V_c}{\pi.D_{int}^2}$$

| TANQUE | $V_T (m^3)$ | $V_b (m^3)$ | $V_c (m^3)$ | $t_f (mm)$ | $H_c (m)$ | $H_{fondo} (m)$ | $H_{total}(m)$ | $D_{int} (m)$ |
|--------|-------------|-------------|-------------|------------|-----------|-----------------|----------------|---------------|
| 1      | 7,5         | 0,828       | 6,672       | 6          | 2,473     | 0,307           | 2,78           | 1,853         |
| 2      | 30          | 3,311       | 26,689      | 8          | 3,926     | 0,565           | 4,491          | 2,942         |
| 3      | 66          | 7,238       | 53,717      | 10         | 5,106     | 0,634           | 5,740          | 3,826         |
| 4      | 15,4        | 1,699       | 13,701      | 7          | 3,144     | 0,390           | 3,534          | 2,356         |
| 5      | 3,2         | 0,353       | 2,847       | 5          | 1,862     | 0,302           | 2,164          | 1,395         |

Tabla 1.6 Dimensiones Nominales.

### 1.7. Cálculo de las cargas del viento sobre los tanques

El valor de las cargas uniformes son función del área expuesta y de la presión que el viento ejerce sobre esta área, denominada presión de diseño del viento. La determinación de estas cargas unitarias se lleva a cabo con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{D \cdot P_w}{10^3}$$

Q = carga debida al viento por metro lineal de altura, kg/m.

D = diámetro exterior del recipiente, incluido aislamiento, si lo hay, en mm.

$P_w$  = presión de diseño del viento, en  $kg/m^2$ .

La presión de diseño  $P_w$ , es función de la presión básica del viento (p), de la forma del recipiente, de la esbeltez y de los accesorios externos del recipiente, pudiendo concretarse todo ello en la fórmula:

$$P_w = p \cdot c \cdot K \cdot r$$

Siendo:

p = presión básica del viento,  $kg/m^2$ .

c = factor de forma.

K = coeficiente de esbeltez.

r = coeficiente de accesorios.



- *Presión básica del viento ( $p$ )*

La presión básica del viento es función de la velocidad del viento y de la elevación sobre el suelo. Por esa misma razón, en una misma torre o recipiente pueden existir diferentes presiones básicas del viento a las diversas elevaciones, que al final supondrán diversas cargas del viento, por lo que genéricamente se tiene la siguiente expresión:

$$p = p_o \cdot K_a$$

Siendo:

$p_o$  = presión básica del viento a la altura del suelo,  $\text{kg/m}^2$ .

$K_a$  = factor de altura

| Altura sobre el suelo, (m) | Factor de altura, $K_a$ |
|----------------------------|-------------------------|
| De 0 a 15                  | 1                       |
| De 16 a 25                 | 1,15                    |
| De 26 a 40                 | 1,3                     |
| >40                        | 1,5                     |

**Tabla 1.6.1** Factor de altura

Como factor de altura se coge el valor de 1 ya que la altura de los tanques, en todos los casos, es inferior a 15 m<sup>H</sup>. Además el valor de  $c$ , factor de forma, se toma 0,6 para áreas cilíndricas con superficie lisa.

El coeficiente de esbeltez es función de la relación entre la altura  $H$  y el diámetro exterior  $D$  expuesto al viento, como la relación  $H/D$  es inferior a 5, se toma para  $K$  la unidad.<sup>H</sup>

Por último, para tener en cuenta el efecto de suma de área que producen las tuberías soportadas, y en general, cualquier accesorio exterior, se introduce un coeficiente que compensa estas acciones, En este caso “ $r$ ” es 1,15 ya que los valores de diámetro exterior de los tanques son mayores a 1 m.

La velocidad del viento (V) elegida es de 120 km/h para la zona de Sevilla. Conocido este dato, la presión básica a nivel del suelo a partir de la velocidad del viento se obtiene como:

$$P_o(kg/cm^2) = \frac{V}{201,4}$$

| TANQUE | Pdiseño (psi) | Pw(kg/h) | D (m) | Q (kg/m) |
|--------|---------------|----------|-------|----------|
| 1      | 49,781        | 0,411    | 1,865 | 1,628    |
| 2      | 49,781        | 0,411    | 2,958 | 1,202    |
| 3      | 49,781        | 0,411    | 3,826 | 1,581    |
| 4      | 49,781        | 0,411    | 2,356 | 0,974    |
| 5      | 49,781        | 0,411    | 1,407 | 0,579    |

**Tabla 1.7** Cargas de viento para cada tanque

### **1.8. Soportes de Apoyo**

Los tanques de almacenamiento tienen un diámetro mayor a 0,75 m, por lo que el número de apoyos será de 4<sup>J</sup>. Se trata de perfiles comerciales IPN de dimensiones normalizadas y de acero al carbono, que irán soldados a la carcasa mediante una placa de refuerzo soldada directamente al recipiente.

Los tanques verticales de glicerina y aceite de colza serán diseñados como unidades autosoportadas. Como soportes podrán utilizarse: faldones, patas, silletas y consolas. Se tomarán como patas de apoyo perfiles IPN de acero al carbono tipo A 42 con una tensión de compresión admisible  $\sigma_{adm} = 1500 \text{ kg/cm}^2$ .

La longitud de las mismas será tal que la altura que queda entre el suelo y el fondo inferior del tanque sea de un metro con el fin de facilitar la instalación y desmontaje de la conexión de salida junto con la tubería correspondiente.

El cálculo mecánico consiste en comprobar que las tensiones de compresión debidas al peso total sobre cada pata de apoyo más el pandeo debido al momento producido por la carga de viento sean en cualquier caso inferior a la tensión máxima admisible del material. Este último término será despreciable para el caso que se trata pues la instalación de almacenamiento se halla en un recinto confinado, quedando que:

$$\sigma_{\text{comp}} = w \cdot P/A < \sigma_{\text{adm}}$$

Donde:

$\sigma_{\text{comp}}$  = tensión de compresión total, en kg/cm<sup>2</sup>.

P = peso total soportado por cada pata de apoyo.

A = área transversal del perfil, en cm<sup>2</sup>.

w = coeficiente de seguridad por pandeo.

El peso total es la suma del peso del líquido contenido en el tanque, más el peso del propio tanque. Debido a que la mayor parte del peso vendrá dado por el peso del líquido, se puede aproximar el peso total, al peso del líquido más un pequeño porcentaje debido al peso del tanque.

$$P_{\text{TOTAL}} = P_{\text{LIQ}} + P_{\text{TANQUE}}$$

$$P_{\text{TOTAL}} = P_{\text{LIQ}} + 0,1 P_{\text{LIQ}}$$

Para determinar el coeficiente de seguridad por pandeo se necesita el coeficiente de esbeltez del perfil con el que entrar en la tabla correspondiente.

Recordando que:

$$\lambda = l_p / R_z$$

Donde:

$l_p$  = longitud de pandeo, en cm.

$R_z$  = radio de giro, en cm.

Considerando en cada caso al perfil como una columna empotrada en la base y libre en el extremo se tiene que la longitud de pandeo es igual a dos veces la longitud del perfil ( $l_p = 2.L$ )

Partiendo de un perfil IPN-80 de 2 metros de longitud se calcula la esbeltez y el coeficiente de seguridad de esbeltez necesario. (Ver tabla 37.1 de Anexo Gráfico.)

A continuación se comprueba la condición que deben de cumplir los soportes. La tensión de compresión debe ser en todo caso menor a la tensión admisible del material.

$$\sigma_{comp} < \sigma_{adm} \dots(1.2)$$

En el caso que no se cumpla, hay que seguir probando con los consecutivos perfiles, obteniendo por lo tanto para cada tanque:

|  |         |
|--|---------|
| Densidad líquido, (kg/m <sup>3</sup> ) | 908     |
| Volumen total, (m <sup>3</sup> )       | 30      |
| Peso líquido, (kg)                     | 21792   |
| Peso total, (kg)                       | 23971,2 |
| l <sub>p</sub> , (m)                   | 4       |

**Tabla 1.8** Tanque de aceite T2

|  |       |
|--|-------|
| Densidad líquido, (kg/m <sup>3</sup> ) | 1209  |
| Volumen total, (m <sup>3</sup> )       | 15,4  |
| Peso líquido, (kg)                     | 14560 |
| Peso total, (kg)                       | 16016 |
| l <sub>p</sub> , (m)                   | 4     |

**Tabla 1.8** Tanque de glicerina T4

| IPN | RADIO GIRO | AREA | ESBELTEZ | $W_{gly}$ | $\sigma_{comp}(kg/cm^2)$<br>T4 | $\sigma_{comp}(kg/cm^2)$<br>T2 |
|-----|------------|------|----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|
| 80  | 3,2        | 7,58 | 125      | 2,86      | 1510,744063                    | 2261,13562                     |
| 100 | 4,01       | 10,6 | 99,75    | 2,01      | 759,2490566                    | 1136,370566                    |
| 120 | 4,81       | 14,2 | 83,16    | 1,57      | 442,6957746                    | 662,5842254                    |
| 140 | 5,61       | 18,3 | 71,30    | 1,36      | 297,5650273                    | 445,3665574                    |
| 160 | 6,4        | 22,8 | 62,50    | 1,25      | 219,5175439                    | 328,5526316                    |
| 180 | 7,2        | 27,9 | 55,56    | 1,17      | 167,9096774                    | 251,3109677                    |

**Tabla 1.9** Selección del perfil más adecuado según Ec(1.2) y la tabla 37 del anexo gráfico.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que la tensión admisible es de 1500  $kg/cm^2$ , las patas de apoyo para los tanques T2 y T4 serán perfiles **IPN-100**.

Los demás tanques de almacenamiento serán de fondo plano que irá unido a la carcasa mediante anclajes, además estarán rodeados por un cubeto de retención cumpliendo así la normativa para líquidos combustibles e inflamables.

### **1.9. Cubeto de retención**

#### *1.9.1. Cubeto de retención de los tanques de metanol (T1 y T5):*

Al fin de evitar el derrame incontrolado del fluido contenido en los dos depósitos T-01 y T-05, en caso de ruptura, se sitúa los depósitos dentro de un cubeto de retención, en cumplimiento con la ITC MIE APQ-1: *Almacenamiento de Productos inflamables y combustibles*.

Cuando un cubeto contenga dos o más recipientes, su capacidad se refiere al recipiente mayor, es decir, descontando del volumen total del cubeto vacío el volumen de la parte de cada recipiente que quedaría sumergido bajo el nivel del líquido, excepto el del mayor.

Para el caso del cubeto que alberga los depósitos de metanol, las capacidades de cada tanque son:

$$V_{T1} = 7,5 \text{ m}^3$$

$$V_{T5} = 3,2 \text{ m}^3$$

Para los líquidos de la clase B, cuando varios recipientes se agrupan en un mismo cubeto, la capacidad de éste será, al menos, igual a 100% del volumen del tanque de mayor capacidad.

Por tanto la capacidad del cubeto será de  $7,5 \text{ m}^3$  y con una separación desde la pared de los tanques a la pared del cubeto de 2 metros en cumplimiento con lo establecido en la ITC antes mencionada.

- Cálculo de la superficie y altura del cubeto:

La superficie del cubeto, se trata como un rectángulo por lo que es igual al producto del ancho por el largo.

Diámetro T1: 1,865 m

Diámetro T5: 1,407 m

Distancia entre depósitos: 2,5 m

Distancia entre pared del cubeto y depósito: 2 m

Se calcula a partir de estas medidas las dimensiones del cubeto de retención:

Largo del cubeto =  $(2 \cdot 2) + 2,5 + 1,865 + 1,407 = 9,77 \text{ m}$

Ancho del cubeto =  $1,865 + 2 + 2 = 5,865 \approx 6 \text{ m}$

$$\text{Superficie} = 9,77 \cdot 6 = 58,62 \text{ m}^2$$

A partir de la superficie y volumen del cubeto se puede calcular la altura del mismo, en la siguiente tabla queda recogido las dimensiones del cubeto de retención.

|  |       |
|--|-------|
| Volumen de cubeto(m <sup>3</sup> )     | 7,5   |
| Superficie del cubeto(m <sup>2</sup> ) | 58,62 |
| Altura del cubeto(m)                   | 0,13  |

**Tabla 1.10** Dimensiones del cubeto para los tanques T1 y T5

#### 1.9.2. Cubeto de retención del tanque de biodiesel T3:

Cuando un cubeto contiene sólo un recipiente, su capacidad se establece considerando el volumen de líquido que pueda quedar retenido dentro del cubeto.

Para el caso del cubeto que alberga el depósito de biodiesel, la capacidad del cada tanque es:  $V_{T3} = 66 \text{ m}^3$

Para los líquidos de la clase D, la capacidad del cubeto será, al menos, igual a 100% del volumen del tanque.

Por tanto la capacidad del cubeto será de  $66 \text{ m}^3$  y con una separación desde la pared de los tanques a la pared del cubeto de 2 metros en cumplimiento con lo establecido en la ITC antes mencionada.

- Cálculo de la superficie y altura del cubeto:

La superficie del cubeto, en este caso es de un cuadrado por lo que se puede calcular fácilmente la superficie del cubeto.

Diámetro T3: 3,846 m

Distancia entre pared del cubeto y depósito: 2 m

Se calcula a partir de estas medidas las dimensiones del cubeto de retención:

$$\text{Lado del cubeto} = (2 \cdot 2) + 3,846 = 7,846 \text{ m}$$

Se refiere a un cuadrado de dimensiones aproximadamente 8x8.

$$\text{Superficie} = 64 \text{ m}^2$$

A partir de la superficie y volumen del cubeto se puede calcular la altura del mismo, en la siguiente tabla queda recogido las dimensiones del cubeto de retención.

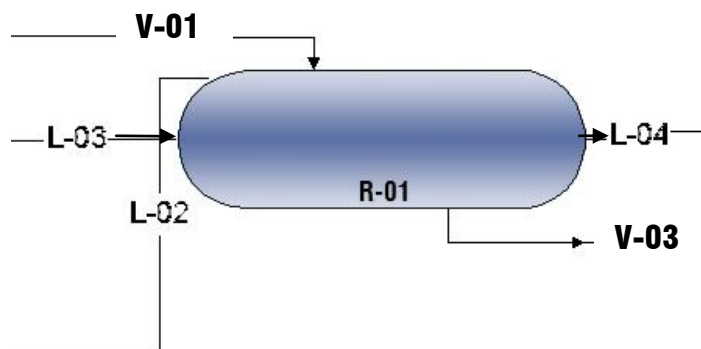
|  |      |
|--|------|
| Volumen de cubeto(m <sup>3</sup> )     | 66   |
| Superficie del cubeto(m <sup>2</sup> ) | 64   |
| Altura del cubeto(m)                   | 1,03 |

**Tabla 1.11** Dimensiones del cubeto para el tanque T3



## 2 DISEÑO DEL REACTOR PRINCIPAL R-01.

Un reactor químico es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleve a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad procesadora esta constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida para sustancias químicas, y esta gobernado por un algoritmo de control



Los reactores químicos tienen como funciones principales:

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias y con el catalizador (en caso de que sea necesario), para conseguir la extensión deseada de la reacción.
- Permitir condiciones de presión, temperatura y composición de modo que la reacción tenga lugar en el grado y a la velocidad deseada, atendiendo a los aspectos termodinámicos y cinéticos de la reacción

## 2.1. Balance de materia a la unidad de Reacción de Transesterificación.

Para realizar el correspondiente balance de materia se van a tener en cuenta los siguientes datos de partida, seleccionados de la bibliografía <sup>(I,II,IV)</sup> en función del estudio cinético y del análisis de las distintas variables que están en juego en la reacción:

- La temperatura de reacción 370°C
- Presión de operación 45Mpa.
- La relación molar entre las corrientes de alimentación de metanol y aceite es de 62:1, una relación 42:1 ya resulta adecuada para alcanzar la conversión deseada, sin embargo, para asegurar de que la mezcla está diluida en metanol y poder suponer una sola fase se ha aumentado la proporción de metanol.
- La cantidad de aceite aportada al reactor es de 873 Kg/h y 1984 Kg/h de metanol
- Los compuestos de degradación del aceite son asimilables a triglicéridos, por consiguiente, los únicos componentes del aceite serán triglicéridos y ácidos grasos libres.
- La corriente de aceite de colza que se alimenta a la unidad tiene una composición que varía según su tipo, para el diseño se toma la composición que figura en la tabla 2.1<sup>(VI)</sup>

| Aceite de Colza      | Valor (%) |
|----------------------|-----------|
| Triglicéridos        | 98,5      |
| Ácidos grasos libres | 1,5       |

Tabla 2.1 Composiciones del Aceite de Colza

- La conversión alcanzada en la reacción de transesterificación será del 99%<sup>(II)</sup>, se supone que al existir un exceso considerable de metanol se favorece el desplazamiento de la reacción hacia la derecha y además no quedarán ácidos grasos libres sin convertir.

- *Determinación de los pesos moleculares.*

La descripción básica de los balances de materia se va a realizar en unidades molares. Para obtener balances en unidades molares (kmol), se dividen los flujos másicos de cada componente por sus respectivos pesos moleculares. (Tabla 2.2)

| Componente               | P. Molecular (kg/kmol) |
|--------------------------|------------------------|
| Triglicéridos            | 882,22                 |
| Ácidos grasos libres     | 281,19                 |
| Metanol                  | 32                     |
| Glicerina                | 92,1                   |
| Esteres metílicos (FAME) | 295,39                 |

**Tabla 2.2** Pesos Moleculares

El peso molecular, tanto de los triglicéridos como de los ácidos grasos libres que componen el aceite, se han calculado considerando únicamente los componentes mayoritarios del aceite. (Tabla 2.3)

| Ácido Graso             |       | Porcentaje en Peso(%) |
|-------------------------|-------|-----------------------|
|                         | C<14  | ---                   |
| Mirístico(sat)          | C14:0 | ---                   |
| Palmitito(sat)          | C16:0 | 1,5-6                 |
| Palmitoleico(monoinSAT) | C16:1 | 3                     |
| Esteárico (poliinsat)   | C18:0 | 0,5-3,1               |
| Oleico (monoinSAT)      | C18:1 | 8-60                  |
| Linoleico (poliinsat)   | C18:2 | 11-23                 |
| Linolénico (poliinsat)  | C18:3 | 5-13                  |
|                         | C>20  | 0,1-4,3               |

**Tabla 2.3** Composición de ácidos grasos del aceite de colza determinados mediante CGL.<sup>1</sup>

Para el cálculo del peso molecular promedio de los ácidos grasos libres del aceite, y de sus respectivos triglicéridos que figuran en la tabla 2.4, se toman los ácidos principales, es decir, el ácido oleico (60%), linoleico (23%) y linolénico (13%) que suponen casi el 96 % del total. Estos porcentajes referidos a un 100% serían:

$$\% \text{ de Oleico} = 62,5\%$$

$$\% \text{ de Linoleico} = 23,95\%$$

$$\% \text{ de Linolénico} = 13,54\%$$

| Ácido Graso | Peso molecular ácido | Peso molecular triglicérido | Peso molecular éster |
|-------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| Oleico      | 282                  | 885,4                       | 296,44               |
| Linoleico   | 281                  | 879,3                       | 294,43               |
| linolénico  | 278                  | 873,34                      | 292,46               |

**Tabla 2.4** Pesos moleculares de ácidos grasos

A partir estas consideraciones previas, se puede estimar el peso molecular promedio de los ácidos grasos, de los triglicéridos y de los ésteres metílicos (biodiesel):

$$\overline{PM}_{Ac.grasos} = \sum_{j=1}^n PM_j X_j = 282.0,625 + 281.0,2395 + 278.0,1354$$

$$\overline{PM}_{Ac.grasos} = 281,19 \text{ kg / kmol}$$

$$\overline{PM}_{Trigliceridos} = \sum_{i=1}^n PM_i X_i = 885,4.0,625 + 879,3.0,2395 + 873,34.0,1354$$

$$\overline{PM}_{trigliceridos} = 882,22 \text{ kg / kmol}$$

Tomando los datos de la composición del aceite de colza Tabla 2.1 Se obtiene que el peso molecular del aceite:

$$\overline{PM}_{ACEITE} = 0,985 \cdot \overline{PM}_{Teigliceridos} + 0,015 \cdot \overline{PM}_{Ac.grasos}$$

$$\overline{PM}_{ACEITE} = 0,985 \cdot 882,22 + 0,015 \cdot 281,19$$

$$\overline{PM}_{ACEITE} = 873,20 \text{ kg / kmol}$$

$$\overline{PM}_{EsteresMetilicos} = \sum_{i=1}^n PM_i X_i = 296,44 \cdot 0,625 + 294,43 \cdot 0,2395 + 292,56 \cdot 0,1354$$

$$\overline{PM}_{EsteresMetilicos} = 295,39 \text{ kg / kmol}$$

En la unidad de reacción se van a identificar dos zonas, una zona de entrada donde confluyen dos corrientes, una primera corriente de metanol una vez que ha alcanzado las condiciones supercríticas y una segunda corriente de aceite de colza.

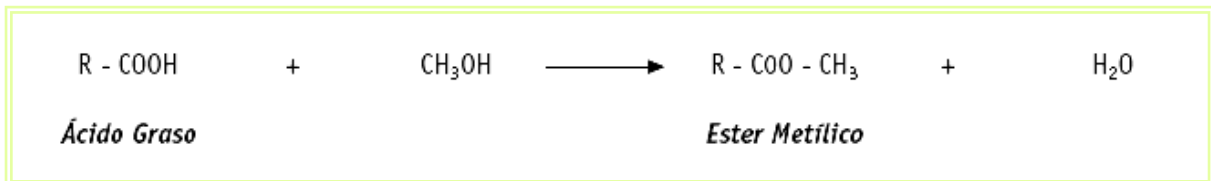
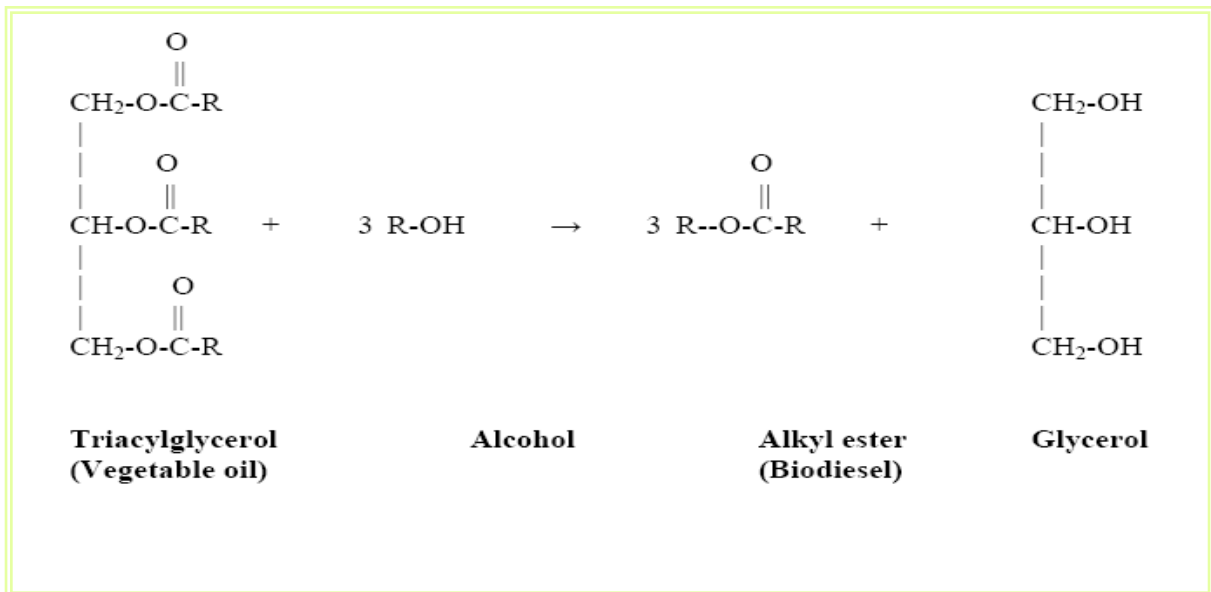
En La segunda zona del reactor se aporta el calor necesario para que se desarrolle la reacción en condiciones isotérmicas, debido a que la reacción que se desarrolla al mezclar las dos corrientes es endotérmica, como se verá más adelante, por consiguiente si se quiere obtener conversiones elevadas se tendrá que suministrar calor al sistema.

Se procede a resolver el balance de materia al reactor planteando la ecuación química correspondiente a la reacción que tiene lugar en él. Sabiendo además que en la zona previa de mezclado de los reactivos se obtiene un caudal total igual a:

$$(L-03)_{MeOH} + (L-02)_{Aceite} = W_{Entradasegunda\ zonadelreactor}$$

$$1984 \text{ kg / h} + 873 \text{ kg / h} = 2857 \text{ kg / h}$$

Reacciones de transesterificación:



Tomando como base de cálculo una 1 hora, las cantidades serían:

- Masa de aceite: 873,2kg = 1 kmol
  - o Masa de triglicéridos: 868,98 kg = 0,985kmol
  - o Masa de ácidos grasos: 4,22 kg = 0,015 kmol
- Masa de metanol: 1984 kg = 62 kmol

Según la bibliografía <sup>XVII</sup> la conversión de los triglicéridos y de los ácidos grasos es similar. La siguiente figura muestra una comparación de las producciones de ésteres de metilo por transesterificación de triglicéridos y por esterificación de ácidos grasos con metanol supercrítico a varias temperaturas.

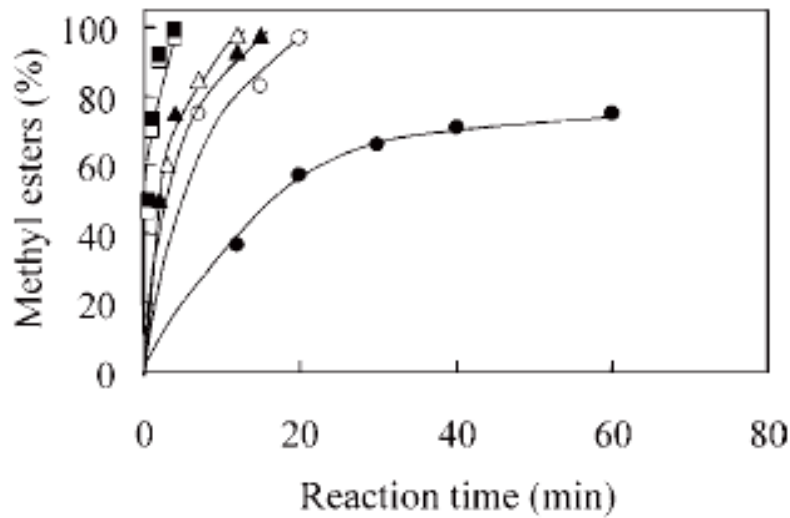


Fig. 5. Comparison in yield of methyl esters between transesterification of triglycerides and methyl esterification of fatty acids by supercritical methanol treatment at various temperatures. ●, Transesterification at 270°C; ▲, transesterification at 300°C; ■, transesterification at 350°C; ○, methyl transesterification at 270°C; △, methyl transesterification at 300°C; □, methyl transesterification at 350°C.

Se observa como a temperaturas de 350°C y superiores se obtienen conversiones y producción de ésteres metílicos muy similares para los dos mecanismos de obtención de Biodiesel.

Ecuación general de balance:  $(A) = (E) - (S) + (G) - (C)$

1. Triglicéridos (Conversión(X)=0,99):

$$(S) = (E) - (C) = 0,985 - 0,99 \cdot 0,985 = 0,00985 \text{ kmol}$$

2. Ácidos Grasos: (X=0,99):

$$(S) = (E) - (C) = 0,015 - 0,99 \cdot 0,015 = 0,00015 \text{ kmol}$$

3. Metanol:

$$(S) = (E) - (C) = 62 - (0,99 \cdot 0,985 \cdot 3 + 0,99 \cdot 0,015 \cdot 1) = 59,06 \text{ kmol}$$

4. Ester metílico.

$$(S) = (G) \Rightarrow 0,99 \cdot 0,985 \cdot 3 + 0,99 \cdot 0,015 \cdot 1 = 2,94 \text{ kmol}$$

5. Glicerina:

$$(S) = (G) \Rightarrow 0,99 \cdot 0,985 = 0,975 \text{ kmol}$$

|               | Cantidades Iniciales |         | Cantidades finales (L-04) |         |
|---------------|----------------------|---------|---------------------------|---------|
|               | kmol/h               | kg/h    | kmol/h                    | kg/h    |
| Triglicérido  | 0,985                | 868,98  | 0,00985                   | 8,69    |
| Ácidos Grasos | 0,015                | 4,22    | 0,00015                   | 0,04217 |
| Metanol       | 62,000               | 1984,00 | 59,06                     | 1890,00 |
| Agua          | -                    | -       | 0,00015                   | 0,04217 |
| Éster Met.    | -                    | -       | 2,94                      | 868,53  |
| Glicerina     | -                    | -       | 0,975                     | 89,80   |

Tabla 2.5 Balance de materia al reactor SCR (R-01)

Las cantidades de salida de triglicéridos, ácidos grasos y agua se pueden aproximar a cero al tratarse de caudales molares muy pequeños.

## 2.2. Ecuación de diseño del reactor.

Este reactor en su forma más elemental, es un tubo dentro del cual fluye el medio de reacción. El intercambio de calor que es necesario aportar o retirar del medio de reacción se puede realizar a través de la pared del reactor.

El diseño de este tipo de reactor ha de realizarse teniendo en cuenta que la composición del fluido varía a lo largo del reactor y que, por lo tanto, los balances de materia, energía y cantidad de movimiento han de realizarse sobre un volumen diferencial



A partir del balance general de conservación de propiedad:

$$(Entra) - (Sale) + (Genera) - (Consume) = (Acumula)$$

Y tomando como referencia el reactivo limitante y estado estacionario se obtiene:

$$(Entra) = (Sale) + (Consume)$$

Teniendo en cuenta la reacción principal de transesterificación que tiene lugar y sabiendo que el aceite de colza constituye el reactivo limitante, al que se va a representar por (ac), ya que el metanol está en considerable exceso, el balance de materia para dicho reactivo queda:

$$F_{ac} = F_{ac} + dF_{ac} + (-r_{ac})dV$$

$$F_{ac} = F_{ac_0} (1 - X_{ac}) \Rightarrow dF_{ac} = -F_{ac_0} dX_{ac}$$

$$F_{ac_0} dX_{ac} = (-r_{ac})dV \Rightarrow \frac{dV}{F_{ac_0}} = \frac{dX_{ac}}{(-r_{ac})}$$

Integrando esta expresión

$$\int_0^V \frac{dV}{F_{ac_0}} = \int_{X_{ac_0}}^{X_{ac}} \frac{dX_{ac}}{(-r_{ac})} \Rightarrow \frac{V}{F_{ac_0}} = \frac{\tau}{C_{ac_0}} = \int_{X_{ac_0}}^{X_{ac}} \frac{dX_{ac}}{(-r_{ac})} \dots(2.1)$$

Teniendo en cuenta que la reacción es de primer orden <sup>(IV)</sup> y que se está trabajando en régimen isotérmico se obtiene la expresión para la velocidad de reacción para el reactivo limitante (aceite de colza) es:

$$(-r_{ac}) = kC_{ac}$$

En la bibliografía <sup>(IV)</sup> se encuentra que en dichas condiciones de trabajo, los intermedios de reacción teóricos, mono y diglicéridos, existen sólo en los primeros momentos de la reacción debido al exceso de metanol proporcionado.



Por tanto, no se considera necesario ni apropiado considerar éstos intermedios en el tratamiento de la reacción

Al ser un sistema que opera en condiciones isotérmicas la densidad de la mezcla reaccionante se mantiene constante y la relación entre concentración y conversión vendrá dada por

$$C_{ac} = C_{ac_0} \cdot (1 - X_{ac})$$

Introduciendo estas dos expresiones en (2.1) se obtiene que el tiempo de residencia es de:

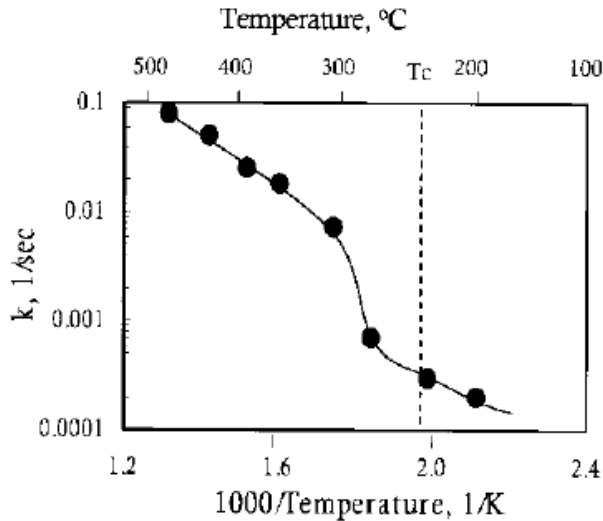
$$\tau = \frac{1}{k} \cdot \int_{X_{ac_0}}^{X_{ac}} \frac{dX_{ac}}{(1 - X_{ac})} \Rightarrow \frac{1}{k} \cdot \text{Ln} \left( \frac{1}{1 - X_{ac}} \right)$$

### **2.3. Cálculo del volumen y dimensiones características del reactor.**

Para el dimensionamiento del reactor Supercrítico, se parte de los caudales de alimentación, que fueron fijados para una determinada tasa de producción de biodiesel, así como también del valor de la conversión en el reactor.

Para obtener el tiempo necesario para la transformación de los reactivos en el interior del reactor o tiempo de residencia, es necesario conocer la ecuación cinética de la reacción, y utilizar la ecuación de diseño del reactor, descritas ambas en el apartado 2.3

Haciendo uso de la siguiente gráfica <sup>(IV)</sup> se obtiene el valor de la constante cinética de velocidad (k seg<sup>-1</sup>) para nuestras condiciones de trabajo (370°C y 45MPa )



$$K(370^{\circ}\text{C}, 45\text{MPa}) = 0,0325 \text{ s}^{-1}$$

Una vez conocida la constante cinética de velocidad (K) y la conversión (X<sub>tg</sub>=0,99) se obtiene que:

$$\tau = \frac{1}{k} \cdot \int_{X_{tgo}}^{X_{tfg}} \frac{dX_{tfg}}{(1 - X_{tfg})} \Rightarrow \frac{1}{0,0325 \text{ s}^{-1}} \cdot \text{Ln} \left( \frac{1}{1 - 0,99} \right) = 141,7 \text{ seg}$$

Donde:

$\tau$  = Tiempo de residencia (s)

k = constante cinética de velocidad (s<sup>-1</sup>)

X<sub>tg</sub> = Conversión final de triglicéridos.

Los estudios experimentales existentes en la bibliografía <sup>(I)</sup> y <sup>(IV)</sup>, avalan el tiempo obtenido ya que entra dentro de los márgenes típicos encontrados en similares condiciones de operación (120-240 seg.)

El tiempo de residencia se define como el tiempo medio de permanencia en el reactor de las especies involucradas en la reacción química. Este viene definido por:

$$\tau = \frac{V}{Q_v}$$

Donde:

$V$  = Volumen del reactor ( $m^3$ )

$Q_v$  = Caudal volumétrico ( $m^3/s$ )

Para sistemas de densidad constante, dado que el volumen como el caudal permanecen constantes en todos los puntos del sistema, los conceptos de tiempo espacial o tiempo medio de residencia son coincidentes, por tanto  $Q_v = Q_{ent} = Q_{sal}$

Esta afirmación permite calcular el volumen del reactor partiendo de esta expresión.

$$V = \tau \times Q_v$$

El caudal volumétrico se calcula con el caudal másico de cada una de las corrientes que entran en el reactor L-02 y L-03 y sus respectivas densidades:

$$\bar{\rho} = X_{MeOH} \cdot \rho_{MeOH} + X_{aceite} \cdot \rho_{aceite} = 0,70.329kg / m^3 + 0,30.926kg / m^3$$

$$Q_v = \frac{Wm}{\rho} = \frac{2857_{Kg/m^3}}{555_{Kg/m^3}} = 1,43.10^{-3}$$

$$V = 141,7_s \cdot 1,43.10^{-3} m^3 / s = 0,20_{m^3}$$

Conocido el volumen de un cilindro 
$$V = \frac{\pi \cdot di^2 \cdot L}{4}$$

Y la relación L/D proporcionada por la bibliografía para este tipo de reactor y en estas condiciones <sup>(iii)</sup>  $L/d_i = 90$

Se deduce que:  $L = 13m$   
 $d_i = 0,14m$

### 2.3.1. Cálculo de espesores.

Un método de diseño aplicable según ASME B31.3 (Process Piping), es aquél que está basado en la consideración de que la pared del reactor trabaja sobre su rendimiento máximo, en el orden de los 6000 psi o más, el espesor de pared de tubo requerido estará definido por:

$$t = \frac{d + 2.c}{2} \cdot \left[ \text{EXP} \left( \frac{1,155.P}{S} \right) - 1 \right]$$

Donde:

$t$ : Espesor de pared para altas presiones de servicio, (in)

$d$ : Diámetro Interior, (in)

$P$ : Presión Interna, (psi).

$S$ : Tensión Admisible, (psi).

El espesor de pared de tubos se elige teniendo en cuenta no sólo la presión que tiene que soportar y las temperaturas a las que se va a someter, sino también los efectos de corrosión de los fluidos y la expansión térmica de los tubos para que no se produzcan roturas

El reactor y todos sus accesorios irán contruidos con una aleación de INCONEL 625, material con excelentes propiedades térmicas y mecánicas y que es especialmente apropiado cuando las condiciones de operación son drásticas:

---

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| Nickel.....                  | 58.0 min.  |
| Chromium.....                | 20.0-23.0  |
| Iron.....                    | 5.0 max.   |
| Molybdenum.....              | 8.0-10.0   |
| Niobium (plus Tantalum)..... | 3.15-4.15  |
| Carbon.....                  | 0.10 max.  |
| Manganese.....               | 0.50 max.  |
| Silicon.....                 | 0.50 max.  |
| Phosphorus.....              | 0.015 max. |
| Sulfur.....                  | 0.015 max. |
| Aluminum.....                | 0.40 max.  |
| Titanium.....                | 0.40 max.  |
| Cobalt <sup>a</sup> .....    | 1.0 max.   |

---

**Tabla 2.6:** Composición de la aleación INCONEL 625

La aleación INCONEL 625 es un material aprobado para la construcción de calderas y recipientes a presión según el Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME). <sup>A</sup>

Conocido el material se pueden determinar los siguientes parámetros de diseño (tabla 5 del anexo gráfico):

- Resistencia a la tracción: ( $\sigma_e$ ) = 827,28 MPa
- Tensión Admisible: (S)= 37400 Mpa
- Eficacia de Soldadura: (E) = 1
- Sobreespesor por corrosión: (c) = 0 (Este tipo aleación es altamente resistente a la corrosión)
- Presión de Diseño: (P) = 50 Mpa = 7251,85 psi

El diámetro interior es de 0,14m que se obtuvo en 2.3

$$t = \frac{0,14}{2} \cdot \left[ \text{EXP} \left( \frac{1,155.7251,85 \text{psi}}{37400 \text{psi}} \right) - 1 \right] \quad t = 1,4 \text{cm}$$

En definitiva el material con que se elabora el reactor será una aleación de cromo y níquel conocida como INCONEL 625 de tuberías interiores de diámetro nominal 6", Schedule de 160 que corresponde a un espesor comercial de 0,018 m. según la tabla 7 de anexo gráfico. La forma de buscar en esta tabla es:

- Conocido el diámetro interior 0,14m se le suma dos veces el espesor calculado en el apartado anterior y así se obtiene el diámetro exterior
- Se busca en la tabla el valor del diámetro nominal que corresponda al diámetro exterior previamente calculado, en el caso de que no aparezca el dato exacto se elige el inmediatamente superior.
- Una vez que se tenga el diámetro nominal se busca entre los posibles Schedule (espesores comerciales) el que se ajuste al calculado previamente, si no aparece el valor exacto del espesor entre los posible se elige el inmediatamente superior.

Por tanto los diámetros del reactor se ven redefinidos de la siguiente manera:

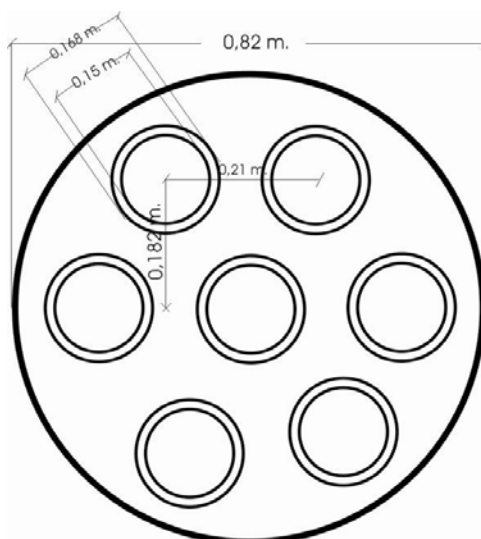
|        |       |
|--------|-------|
| di (m) | 0,15  |
| de (m) | 0,168 |

Inicialmente se realizaron los cálculos con la longitud calculada de 13m, con la que se obtuvo que un área del reactor menor al área requerida por el vapor para ceder el calor. Recalculando la longitud en función de ésta área se

obtiene que la longitud del reactor ha de ser de aproximadamente 43 m (ver apartado 2.6.5) Para aminorar la longitud del reactor, se va a dividir en siete tramos de 6,3m, de tal forma que se asemeje en su estructura a un intercambiador de carcasa y tubos. El diámetro exterior y el interior de cada tubo se conservan. Estos tubos llevarán una disposición triangular para disminuir el diámetro de la coraza y alcanzar la máxima transferencia de calor.

En estas condiciones de operación es imposible emplear intercambiadores comerciales de carcasa ya que los intercambiadores comerciales no soportan ni consiguen aproximarse a las condiciones de operación de nuestro proceso, tanto del lado de los tubos como del lado de la carcasa.

Para emplear un diseño de reactor semejante a un intercambiador de carcasa y tubos debe realizarse un diseño específico del mismo. Este diseño tiene un cierta complejidad, hay que tener en cuenta factores como dilatación del haz de tubos y de la carcasa a causa de las altas temperaturas, las altas tensiones circunferenciales en los tubos, carcasa y cabezales debidos a la presión, la soldadura de los tubos, cálculos de sustentación, etc Esto requiere trabajo conjunto de ingenieros mecánicos y químicos.



**FIG 1.** Disposición de los tubos en el interior del reactor



El espaciamiento entre los tubos se hizo por extrapolación de la tabla 41 del anexo gráfico.

#### **2.4. Balance de energía.**

Es necesario conocer la cantidad de calor que hay que aportar o retirar a lo largo del reactor para mantener la misma temperatura a su través, para ello se resuelve el balance de energía. La alimentación del reactor estará aproximadamente a 370 °C y es ésta la temperatura que se quiere mantener en el reactor en todo momento durante la reacción.

El aporte de energía necesario lo suministrará vapor de agua sobrecalentado que circulará por una coraza que encamisa el reactor

La ecuación general del balance de energía para un reactor tubular que opera en continuo tiene la forma.

$$Mt\overline{Cp} \frac{dT}{dt} = -m\overline{Cp}dT - (\Delta Hr)(-r_{ac})dv + UdA(T_{mf} - T)$$

$$0 = -m\overline{Cp}dT - (\Delta Hr)(-r_{ac})dv + UdA(T_{mf} - T)$$

Donde:

$U$ : Coeficiente global de transmisión de calor, (W/m<sup>2</sup>K)

$A$ : Área de transferencia, (m<sup>2</sup>)

$T$ : Temperatura de reacción. (K)

$T_{mf}$ : Temperatura media del fluido calefactor, (K)

$\Delta Hr$ : Entalpía de reacción (KJ/mol)

Despejando:

$$UdA(T_{mf} - T) - m\overline{Cp}dT = (\Delta Hr)(-r_{ac})dv$$

Para operaciones isotérmicas, donde todo el calor que se libera o se absorbe durante la reacción química tiene que ser transmitido a través de la pared de intercambio ( $T_e=T_s$ ), la expresión calor viene dada por:

$$UdA(T_{mf} - T) = (\Delta Hr)(-r_{ac})dv$$

Despejando de la expresión  $T_{mf}$ : 
$$T_{mf} = T + \frac{(\Delta Hr)(-r_{ac})dv}{UdA}$$

Para un elemento diferencial: 
$$\begin{cases} dA = 2\pi r dL \\ dv = \pi r^2 dL \end{cases}$$

$$T_{mf} = T + \frac{(\Delta Hr)(-r_{ac})\pi r^2 dL}{U2\pi r dL}$$

$$T_{mf} = T + \frac{(\Delta Hr)(-r_{ac})D}{4U}$$

Donde:

$$(-r_{ac}) = kC_{ac_0} \times (1 - X_{ac})$$

Por lo que la temperatura media del vapor es:

$$T_{mf} = T + \frac{(\Delta Hr) \times kC_{ac_0} \times (1 - X_{ac}) \times D}{4U} \dots(2.2)$$

La velocidad de intercambio de calor a través del elemento diferencial de volumen vendrá dada por.

$$\frac{dQ}{dt} = UdA(T_{mf} - T)$$

Relacionando con el balance de energía:

$$\frac{dQ}{dt} = UdA(T_{mf} - T) = (\Delta Hr)(-r_{ac})dV$$

Del balance de materia al reactor tubular se conoce:  $F_{ac_0} dX_{ac} = (-r_{ac})dV$

Por lo que la velocidad de intercambio de calor vendrá definida por:

$$Q = (\Delta Hr)F_{ac_0} \times (X_{ac} - X_{ac_0})$$

Al realizar el balance en condiciones isotérmicas, se Obtiene que el calor neto necesario a aportar, está definido por:

$$Qt = \int_0^{\tau} Q(\tau)d\tau$$
$$Qt = \int_0^{\tau} (\Delta Hr)F_{ac_0} (X_{ac} - X_{ac_0})d\tau$$

De la ecuación de diseño se obtuvo que:  $X_{ac} = 1 - \frac{1}{e^{k\tau}}$

Sustituyendo:  $Qt = (\Delta Hr)F_{ac_0} \times \int_0^{\tau} (1 - \frac{1}{e^{k\tau}} - X_{ac_0})d\tau$

Integrando, se obtiene:  $Qt = (\Delta Hr)F_{ac_0} \times \left[ \left( \tau \cdot (1 - X_{ac_0}) + \frac{e^{-k\tau}}{k} \right) - \frac{1}{k} \right]$

Si  $X_{ac_0} = 0$

$$Qt = (\Delta Hr)F_{ac_0} \times \left[ \left( \tau + \frac{e^{-k\tau}}{k} \right) - \frac{1}{k} \right]$$

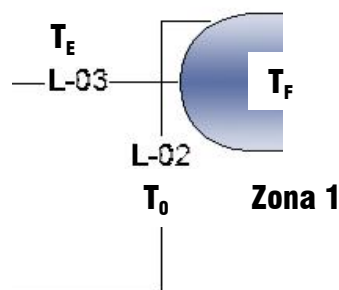
#### 2.4.1. Balance de Energía a la zona de mezcla del reactor.

En la zona previa al área de reacción isotérmica se mezclan dos corrientes de diferente temperatura, y según la bibliografía, la temperatura óptima a la que ha de realizarse la reacción para obtener una elevada conversión debe estar entre 350°C y 400°C. En el caso del presente proyecto se ha seleccionado 370°C

La corriente de aceite entra a una temperatura de 298°K y se pretende determinar a que temperatura debe entrar la corriente de metanol supercrítico para que al mezclarse ambas corrientes se alcance la temperatura mencionada 643°K (370°C).

Se procede de esta forma como medida de ahorro del inmovilizado de la planta, al ser mayor el caudal de metanol será este quién determine la temperatura de la mezcla, por lo tanto bastará solo con calentar solo la corriente de metanol y de esta manera suprimir el intercambiador de calor para calentar la corriente de aceite de colza.

Para conocer la temperatura de entrada que servirá para el diseño del intercambiador de la alimentación de metanol, se realiza un balance de energía a la primera zona del reactor



De tal forma que:

$$Q_{\text{absorbido por aceite } A} = Q_{\text{cedido metanol supercrítico } MeOH}$$

$$M_A C_{p_A} \cdot (T_F - T_o) = M_{MeOH} C_{p_{MeOH}} \cdot (T_E - T_F)$$

$$T_E = \frac{(M_A C_{p_A} + M_{MeOH} C_{p_{MeOH}}) \cdot T_F - M_A C_{p_A} \cdot T_o}{M_{MeOH} C_{p_{MeOH}}}$$

|                 | Cp (J/mol.K) | F(mol/h) | Temperaturas(°K)    |
|-----------------|--------------|----------|---------------------|
| Metanol         | 176,12       | 62000    | T <sub>E</sub>      |
| Aceite de Colza | 1700         | 1000     | T <sub>o</sub> =298 |

**Tabla 2.7** Datos necesarios para la resolución del balance para un Temperatura final de 643°K

$$T_E = 698K = 425^\circ C$$

La zona de mezclado y el tiempo de paso de la mezcla en esta zona es muy reducido, de modo que las pérdidas que se puedan producir van a ser mínimas, se considera por tanto que la acometida de metanol supercrítico está a 425°C.

#### 2.4.2. Entalpía de reacción.

Debido a la falta de datos de entalpía de reacción en la bibliografía para las reacciones de transesterificación implicadas, se procede al cálculo de las entalpías de reacción en las condiciones de operación, a partir de las entalpías de formación.

| Compuesto      | $\Delta H_f^0$ (KJ/mol) | Referencia              |
|----------------|-------------------------|-------------------------|
| Trioleina      | -2193,7                 | NIST*                   |
| Ácido Oleico   | -815,21                 | Keffer and Mclean, 1935 |
| Metanol        | -238,4                  | NIST*                   |
| Éster metílico | -727,64                 | NIST*                   |
| Glicerina      | -668,6                  | NIST*                   |

**Tabla 2.8** Entalpías estándar de formación \*(National institute of Standards and technology)

Se toman como referencias los valores de la Trioleina para el caso de los triglicéridos, y del ácido oleico para el caso de los ácidos grasos.

La expresión para el cálculo de la entalpía de reacción estándar es:

$$\Delta H_r^0 = \sum_{prod} \mathcal{G}_i(\Delta H_F^0)_i - \sum_{react} \mathcal{G}_i(\Delta H_F^0)_i$$

Donde la entalpía de formación del aceite es:

$$\Delta H_{F\text{ aceite}}^0 = x_{triglic} \times \Delta H_{F\text{ trioleina}}^0 + x_{a.grasos} \times \Delta H_{F\text{ a.oleico}}^0$$

$$\Delta H_{F\text{ aceite}}^0 = 0,985 \times (-2193,7) + 0,015 \times (-815,2) = 2173,02 \text{ KJ / mol}$$

De tal forma que para la reacción principal de transesterificación:

$$\Delta H_r^0 = 3 \times (-727,64) + (668,6) - [3 \times (-238,4) + (-2173,02)]$$

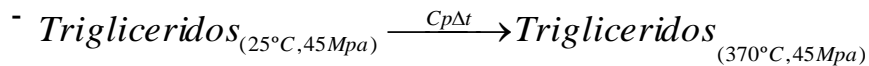
Por lo que la entalpía de reacción estándar resulta:  $\Delta H_r^0 = 36,7 \text{ KJ / mol}$

La reacción de transesterificación es, por tanto, ligeramente endotérmica. Conociendo  $\Delta H_r^0$  se calculan los correspondientes ciclos termodinámicos con sus respectivos cambios entálpicos para conocer el requerimiento de aporte/retirada de calor en el reactor.

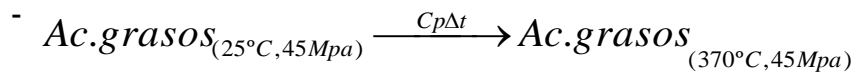
| Compuesto | Estado de referencia | Cp (J/mol.K) | $\Delta H_E$ (KJ/mol) | $N_E$ (mol) | $\Delta H_S$ (KJ/mol) | $N_S$ (mol) |
|-----------|----------------------|--------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Trioleina | 25°C, 1atm           | 1717,25      | 592,45                | 985         | 592,45                | 9,85        |
| Ac.Oleico | 25°C, 1atm           | 533,26       | 183,98                | 15          | -                     | -           |
| Metanol   | 25°C, 1atm           | 124(*)       | 41,714                | 62000       | 41,714                | 59060       |
| Glicerina | 25°C, 1atm           | 218,9        | -                     | -           | 75,521                | 975         |
| Ester Met | 25°C, 1atm           | 612,2        | -                     | -           | 211,209               | 2940        |

Tabla 2.9 Calores sensibles transesterificación (\*) Cp medio del metanol en el rango de temperaturas

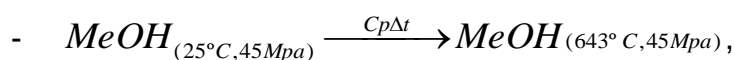
- *Cálculo de las entalpías de los reactivos:*



$$\Delta H_{E_{\text{triglic}}} = \int_{298}^{643} 1717,25 dT = 592,45 \text{ KJ / mol}$$



$$\Delta H_{E_{\text{a.grasos}}} = \int_{298}^{643} 533,26 dT = 183,98 \text{ KJ / mol}$$



A pesar de que se produce un cambio de fase de metanol líquido a metanol supercrítico las capacidades caloríficas en este rango de temperatura varia uniformemente según se puede ver en el grafico 2.1, por lo que se considera un valor medio de la capacidad calorífica en este rango y se le suma la entalpía de cambio de fase

La entalpía de cambio de fase del metanol en estado líquido a supercrítico se estimó con una aproximación gráfica tomada de los datos de la tabla 3 del anexo gráfico en donde:

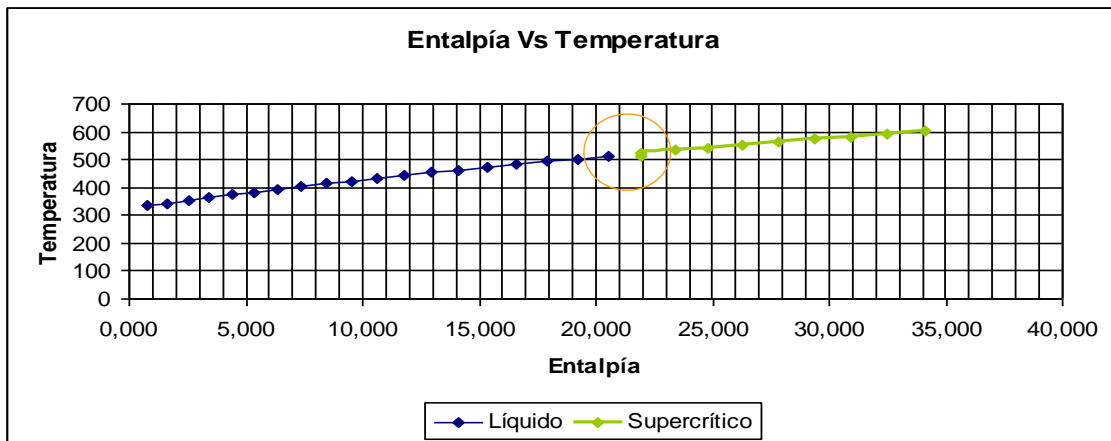


Figura 2.1 Diagrama Térmico del IC-01

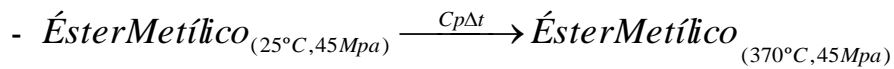
$$\hat{H}_{\text{Cambio defase}} = \hat{H}_{\text{MeOHliq } 513K} - \hat{H}_{\text{MeOH SCR } 513K}$$

Los dos puntos que encierra el circulo naranja, se encuentran a la misma temperatura (513K) por lo que la diferencia entre la entalpía del metanol líquido a 513K y la entalpía del metanol supercrítico a 513K darán una idea del la entalpía de cambio de fase.

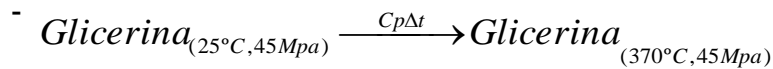
$$\hat{H}_{\text{Cambio defase}} = 21,963kJ / mol - 20,579KJ / mol = 1,383KJ / mol$$



$$\Delta H_{E_{MeOH}} = \int_{298}^{623} 124 dT + \Delta H_{\text{cambio fase}} = 41,714 \text{ KJ / mol}$$



$$\Delta H_{S_{\text{Éstermet.}}} = \int_{298}^{643} 612,2 dT = 211,209 \text{ KJ / mol}$$



$$\Delta H_{S_{\text{Glicerina}}} = \int_{298}^{643} 218,9 dT = 75,521 \text{ KJ / mol}$$

La Entalpía de reacción será:

$$\Delta Hr = \Delta Hr^0 + \sum_{\text{Salida}} \Delta H_S - \sum_{\text{Ent}} \Delta H_E \equiv 139,455 \text{ KJ / mol}$$

Se han utilizado capacidades caloríficas fuera de sus rangos de temperaturas, al no disponer en algunos casos de capacidades caloríficas en rangos supercríticos. Por lo que se trabajará sobre un margen de error del 10% sobre la entalpía de reacción

$$\Delta Hr = 139,455 \text{ KJ / mol} + 139,455 \text{ KJ / mol} \times 0,10$$

$$\Delta Hr = 153,4 \text{ KJ / mol}$$

Introduciendo en:

$$Q = (\Delta Hr) F_{ac_o} \cdot (X_{ac} - X_{ac_o})$$

$$Q = 153,4_{kJ/mol} \cdot 1000_{mol/h} (0,99 - 0) = 42,19_{kW}$$

$$Q = 42,19_{kW}$$

Para el cálculo del calor neto:

$$Qt = (\Delta Hr) F_{ac_o} \times \left[ \left( \tau + \frac{e^{-k\tau}}{k} \right) - \frac{1}{k} \right]$$

$$Qt = 153,4 \cdot 1000 \cdot \left[ \left( 141,7 + \frac{e^{-141,7 \times 0,0325}}{0,0325} \right) - \frac{1}{0,0325} \right]$$

$$Qt = 4740_{kJ}$$

Para calcular la temperatura media del fluido que circula por la coraza del reactor, es necesario estimar el valor del coeficiente global de transmisión de calor.

#### 2.4.3. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor en el reactor de transesterificación.

A la hora de seleccionar el fluido que circula por el interior o exterior de los tubos que conforman la unidad de reacción, hay que tener en cuenta que por el interior del tubo debe circular el más corrosivo, o el que produzca mayores incrustaciones de residuos, ya que resulta más fácil la limpieza del interior de los tubos, y así se protege la corrosión de la carcasa externa que es un elemento más caro. Cuando ambos fluidos no se ajustan a estos aspectos se selecciona el que esté a una presión más alta para que circule por el interior del tubo

En este caso, el fluido que circula por el interior de los tubos será la mezcla metanol supercrítico- aceite, y en la carcasa circulará el vapor de agua.

Considerando la geometría del reactor, constituido por siete tubos de igual diámetro con disposición triangular envueltos en una carcasa, se tiene que el coeficiente global de transmisión de calor para cada tubo es de  $F$ :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_A} + \frac{1}{h_{vapor}} \dots(2.3)$$

Donde:

$U$ : Coeficiente global de transferencia de calor; (W/m<sup>2</sup>s)

$h_A$ : Coeficiente de transmisión de calor de la mezcla de la alimentación (metanol-aceite de colza); (W/m<sup>2</sup>s).

$h_{vapor}$ : Coeficiente de transmisión de calor del vapor; (W/m<sup>2</sup>s)

Para la resolución de ésta ecuación hay que determinar previamente los coeficientes de transferencia de calor individuales tanto del vapor como el de la alimentación.

#### 2.4.3.1. Coeficiente de transferencia de calor por convección en la corriente de vapor.( $h_{vapor}$ )

Según el diseño del reactor el vapor circula por una coraza de forma transversal y forzada a través de siete tubos con disposición alternada y triangular. (FIG 1) Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor a través de éste haz de tubos se considera el análisis para intercambiadores de calor de coraza y tubos. De acuerdo con la bibliografía se utilizarán grupos adimensionales como el número de Nusselt y el número de Reynolds

$$Nu = \frac{hc.D}{k} \qquad Re_D = \frac{G.D}{\mu}$$

Para el caso de flujos a través de bancos de tubos, el Nusselt promedio está dado por las correlaciones (7.63 y 7.67) de la tabla 42 del anexo gráfico, estas expresiones son función del número de Reynolds máximo. Definido por:

$$Re_D = \frac{V_{\max} \cdot de}{\nu} \quad \nu = \text{Viscosidad cinemática. (m}^2/\text{s)}$$

Por lo que primeramente se buscará hacer una estimación del régimen de circulación del fluido.

Como se observa en la expresión anterior, el número de Reynolds es función de la velocidad máxima. En un haz alternado el fluido puede alcanzar la velocidad máxima en el intervalo entre tubos adyacentes de una fila transversal o de una fila diagonal, entonces <sup>[2]</sup>

$$\frac{V_{\max}}{V_o} = \max \left( \frac{Pt}{Pt - de}, \frac{\frac{Pt}{2}}{(Pt^2 + (\frac{Pt}{2})^2)^{(1/2)} - de} \right) \quad \begin{array}{l} Pt = 0,21m \\ Pl = 0,182m \\ de = 0,168m \end{array}$$

Las dimensiones se encuentran detalladas en el apartado 2,4 de la memoria de cálculo, sustituyendo se obtiene que:

$$\frac{V_{\max}}{V_o} = \max(5; 2,49)$$

De esta manera

$$V_{\max} = 5.V_o \quad \text{Donde} \quad V_o = \frac{Wm(Kg / s)}{\rho(kg / m^3) \cdot As(m^2)}$$

Las propiedades del vapor se determinan realizando una pequeña iteración, debido a que la temperatura media del vapor depende del coeficiente global de transmisión de calor (Ec 2.2), por lo tanto se supone un valor de temperatura media y una vez calculado el coeficiente global se calcula ésta temperatura por la ecuación (2.2), se sigue este procedimiento hasta que la temperatura supuesta sea igual a la temperatura calculada.

Para flujos externos, todas las propiedades se evalúan a la temperatura de referencia  $T_r$ , donde:

$$T_r = T_s - \alpha.(T_s - T_e)$$

El valor de  $\alpha$  debe tomarse como  $\frac{1}{2}$  a menos que se indique lo contrario, es decir, la temperatura de referencia es la media aritmética de las temperaturas de entrada y de salida de la corriente de vapor.

Una vez realizada la iteración se obtiene que la temperatura media del vapor es de 698K, como se indicará mas adelante. Pero de momento sirve para presentar las propiedades del vapor.

|   | Vapor a 698°K y 40bar |
|---|-----------------------|
| Viscosidad (Pa.s)                         | 2,61E-5               |
| Viscosidad Cinemática (m <sup>2</sup> /s) | 2E-6                  |
| Capacidad Calorífica (KJ/kg.K)            | 2,32                  |
| Conductividad (W/m.K)                     | 0,062                 |
| Nº de Prandtl                             | 0,975                 |
| Densidad (kg/m <sup>3</sup> )             | 13                    |

**Tabla 2.10** Las propiedades del vapor a la Temperatura media<sup>[3]</sup>

La sección transversal en la dirección del flujo de vapor viene dada por:

$$A_s = D_i.L = 0,8m * 6,13m = 4,9m^2$$

Según se explica en el apartado 2.4 la longitud del reactor es de 6,3 m aproximadamente, este resultado se obtiene del cálculo del área requerida por el vapor para transferir el calor necesario para que se mantenga el reactor isotérmico. Ver apartado 2.6.5

El caudal másico de vapor se fija a partir de un estudio comparativo que se hizo usando una simulación en una hoja de cálculo (Excel). Después de ver como variaban los resultados de temperatura y coeficientes de transferencia, se concluyó que a un caudal de 7500Kg/h se obtiene las mejores condiciones de temperatura y de transferencia de calor.

$$V_{\max} = 5.V_0$$

$$V_{\max} = 5 \cdot \frac{Wm(kg/s)}{\rho(kg/m^3) \cdot As(m^2)} = 5 \cdot \frac{2,08kg/m^2}{13kg/m^3 \cdot 4,9m^2} = 0,163m/s$$

El Reynolds será igual a:

$$Re_D = \frac{V_{\max} \cdot de}{\nu} = \frac{0,163_{m/s} \cdot 0,168_m}{2 \cdot 10^{-6} m^2/s} = 1,37 \cdot 10^4 \text{ (Turbulento)}$$

A partir del régimen turbulento de flujo, y del número de Prandtl se selecciona cual de las ecuaciones de la tabla 42 del anexo gráfico es la que se ajusta mejor para el cálculo del número de Nusselt:

$$\overline{Nu}_D = C \cdot Re_{D_{\max}}^m \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{(1/4)}$$

$$1000 < Re_{D_{\max}} < 2 \cdot 10^6$$
$$0,7 < Pr < 500$$

En esta expresión se hará la suposición de que  $Pr/Pr_s = 1$  ya que la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del vapor es muy baja como se comprueba más adelante. Los valores de C y m vienen tabulados en

la tabla 43 del anexo gráfico. De esta manera se obtiene que el Nusselt tiene un valor de:

$$\overline{Nu}_D = 108,107$$

Éste número adimensional se define como:

$$\overline{Nu}_D = \frac{h_{vapor} \cdot de}{k}$$

Despejando el coeficiente de transferencia de calor:

$$h_{vapor} = \frac{\overline{Nu}_D \cdot k}{de} = \frac{108,107 \cdot 0,062W / m.K}{0,168m}$$
$$h_{vapor} = 39,897W / m^2 \cdot K$$

#### 2.4.3.2. Coeficiente de transferencia de calor por convección en el flujo de la alimentación.(h<sub>A</sub>)

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor para el fluido de la alimentación, se considera el análisis para flujo forzado a través de tubos y conductos [2]. Al igual que en el caso anterior es necesario conocer el régimen de flujo para conocer la ecuación del número de Nusselt que mejor se ajusta al comportamiento del reactor.

El número de Reynolds vendrá definido por:

$$Re_D = \frac{G \cdot d_i}{\mu} \dots(2.4) \quad \text{Donde: G es el flujo másico por unidad de área (kg/m}^2 \cdot \text{s)}$$

Previamente hay que determinar las propiedades del fluido. Para flujos internos también se puede usar el método de la temperatura de referencia, dada por:

$$T_r = Ts - \alpha \cdot (Ts - Te)$$

Con  $\alpha = 1/2$ , a menos de que se indique lo contrario. La complicación se puede dar en el caso de que la temperatura varíe a lo largo del conducto cuando se añade o se extrae calor al sistema. Para calcular los valores locales del factor de fricción o del número de Nusselt se usan las temperaturas locales para evaluar las propiedades. Para determinar los valores medios en un conducto de longitud L conviene en general usar las medias aritméticas entre las temperaturas de entrada y de salida.

En la determinación de las propiedades del fluido se parte de las siguientes premisas.

- Se considera que la alimentación es metanol puro, por estar en exceso.
- Se hace uso en muchos casos de ecuaciones empíricas por la falta de datos tabulados en condiciones supercríticas.

- *Estimación de la Viscosidad:*

La viscosidad de los fluidos supercríticos tiene la particularidad que se asemejan a la viscosidad de los gases ver apartado 4.5.4.1 de la memoria descriptiva por lo que para estimar esta propiedad se utiliza la correlación de Coremans y Beenakker <sup>[1]</sup> que según la bibliografía es bastante exacta para gases de bajo peso molecular, esta correlación puede expresarse como:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = 1 + \left( 0,55 \cdot \rho^* + 0,96 \cdot \rho^{*2} + 0,61 \cdot \rho^{*3} \right) T^{*(-0,59)}$$

Donde:

$\mu$  = Viscosidad, cp

$\mu_0$  = Viscosidad a baja presión a la misma temperatura, cp (tabla 2 del anexo gráfico)

$T^* = \frac{k \cdot T}{\varepsilon_0}$  = donde  $\varepsilon_0 / k$  es el parámetro de potencial de Lannard-Jones (tabla 1 del anexo gráfico)



$\rho^* = \rho \cdot b_0$  = con densidad en moles/cm<sup>3</sup> y  $b_0$  el volumen de la esfera rígida (tabla 1 del anexo grafico)

$$\varepsilon_0 / k = 481,8_{\circ K} \text{ (Tabla 1 de anexo grafico)}$$

$$b_0 = 60,17_{\text{cm}^3 / \text{g-mol}} \text{ (Tabla 1 del anexo grafico)}$$

$$\text{Condiciones de operación: } \begin{cases} T = 643K (370^\circ C) (\text{Reactor Isotermo}) \\ P = 45MPa \end{cases}$$

| T(K) | T*    | $\rho$ | $\rho(\text{gr/cm}^3)$ | $\rho^*$ | $\mu/\mu_0$ | Mo       | $\mu(\text{Pa.s})$ |
|------|-------|--------|------------------------|----------|-------------|----------|--------------------|
| 298  | 0,619 | 826    | 0,0258                 | 1,553    | 8,236       | 9,59E-07 | 7,90E-06           |
| 393  | 0,819 | 746,36 | 0,0233                 | 1,403    | 5,899       | 1,26E-06 | 7,43E-06           |
| 433  | 0,900 | 709,45 | 0,0221                 | 1,333    | 5,139       | 1,40E-06 | 7,20E-06           |
| 593  | 1,232 | 497,18 | 0,0155                 | 0,934    | 2,636       | 1,97E-06 | 5,19E-06           |
| 623  | 1,295 | 433    | 0,0135                 | 0,814    | 2,213       | 2,00E-06 | 4,43E-06           |
| 643  | 1,337 | 397    | 0,0124                 | 0,746    | 2,011       | 2,00E-06 | 4,02E-06           |

Tabla 2.11 Cálculo de la viscosidad para el metanol supercrítico.

\*La densidad del metanol en estado supercrítico se encuentran descritas en el libro del web de química del NIST (anexo gráfico 3)

#### - Estimación de la Conductividad térmica

El dato conductividad del metanol supercrítico a 370 °C se ha estimado a partir de un estudio de la conductividad del metanol a elevadas presiones y temperaturas [V.], los resultados se encuentran recogidos en la (tabla 4 del anexo gráfico)

$$K_{\text{MeOH}}^{\text{Supercritico}(370^\circ C)} = 0,1734W / m.K$$

La Velocidad másica G viene dada por:

$$G = \frac{Wm}{As} = \frac{2857kg / h.(4)}{3600_{h/s} \cdot \pi \cdot (0,15m)^2} = 44,9kg / m^2 .s$$

Todas estas propiedades son necesarias para la estimación del régimen de flujo, el número de Nusselt y el número de Prandtl. De la Ec (2.4) se obtiene que:

$$\text{Re}_D = \frac{G \cdot d_i}{\mu} = \frac{44,9 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot 0,15 \text{ m}}{4,02 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}} = 16,8 \cdot 10^5 \text{ (Régimen turbulento)}$$

Para el cálculo del número de Prandtl se hará uso de:

$$\text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$

La Capacidad Calorífica del metanol supercrítico a 643K se encuentra recogido en la tabla 3 del anexo gráfico

$$C_{p_{\text{MeOH}}} = 5460 \text{ J} / \text{kgK} \text{ (370°C)}$$

Obteniéndose que:

$$\text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{K} = \frac{5460 \text{ J} / \text{kg} \cdot \text{K} \cdot 4,02 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}}{0,173 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{s}} = 0,127$$

Partiendo de la consideración de que el flujo está totalmente desarrollado hidrodinámicamente (explicar) y que la pared es lisa se puede calcular el factor de fricción a partir de la formula de Petukhov. [2]

$$f = (0,79 \cdot \ln \text{Re}_D - 1,64)^{-2} = 0,0107$$

Cuando el flujo es turbulento en cualquier fluido, excepto en metales líquidos de bajo número de Prandtl, lo más recomendable es usar la fórmula de Gnielinski para la estimación del número de Nusselt

$$\overline{Nu} = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) \cdot (\text{Re}_D - 1000) \cdot \text{Pr}}{1 + 12,7 \cdot \left(\frac{f}{8}\right)^{(1/2)} \cdot (\text{Pr}^{(2/3)} - 1)} \dots (2.5)$$

$$\overline{Nu} = \frac{\left(\frac{0,0107}{8}\right) \cdot (16,8 \cdot 10^5 - 1000) \cdot 0,127}{1 + 12,7 \cdot \left(\frac{0,0107}{8}\right)^{(1/2)} \cdot (0,127^{(2/3)} - 1)} = 432,93$$

$$h_A = \frac{\overline{Nu} \cdot k}{d_i} = \frac{432,93 \times 0,173}{0,15} = 500,462 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

2.4.4. Cálculo de la temperatura media del vapor en el reactor.

Sustituyendo todos estos valores en la expresión (2.3)

$$\boxed{\frac{1}{U} = \frac{1}{h_A} + \frac{1}{h_{\text{vapor}}}}$$

Se obtiene un coeficiente global de transmisión de calor de:

$$U_{\text{reactor}} = 36,95 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Sustituyendo en la expresión 2.2 se obtiene que:

$$\boxed{T_{mf} = T + \frac{(\Delta Hr) \cdot k C_{ac_o} \cdot (1 - X_{ac}) \times D}{4U} \dots(2.2)}$$

$$T_{mf} = 643 + \frac{153,4 \text{ KJ/mol} \cdot 0,0325 \text{ s}^{-1} \cdot 1000 \text{ mol/m}^3 \times (1 - 0,99) \cdot 0,15 \text{ m}}{4 \times 0,03695 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$T_{mf} \approx 694^\circ \text{ K} = 421^\circ \text{ C}$$

Sabiendo que:

$$Q_{cedidopor} = \overset{o}{Q}_{absorbido}$$

$$Q_{cedidopor} = Q_{absorbido}$$

$$Q_{cedidopor} = m_{vapor} \cdot Cp \cdot \Delta T$$

$$Q_{cedidopor} = m_{vapor} (kg/h) \cdot Cp (KJ/kgK) \Delta T (K) = 1518663 (KJ/h)$$

$$\Delta T = \frac{1518663 (KJ/h)}{m_{vapor} (kg/h) \cdot Cp (KJ/kgK)}$$

Este incremento de temperatura depende de los requerimientos en el caudal de vapor que tenga el intercambiador de calor que se encuentra antes que el reactor, Ambos se encuentran conectados por el mismo circuito de vapor por lo tanto el caudal es el mismo, Según se dijo en el apartado 2.5.3.1 este caudal de vapor se fija en:

$$m_{vapor} = 7500 kg/h$$

Según la tabla 12 del anexo gráfico  $Cp_{(698^{\circ}K)} = 2,32 KJ/kgK$

De tal forma que:

$$\Delta T = \frac{1518663 KJ/h}{7500 kg/h \cdot 2,32 KJ/kgK} = 8,73_K$$

$$T_{Evapor} = T_{Svapor} + 8,73$$

$$T_{Evapor} - T_{Svapor} = 8,73$$

$$\frac{T_{Evapor} + T_{Svapor}}{2} = T_{mediadel vapor}$$

$$T_{Evapor} = 698K = 425^{\circ}C$$

$$T_{Svapor} = 689K = 416^{\circ}C$$

### 2.4.5. Cálculo del área de Intercambio

Ahora tan solo queda determinar el área de transferencia que necesita el vapor para transferir la cantidad de calor necesaria para mantener el reactor en régimen isotérmico y comparar esta longitud con la supuesta inicialmente aparatado 2.5.3.1

$$Q_{cedidopor\ elvapor} (KJ/h) = A_{necesaria} (m^2) \cdot U (KJ / h.m^2 K) \cdot \Delta T_{ml} (K)$$

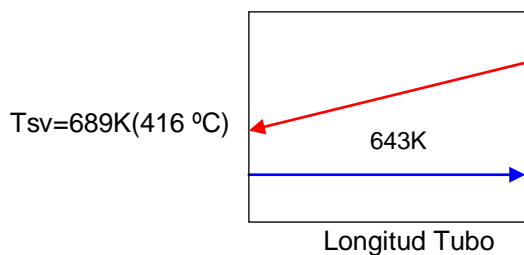
Despejando el área necesaria

$$A_{necesaria} = \frac{Q_{cedidopor\ elvapor}}{U \cdot \Delta T_{ml}}$$

El calor cedido por el vapor

$$Q_{cedidopor\ elvapor} = \dot{Q}_{absorbido} = 151866,3 KJ / h$$

El Incremento medio logarítmico vendrá dado por:



$$\Delta T_{ml} = \frac{((T_{e_v} - T_{s_v}))}{LN \left( \frac{(T_{e_v} - T_{Fmezcla})}{(T_{s_v} - T_{Fmezcla})} \right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 50,5$$

Figura 2.1. Diagrama Térmico del R-01

$$A_{necesaria} = \frac{151866,3 KJ / h \left( \frac{1000J}{3600s} \right)}{36,95 W / m^2 K \cdot 50,5 K} = 22,6 m^2$$

Para calcular la longitud se define el área de intercambio por:

$$A = \pi \cdot de \cdot L \text{ Donde } L \text{ es la longitud del Reactor.}$$

Despejando L se obtiene que:

$$L = \frac{A}{de \cdot \pi} = \frac{22,6m^2}{0,168m \cdot \pi} = 42,8m \approx 43m$$

Como se adelanto en el apartado 2.4, al conocer el área de intercambio requerida por el vapor y por tanto su longitud y sabiendo además que ésta longitud ha de ser igual a la del tubo interior donde se lleva a cabo la reacción. Se decidió dividir la tubería interior en 7 tramos de 6,3 metros cada uno de tal forma que el vapor tuviese el área necesaria de intercambio y el reactor no fuese demasiado largo. Por ello se plantea ésta estructura en forma de carcasa y tubos.

### **2.5. Pérdidas de Carga en el Reactor.**

Se estima las pérdidas de carga que se producen cuando las corrientes pasan a través del reactor, tanto del lado de los tubos como por la carcasa.

#### *2.5.1. Caída de presión del lado de la carcasa.*

Es imposible obtener una correlación fundamental de datos sobre la caída de presión en grupo o haces de tubos por medio de una sola curva del factor de fricción simple en función del número de Reynolds. Esto se debe a la falta de similitud geométrica entre la gran cantidad de configuraciones de tubo y los espaciamientos acostumbrados (escalonado, alineado, etc...)

Varios investigadores han incluido márgenes para la configuración y el espaciamiento incorporando factores de corrección del mismo en sus expresiones del factor de fricción o utilizando varias gráficas del factor de

fricción. Zakauskus recomienda calcular la caída de presión en un haz de tubos por medio de la ecuación [2]:

$$\Delta P = N \cdot \chi \cdot \left( \frac{\rho \cdot V_{\max}^2}{2} \right) \cdot f \dots (2.6)$$

El factor de fricción  $f$  y el factor de corrección  $X$  se dan en la gráfica 38 del anexo gráfico, la  $V_{\max}$  es la velocidad máxima del fluido dentro del haz de tubos calculada previamente en el apartado 2.5.3.1,  $N$  el número de filas de tubos que este caso son 3, y la densidad a la temperatura media del vapor que se obtiene de la tabla 12 del anexo gráfico.

El factor de fricción viene representado en función del número de Reynolds máximo y de un parámetro geométrico ( $Pg$ ):

El número de Reynolds será igual a:

$$Re_D = \frac{V_{\max} \cdot de}{\nu} = \frac{0,163_{m/s} \cdot 0,168_m}{2 \cdot 10^6_{m^2/s}} = 1,37 \cdot 10^4 \text{ (Turbulento)}$$

El parámetro geométrico

$$Pg = \frac{Pt}{D} = \frac{0,21_m}{0,168_m} = 1,25$$

Obteniéndose del gráfico 38 que:  $f = 0,5$

Con el mismo procedimiento se estima el factor de corrección, al igual que en el caso anterior vendrá dado en función del Reynolds máximo y otro parámetro geométrico ( $Ph$ ):

$$Ph = \frac{Pl}{D} = \frac{0,182_m}{0,168_m} = 1,08$$

Relacionando ambos parámetros geométricos:  $\frac{Pg}{Ph} = 1,157$

Con este valor y el número de Reynolds, se extrae del grafico 38 el valor del factor de corrección:

$$\chi = 0,9$$

Sustituyendo en 2.6 se obtiene que la caída de presión en el lado de la carcasa es de:

$$\Delta P = 3.0,9 \cdot \left( \frac{13,20 \text{kg} / \text{m}^3 \cdot (0,163 \text{m} / \text{s})^2}{2} \right) \cdot 0,5 = 0,236 \text{Pa}$$

$$\Delta h = \frac{0,236 \text{Pa}}{9,8 \text{m} / \text{s}^2 \cdot 13,20 \text{kg} / \text{m}^3} = 0,0018 \text{m}$$

### 2.5.2. Caída de presión de lado de los tubos.

Para el cálculo de la caída de presión del lado de los tubos se considera:

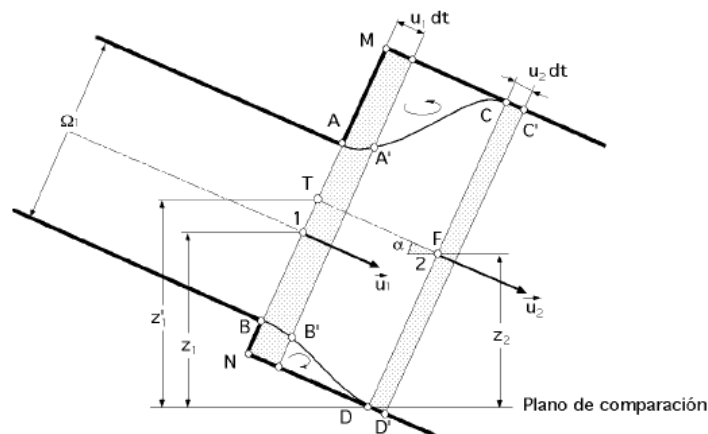
- Pérdidas por un ensanchamiento brusco. (Entrada a la zona 1 del reactor).
- Pérdidas en cada tramo recto de tubería.
- Pérdida por un estrechamiento brusco (Salida de la zona 2 del reactor)

Las pérdidas de carga que se producen en la placa perforada se suponen despreciables, al ser tan bajo el caudal que circula por cada tubo y relativamente pequeña las diferencia de secciones comparándolas con los estrechamientos y ensanchamientos de la salida y entrada respectivamente.



### 2.5.2.1. Pérdidas por el ensanchamiento brusco:

Cuando un fluido que circula por una tubería de sección  $\Omega_1$  pasa a otra sección  $\Omega_2$  de una forma brusca, la sección  $\Omega_1$  de la vena fluida se irá ensanchando hasta alcanzar la sección  $\Omega_2$  y amoldarse a la tubería.



En el volumen de fluido (ABCD), correspondiente a la sección  $\Omega_2$  en las zonas comprendidas entre los límites de la sección  $\Omega_1$  y los codos en M y N, se forman unos remolinos, mientras que en el resto del citado volumen, se definen perfectamente las líneas de corriente, que tienden a colocarse paralelas a la conducción de sección  $\Omega_2$ .

Se podría aplicar entre las secciones 1 y 2 la ecuación de Bernoulli, pero debido al ensanchamiento se desconocen las pérdidas de carga que se originan, las cuales se pueden determinar mediante el Teorema de la Cantidad de Movimiento, pudiéndose considerar que la cantidad de movimiento correspondiente al tramo de fluido contenido en la tubería de sección  $\Omega_2$ , es decir, de (MNCN) en adelante, viene determinada por la cantidad de fluido entrante a través de la sección  $\Omega_1$  en el tiempo  $dt$ ; si las zonas de remolinos permanecen prácticamente invariables, la masa fluida (ABCD) se habrá situado en el tiempo  $dt$  en la posición (A'B'C'D'). Todo este estudio viene recogido en <sup>6</sup>:

Se obtiene que la pérdida de carga para un ensanchamiento brusco viene definido según el Teorema de Belanger de la siguiente forma:

$$\Delta h = \frac{(v_2 - v_1)^2}{2g} = \frac{((\Omega_1 / \Omega_2) - 1)^2}{2g} \cdot v_1^2 \dots (2.7)$$

Para el cálculo de las secciones se toman los diámetros internos de tubería calculados en el apartado 9 de la presente memoria así como las velocidades y la densidad, tabla 9.4:

$$\Omega_1 = \frac{\pi \cdot di^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,049_m^2}{4} = 0,00188_m^2$$
$$\Omega_2 = \frac{\pi \cdot Di^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,8m^2}{4} = 0,5m^2$$

De la tabla 9.4 de la presente memoria, para la línea de flujo L-03 se extrajo que  $V_1 = 1,022m/s$

Sustituyendo en 2.7 se obtiene:

$$\Delta h = \frac{((\Omega_1 / \Omega_2) - 1)^2}{2 \cdot g} \cdot v_1^2 = \frac{((0,00188 / 0,5) - 1)^2}{2 \cdot 9,8m/s^2} \cdot (1,022m/s)^2$$

$$\Delta h_1 = 0,0528m$$

#### 2.5.2.2. Pérdidas en los tramos rectos de tubería.

En el interior del reactor se encuentran 7 tramos rectos de tubería, todas de las mismas dimensiones, para el cálculo de la pérdida de carga se hará uso de la ecuación de Fanning, explicada en mayor detalle en el apartado 9.8 de la presente memoria.

Donde:

f: Factor de fricción.

L: Longitud de tramo de tubería.

V: Velocidad del fluido.

di: diámetro interior de tubería.

g: aceleración de gravedad.

$$\sum F = 2f \cdot \frac{L}{di} V^2 \dots (2.8)$$

La pérdida de energía por unidad de masa  $\sum F$  está ligada a la pérdida de presión a causa del rozamiento, por la relación:

$$\sum F = \frac{\Delta p_{roz}}{\rho} = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta h}{\rho} = g \cdot \Delta h \dots (2.9)$$

El factor de fricción viene dado en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa, según se explica en el apartado 9.8.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot di}{\mu}$$

La densidad y la viscosidad vienen recogidas en la tabla 3 del anexo gráfico a la temperatura del reactor 370°C

La velocidad se calcula con el caudal volumétrico que entra en el reactor calculado en el apartado 2.5 de la presente memoria, como este caudal se separa en siete tubos, se obtiene que la velocidad en cada tubo es de:

$$v_{(m/s)} = \frac{Qv_{(m^3/s)} / 7}{S_{m^2}} = \frac{1,43 \cdot 10^{-3} m^3/s / 7}{\pi \cdot 0,15_m^2 / 4} = 1,156 \cdot 10^{-2} m/s$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot di}{\mu} = \frac{396_{Kg/m^3} \cdot 1,156 \cdot 10^{-2} m/s \cdot 0,15_m}{4,02 \cdot 10^{-6}} = 1,7 \cdot 10^5 (turbulento)$$

Según la tabla 35 del anexo gráfico la rugosidad relativa para tubos de acero comerciales es de:

$$\frac{\varepsilon}{d_i} = 0,0003$$

Con el número de Reynolds, la rugosidad realtiva y el diagrama de Moody, que se encuentra en el punto 39 del anexo gráfico, se obtiene que el factor de fricción es de:

$$f = 0,0045$$

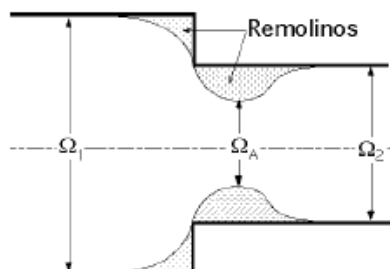
Sustituyendo en 2.8 se obtiene:

$$\Sigma F = 2 \cdot 0,0045 \cdot \frac{7}{0,15} \cdot (1,156 \cdot 10^{-2} \text{ m/s})^2 = 0,124 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\Delta h = \frac{0,124 \text{ m}^2/\text{s}^2}{9,8 \text{ m/s}^2} = 0,013 \text{ m} \Rightarrow \Delta h_2 = 7 \cdot 0,013 \text{ m} = 0,091 \text{ m}$$

### 2.5.2.3. Pérdidas por un estrechamiento brusco

Si el fluido pasa de la sección 1 a la sección 2, experimenta una contracción e inmediatamente después un ensanchamiento. Las pérdidas en la contracción, sección A, son prácticamente despreciables y sólo habrá que tener en cuenta las pérdidas originadas en la expansión posterior, entre las secciones A y 2.



Si se le llama “m” al valor de la relación entre las secciones A y 2, que no es más que un coeficiente de contracción, y teniendo en cuenta la ecuación de continuidad entre ambas secciones, resulta:

$$m = \frac{\Omega_A}{\Omega_2} = \frac{v_2}{v_A}$$

Que sustituyéndola en la ecuación de Belanguer, permite obtener:

$$\Delta h = \frac{(v_2 - v_1)^2}{2g} = \frac{((v_2/m) - v_2)^2}{2g} = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot \frac{v_2^2}{2g} \dots (2.10)$$

Según Weisbach “m” toma los valores que se indican en la tabla:

|                     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |   |
|---------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| $\Omega_2/\Omega_1$ | 0   | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1 |
| m                   | 0,5 | 0,48 | 0,45 | 0,41 | 0,36 | 0,29 | 0,21 | 0,13 | 0,07 | 0,01 | 0 |

**Tabla 2.12** Valores de la relación entre las secciones A y 2 (m)

La velocidad viene recogida en la tabla 9.4 del apartado 9 de la presente memoria, y tiene un valor de 1,052m/s

Sustituyendo en 2.10 se obtiene que:

$$\Delta h_3 = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{1}{0,5} - 1\right) \cdot \frac{(1,052m/s)^2}{2 \cdot 9,8m/s^2} = 0,0565m$$

De esta manera la caída de presión en el lado de los tubos es de:

$$\Delta h_{TOTAL} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 = 0,0528m + 0,091m + 0,0565m = 0,2m$$

### **3. DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR.**

#### **3.1. Caldera o Generador de vapor**

Los generadores de vapor se plantean para producir el vapor que se requiere en el proceso. Existen muchos factores que influyen en el diseño y selección del tipo de caldera. Debido a las condiciones de nuestro sistema se necesita producir vapor sobrecalentado a 778K y 7 bar de presión. Utilizando las calderas industriales convencionales se necesita usar combustibles fósiles, por lo que sería contradictorio diseñar una tecnología para producir energías renovables a partir de estos combustibles; otra opción es utilizar parte de la producción como combustible, pero la demanda energética es muy alta se necesita cantidades muy elevadas. Por lo que se propone una serie de alternativas de tecnología actual y de mucho auge como es el uso de:

- Generadores solares Disco-Parabólicos: que consisten en un conjunto de espejos que forman una figura disco-parabólica en cuyo foco se dispone el receptor solar en el que se calienta el fluido. El fluido puede ser calentado hasta 750 °C. y se puede trabajar hasta presiones de 150bar.
- La energía de la biomasa, ésta se obtiene de productos y residuos animales y vegetales. Así, la energía contenida en los residuos pueden ser aprovechados transformando los restos de la extracción del aceite de colza (pulpa) en combustible líquido, gaseoso o sólido. Actualmente están proliferando industrias dedicadas a la pelletización de residuos biomásicos para su uso en calderas; también mediante procesos de carbonización (pirólisis) se puede obtener carbón vegetal.

### 3.1.1. Cálculo del calor útil.

La caldera seleccionada debe aportar un caudal másico de vapor de agua de 7500 Kg/h. El calor necesario para transformar el agua en esta cantidad de vapor vendrá dado por:

$$Q_{util} = Q_l + Q_s$$

El calor latente de vaporización viene definido por:

$$Q_l = W_m \cdot \Delta H_{vap}(T=523K_{(164,96^\circ C)}, P=7bar)$$

Las condiciones son de 7 bar, ya que el compresor del vapor requiere una presión de entrada de 7 bar, *vease selección de bombas y compresores o la ficha técnica 7 del compresor H5450*. La temperatura del vapor a esta presión es de 523K

La entalpía de vaporización se obtiene de la tabla 13 del anexo gráfico, y se obtiene un calor de:

$$Q_l = 7500(kg / h.)2089(KJ / kg) = 4352kW$$

Para el cálculo de los calores sensibles se empleará la siguiente ecuación.

$$Q_s = W_m \cdot C_p \Delta T \dots (3.1)$$

Donde  $Q_s$  = Calor sensible (kW)

$W_m$  = Caudal másico de vapor, (kg/h)

$\Delta T$  = Incremento de temperatura, (K)

$C_p$  = Capacidad calorífica media del agua, en (kJ/kg .K)

Sustituyendo en la expresión (3.1) se calcula el calor necesario para subir la temperatura del agua desde 298K hasta 523K, con una capacidad

calorífica a la temperatura media del agua en este intervalo de temperatura y que se según la tabla 12 del anexo gráfico es de:

$$Cp_{(410K)} = 4,25KJ / kgK$$

$$: \quad Q_s = 7500kg / h.4,25KJ / kgK.(523 - 298)K = 1992kW$$

De esta misma manera se realiza el cálculo del calor necesario para sobrecalentar el vapor hasta la temperatura de entrada al intercambiador de calor IC-01 (778K), en este caso la capacidad calorífica a la temperatura media del vapor en este intervalo tendrá un valor según la tabla 12 del anexo gráfico de:

$$Cp_{(650K)} = 2,11KJ / kgK$$

$$Q_s = 7500kg / h.2,11KJ / kgK.(778 - 523)K = 1120kW$$

El calor útil que debe aportar la caldera es la suma del calor latente de vaporización y el calor necesario para el aumento del calor sensible:

$$Q_{util} = 4352_{KW} + 1992_{KW} + 1120 = 7464_{KW}$$

Las calderas no operan a pleno rendimiento, sino que trabajan con un determinado porcentaje de su capacidad total. Su rendimiento viene en función del tipo de caldera o generador de vapor que se utilice. Como el diseño de la caldera no entra dentro los objetivos de este proyecto, se desconoce este dato.



### **3.2. Intercambiador de calor (IC-01).**

Un intercambiador de calor es un dispositivo que facilita la transferencia de calor de una corriente de fluido a otra.

Una importante clasificación de los intercambiadores de calor los divide en intercambiadores de una sola corriente e intercambiadores de dos corrientes. Un intercambiador de una sola corriente es aquel en el que sólo varía la temperatura de un fluido; ejemplo de estos intercambiadores son muchos tipos de evaporadores y condensadores usados en centrales eléctricas y sistemas de refrigeración. Un intercambiador de dos corrientes es aquel en el que cambia la temperatura de ambos fluidos, ejemplos de estos son los radiadores y los refrigeradores para motores de automóviles.

Existe una gran variedad de intercambiadores de calor, ver memoria descriptiva apartado 4.8.6. De forma general:

- Cambiadores de doble tubo.
- Cambiador de carcasa y tubo.
- Intercambiadores de placas empaquetadas.
- Etc.

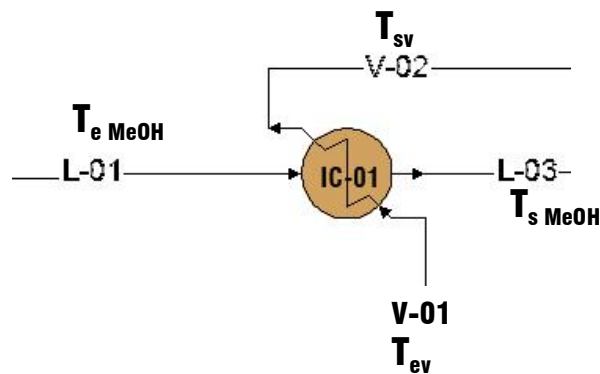
Comúnmente el diseño de un intercambiador de calor de proceso sigue las siguientes etapas:

- a) Comprobar el Balance de Energía, se ha de conocer las condiciones del proceso, caudales, temperaturas, presiones, propiedades físicas de los fluidos,...
- b) Se deben obtener las propiedades físicas de los fluidos en las condiciones de operación.
- c) Se Escoge el tipo de intercambiador.

- d) Se asignan las corrientes.
- e) Dibujar diagramas térmicos.
- f) Seleccionar el diámetro, espesor, material, longitud y configuración de los tubos.
- g) Se hace una estimación preliminar sobre el tamaño del intercambiador, utilizando un coeficiente de transferencia de calor apropiado para los fluidos, el proceso y el equipo.
- h) Calcular las pérdidas de presión en el lado del tubo y recalcular el número de pasos para cumplir con las pérdidas de presión admisibles.

### 3.2.1. Características del IC-01

Este intercambiador se utiliza para llevar el metanol que entra al reactor por encima de su temperatura crítica y así alcanzar el estado supercrítico y las condiciones óptimas de reacción.



Aunque el tipo de intercambiador más empleado a nivel industrial son los de carcasa y tubos, en esta ocasión se utilizará el intercambiador de tubos concéntricos con flujo en contracorriente ya que es el único tipo de intercambiador capaz de soportar las condiciones de operación de (45Mpa y 623K, 350 °C)

El gran inconveniente de este tipo de intercambiadores es el espacio que ocupa, puesto que suele necesitarse una gran área de intercambio que no puede suplirse en un espacio reducido.

La alimentación fría circula por el interior del tubo para conservar la misma línea de alta presión y por el espacio anular circula vapor de agua. Para conseguir un máximo aprovechamiento de la energía térmica se aislará la superficie exterior del tubo exterior del intercambiador.

En el diseño de intercambiadores de calor es necesario realizar un estudio de algunas propiedades fisicoquímicas de las sustancias que intervendrán en el proceso de transferencia térmica, con el fin de obtener un resultado lo más exacto posible, es decir, en función de la evolución de las propiedades de la corriente de metanol con la temperatura, se dividirá el intercambiador en tramos o no.

Se muestra el estudio realizado a algunas propiedades del metanol.

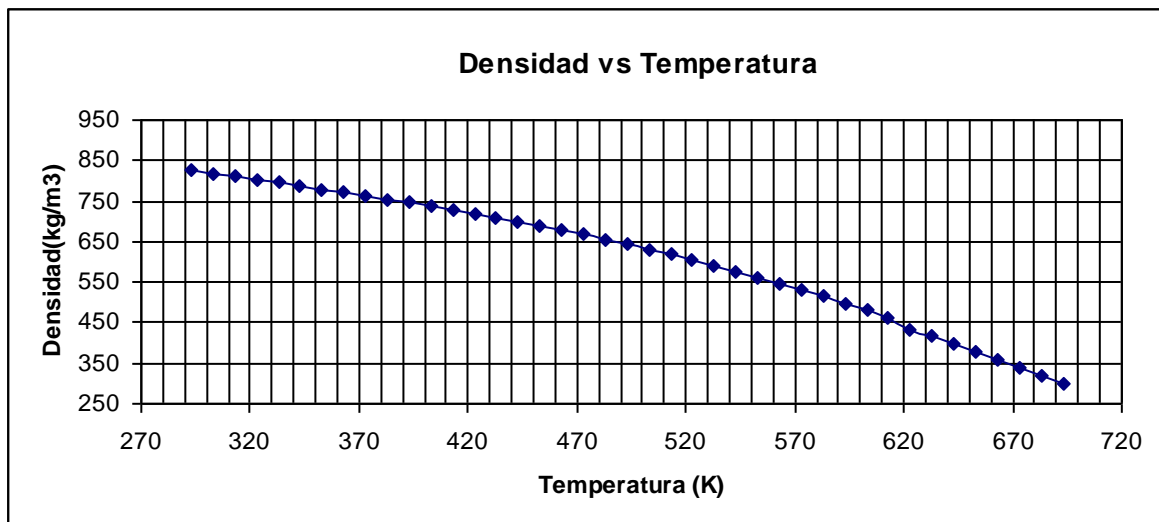


Figura 3.1. Variación de la Densidad con la temperatura a presión constante de 45 MPa

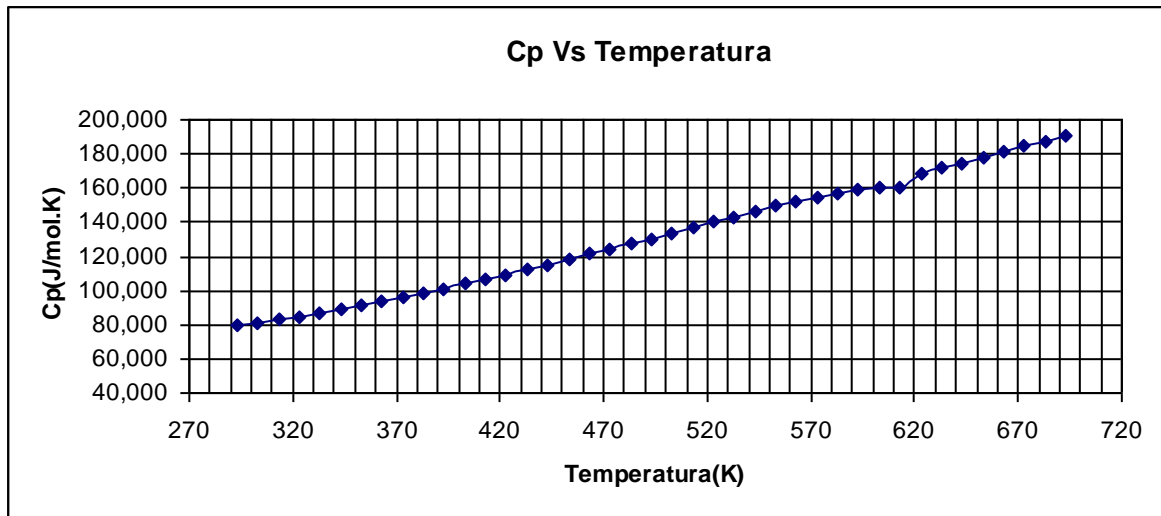


Figura 3.2. Variación del Calor Específico con la temperatura a presión constante de 45 MPa

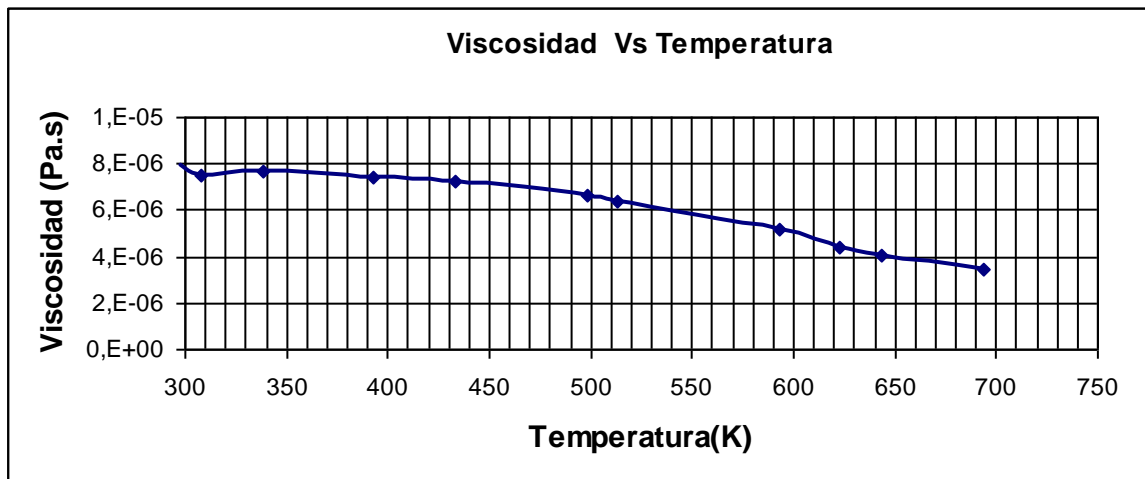


Figura 3.3. Variación de la viscosidad con la temperatura a presión constante de 45 MPa

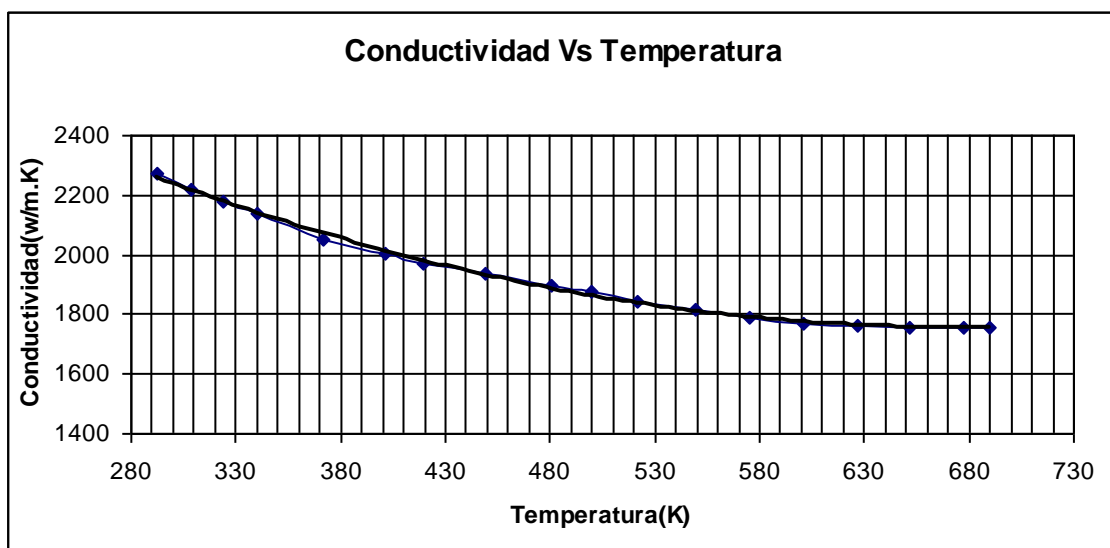


Figura 3.4. Variación de la Conductividad con la temperatura a presión constante de 45 MPa

Según se puede observar en las distintas gráficas, todas las propiedades fisicoquímicas siguen la misma tendencia al entrar en su estado supercrítico por lo que no es necesario dividir el diseño del intercambiador en tramos. Los valores de éstas propiedades se encuentran tabuladas en el anexo gráfico tabla

### 3.2.2. Balance de Energía.

Para determinar la transferencia de calor por unidad de tiempo, y admitiendo que el calor cedido por un fluido es totalmente absorbido por el otro, (no hay pérdidas térmicas), se puede hacer el siguiente balance de energía.

$$Q_{cedido\ por\ el\ vapor} = Q_{absorbido\ MeOH}$$

$$m_{vapor} \cdot C_{p\ vapor} \cdot (T_{e_v} - T_{s_v}) = m_{MeOH} \cdot \overline{Cp}_{MeOH_1} \cdot (T_{sat} - T_{e_{MeOH}}) + m_{MeOH} \cdot \overline{Cp}_{MeOH_2} \cdot (T_{s_{MeOH}} - T_{sat}) + m_{MeOH} \cdot \hat{H}_{Cambio\ defase}$$

Despejando la temperatura de entrada del vapor:

$$T_{e_v} = T_{s_v} + \frac{m_{MeOH}}{m_{vapor} \cdot C_{p\ vapor}} \cdot \left( \overline{Cp}_{MeOH_1} \cdot (T_{sat} - T_{e_{MeOH}}) + \overline{Cp}_{MeOH_2} \cdot (T_{s_{MeOH}} - T_{sat}) + \hat{H}_{Cambio\ defase} \right) \dots (3.2)$$

Donde:

$\overline{Cp}_{MeOH_1}$ : Capacidad calorífica media entre (298-513) K

$\overline{Cp}_{MeOH_2}$ : Capacidad calorífica media entre (513- 673) K

$\hat{H}_{MeOH}^{SCR}$ : Entalpía de cambio de fase a estado supercrítico (J/kg)

$m_{MeOH}$ : Caudal másico de metanol (Kg/h)

$C_{p\ vapor}$ : Capacidad calorífica del vapor a la temperatura media. (J/kg/k)

$T_{s_{MeOH}}$ : Temperatura de salida del metanol, calculada en el apartado 2.5.1 (698K)

$T_{e_{MeOH}}$ : Temperatura de entrada del metanol, temperatura ambiente (298K)

$T_{e_v}$ : Temperatura de entrada del vapor.(K)

Tsv: Temperatura de salida del vapor, esta es igual a la temperatura de entrada de vapor en el reactor, ya que están conectados (701K)

- *Estimación de Propiedades*

Las capacidades caloríficas medias del metanol en los dos rangos de temperatura, se obtienen de la tabla 3 del anexo gráfico.

| Metanol (45MPa)                                  |      |
|--|------|
| <b>Cp<sub>1medio</sub> (J/kg/k)</b><br>(298-513) | 3250 |
| <b>Cp<sub>2medio</sub> (J/kg/k)</b><br>(513-673) | 5004 |

**Tabla 3.1** Capacidades caloríficas del metanol, a 45MPa

La entalpía de cambio de fase del metanol en estado líquido a supercrítico se estimó en el apartado 2.5.2, con una aproximación gráfica tomada de los datos de la tabla 3 del anexo gráfico se obtiene:

$$\hat{H}_{\text{Cambio de fase}} = 1,383 \text{ KJ} / \text{mol} = 43220 \text{ J} / \text{kg}$$

Para la estimación de la capacidad calorífica del vapor, inicialmente se supone una temperatura media y se itera hasta que la temperatura media supuesta coincida con la temperatura media calculada. Los datos de la tabla 3.2 están a la temperatura media del vapor después de la iteración. Las propiedades fisicoquímicas del vapor se encuentran recogidas en el anexo gráfico, tabla 11.

| Vapor a 740°K y 40bar                     |         |
|---|---------|
| Viscosidad (Pa.s)                         | 2,82E-5 |
| Viscosidad Cinemática (m <sup>2</sup> /s) | 2,3E-6  |
| Capacidad Calorífica (KJ/kg.K)            | 2,300   |
| Conductividad (W/m.s)                     | 0,0682  |
| Nº de Prandtl                             | 0,9495  |
| Densidad (kg/m <sup>3</sup> )             | 12,23   |

**Tabla 3.2** Propiedades del vapor de agua a su temperatura media

Introduciendo todos los datos en la Ec (3.2) se obtiene que:

$$T_{e_v} = 701K + \frac{1984kg/h}{7500kg/h \cdot 2300J/kgK} \cdot (3250J/kgK(513-298)K + 5004J/kgK(698-513)K + 43220J/kgK)$$

$$T_{e_v} = 781K \text{ (508° C)}$$

### 3.2.2.1. Cálculo del calor cedido por el vapor.

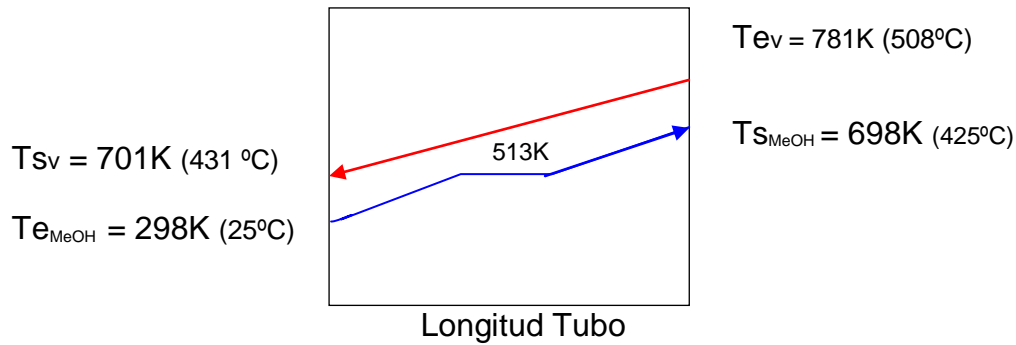
El calor requerido para producir un cambio específico de temperatura en la corriente principal, se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{ced, vapor} = m_{vapor} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{ced, vapor} = 7500kg/h \cdot 2300J/kgK \cdot (781-701)K = 3,85 \cdot 10^5 W$$

### 3.2.2.2. Cálculo del incremento medio logarítmico

- *Diagrama térmico*



**Figura 3.5** Diagrama Térmico del IC-01

A partir de éste diagrama se puede deducir la expresión del incremento medio logarítmico de temperaturas.

$$\Delta T_{ml} = \frac{((T_{s_v} - T_{e_{MeOH}}) - (T_{e_v} - T_{s_{MeOH}}))}{\ln\left(\frac{(T_{s_v} - T_{e_{MeOH}})}{(T_{e_v} - T_{s_{MeOH}})}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{((701 - 298) - (781 - 698))}{\ln\left(\frac{(701 - 298)}{(781 - 698)}\right)} = 202$$



### 3.2.2.3. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor.

Los sistemas cilíndricos experimentan gradientes de temperatura sólo en la dirección radial y por consiguiente se tratan como unidimensionales. Al producirse el flujo de calor en esta dirección se establecen tres resistencias a la transferencia de calor.

- Una primera resistencia por convección en donde el fluido que circula por la carcasa transfiere el calor a través del fluido a la tubería.
- Una segunda resistencia por conducción a través de la pared de la tubería.
- Y una tercera resistencia por convección a través del fluido que circula en el interior de la tubería.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_A} + \frac{r_{int} \cdot \ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{K_{INCONEL625}} + \frac{r_{int}}{r_{ext} \cdot h_{vapor}} \dots(3.3)$$

#### 3.2.2.3.1. Coeficiente de transferencia de calor por convección en la corriente de vapor. ( $h_{vapor}$ )

Para conductos no circulares en las expresiones adimensionales del número de Reynolds y el Nusselt se utiliza el diámetro equivalente.

$$D_{eq} = 4 \frac{As}{P} \quad \text{Donde } As = \text{Área de la sección transversal de flujo}$$

P = Perímetro mojado.

Para la sección anular entre dos tubos concéntricos

$$D_{eq} = 4 \cdot \frac{\frac{\pi}{4} \cdot (Di^2 - de^2)}{\pi \cdot (Di + de)} = \frac{(Di + de)(Di - de)}{(Di + de)} = Di - de$$

Para selección de los diámetros de los tubos del intercambiador se proponen distintas relaciones entre el diámetro interior del tubo exterior y el diámetro exterior del intercambiador. (Di/de) (Ver tabla 3.4)

Se fija la relación Di/de = 2 siendo ésta la que proporciona mejores resultados en cuanto área, longitud, velocidad de circulación, etc. De tal forma que para un Di de 0,11m se obtiene un diámetro exterior de la tubería concéntrica de = 0,055m, según el catálogo de tuberías de INCONEL 625, (anexo gráfico nº 7) los valores reales para los diámetros de tuberías son:

|       |       |
|-------|-------|
| Di(m) | 0,114 |
| de(m) | 0,06  |

De esta forma se obtiene un Deq = 0,054m

El primer paso para obtener el coeficiente de transferencia de calor por convección en el vapor es determinar el número de Reynolds

$$Re = \frac{G \cdot D_{eq}}{\mu} \quad \text{Donde} \quad G = \frac{Wm}{As} = \frac{7500_{kg/h} \cdot (1/3600)_{h/s}}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,11^2 - 0,06^2)_{m^2}} = 282,31_{kg/m^2 \cdot s}$$

De la tabla 3.2 (Propiedades del vapor a 40 bar y 740 K) se obtiene el valor de la viscosidad, por lo tanto el número de reynolds dará del orden de:

$$Re = \frac{G.D_{eq}}{\mu} = \frac{282,31kg/m^2s \cdot 0,054m}{2,82 \cdot 10^{-5} Kg/m.s} = 5,42 \cdot 10^5 \text{ (Régimen turbulento)}$$

En el caso de flujo turbulento se pueden usar las correlaciones para un tubo circular, reemplazando el diámetro (D) por el diámetro equivalente. Es posible usar las mismas correlaciones para todos los flujos turbulentos dentro de un conducto debido a que la subcapa viscosa en el perímetro del conducto es muy delgada y a que la velocidad y la temperatura del centro del flujo son casi uniformes. Para los conductos anulares se puede obtener una mayor exactitud si se multiplica el número de Nusselt (Ec. 2.5) por los factores de corrección recomendados por Petukov y Roizen. El factor de corrección para la transferencia de calor a través de la pared interior cuando la pared exterior se encuentra aislada está dado por. [2]

$$0,86 \cdot \left( \frac{de}{Di} \right)^{-0,16}$$

Por lo tanto el número de Nusselt viene dado por:

$$\overline{Nu}_D = \frac{\left( \frac{f}{8} \right) \cdot (Re_D - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot \left( \frac{f}{8} \right)^{(1/2)} \cdot (Pr^{(2/3)} - 1)} \cdot 0,86 \cdot \left( \frac{de}{Di} \right)^{-0,16}$$

Partiendo de la consideración de que el flujo está totalmente desarrollado hidrodinámicamente y que la pared es lisa se puede calcular el factor de fricción a partir de la fórmula de Petukhov. [2]

$$f = (0,79 \cdot \ln Re_D - 1,64)^{-2} = 0,0129$$

$$\overline{Nu}_D = \frac{\left(\frac{0,0129}{8}\right) \cdot (5,42 \cdot 10^5 - 1000) \cdot 0,9495}{1 + 12,7 \cdot \left(\frac{0,0129}{8}\right)^{(1/2)} \cdot (0,9495^{(2/3)} - 1)} \cdot 0,86 \cdot \left(\frac{0,06}{0,11}\right)^{-0,16}$$

$$\overline{Nu}_D = 805,377$$

Una vez conocido el número de Nusselt se puede determinar el coeficiente de transmisión de calor.

$$h_{vapor} = \frac{\overline{Nu} \cdot k}{D_{eq}} = \frac{805,377 \cdot 0,0682}{0,054} = 1017,2 W / m^2 K$$

$$h_{vapor} = 1017,2 W / m^2 K$$

### 3.2.2.3.2. Coeficiente de transferencia de calor por convección en la corriente de alimentación. ( $h_{alim}$ )

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor para la corriente de metanol, se considera el análisis para flujo forzado a través de tubos y conductos [2]. Al igual que en el caso anterior es necesario conocer el régimen de flujo para conocer la ecuación del número de Nusselt que mejor se ajusta al comportamiento del reactor

Previamente se analiza la tubería comercial de diámetro exterior 0,06m para conocer su espesor y diámetro interno. Para ello se determina el espesor de tubería necesario para trabajar a elevadas condiciones de presión y temperatura.

Un método de diseño aplicable según ASME B31.1 (Power Piping), es aquel que está basado en la consideración de que la pared de la tubería

trabaja sobre su rendimiento máximo, del orden de los 6000 psi o más y define el espesor de pared del tubo con la siguiente expresión:

$$t = \frac{de + c}{2} \cdot \left[ 1 - \text{EXP} \left( \frac{-1,155 \cdot P}{S} \right) \right]$$

Donde:

*t*: Espesor de pared para altas presiones de servicio, (in)

*de*: Diámetro exterior, (in)

*P*: Presión Interna, (psi).

*S*: Tensión admisible, (psi).

Se considera para el diseño del intercambiador el mismo material que se utilizó para el reactor, INCONEL 625. Una vez conocido el material se puede definir los siguientes parámetros de diseño según (tabla 5 del anexo gráfico):

- Resistencia a la tracción ( $\sigma_e$ ) = 827,28 MPa
- Tensión Admisible a 425°C (*S*)= 37400 MPa
- Eficacia de Soldadura (*E*) = 1
- Sobreepesor por corrosión (*c*) = 0 (Este tipo aleación es altamente resistente a la corrosión)
- Presión de Diseño = 50 Mpa = 7251,85 psi

$$t = \frac{0,06}{2} \cdot \left[ 1 - \text{EXP} \left( \frac{-1,155 \cdot 7251,85 \text{psi}}{37400 \text{psi}} \right) \right] \quad t = 0,006m$$

El espesor comercial o Schudele para una tubería de diámetro nominal de 2" es de 160 y de valor:

$$t = 0,00871m$$

Por tanto el diámetro interno de la tubería del intercambiador será de:

$$d_i = d_e - 2.t = 0,06 - 2.0,00871m$$

$$d_i = 0,043m$$

El número de Reynolds viene definido por:

$$Re_D = \frac{G.d_i}{\mu} \quad \text{Donde: } G = \frac{Wm}{As} = \frac{1984kg/h.(1/3600)h/s}{\frac{\pi}{4}.(0,043^2)m^2} = 1434,64kg/m^2s$$

Al igual que en el reactor las propiedades fisicoquímicas del metanol se evalúan a una temperatura media aritmética entre la entrada y la salida del intercambiador.

- *Estimación de la Viscosidad:*

La viscosidad de los fluidos supercríticos tiene la particularidad que se asemejan a la viscosidad de los gases apartado 4.5.4.1 de la memoria descriptiva por lo que para estimar esta propiedad se utilizará la correlación de Coremans y Beenakker <sup>[1]</sup> y que según la bibliografía es bastante exacta para gases de bajo peso molecular, esta correlación puede expresarse como:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = 1 + (0,55.\rho^* + 0,96.\rho^{*2} + 0,61.\rho^{*3})T^{*(-0,59)}$$

Donde:

$\mu$  = Viscosidad, cp

$\mu_0$  = Viscosidad a baja presión a la misma temperatura, cp (tabla 2 del anexo gráfico)

$T^* = \frac{k.T}{\varepsilon_0}$  = donde  $\varepsilon_0/k$  es el parámetro de potencial de Lannard-Jones (tabla 1 del anexo gráfico)

$\rho^* = \rho \cdot b_0$  = con densidad en moles/cm<sup>3</sup> y  $b_0$  el volumen de la esfera rígida (tabla 1 del anexo grafico)

$$\varepsilon_0 / k = 481,8_{\circ K} \quad (\text{Tabla 1 de anexo grafico})$$

$$b_0 = 60,17_{\text{cm}^3/\text{g-mol}} \quad (\text{Tabla 1 del anexo grafico})$$

$$\text{Condiciones de operación: } \begin{cases} T_{\text{media}} = 498K (225^{\circ}C) \\ P = 45MPa \end{cases}$$

La densidad del metanol en estado supercrítico se encuentran descritas en el *libro del web de química del NIST* (anexo gráfico 3)

| T(K) | T*         | $\rho$ | $\rho(\text{gr}/\text{cm}^3)$ | $\rho^*$   | $\mu/\mu_0$ | Mo       | $\mu(\text{Pa.s})$ |
|------|------------|--------|-------------------------------|------------|-------------|----------|--------------------|
| 298  | 0,619      | 826    | 0,0258                        | 1,553      | 8,236       | 9,59E-07 | 7,90E-06           |
| 393  | 0,819      | 746,36 | 0,0233                        | 1,403      | 5,899       | 1,26E-06 | 7,43E-06           |
| 433  | 0,900      | 709,45 | 0,0221                        | 1,333      | 5,139       | 1,40E-06 | 7,20E-06           |
| 498  | 1,03512783 | 638    | 0,0199375                     | 1,19963938 | 4,03210445  | 1,64E-06 | 6,61E-06           |
| 593  | 1,232      | 497,18 | 0,0155                        | 0,934      | 2,636       | 1,97E-06 | 5,19E-06           |
| 623  | 1,295      | 433    | 0,0135                        | 0,814      | 2,213       | 2,00E-06 | 4,43E-06           |
| 643  | 1,337      | 397    | 0,0124                        | 0,746      | 2,011       | 2,00E-06 | 4,02E-06           |

**Tabla 3.3** Cálculo de la viscosidad para el metanol supercrítico.

Interpolando para la temperatura media de 498K se obtiene que:

$$\mu = 6,61 \cdot 10^{-6} \text{ Pa.s}$$

- *Estimación de la Conductividad térmica*

El dato conductividad del metanol supercrítico a 498K se ha estimado a partir de un estudio de la conductividad del metanol a elevadas presiones y temperaturas [V.], los resultados se encuentran recogidos en la (tabla 4 del anexo gráfico)

$$K_{\text{MeOH}}^{\text{Supercritico}} = 0,1875 \text{ w/mK}$$

Todas estas propiedades son necesarias para la estimación del régimen de flujo, el número de Nusselt y el número de Prandtl

$$Re_D = \frac{G.d_i}{\mu} = \frac{1434,64 \text{ kg} / \text{m}^2 \text{ s} \cdot 0,043 \text{ m}}{6,61 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}} = 9,33 \cdot 10^6 \quad (\text{Régimen turbulento})$$

Para el cálculo del número de Prandtl se utiliza la siguiente expresión:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$

La Capacidad Calorífica del metanol supercrítico a 498K se encuentra recogido en la tabla 3 del anexo gráfico

$$C_{p_{MeOH}} = 4125 \text{ J} / \text{kgK} \quad (225^\circ \text{C})$$

Se obtiene que:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{K} = \frac{4125 \text{ J} / \text{kgK} \cdot 6,61 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}}{0,1875 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}} = 0,145$$

Partiendo de la consideración de que el flujo está totalmente desarrollado hidrodinámicamente y que la pared es lisa se puede calcular el factor de fricción a partir de la formula de Petukhov. [2]

$$f = (0,79 \cdot \ln Re_D - 1,64)^{-2} = 0,0821$$

Siguiendo con la formula de Gnielinski para la estimación del número de Nusselt se obtiene:

$$\overline{Nu}_D = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) \cdot (Re_D - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot \left(\frac{f}{8}\right)^{(1/2)} \cdot (Pr^{(2/3)} - 1)}$$



$$\overline{Nu}_D = \frac{\left(\frac{0,0821}{8}\right) \cdot (9,33 \cdot 10^6 - 1000) \cdot 0,145}{1 + 12,7 \cdot \left(\frac{0,0821}{8}\right)^{(1/2)} \cdot (0,145^{(2/3)} - 1)} = 1973$$

$$h_{MeOH} = \frac{\overline{Nu} \cdot k}{d_i} = \frac{1973 \cdot 0,1875}{0,043} = 8601,16_{w/m^2 \cdot K}$$

$$h_A = 8601,16_{w/m^2 \cdot s}$$

Conocidos todos los coeficientes individuales de transmisión de calor se obtiene que:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_A} + \frac{r_{int} \cdot \ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{K_{INCONEL625}} + \frac{r_{int}}{r_{ext} \cdot h_{vapor}}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{8601,16_{w/m^2 \cdot k}} + \frac{(0,043_m / 2) \times \ln(0,06 / 0,043)}{15,7_{w/m \cdot k}} + \frac{0,043}{0,06 \times 1017,2_{w/m^2 \cdot k}}$$

$$U = 783,051_{w/m^2 \cdot K}$$

#### 3.2.2.4. Dimensiones características del Intercambiador.

Para determinar el área de transferencia térmica necesaria para que ambas corrientes alcancen las temperaturas seleccionadas. Se hace uso de la siguiente expresión:

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T_{ml} \dots (3.4) \quad \text{Despejando el área se obtiene}$$

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}}$$

Donde Q = calor cedido por el vapor obtenido en el  
Apartado 4.2.1.1.1

$\Delta T_{ml}$  = Incremento medio logarítmico calculado  
En el apartado 4.2.1.1.2

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{3,85 \cdot 10^5_w}{783,051_{w/m^2 \cdot k} \cdot 199_K} = 2,47_{m^2}$$

Para calcular la longitud se define el área de intercambio por:

$$A = \pi \cdot d_i \cdot L \quad \text{Donde } L \text{ es la longitud del intercambiador.}$$

Despejando L se obtiene que:

$$L = \frac{A}{d_i \cdot \pi} = \frac{2,47 m^2}{0,043 m \cdot \pi} = 18,3 m \approx 19,5 m$$

De esta manera se divide el intercambiador en tres tramos de 6,5m cada uno.

$$D_{i(m)} = 0,114_m$$

$$K=Di/de$$

| K   | de(m)  | G(Kg/m2.s) | Deq(m) | Re       | F      | f      | Nusselt  | h vapor (w/m2.K) |
|-----|--------|------------|--------|----------|--------|--------|----------|------------------|
| 1,2 | 0,0950 | 668,005    | 0,0190 | 4,51E+05 | 0,8855 | 0,0134 | 643,968  | 2311,507         |
| 1,4 | 0,0814 | 416,730    | 0,0326 | 4,82E+05 | 0,9076 | 0,0132 | 697,327  | 1460,105         |
| 1,8 | 0,0633 | 295,234    | 0,0507 | 5,31E+05 | 0,9448 | 0,0130 | 786,107  | 1058,141         |
| 1,9 | 0,0600 | 282,317    | 0,0540 | 5,42E+05 | 0,9530 | 0,0129 | 805,377  | 1017,161         |
| 2,4 | 0,0475 | 246,993    | 0,0665 | 5,83E+05 | 0,9893 | 0,0128 | 888,823  | 911,545          |
| 2,8 | 0,0407 | 233,954    | 0,0733 | 6,09E+05 | 1,0140 | 0,0127 | 943,732  | 878,241          |
| 3   | 0,0380 | 229,627    | 0,0760 | 6,20E+05 | 1,0253 | 0,0126 | 968,198  | 868,830          |
| 3,6 | 0,0317 | 221,179    | 0,0823 | 6,47E+05 | 1,0556 | 0,0125 | 1032,383 | 855,164          |
| 4   | 0,0285 | 217,720    | 0,0855 | 6,61E+05 | 1,0736 | 0,0125 | 1069,105 | 852,783          |

| K   | de(m)      | t(m) | di(m) | G(Kg/m2.s) | Re          | f    | Nusselt | hMeOH (w/m2.K) |
|-----|------------|------|-------|------------|-------------|------|---------|----------------|
| 1,2 | 0,095      | 0,01 | 0,08  | 460,00     | 5284653,08  | 0,01 | 1235,49 | 3050,56        |
| 1,4 | 0,08142857 | 0,01 | 0,07  | 626,11     | 6165428,59  | 0,01 | 1401,80 | 4038,07        |
| 1,8 | 0,06333333 | 0,01 | 0,05  | 1035,00    | 7926979,62  | 0,01 | 1723,73 | 6384,09        |
| 1,9 | 0,06       | 0,01 | 0,04  | 1434,64    | 9332748,51  | 0,01 | 1972,53 | 8601,16        |
| 2,4 | 0,0475     | 0,00 | 0,04  | 1839,99    | 10569306,16 | 0,01 | 2186,61 | 10797,93       |
| 2,8 | 0,04071429 | 0,00 | 0,03  | 2504,44    | 12330857,19 | 0,01 | 2485,12 | 14317,39       |
| 3   | 0,038      | 0,00 | 0,03  | 2874,99    | 13211632,70 | 0,01 | 2631,91 | 16246,14       |
| 3,6 | 0,03166667 | 0,00 | 0,03  | 4139,99    | 15853959,24 | 0,01 | 3063,90 | 22695,31       |
| 4   | 0,0285     | 0,00 | 0,02  | 5111,09    | 17615510,27 | 0,01 | 3345,88 | 27537,77       |

| U(w/m2.K) | A(m2)  | L(m)    |
|-----------|--------|---------|
| 822,8839  | 2,3514 | 9,8567  |
| 794,0624  | 2,4368 | 11,9169 |
| 785,4554  | 2,4635 | 15,4896 |
| 783,0512  | 2,4710 | 18,2925 |
| 806,2319  | 2,4000 | 20,1206 |
| 824,9877  | 2,3454 | 22,9404 |
| 834,5633  | 2,3185 | 24,2969 |
| 862,5633  | 2,2433 | 28,2099 |
| 880,1705  | 2,1984 | 30,7173 |

Tabla 3.4 Hoja de Excel con los selección de la relación de diámetros

### 3.2.3. Pérdidas de carga.

Para el cálculo de las pérdidas de carga en el intercambiador se estiman las que se producen por la tubería interior en sus tres tramos, y las que se producen en la línea de circulación del vapor calefactor.

#### 3.2.3.1. Pérdidas de carga en la tubería exterior.

La consideración adicional a tener en cuenta es la de sección anular de la tubería, además de las ya expresadas en el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías rectas expuesto en el apartado 2.6 y 9.8 de la presente memoria, El análisis del flujo se puede considerar análogo al de tubos circulares, en flujo laminar, las ecuaciones de continuidad y de cantidad de movimiento se pueden resolver de forma exacta, mientras que en regímenes turbulentos se puede hacer uso de perfiles logarítmicos, aunque resulta mucho más simple utilizar el diámetro hidráulico, que permite obtener buenas aproximaciones, su definición es la misma que la expuesta para el diámetro equivalente en el apartado 4.2.1.2.1 de la memoria de cálculo. De tal forma que el diámetro hidráulico es de:

$$D_h = Di - de = 0,114_m - 0,06_m = 0,054_m$$

La caída de presión vendrá dada según <sup>6</sup> por la Ecuación de fanning en función del diámetro hidráulico:

$$\Sigma F = 2f \cdot \frac{L}{D_h} \cdot v^2$$

La pérdida de energía por unidad de masa  $\Sigma F$  está ligada a la pérdida de presión a causa del rozamiento, por la relación:

$$\Sigma F = \frac{\Delta p_{roz}}{\rho} = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta h}{\rho} = g \cdot \Delta h$$

El factor de fricción vendrá dado en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa, según se explica en el apartado 9.8. El número de Reynolds se cálculo previamente en el apartado 3.2.1.2

$$\text{Re} = \frac{G \cdot D_h}{\mu} \quad \text{Donde} \quad G = \frac{Wm}{As} = \frac{7500_{kg/h} \cdot (1/3600)_{h/s}}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,11^2 - 0,06^2)_{m^2}} = 282,31_{kg/m^2 \cdot s}$$

De la tabla 12 del anexo gráfico (propiedades del vapor a 40 bar y la temperatura media del vapor 740 K) se obtiene el valor de la viscosidad y por lo tanto el número de Reynolds será del orden de:

$$\text{Re} = \frac{G \cdot D_h}{\mu} = \frac{282,31_{kg/m^2 \cdot s} \cdot 0,054m}{2,82 \cdot 10^{-5} kg/m \cdot s} = 5,42 \cdot 10^5$$

La velocidad se calcula con el caudal volumétrico de vapor que entra en el intercambiador de calor, para ello se requiere de la densidad a su temperatura media, (tabla 12.1 del anexo gráfico) y de la sección anular:

$$v_{(m/s)} = \frac{Q_{vapor(m^3/s)}}{S_{m^2}} = \frac{(7500kg/h) / 12,24kg/m^3}{\pi \cdot (0,114^2 - 0,06^2) m^2 / 4} = 23,06m/s$$

Según la tabla 35 del anexo gráfico la rugosidad relativa para tubos de acero comerciales es de:

$$\frac{\varepsilon}{Dh} = 0,0009$$

Con el número de Reynolds, la rugosidad relativa y el diagrama de Moody, que se encuentra en el punto 39 del anexo gráfico, se obtiene que el factor de fricción es de:

$$f = 0,005$$

Sustituyendo en la Ec de Fanning:

$$\Sigma F = 2.0,005 \cdot \frac{6,5m}{0,054m} \cdot (23,06m/s)^2 = 640m^2/s^2$$

$$\Delta h = \frac{640m^2/s^2}{9,8m/s^2} = 65m \Rightarrow \Delta h_2 = 3.65m = 195m$$

### 3.2.3.2. Pérdidas de carga en la tubería interior.

En este tramo de tubería se considerará 19,5 metros de tubo recto separado en tres tramos y las pérdidas por los codos en "U" necesarios para los pasos de un tramo a otro.

- Para la tubería recta se sigue el mismo procedimiento, tomando los datos de densidad y viscosidad a la temperatura media entre la entrada y la salida (498K). La estimación del régimen de flujo viene descrita en el apartado 3.2.1.2.2

$$Re_D = \frac{G \cdot d_i}{\mu} \quad \text{Donde: } G = \frac{Wm}{As} = \frac{1984kg/h \cdot (1/3600)h/s}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,043^2)m^2} = 1434,64kg/m^2s$$

$$Re_D = \frac{G \cdot d_i}{\mu} = \frac{1434,64_{kg/m.s} \cdot 0,043_m}{6,61 \cdot 10^{-6}_{kg/m.s}} = 9,33 \cdot 10^6 \text{ (Régimen turbulento)}$$

La velocidad se calcula con el caudal másico que entra en el intercambiador, la densidad a la temperatura media y con la sección:

$$v(m/s) = \frac{Wm(kg/h) / \rho(kg/m^3)}{S(m^2)} = \frac{1984kg/h / 634kg/m^3}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,043^2)m^2} = 0,6m/s$$

Según la tabla 35 del anexo gráfico la rugosidad relativa para tubos de acero comerciales es de:

$$\frac{\varepsilon}{di} = 0,001$$

Con el número de Reynolds, la rugosidad relativa y el diagrama de Moody, (ver gráfico 39 del anexo gráfico), se obtiene que el factor de fricción es de:

$$f = 0,005$$

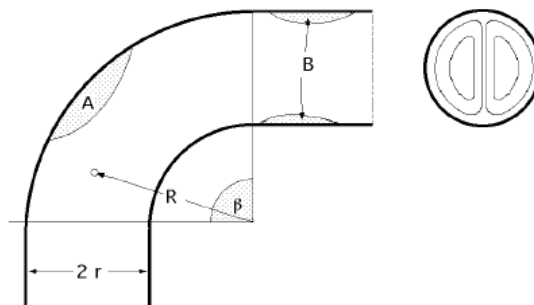
Sustituyendo en la Ec de Fanning:

$$\Sigma F = 2.0,005 \cdot \frac{6,5m}{0,043m} \cdot (0,6m/s)^2 = 0,54m^2/s^2$$

$$\Delta h_1 = \frac{0,54m^2/s^2}{9,8m/s^2} = 0,055m \Rightarrow \Delta h_1 = 3 \cdot 0,055m = 0,165m$$

- Pérdidas de carga en los codos en forma de "U"

Es difícil determinar teóricamente estas pérdidas debido a que las líneas de corriente dejan de ser paralelas al eje de la conducción, presentándose circulaciones secundarias, tal como se muestra en la figura. En la región A se forman torbellinos y en la B se estrecha la sección de la vena, seguida de una expansión, siendo éstas las principales causas de las pérdidas de carga.



El valor del factor de fricción “f” se puede determinar también en función de la relación R/r, siendo r el radio de la conducción.

Para tubería circular, Weisbach propone los siguientes valores de f:

|     |   |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |
|-----|---|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|
| r/R | 0 | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4 | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1     |
| f   |   | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,2 | 0,29 | 0,43 | 0,67 | 0,98 | 1,37 | 11,95 |

Tabla 3.5 Factor de fricción “f”

$$f = 0,16$$

Conociendo la ecuación empírica típica para accesorios y que hay dos codos en forma de “U” en la línea de intercambio se obtiene que:

$$\Delta h_2 = f \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,16 \cdot \frac{(0,6m/s)^2}{2 \cdot 9,8m/s^2} = 0,003m \Rightarrow \Delta h_2 = 2 \cdot 0,003m = 0,006m$$

Por lo tanto la pérdida de carga total en el tubo interior será de:

$$\Delta h_{Total} = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 0,165m + 0,006m = 0,171m$$



#### 4 DISEÑO DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN FLASH CF-01

Una destilación flash es una sola etapa de destilación en la que la alimentación se vaporiza parcialmente para producir un vapor más rico en el componente más volátil. El esquema más clásico de este equipo se presenta en la figura 3.1

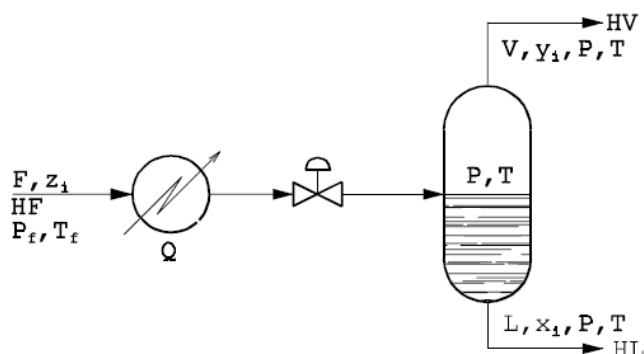


Figura 4.1 Columna de Destilación Flash

La alimentación se calienta en el equipo de intercambio y luego se expande en forma adiabática a través de la válvula. La vaporización que se produce, a partir de la caída brusca de presión, implica la formación de dos fases, las cuales son separadas gracias al tiempo de contacto entre las mismas que permite el tambor separador.

El primer paso para diseñar el sistema implica establecer las hipótesis que se adoptarán para proponer un modelo de cálculo.

- El vapor y líquido tienen el tiempo de contacto suficiente para alcanzar el equilibrio (no se tienen en cuenta los parámetros geométricos).
- La presión de líquido y vapor son las del columnas de separación ( $\Delta P=0$ ). Esto implica que no se consideran las caídas de presión por los componentes usuales en este tipo de equipo tales como separadores de gotas, etc.,

- Existen sólo una fase líquida y vapor (L-V)
- No existen reacciones químicas.

#### **4.1. Estimación de las volatilidades o razones de equilibrio.**

Para poder llevar a cabo la destilación es necesario que los componentes de la mezcla tengan distintas presiones de vapor. Cuanto más diferente sean más eficaz será la destilación. Por ello, el fundamento básico de la destilación se encuentra en el estudio de los datos de equilibrio líquido-vapor de las distintas mezclas.

Es conveniente definir una relación de equilibrio como la relación entre las fracciones molares de una especie en dos fases que se encuentran en equilibrio. Para el caso de vapor –líquido esta definido por:

$$\text{Volatilidad} = K = \frac{y_i}{x_i} \dots (4.1)$$

Se puede representar la razón de equilibrio o la volatilidad en función de las presiones de saturación de los componentes puros asumiendo que los componentes que forman la mezcla forman una solución ideal a presión atmosférica, es decir que la mezcla cuenta con tamaños de moléculas y fuerzas intermoleculares aproximadamente iguales.

Ésta estimación se consigue haciendo uso de una relación empírica conocida como la ley de Raoult, la cual establece que la presión parcial de cada componente en el vapor es proporcional a su fracción molar en el líquido  $x_i$ , la constante de proporcionalidad es la presión de saturación  $P_i^{\text{sat}}$  de la especie pura a la temperatura del sistema.

$$P_i = P_i^{\text{sat}} \cdot x_i$$

Además a baja presión es aplicable la ley de Dalton para la fase vapor, donde P es la presión total e  $y_i$  la fracción molar en la fase vapor.

$$P_i = P \cdot y_i$$

Igualando ambas ecuaciones se obtiene que:

$$y_i = \frac{P_i^{sat}}{P} \cdot x_i \dots (4.2)$$

De tal forma que relacionando (4.1) y (4.2) queda que la volatilidad es igual a:

$$K = \frac{P_i^{sat}}{P_{Operación}} \dots (4.3)$$

#### 4.1.1. Presión de Saturación.

Para el cálculo de la presión de saturación se hace uso de la Ecuación de Antoine, dicha ecuación es función de tres constantes que varían para cada compuesto cuyos valores para los compuestos involucrados en el proceso se indican en la tabla 4.1

$$\text{Log}P^{sat} = A - \frac{B}{T + C}$$

| Ec. De Antoine |       |          |          |
|----------------|-------|----------|----------|
|                | A     | B        | C        |
| Metanol        | 5,158 | 1569,613 | -34,846  |
| Ester Metílico | 5,225 | 2723,181 | -91,822  |
| Glicerina      | 3,937 | 1411,531 | -200,566 |

Tabla 4.1 Constantes A, B y C para la ecuación de Antoine (NIST)

Conocida la presión de saturación de los compuestos que se introducen a la columna y la presión de operación (1 bar = 100000Pa) se obtiene que, la presión de saturación de cada compuesto es igual a su volatilidad. Según la Ec 4.3

$$P_i^{sat} = K_i$$

Los resultados se encuentran recogidos en la siguiente tabla.

| T(°K) | K <sub>MeOH</sub> | K <sub>Ester Metílico</sub> | K <sub>Glicerina</sub> |
|-------|-------------------|-----------------------------|------------------------|
| 603   | 248,8146          | 0,7906                      | 2,6908                 |
| 543   | 117,4024          | 0,1547                      | 0,6536                 |
| 463   | 31,0834           | 0,0077                      | 0,0362                 |
| 451   | 24,3679           | 0,0044                      | 0,0200                 |
| 441   | 19,6768           | 0,0027                      | 0,0117                 |
| 401   | 7,4434            | 0,0003                      | 0,0008                 |
| 393   | 5,9706            | 0,0002                      | 0,0004                 |
| 388   | 5,1757            | 0,0001                      | 0,0003                 |
| 378   | 3,8411            | 0,0001                      | 0,0001                 |
| 373   | 3,2875            | 0,0000                      | 0,0001                 |
| 363   | 2,3734            | 0,0000                      | 0,0000                 |
| 361   | 2,2184            | 0,0000                      | 0,0000                 |
| 353   | 1,6789            | 0,0000                      | 0,0000                 |
| 343   | 1,1613            | 0,0000                      | 0,0000                 |
| 341   | 1,0756            | 0,0000                      | 0,0000                 |
| 340,5 | 1,0550            | 0,0000                      | 0,0000                 |
| 337,7 | 0,9458            | 0,0000                      | 0,0000                 |

**Tabla 4.2** Volatilidades a la Presión de Operación de 1 bar

#### **4.2. Cálculo de la temperatura de la columna.**

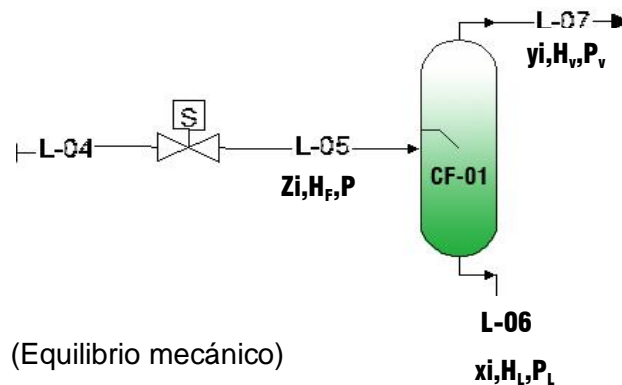
Para el cálculo de la temperatura de la columna se utilizará un método de tanteo en donde se hará uso de:

- El balance de materia a la columna CF-01
- El método de cálculo de Rachford-Rice.
- Las volatilidades de cada compuesto.
- Y algunas consideraciones que condicionan o limitan el rango de temperatura de trabajo de la columna, como son:
  - A. La temperatura en el interior del tanque flash no debe exceder la temperatura de descomposición del glicerol. A altas temperaturas el glicerol polimeriza, se degrada en calidad y su purificación se hace más dificultosa, por lo que la temperatura en la columna debe ser inferior a 403°K (130°C).

B. La fracción de vapor  $\phi$  tendrá un valor entre 0 y 1.

C. Las volatilidades del metílester y de la glicerina son aproximadamente cero, para temperaturas por debajo de 401°K; (ver tabla 4.2)

#### 4.2.1 Ecuaciones para operaciones de una sola etapa de Flash



$$P_V = P_L \dots (4.4) \quad (\text{Equilibrio mecánico})$$

$$T_V = T_L \dots (4.5) \quad (\text{Equilibrio Térmico})$$

$$y_i = K_i x_i \dots (4.6) \quad (\text{Equilibrio entre fases}).$$

$$F \cdot z_i = V \cdot y_i + L \cdot x_i \dots (4.7) \quad (\text{Balance de materia de componentes})$$

$$(F)_{(L-05)_{\text{Alimentación}}} = V_{(L-07)_{\text{vapor}}} + L_{(L-06)_{\text{liquido}}} \dots (4.8) \quad (\text{Balance de materia global})$$

$$H_F \cdot (L-05) + Q = H_V \cdot (L-07) + H_L \cdot (L-06) \dots (4.9) \quad (\text{Balance de energía})$$

$$\sum z_i = 1 \dots (4.10) \quad (\text{Sumatorio})$$

$$\sum y_i = 1 \dots (4.11) \quad (\text{Sumatorio})$$

$$\sum x_i = 1 \dots (4.12) \quad (\text{Sumatorio})$$

Número de Ecuaciones 2C+6

Si la temperatura de equilibrio  $T_v$  (o  $T_L$ ) y la presión de equilibrio  $P_v$  (o  $P_L$ ) de una mezcla multicomponente están especificadas, los valores de las restantes variables se determinan a partir de las ecuaciones anteriores. Sin embargo, el procedimiento de cálculo no es directo debido a que la ecuación (4.7) no es una ecuación lineal de las incógnitas  $V$ ,  $L$ ,  $y_i$  y  $x_i$ . Se han desarrollado numerosas estrategias de solución, pero el procedimiento generalmente empleado, es el de Rachford – Rice cuando los valores de las volatilidades son independientes de las composiciones en equilibrio

#### 4.2.2. Método de cálculo de Rachford-Rice

En primer lugar, se resuelven las ecuaciones de igualdad, obteniéndose a partir de (4.4), (4.5), (4.10)  $P_L$ ,  $T_L$  y el valor no especificado de  $z_i$ .

Puesto que la incógnita  $Q$  aparece solo en (4.9), se calcula una vez que todas las demás ecuaciones han sido resueltas. Quedando entonces (4.6), (4.7), (4.8), (4.11), (4.12) para obtener  $V$ ,  $L$ ,  $y$  y  $x$ . Estas ecuaciones pueden agruparse para obtener las incógnitas en una forma secuencial de la siguiente manera.

Partiendo de las ecuaciones del Balance de materia y de las ecuaciones de Equilibrio:

$$4.8... (L - 05)_{Alimentación} = (L - 07)_{vapor} + (L - 06)_{liquido}$$

$$4.7... (L - 05).z_i = (L - 07).y_i + (L - 06).x_i$$

$$4.6... y_i = K_i x_i$$

Introduciendo (4.6) en (4.7), se obtiene:

$$(L - 05).z_i = (L - 07).K_i x_i + (L - 06).x_i \dots (4.13)$$

Relacionando (4.13) y (4.8), y definiendo la fracción vaporizada  $\phi$  como la relación del caudal de vapor producido entre el caudal de alimentación, se obtiene:

$$\phi = \frac{(L - 07)_{vapor}}{(L - 05)_{alimentación}}$$

$$(L - 05).z_i = \phi(L - 05).K_i x_i + (L - 05)(1 - \phi).x_i$$

Dividiendo ambos términos por (L-05), despejando  $x_i$  y reordenando resulta:

$$x_i = \frac{z_i}{1 + (K_i - 1).\phi} \dots(4.14)$$

Sustituyendo (4.14) en la ecuación (4.6) se obtiene:

$$y_i = \frac{K_i z_i}{1 + (K_i - 1).\phi} \dots(4.15)$$

Combinando (4.14) y (4.15) con (4.12) y 4.11) respectivamente se obtiene:

$$\sum_{i=1}^c y_i = 1 = \sum_{i=1}^c \frac{K_i z_i}{1 + (K_i - 1).\phi} \dots(4.16)$$

$$\sum_{i=1}^c x_i = 1 = \sum_{i=1}^c \frac{z_i}{1 + (K_i - 1).\phi} \dots(4.17)$$

Con la diferencia entre las ecuaciones (4.16) y (4.17) para eliminar  $y_i$  y  $x_i$  se obtiene una ecuación no lineal solo con  $V$  (o  $\phi$ ), conocida como la ecuación de Rachford-Rice

$$\sum_{i=1}^c y_i - \sum_{i=1}^c x_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^c y_i - \sum_{i=1}^c x_i = 0 = \sum_{i=1}^c \frac{K_i z_i}{1 + (K_i - 1)\phi} - \sum_{i=1}^c \frac{z_i}{1 + (K_i - 1)\phi} = 0 \dots(4.18)$$

De la ecuación de Rachford-Rice y siguiendo la consideración (C) se obtiene que

$$\sum_{i=1}^c y_i - \sum_{i=1}^c x_i = 0$$

$$\frac{K_{MeOH} z_{MeOH}}{1 + (K_{MeOH} - 1)\phi} - \frac{z_{MeOH}}{1 + (K_{MeOH} - 1)\phi} - \frac{z_{EsterMetílico}}{(1 - \phi)} - \frac{z_{Glicerina}}{(1 - \phi)} = 0$$

Despejando

$$K_{MeOH} = 1 + \frac{1}{\frac{(1 - \phi)z_{MeOH}}{z_{EsterMetílico} + z_{Glicerina}} - \phi} \dots(4.19)$$

El tanteo se realiza suponiendo un valor de  $\phi$  entre 0 y 1, de tal forma que el valor de la volatilidad relativa corresponda a una temperatura por debajo de 403K, por encima de la temperatura de burbuja y por debajo de la temperatura de rocío. Por lo que habrá que determinar estas temperaturas previamente

#### 4.2.2.1. Cálculo de la temperatura de burbuja y de la temperatura de rocío

Como es conocido, por definición, temperatura de rocío (a una presión) es la temperatura a la cual se forma la primera gota de condensado en la mezcla. Análogamente, la temperatura de burbuja es la temperatura (a una presión) a la cual se forma la primera burbuja en la mezcla. Por otra parte,



definiciones equivalentes pueden darse para la presión de burbuja y rocío (a una temperatura).

Aquí interesa encontrar una forma de calcular, dada la composición de la mezcla, la temperatura de burbuja y rocío respectivamente

#### 4.2.2.1.1. Cálculo del punto de burbuja

Si se aplica la definición de temperatura de burbuja y se analiza la ecuación (4.16), se ve que dada la presión, hay que encontrar la temperatura a la cual aparece la primera burbuja de vapor en la mezcla (líquido –vapor) en equilibrio, equivale conceptualmente a la siguiente condición límite

$$\lim_{\phi \rightarrow 0} \left\{ \sum_{i=1}^{NC} \frac{(K_i - 1)z_i}{1 + (K_i - 1)\phi} \right\} = 0$$

Resolviendo en el límite se tiene:

$$\sum_{i=1}^{comp} z_i - \sum_{i=1}^{comp} K_i z_i = 0$$

De donde debe satisfacerse:

$$\sum_{i=1}^{comp} K_i z_i = 1 \dots (4.20)$$

Para utilizar esta ecuación, se supone un valor de temperatura comprendido entre las temperaturas de ebullición de los compuestos puros

| Teb(°C)           |        |
|-------------------|--------|
| Metanol           | 65     |
| Esteres Metílicos | 194    |
| Glicerina         | 287,85 |

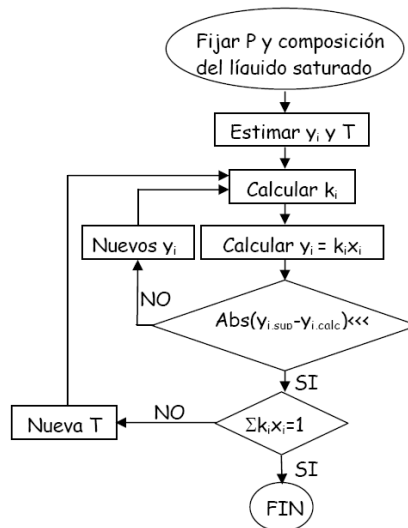
**Tabla 4.3** temperatura de ebullición

Los valores de  $k_i$  se obtienen a partir de una gráfica o ábaco en función de la presión total conocida, o partir de los datos de presión de vapor (Ver tabla

4.2). Si el sumatorio de los  $k_i \cdot z_i$  difiere de 1, se toma uno de las volatilidades y se divide por el valor dado en el sumatorio, es decir.

$$\frac{K_{ref}}{\sum_{i=1}^{comp} K_i z_i} = K_i'$$

Se buscan las volatilidades en la tabla 3.2 para los demás compuestos a este mismo valor de volatilidad ( $K_i'$ ) y se aplica nuevamente el sumatorio, y así sucesivamente hasta que el sumatorio de la expresión (3.20) sea igual a la unidad.



Aplicando este procedimiento se obtiene que la **temperatura de burbuja es de 68°C (341K)** y las volatilidades de cada compuesto son:

|                   | $K_i$    |
|-------------------|----------|
| Metanol           | 1,0665   |
| Esteres Metílicos | 1,979E-6 |
| Glicerina         | 7,694E-7 |

**Tabla 4.4** Volatilidades a la Temperatura de burbuja.

#### 4.2.2.1.2. Cálculo del punto de rocío

El procedimiento para el cálculo del punto de rocío es análogo al del punto de burbuja pero en este caso por definición se debe encontrar la condición de equilibrio a la cual (fijada la presión) aparece la primera gota de condensado; la condición que debe cumplirse es el límite cuando la fracción líquida tiende a cero (o bien la fracción vaporizada tiende a uno), Es decir que la ecuación (10) debe cumplirse en dicho límite.

$$\lim_{\phi \rightarrow 1} \left\{ \sum_{i=1}^{NC} \frac{(K_i - 1)z_i}{1 + (K_i - 1)\phi} \right\} = 0$$

Resolviendo el límite, y operando algebraicamente, se obtiene la siguiente expresión (condición a cumplirse para el cálculo de la temperatura de rocío)

$$\sum_{i=1}^{comp} \frac{z_i}{k_i} = 1 \dots (4.21)$$

Nuevamente se supone una temperatura comprendida entre las temperaturas de ebullición de los compuestos puros (tabla 4.6), se localizan en la tabla 4.2 las volatilidades para cada compuesto, se calcula el sumatorio y si este difiere de uno, se toma el valor de una de las volatilidades como referencia y se multiplica por el resultado del sumatorio, es decir.

$$K_{ref} \cdot \sum_{i=1}^{comp} K_i z_i = K_i'$$

Haciendo uso nuevamente de la tabla 4.2 se busca la temperatura correspondiente a esta nueva volatilidad de referencia ( $K_i'$ ) y las volatilidades a dicha temperatura para los demás compuestos del sistema hasta que se cumpla que el sumatorio de la expresión (4.21) sea igual a la unidad

Aplicando este procedimiento se obtiene que la **temperatura de rocío es de 236,5 °C** (510K) y las volatilidades de cada compuesto:

| K <sub>i</sub>    |         |
|-------------------|---------|
| Metanol           | 71,639  |
| Esteres Metílicos | 0,05166 |
| Glicerina         | 0,233   |

**Tabla 4.5** Volatilidades a la temperatura de rocío

El tanteo se realiza suponiendo un valor de  $\emptyset$  entre 0 y 1, de tal forma que el valor de la volatilidad relativa corresponda a una temperatura por debajo de 403K, por encima de la temperatura de burbuja (341K) y por debajo de la temperatura de rocío (510K). Siempre buscando que la fracción de vapor sea lo más alta posible para así lograr una mejor separación.

| $\emptyset$    | K <sub>MeOH</sub> | T(°K)                   |
|----------------|-------------------|-------------------------|
| 0,99           | -0,1923           | -                       |
| 0,95           | -4,1678           | -                       |
| <b>0,91(*)</b> | <b>3,2139</b>     | <b>372,5~373(100°C)</b> |
| 0,83           | 1,5740            | 351                     |
| 0,79           | 1,4189            | 348                     |
| 0,75           | 1,3298            | 346                     |
| 0,71           | 1,2719            | 345                     |

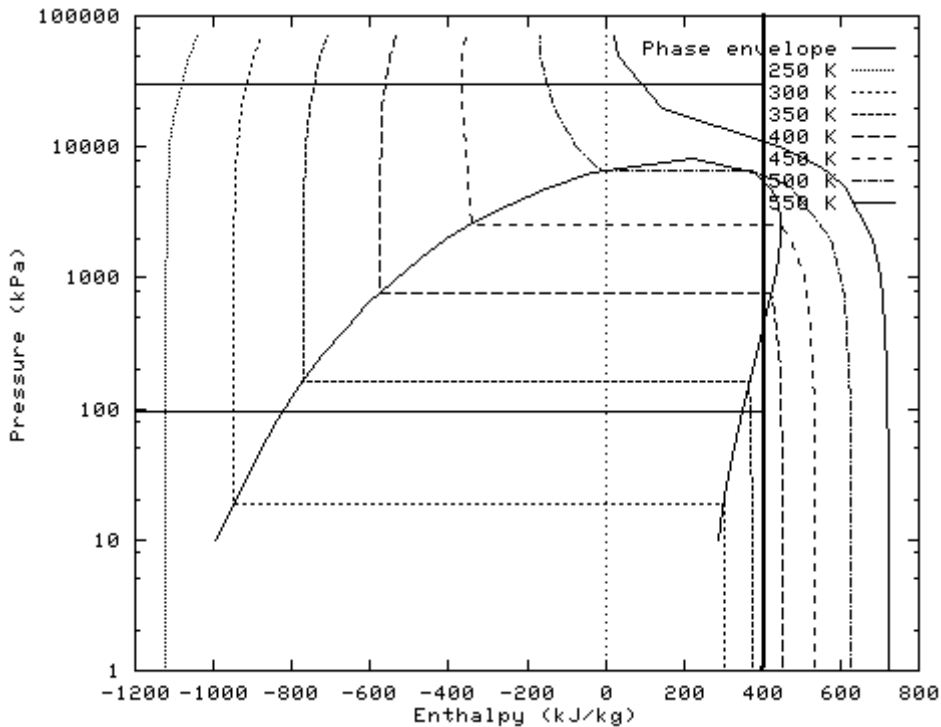
**Tabla 4.6** Iteración (\*) Mejor valor.

**Temperatura de CF-01 ~ 373K (100°C).**

Esta temperatura se alcanza utilizando una válvula de despresurización. Para estimar la temperatura que se obtiene después de la despresurización se utiliza un gráfico Entalpía – Presión – Temperatura, (fig 4.2), para ello se considera que la alimentación es metanol puro, ya que la composición de metanol en esta corriente es del 94%

Conocidas las condiciones iniciales de la alimentación (L-04), es decir presión 450 bar (45000Kpa) y temperatura 643K (370°C) y la presión con

la que se desea trabajar en la columna, en este caso 1bar (100KPa) se puede obtener la temperatura después de la despresurización flash.



**Fig 4.2** Entalpía –Presión- Temperatura

Según se puede observar en la gráfica la temperatura estará comprendida entre 350 y 400K, para corroborar éste resultado y hacerlo más exacto se usa un programa de cálculo proporcionado por Quest Consultants Inc.<sup>B</sup>

|  |         |
|--|---------|
| Temperatura después de la despresurización flash | 384K    |
| Presión después de la despresurización flash     | 100 KPa |

**Tabla 4.6.1** Isenthalpic flash to a pressure of 100 kPa from Quest Consultants Inc.

Se obtiene que con la despresurización del metanol supercrítico en estas condiciones se puede obtener la temperatura de la columna aproximadamente igual a la temperatura de la columna teórica. (373K~385K)

### 4.3. Balance de materia a la unidad de Destilación Flash CF-01

En esta unidad de destilación se produce la separación del metanol remanente de la reacción. Según <sup>(III)</sup> el metanol no se logra separar completamente en el destilador, es decir, permanece una escasa cantidad de éste en la corriente líquida, esto es debido a la diferencia de moles tan grande que existe entre el metanol y el aceite.

Haciendo uso del método de tanteo con las distintas volatilidades de los compuestos se obtuvo que por la corriente líquida sale aproximadamente el 3% del metanol que entra en la columna. Por lo tanto el balance de materia quedaría de la siguiente manera.

$$L-05_{\substack{\text{alimentación de} \\ \text{la columna}}} = L-07_{\substack{\text{Corriente} \\ \text{vapor}}} + L-06_{\substack{\text{Corriente} \\ \text{líquida}}}$$

$$MeOH_{L-06} = MeOH_{L-05} \cdot 0,03$$

$$\emptyset = 0,91 \text{ Relación Vapor / Alimentación}$$

$$\left. \begin{aligned} Est.Metílicos_{L-05} &= Est.Metílicos_{L-06} \\ GLicerina_{L-05} &= GLicerina_{L-06} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Volatilidades muy} \\ \text{bajas} \cong 0 \end{array}$$

|                   | Composiciones Iniciales | L-05 (Kmol/h) | L-07 (Kmol/h) | L-06 (kmol/h) |
|-------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Metanol           | 0,9375                  | 59,06         | 57,298        | 1,76          |
| Esteres Metílicos | 0,0466                  | 2,94          | -             | 2,94          |
| Glicerina         | 0,0155                  | 0,975         | -             | 0,975         |
|                   |                         | 63            | 57,298        | 5,68          |

Tabla 4.7 Balance de materia al destilador CF-01.

Conocida la fracción de vapor  $\phi$  y la volatilidad se puede calcular las composiciones en equilibrio:

Para el Líquido, usando la ecuación (4.14):

$$x_{MeOH} = \frac{z_{MeOH}}{1 + (K_{MeOH} - 1) \cdot \phi} = \frac{0,9376}{1 + (3,21 - 1) \cdot 0,91} = 0,311$$

$$x_{Ester\ Metílico} = \frac{z_{Ester\ Metílico}}{1 - \phi} = \frac{0,0466}{1 - 0,91} = 0,517$$

$$x_{Glicerina} = \frac{z_{Glicerina}}{1 - \phi} = \frac{0,0155}{1 - 0,91} = 0,172$$

Se debe cumplir la Ec (4.12)

$$\sum_{i=1}^c x_i = 1 \Rightarrow 0,3148 + 0,5138 + 0,1709 = 1$$

Para el Vapor, usando la ecuación (4.15):

$$y_{MeOH} = \frac{K_{MeOH} z_{MeOH}}{1 + (K_{MeOH} - 1) \cdot \phi} = \frac{3,21 \times 0,9376}{1 + (3,21 - 1) \cdot 0,91} = 0,999$$

Se debe cumplir la Ec (4.11)  $\sum_{i=1}^c y_i = 1 \Rightarrow 0,999 \approx 1$

|                   | $x_i$ | $y_i$ | L-07 (Kmol/h) | L-06 (kmol/h) |
|-------------------|-------|-------|---------------|---------------|
| Metanol           | 0,311 | 0,999 | 57,298        | 1,7949        |
| Esteres Metílicos | 0,517 | -     | -             | 2,930         |
| Glicerina         | 0,172 | -     | -             | 0,975         |
|                   |       |       | 57,298        | 5,700         |

**Tabla 4.8** Composiciones en Equilibrio y caudales de salida de la columna.

#### 4.4. Dimensiones características de la columna.

Como resultado de los cálculos efectuados, se dispone de datos de caudal y composición de líquido y vapor de la columna. El siguiente paso será determinar las dimensiones características de la columna como diámetro y longitud, altura de líquido, materiales etc...

Conocidas las composiciones en equilibrio en la columna y algunas propiedades de interés como el peso molecular y la densidad, se determinan las características de las dos corrientes que salen de la columna.

|                | $X_i$  | $PM_{(kg/kmol)}$ | Densidad $_{(kg/m^3)}$ |
|----------------|--------|------------------|------------------------|
| Metanol        | 0,3148 | 32               | 748,5                  |
| Ester Metílico | 0,5138 | 295,39           | 831                    |
| Glicerina      | 0,1709 | 92,1             | 1213,5                 |

Tabla 4.9 Propiedades de los elementos en la columna CF-01

La densidad del metanol se corresponde con la densidad de metanol como líquido saturado ya que a esta temperatura en estado puro el metanol se encuentra como gas

Para el cálculo de los caudales máxicos tanto de la corriente de vapor (L-07) como la del líquido (L-06) se determinan con:

$$W_g = (L-07) \cdot \overline{Pm}_g$$

$$W_l = (L-06) \cdot \overline{Pm}_l$$

En donde los pesos moleculares, son los promedios de los compuestos que lo forman, por ejemplo en la corriente líquida se encuentran presentes el metanol que no se vaporiza, los esteres metílicos y la glicerina por lo tanto el peso molecular vendrá dado en función de las fracciones molares de estos compuestos y de sus respectivos pesos moleculares:



$$\overline{Pm}_l = x_{MeOH} \cdot Pm_{MeOH} + x_{Ester\ metílico} \cdot Pm_{Ester\ metílico} + x_{glicerina} \cdot Pm_{glicerina} = 177,587 \text{ kg / kmol}$$

El peso molecular para la corriente de vapor será la del metanol puro

$$\overline{Pm}_g = x_{MeOH} \cdot Pm_{MeOH} = 1 \times 32_{\text{Kg / Kmol}} = 32 \text{ kg / Kmol}$$

De esta manera:

$$W_g = (L - 07) \cdot \overline{Pm}_g = 57,298_{\text{Kmol / h}} \cdot 32_{\text{kg / Kmol}} = 1833,532 \text{ kg / h}$$

$$W_l = (L - 06) \cdot \overline{Pm}_l = 5,700_{\text{Kmol / h}} \cdot 177,587_{\text{Kg / Kmol}} = 1012,589 \text{ kg / h}$$

Para el diseño se utiliza un grupo adimensional denominado Parámetro de Flujo definido como:

$$Fl_v = \frac{Wl}{Wg} \cdot \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{1/2}$$

Esta expresión viene definida en función de sus caudales máxicos y de las densidades de cada corriente, para determinar estas densidades se hará el mismo análisis que para el caso de los pesos moleculares, es decir.

Para (L-06)<sub>liq</sub>:

$$\overline{\rho}_l = x_{MeOH} \cdot \rho_{MeOH} + x_{Ester\ metílico} \cdot \rho_{Ester\ metílico} + x_{glicerina} \cdot \rho_{glicerina} = 870 \text{ kg / m}^2$$

Para (L-07)<sub>vapor</sub>; al estar el sistema a presión atmosférica y a temperaturas no tan elevadas se puede determinar haciendo uso de la ecuación de los gases ideales

$$\rho_g = \frac{P \cdot Pm_{MeOH}}{R \cdot T} = 1,0462 \text{ kg / m}^2$$

Conocidas todas estas propiedades, se puede calcular el parámetro de flujo

$$Fl_g = \frac{1012,59_{Kg/h}}{1833,54_{Kg/h}} \cdot \left( \frac{1,046}{870} \right)^{1/2} = 0,019$$

Por otro lado, un alto nivel de líquido en la columna, así como una alta velocidad del vapor, producen una elevada caída de presión, lo cual puede llevar a inundaciones de la columna, por esta razón es importante determinar velocidad máxima permisible a la hora de hacer la estimación del área transversal de la columna, esta se calcula haciendo uso de la siguiente expresión:

$$v_{\max} \text{ permisible } (m/s) = 0,3048.CF \cdot \left( \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right)^{1/2} \dots(4,22)$$

Donde CF, se define como un coeficiente de inundación y depende del tipo de columna. Para columnas flash de destilación el coeficiente de inundación queda definida de la siguiente forma.

$$CF = EXP[A + B.LN(Fl_g) + C.LN(Fl_g)^2 + D.LN(Fl_g)^3 + E.LN(Fl_g)^4]$$

|          |           |
|----------|-----------|
| <b>A</b> | -1,877478 |
| <b>B</b> | -0,81458  |
| <b>C</b> | -0,18707  |
| <b>D</b> | -0,014522 |
| <b>E</b> | -0,00101  |

**Tabla 4.10** Constantes del coeficiente de inundación

Sustituyendo en la expresión se obtiene:  $CF = 0,395$

Volviendo a la ecuación 4.22 se calcula la velocidad máxima permisible

$$v_{\substack{\text{max} \\ \text{permisible}}} = 0,3048 \cdot 0,35 \cdot \left( \frac{870 - 1,046}{1,046} \right)^{1/2} = 3,46 \text{ m/s}$$

Una vez fijada la velocidad máxima, es posible calcular la velocidad del vapor a través del área neta de la columna con un valor del 80 al 85 % de la velocidad de inundación para líquidos que no hacen espuma.

$$v = v_{\substack{\text{max} \\ \text{permisible}}} \cdot 0,85 = 3,46 \text{ m/s} \cdot 0,85 = 2,94 \text{ m/s}$$

Conocida la velocidad se calcula el área transversal de la columna

$$A_c = \frac{Wg_{\text{kg/h}}}{v_{\text{(m/s)}} \times 3600_{\text{(s/h)}} \times \rho_g_{\text{(kg/m}^3\text{)}}}$$
$$A_c = \frac{1833,532_{\text{kg/h}}}{2,94_{\text{m/s}} \cdot 3600_{\text{s/h}} \cdot 1,042_{\text{Kg/m}^3}} = 0,165 \text{ m}^2$$

El área se puede relacionar con el diámetro, sabiéndose que la columna es un cilindro de sección circular, por tanto:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,165 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,460 \text{ m}$$

Al diámetro se le suele aumentar un incremento de 6" como factor de seguridad

$$D = 0,460 \text{ m} + 0,1524 \text{ m} = 0,6124 \text{ m}$$

Para el cálculo de la longitud o altura de la columna se determina la altura del líquido, la altura del vapor y la altura entre la tubería de descarga y el nivel del líquido, según se representa en la figura 4.3

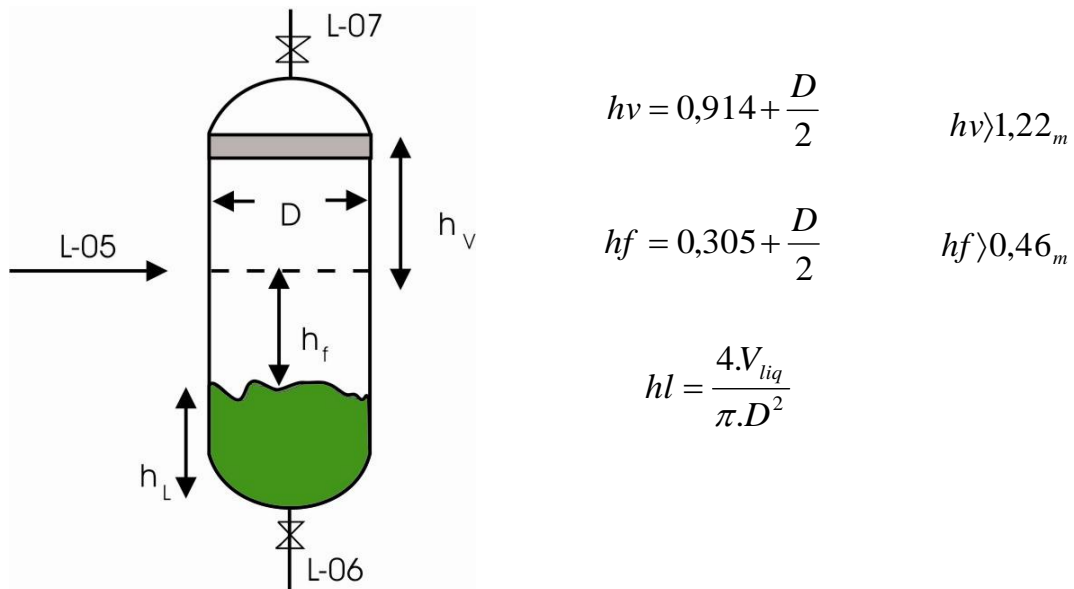


FIG 4.3 Alturas de una columna

Haciendo uso de las expresiones expuestas se obtiene que las alturas parciales son del orden de:

$$h_v = 0,914 + \frac{0,612}{2} = 1,22m$$

$$h_f = 0,305 + \frac{0,612}{2} = 0,611m$$

$$h_l = \frac{4.V_{liq}}{\pi.D^2} = \frac{4.\left(\frac{Wl}{\rho l}\right)}{\pi.D^2} = \frac{4.\left(\frac{1012,589_{Kg/h}}{870_{Kg/m^3}}\right)}{\pi.(0,612_m)^2} = 3,96m$$

Por tanto la altura total de la columna es de:

$$L = h_v + h_f + h_l = 1,22m + 0,611m + 3,96m = 5,79m$$

La experiencia y la bibliografía <sup>c</sup> dice que la relación longitud-diámetro debe estar comprendida entre:

$$3 < \frac{L}{D} < 5$$

En este caso  $L/D = 6,73$  por lo que se tendrá que aumentar el diámetro de la columna 25 cm para que se cumpla la relación longitud diámetro. De tal forma que las alturas parciales quedan en:

Para  $D = 0,861$

|                      |       |
|----------------------|-------|
| <b>h<sub>v</sub></b> | 1,345 |
| <b>h<sub>f</sub></b> | 0,736 |
| <b>h<sub>l</sub></b> | 1,998 |
| <b>L</b>             | 4,078 |

**Tabla 4.12** Dimensiones de la columna CF-01

*De tal forma que  $L/D = 4,73$ , cumpliéndose la restricción de esta relación. Por lo que en definitiva se obtiene un diámetro de columna de 0,9m y una altura de 4,1m*

#### **4.5. Cálculo de Espesores.**

Conocidos los datos de Presión de diseño, Diámetro interior de la tubería, la eficiencia de la soldadura (E), el sobreespesor por corrosión (c) y La tensión máxima admisible (S), (Ver Anexo Gráfico. Tabla 9) se puede calcular el espesor mínimo de la envolvente para la columna de destilación flash.

Para esfuerzo longitudinal:

$$t_{\delta x} = \frac{P.R_o}{2.SE + 0,4P} + c$$

Para esfuerzo circunferencial:

$$t_{\delta c} = \frac{P.R_o}{SE - 0,6P} + c$$

En este caso, al ser el material de la columna, acero inoxidable SS-316 el sobreespesor correspondiente toma el valor de  $c = 0$ .

Siguiendo el mismo procedimiento que el utilizado en el Anexo de Cálculo para los tanques de almacenamiento, Ver: *Diseño mecánico de tanques de almacenamiento*, se procede al cálculo de los espesores del cabezal y del casco.

| TANQUE | P <sub>diseño</sub> (psi) | S <sub>(psi)</sub> | C <sub>(mm)</sub> | D <sub>int</sub> (m) | t <sub>δx</sub> (mm) | t <sub>δφ</sub> (mm) | t <sub>final</sub> (mm) |
|--------|---------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| CF-01  | 49,781                    | 13100              | 0                 | 0,900                | 1,005                | 2,017                | 3                       |

**Tabla 4.13** Espesor del casco de la columna flash CF-01

Se elige el espesor final de casco como  $t_{final} = 3 \text{ mm}$ , que es el mínimo exigido por el Código ASME para aceros inoxidable

- *Cálculo del espesor de los cabezales*

Para el fondo y cabezal de la columna, se elige fondo toriesférico ya que no hay mucha diferencia entre el espesor calculado para fondo semielíptico. Dentro de las tapas toriesféricas los más utilizados son: Korbogen Boden, con radios de curvaturas  $L = 0,8D_o$  y, radio menor  $r = D_o/6,5$  y Klopper Boden, con radios  $L = D_o$ ;  $r = D_o/10$ .

Se elige tipo Klopper Boden que se usan para presiones moderadas.

Espesor semielíptico:

$$t_f = \frac{P.D_i}{2.SE - 0,2P} + c$$

Espesor toriesférico:

$$t_f = \frac{P.L.M}{2.SE - 0,2P} + c$$

| TANQUE | D <sub>int</sub> (m) | t <sub>f</sub> semielíptico(mm) | L   | M    | t <sub>f</sub> toriesférico(mm) | t <sub>f</sub> final(mm) |
|--------|----------------------|---------------------------------|-----|------|---------------------------------|--------------------------|
| CF-01  | 0,900                | 2,013                           | 900 | 1,54 | 3,101                           | 4                        |

Tabla 4.14 Espesor fondo y cabezal

El fondo y cabezal toriesférico de la columna, tendrá un espesor de **4 mm**, como el inmediatamente superior al espesor calculado.

#### 4.6. Soportes de apoyo

La columna de destilación flash irá soportada por patas. Al tener, un diámetro mayor a 0,75 m se dispondrá de 4 patas de apoyo <sup>J</sup> de perfiles comerciales IPN de acero al carbono.

Se considera el perfil como una columna empotrada en la base y libre en el extremo se tiene que la longitud de pandeo  $l_p = 2l$ .

En este caso, al tratarse de una columna de dimensiones reducidas se parte de un perfil de 1,5 metros de longitud y a partir de aquí se calcula la esbeltez y el coeficiente de seguridad de esbeltez necesario. (Ver tablas 37 y 37.1 del anexo gráfico)

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| Densidad líquido, kg/m <sup>3</sup> | 870     |
| Volumen líquido, m <sup>3</sup>     | 1,16    |
| Peso líquido, kg                    | 1009,2  |
| Peso total, kg                      | 1110,12 |
| Ip, cm                              | 300     |

**Tabla 4.15** Características para el diseño de las patas EV-01

El procedimiento de cálculo para la elección del perfil IPN correspondiente a la columna de destilación flash, es el mismo seguido para los tanques de almacenamiento. Ver: *Diseño mecánico de tanques de almacenamiento. Aparatado 1.8*

| IPN | RADIOGIRO | AREA | ESBELTEZ | w    | $\sigma_{comp}$ CF-01 |
|-----|-----------|------|----------|------|-----------------------|
| 80  | 3,2       | 7,58 | 93,75    | 1,84 | 67,37                 |
| 100 | 4,01      | 10,6 | 74,81    | 1,42 | 37,18                 |
| 120 | 4,81      | 14,2 | 63,37    | 1,24 | 24,23                 |
| 140 | 5,61      | 18,3 | 53,48    | 1,15 | 17,44                 |

**Tabla 4.16** Elección del perfil

El perfil calculado para la columna de destilación flash es un perfil **IPN-80** se acero al carbono tipo A-42.



## 5. DISEÑO DEL TANQUE DE DECANTACIÓN D-01

Las dispersiones de dos fases líquidas - líquidas son muy comunes en muchos procesos industriales. Hay varias opciones que pueden ser usadas para separar estas fases, las centrifugadoras, placas paralelas coalescentes, filtros y membranas especiales pueden ser usados para separar las dos fases. El más fácil y quizás el método más barato es la separación por gravedad. La diferencia de densidades entre los fluidos es la base para este tipo de separación, ver apartado 4.8.7.2 de la memoria descriptiva.

Para dos fases líquidas, al líquido con mayor volumen se le llama fase continua, mientras que al líquido con menor volumen se le denomina fase dispersa. Para el diseño del decantador se asume que la fase dispersa (glicerina) tiene una densidad más alta que la fase continua biodiesel (Esteres metílicos).

Para la separación por gravedad de estas dos dispersiones de fase, hay dos características típicas que pueden ser observadas, la sedimentación y la coalescencia <sup>IX</sup>. Ver memoria descriptiva apartado 4.8.7.2

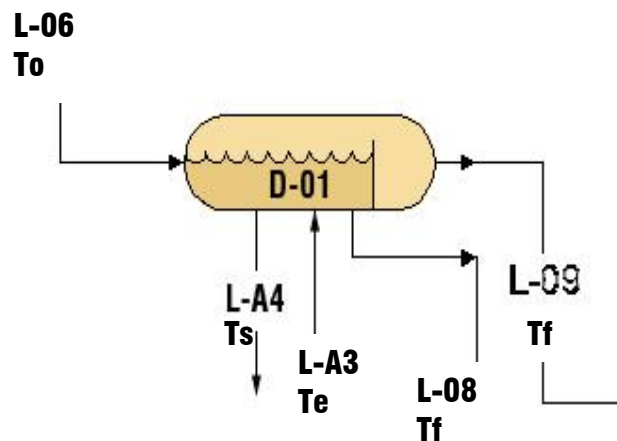
El objetivo del diseño del decantador es llevar la corriente de salida del destilador flash para lograr la separación de la glicerina y del biodiesel (ésteres metílicos) obtenidos en el reactor de transesterificación

### 5.1. Balance de materia al Decantador D-01

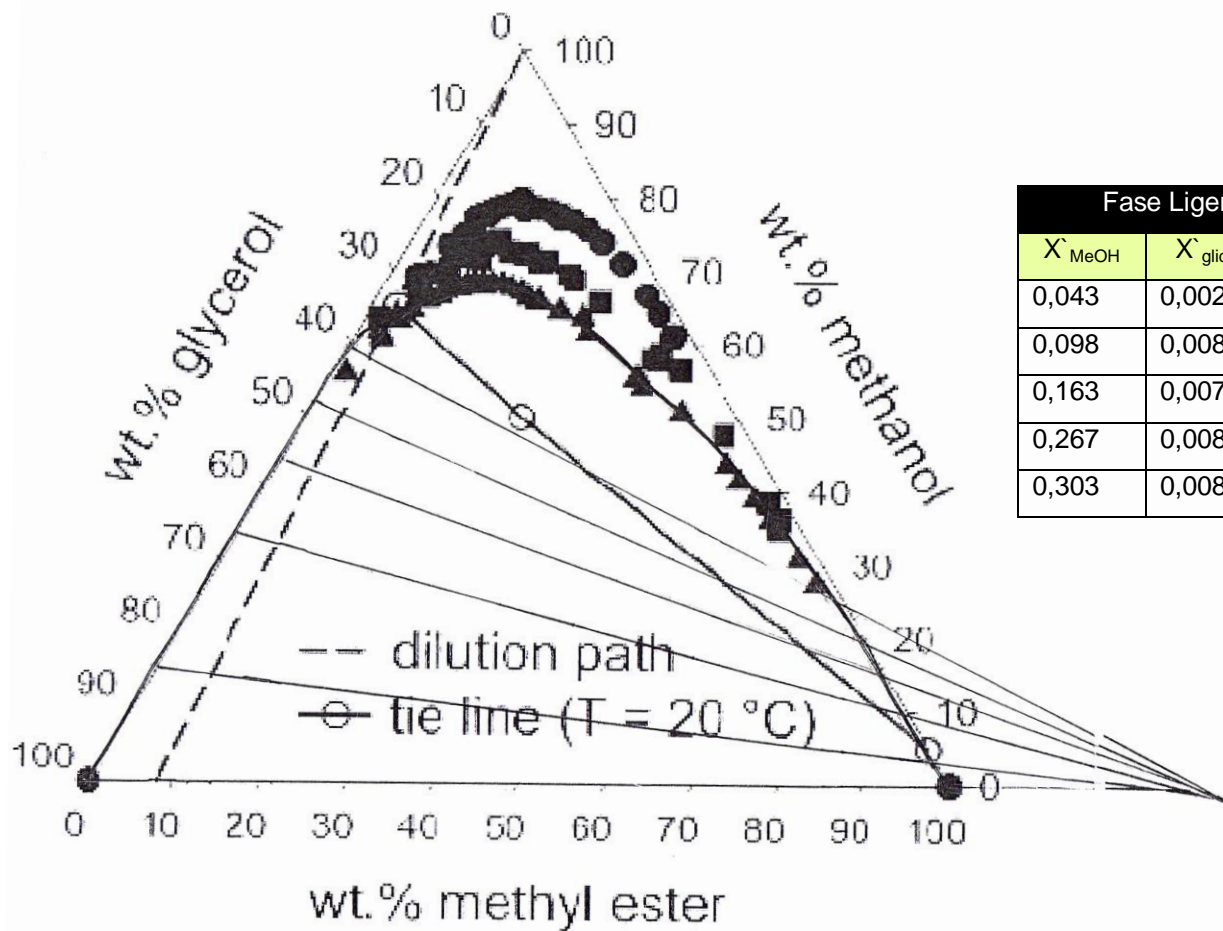
En la unidad de decantación coexisten tres compuestos formando dos fases inmiscibles, una primera fase menos densa (L-09) formada por ésteres metílicos, metanol y algunas trazas de glicerina y otra segunda fase más densa (L-08) formada en su mayoría por glicerina y metanol.

Para conocer las composiciones en equilibrio y poder realizar los balances se estableció sobre una curva binodal (Metanol/Ester metílico/Glicerina) distintas rectas de reparto.<sup>XII,XIII</sup>

Todas las líneas de reparto confluyen en un solo punto, de tal forma que representando las condiciones iniciales y trazando un línea de reparto entre el punto de confluencia y el punto que representa las composiciones iniciales se puede obtener las composiciones para ambas fases justo donde la recta trazada corte a la curva binodal.



## CURVA BINODAL



| Fase Ligera ( Continua) |                        |                        | Fase Pesada (Dispersa) |                        |                        |
|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $X_{\text{MeOH}}$       | $X_{\text{glicerina}}$ | $X_{\text{Ester Met}}$ | $X_{\text{MeOH}}$      | $X_{\text{glicerina}}$ | $X_{\text{Ester Met}}$ |
| 0,043                   | 0,002                  | 0,955                  | 0,105                  | 0,895                  | 0,000                  |
| 0,098                   | 0,008                  | 0,894                  | 0,331                  | 0,669                  | 0,000                  |
| 0,163                   | 0,007                  | 0,830                  | 0,446                  | 0,554                  | 0,000                  |
| 0,267                   | 0,008                  | 0,725                  | 0,598                  | 0,402                  | 0,000                  |
| 0,303                   | 0,008                  | 0,689                  | 0,669                  | 0,330                  | 0,001                  |

Se ajustan las composiciones en equilibrio obtenidas, resolviendo los siguientes balances de materia

$$B.MeOH \Rightarrow MeOH_{L-06} = MeOH_{L-08} + MeOH_{L-09}$$

$$B.Glicerol \Rightarrow Gly_{L-06} = Gly_{L-08} + Gly_{L-09}$$

Se obtiene:

|                      | Composiciones<br>iniciales | Composiciones<br>en equilibrio |       | L-06<br>(Kmol/h) | L-08<br>(Kmol/h) | L-09<br>(kmol/h) |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------|-------|------------------|------------------|------------------|
|                      | L-06                       | L-08                           | L-09  |                  |                  |                  |
| Metanol              | 0,310                      | 0,512                          | 0,205 | 1,760            | 0,998            | 0,765            |
| Esteres<br>Metílicos | 0,517                      | 0,000                          | 0,788 | 2,940            | -                | 2,940            |
| Glicerina            | 0,172                      | 0,488                          | 0,007 | 0,975            | 0,952            | 0,026            |
|                      |                            |                                |       | 5,680            | 1,950            | 3,730            |

**Tabla 5.1** Balance de materia al Decantador D1.

### **5.2. Balance de Energía.**

La alimentación del decantador entra a 100°C, temperatura que se corresponde con la temperatura de la columna de destilación CF-01, interesa que se enfríe de tal forma que al separarse las dos fases una de ellas no se encuentre por encima de su temperatura de burbuja, es decir, una de las fases es una mezcla glicerina-metanol cuya temperatura de burbuja es de aproximadamente 84°C. Dato de temperatura obtenido siguiendo un procedimiento similar al del apartado 3.2.2.1. Como no se desea tener 3 fases en el decantador por la dificultad para la separación, conviene enfriar el fluido hasta una temperatura por debajo de 84°C.

Para ello se realiza un balance de energía al decantador con el objetivo de encamisarlo con una corriente de agua y así disminuir la temperatura del fluido.

$$Wm_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot (Ts - Te) = Wm_{fluido} \cdot \overline{Cp}_{fluido} (To - Tf) \dots (5.1)$$

Donde

To: Temperatura inicial del fluido, (K)

Tf: Temperatura final del fluido, (K)

Ts: Temperatura de salida del agua, (K)

Te: Temperatura de entrada del agua, (K)

Suponiendo un caudal másico de agua 2m<sup>3</sup>/h, fijando además la temperatura de salida del fluido en 30°C como temperatura conveniente para que no ocurra lo anteriormente expuesto y extrayendo del anexo gráfico (tablas 13, 14,15) las capacidades caloríficas de cada compuesto a la temperatura media del fluido, (65°C) se calcula temperatura de salida del fluido refrigerante.

| Cp (J/kgK)        |      |
|-------------------|------|
| Metanol           | 2803 |
| Esteres Metílicos | 2300 |
| Glicerina         | 602  |

**Tabla 5.2** Capacidades caloríficas del fluido a tm = 65°C

Como el fluido esta formado por tres compuestos se calcula una capacidad calorífica promedio.

$$\overline{Cp}_{fluido} = X_{MeOH} Cp_{MeOH} + X_{gly} \cdot Cp_{gly} + X_{Ester\ metílico} Cp_{Ester\ Metílico}$$

$$\overline{Cp}_{fluido} = 0,31 \cdot 2803J / kgK + 0,172 \cdot 602J / kgK + 0,517 \cdot 2300J / kgK_{J / kgK} = 2162J / kgK$$

Al no conocerse la temperatura media del agua refrigerante, se toma un valor aproximado para estimar sus propiedades y una vez que es calculada la temperatura de salida, se obtiene la temperatura media, se repite el cálculo

hasta que la temperatura salida supuesta coincida con la temperatura de salida calculada.

$$Cp_{agua(307K)} = 4183J / kgK$$

El caudal másico del fluido será:  $Wm_{fluido} = 5,68(kmol / h) \cdot \overline{Pm}_{fluido}$

$$\overline{Pm}_{fluido} = 0,31.32kg / kmol + 0,172.92,1kg / kmol + 0,517.295,39kg / kmol = 178,5kg / kmol$$

$$Wm_{fluido} = 5,68kmol / h \cdot 178,5kg / kmol = 1014kg / h$$

El caudal másico del fluido refrigerante (agua) será:

$$Wm_{agua} = 2_{m^3} \cdot \rho_{agua(307K)} = 2m^3 / h \cdot 995kg / m^3 = 1990kg / h$$

Despejando de la expresión (5.1), se obtiene que la temperatura de salida del fluido refrigerante en el decantador es de:

$$Ts = 298_K + \frac{1014_{kg/h} \cdot 2162J / kg.K(373 - 303)K}{1990_{kg/h} \cdot 4183J / kgK} = 316K$$

### 5.2.1. Área necesaria para la transferencia de calor.

El área de transferencia térmica necesaria para que se intercambie el calor requerido y obtener un fluido a una temperatura de 30°C, vendrá dado por:

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T_{ml}$$

Despejando el área se obtiene

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}}$$

Donde Q = calor cedido por el vapor o el calor absorbido por el fluido.

$\Delta T_{ml}$  = Incremento medio logarítmico

$$Q = Wm_{\text{fluido}} \cdot Cp_{\text{fluido}} \cdot (\Delta T) = 1014 \text{kg/h} \cdot 2162 \text{J/kgK} \cdot (373 - 303) \text{K} = 43 \text{kW}$$

Se diseña el decantador de tal manera que los dos fluidos circulen en contracorriente para lograr así mayor transferencia de calor.

$$\Delta T_{ml} = \frac{((100 - 43) - (30 - 25))}{\ln\left(\frac{(100 - 43)}{(30 - 25)}\right)} = 21,37$$

El coeficiente global de transmisión de calor de encuentra tabulado para el caso de transferencia de agua a otros líquidos, este valor va de 200-1000 W/m<sup>2</sup>K (ver tabla 18 de anexo gráfico), se tomará el menor valor que es el que corresponde a la situación más desfavorable.

$$U = 200 \text{W} / \text{m}^2 \text{K}$$

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{43 \cdot 10^3 \text{W}}{200 \text{W} / \text{m}^2 \text{K} \cdot 21,37 \text{K}} = 10 \text{m}^2$$

La línea de agua se deja abierta en diseño para otros posibles usos, sino es necesaria su utilización en otras áreas del proceso, está la opción de recircularla para aminorar la demanda de agua.

### **5.3. Dimensiones características.**

Los decantadores se dimensionan basándose en el tiempo de residencia. Este tiempo depende del tiempo de separación de las dos fases que se dispersan en el proceso.

Según la bibliografía, el tiempo de residencia necesario para que se de la separación de las dos fases está comprendido entre 12-24 horas<sup>D</sup>. Para el presente diseño, como los caudales son relativamente bajos se utiliza un tiempo de residencia de 12 horas.

El material de construcción es acero al carbono SA-285-C. Esta selección se hizo según la tabla 1.1 del diseño de tanques, además es un material económico y de buenas características,

El decantador es un tanque cilíndrico con una relación altura/diámetro de 5, una relación típica para el diseño de decantadores. El tamaño del decantador viene impuesto por el caudal de la corriente de cola de la columna de destilación flash (CF-01). Dicha corriente tiene las siguientes características:

La corriente que entra al decantador se encuentra a 100°C y la temperatura de salida del mismo es de 30°C por lo tanto el decantador se encuentra a una temperatura media entre la entrada y la salida de 65°C y a presión atmosférica.

Sabiendo que;  $V = \tau \cdot Q_v$

Donde  $Q_v = \frac{W_m}{\rho_m}$

La densidad de la mezcla que alimenta el decantador vendrá dado por:

$$\rho_m = \rho_{MeOH} \cdot X_{MeOH} + \rho_{gly} \cdot X_{gly} + \rho_{Ester\ metílico} \cdot X_{Ester\ metílico}$$



|                   | X      | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|--------|-----------------------------|
| Metanol           | 0,3148 | 748,5                       |
| Esteres Metílicos | 0,5138 | 831                         |
| Glicerina         | 0,1709 | 1213,5                      |

Tabla 5.3. Densidad de los compuestos de la alimentación a T=100°C

$$\rho_m = 748,5_{kg/m^3} \cdot 0,311 + 1213,5_{kg/m^3} \cdot 0,172 + 831_{kg/m^3} \cdot 0,517 = 870_{kg/m^3}$$

$$Wm_{fluido} = 5,68_{Kmol/h} \cdot 178,5_{Kg/kmol} = 1014_{Kg/h}$$

Sustituyendo se obtiene que:

$$V = \tau \cdot Qv = 12_h \cdot \frac{1014_{kg/h}}{870_{kg/m^3}} = 14_{m^3}$$

Según la bibliografía <sup>[4]</sup> se suele tomar como criterio que el volumen calculado será aproximadamente el 80% del volumen total del recipiente de esta manera se obtiene que:

$$V_{liq} = 0,8 \cdot V_{total} \Rightarrow V_{total} = \frac{V_{liq}}{0,8} = \frac{14_{m^3}}{0,8}$$

$$V_{total} = 17,5 \approx 18_{m^3}$$

Conocida la relación típica D/H = 5, para tanques horizontales de decantación se calcula las dimensiones del decantador

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4} \quad \text{Sustituyendo H= D/5}$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot D^3}{24} \Rightarrow D = \left( \frac{V_{cilindro} \cdot 24}{\pi} \right)^{1/3} = \left( \frac{18_{m^3} \cdot 24}{\pi} \right)^{1/3} = 5,2_m$$

Por lo tanto las dimensiones del tanque son:

$$D = 5_m$$
$$H = 1_m$$

La sección longitudinal es igual a:

$$S_L = \pi.D.H = \pi.5_m.1_m = 15,7_{m^2}$$

La sección transversal es igual a:

$$S_T = \frac{\pi.D^2}{4} = \frac{\pi.(5_m)^2}{4} = 20_{m^2}$$

Es importante destacar que el decantador tiene el área longitudinal necesaria para que se lleve a cabo la transferencia de calor  $15,7 > 10 \text{ m}^2$  (calculado en el apartado 5.3.1)

El siguiente paso es comparar si el decantador tiene un área transversal lo suficiente grande para que se realice la sedimentación o decantación de la fase dispersa (glicerina) en el tiempo de residencia fijado. Para ello se requiere del cálculo de la velocidad de sedimentación.

#### **5.4. Velocidad de Sedimentación.**

Existen muchos modelos numéricos que pueden predecir la velocidad de separación de una dispersión líquido - líquido. Para este trabajo se tomará un modelo simple tomado de investigaciones realizadas en una instalación de producción de biodiesel. Dichas investigaciones concluyeron que el modelo propuesto por Das en 1997 relacionándolo con la ley de Stokes es el método más apropiado.<sup>IX</sup>

La Ley de Stokes se refiere a la fuerza de fricción experimentada por objetos esféricos moviéndose en el seno de un fluido viscoso en un régimen laminar, esta puede escribirse como:

$$V_{sed} = \frac{D^2 \cdot g \cdot (\rho_d - \rho_c)}{18 \cdot \mu_c} \dots(5.2)$$

$V_{sed}$ : Velocidad de sedimentación (m/s)

D: diámetro de partícula. (m)

g: gravedad (m/s)

$\rho_d$ : Densidad de la fase dispersa ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_c$ : Densidad de la fase continua ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu_c$ : viscosidad de la fase continua (kg/m.s)

El modelo de Das expresa la velocidad de sedimentación de la siguiente manera:

$$\frac{V_{sed} \cdot t_s}{L} = \frac{1 - \varepsilon_0}{\tilde{g}(\varepsilon_0)} \dots(5.3)$$

$t_s$ : tiempo de sedimentación, (s).

L: Longitud o altura del decantador, (m)

$\varepsilon_0$ : Fracción inicial de la fase dispersa

Relacionando (5.2) y (5.3) se obtiene:

$$\frac{D^2 \cdot g \cdot (\rho_d - \rho_c) \cdot \tau}{18 \cdot \mu_c L} = \frac{1 - \varepsilon_0}{\tilde{g}(\varepsilon_0)}$$

Esta igualdad permite calcular tiempos de sedimentación conocidas las dimensiones del taque, el diámetro de partícula etc...

Donde  $\varepsilon_0$  es la fracción inicial de la fase dispersa y se define por:

$$\varepsilon_0 = \frac{V_{F.dispersa}}{V_{F.dispersa} + V_{F.continua}} \dots(5.4)$$

Para calcular los volúmenes en cada una de las fases se necesitarán datos de densidades medias de cada fase a la temperatura media del fluido, según tablas 19, 20, 21 del anexo gráfico.

|                   | $X_{F.Continua}$ | $X_{F.Dispersa}$ | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|------------------|------------------|-----------------------------|
| Metanol           | 0,205            | 0,512            | 748,5                       |
| Esteres Metílicos | 0,788            | 0                | 854                         |
| Glicerina         | 0,007            | 0,488            | 1235                        |

**Tabla 5.4** Densidad de los compuestos que forman las dos fases a la temperatura media del fluido 65°C

Para el cálculo de las densidades:

$$\rho_{F.Dispersa} = \rho_{MeOH} \cdot X_{MeOH_{F.Dispersa}} + \rho_{gly} \cdot X_{gly_{F.Dispersa}}$$

$$\rho_{F.Continua} = \rho_{MeOH} \cdot X_{MeOH_{F.Continua}} + \rho_{gly} \cdot X_{gly_{F.Continua}} + \rho_{Estermetílico} \cdot X_{Estermetílico_{F.continua}}$$

De la misma manera se obtienen los pesos moleculares promedios de cada fase.

$$PM_{F.Dispersa} = PM_{MeOH} \cdot X_{MeOH_{F.Dispersa}} + PM_{gly} \cdot X_{gly_{F.Dispersa}}$$

$$PM_{F.Continua} = PM_{MeOH} \cdot X_{MeOH_{F.Continua}} + PM_{gly} \cdot X_{gly_{F.Continua}} + PM_{Estermetílico} \cdot X_{Estermetílico_{F.continua}}$$

El volumen de cada fase vendrá dado por:

$$V_{(m^3)} = \frac{Fm_{(Kmol/h)} \cdot PM_{(kg/kmol)}}{\rho_{(kg/m^3)}} \cdot \tau_{(h)}$$

|                                      | Fase Continua | Fase Dispersa |
|--------------------------------------|---------------|---------------|
| Caudal Molar (kmol/h)                | 3,73          | 1,95          |
| Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 835           | 986           |
| Peso Molecular(Kg/Kmol)              | 240           | 61,32         |
| Volumen (m <sup>3</sup> )            | 13            | 1,45          |

**Tabla 5.5** Propiedades de las fases formadas

Sustituyendo en la expresión 5.4 se obtiene que:

$$\varepsilon_0 = \frac{V_{F.dispersa}}{V_{F.dispersa} + V_{F.continua}} = \frac{1,45}{1,45 + 13} = 0,1$$

De la expresión 5.3 queda por definir el término  $\tilde{g}(\varepsilon_0)$  De todos los términos que conforman el modelo de Das este es el único que no se puede asignar

Varios investigadores han propuesto expresiones para este término <sup>IX</sup>

| Author             | $\tilde{g}(\varepsilon_0)$                               |
|--------------------|--|
| Bernea and Mizrahi | $\frac{1 - \varepsilon_0}{1 + \varepsilon_0^3}$          |
| Ishii and Zuber    | $(1 - \varepsilon_0) \frac{\mu_c}{\mu_d}$                |
| Ugarcic            | $-0.378 \ln\left(\frac{\varepsilon_0}{1.243}\right)$     |
| Kumar and Hartland | $\frac{1 - \varepsilon_0}{1 + 4.56\varepsilon_0^{0.73}}$ |

**Tabla 5.6** Posibles relaciones para  $g(\varepsilon_0)$

Después de comparar los resultados de estas expresiones con resultados experimentales según viene descrito en la bibliografía<sup>IX</sup> la expresión que menos error produce es la Ugarcic. Por tanto:

$$\tilde{g}(\varepsilon_0) = -0,378.Ln\left(\frac{\varepsilon_0}{1,243}\right) = -0,378.Ln\left(\frac{0,1}{1,243}\right) = 0,9526$$

Haciendo uso de la ecuación 5.3 del modelo de Das, se puede calcular la velocidad de sedimentación

$$V_{sed} = \left(\frac{1-\varepsilon_0}{\tilde{g}(\varepsilon_0)}\right) \cdot \frac{L}{\tau} = \left(\frac{1-0,1}{0,9526}\right) \cdot \frac{1_m}{12_h} = 0,08_{m/h}$$

Lo que se busca con este cálculo es comprobar si la sección transversal que se obtiene con las dimensiones del decantador deducidas anteriormente es superior a la necesaria para que decante la fase dispersa, por tanto:

$$S_T = \frac{Qv_{(m^3/h)}}{V_{sed(m/h)}} = \frac{1,165_{m^3/h}}{0,08_{m/h}} = 15_{m^2}$$

Se observa que a esta velocidad de decantación y a este caudal de alimentación la sección necesaria para que sedimente la fase dispersa (15m<sup>2</sup>) es inferior a la sección del decantador previamente dimensionado cuyo valor es de 20m<sup>2</sup> por lo tanto se puede afirmar que el decantador tiene las dimensiones necesarias para que decanten las dos fases.

## 5.5. Cálculo de Espesores.

### 5.5.1. Cálculo del espesor de la carcasa cilíndrica

Conocidos los datos de Presión de diseño, Diámetro interior de la tubería, la eficiencia de la soldadura (E), el sobreespesor por corrosión (c) y La tensión máxima admisible (S), se puede calcular el espesor mínimo de la envolvente para el decantador utilizando las mismas ecuaciones que para el dimensionamiento de tanques de almacenamiento. Apartado 1.5.1:

Para esfuerzo longitudinal:

$$t_{\delta x} = \frac{P.R_o}{2.SE + 0,4P} + c$$

Para esfuerzo circunferencial:

$$t_{\delta x} = \frac{P.R_o}{SE - 0,6P} + c$$

El decantador y todos sus accesorios irán contruidos en acero al carbono SA-285-C, al igual que se han construido todos los tanques de almacenamiento.

Se trata de una carcasa de una sola pieza, sin juntas longitudinales ni circunferenciales. Los valores para los diferentes parámetros de diseño son:

P (Presión de diseño mínima) = 49,781 psi

S (esfuerzo máximo admisible) = 15700 psi

E (eficiencia de soldadura) = 1

C (sobreespesor por corrosión) = 2 mm

Esfuerzo longitudinal

$$t_{\delta x} = \frac{P.R_o}{2.SE + 0,4P} + c = 4,668_{mm}$$

Esfuerzo circunferencial

$$t_{\delta c} = \frac{P.R_o}{SE - 0,6P} + c = 7,349_{mm}$$

Se concluye con que el espesor de pared de la carcasa para el decantador es de 8 mm, ya que se tiene en cuenta el mayor de los dos calculados.

#### 5.5.2. Cálculo del espesor de la carcasa cilíndrica

El fondo del decantador será plano y del mismo material e irá atornillada al cuerpo cilíndrico al igual que el cabezal que será de tipo semielíptico soldado a tope a la carcasa con un doble cordón de soldadura.

Espesor cabezal semielíptico:

$$t_f = \frac{P.D_i}{2.SE - 0,2P} + c = 7,341_{mm}$$

El espesor del cabezal del decantador será de **8 mm** al igual que la carcasa.

#### 5.5.3. Cálculo del espesor de la carcasa cilíndrica

Las conexiones están sometida, además de a la presión interna, a otras tensiones que les transmiten las tuberías que llegan a ellas. Estas tensiones son debidas, básicamente a las fuerzas y momentos producidos por la dilatación térmica y a los pesos de los fluidos y de la propia línea. Por ello,



todas las normas exigen para las tubuladuras unos espesores mínimos superiores a los exigidos para los otros elementos sometidos a presión.

Para el código ASME, Sección VIII, div 1 , este espesor mínimo será:

$$e_{\min} = \frac{e_{Sch}}{0,875} + c_{(mm)}$$

Siendo  $e_{sch}$  el espesor nominal de la tubería según su correspondiente Schedule y “c” el sobreespesor por corrosión.

| D-01                                 |      | DN   | $e_{sch}$ | $e_{\min}$ |
|--------------------------------------|------|------|-----------|------------|
| Entrada de alimentación              | L-06 | 1/2" | 0,00277   | 0,005166   |
| Entrada de agua                      | LA3  | 3/4" | 0,00232   | 0,004651   |
| Salida de alimentación (Fase Pesada) | L-08 | 1/8" | 0,00242   | 0,004766   |
| Salida de alimentación (Fase Ligera) | L-09 | 1/2" | 0,00277   | 0,005166   |
| salida de agua                       | L-A4 | 3/4" | 0,00232   | 0,004651   |

**Tabla 5.7** Espesores de tubuladuras

## 6. DISEÑO DE TANQUES DE LAVADO.

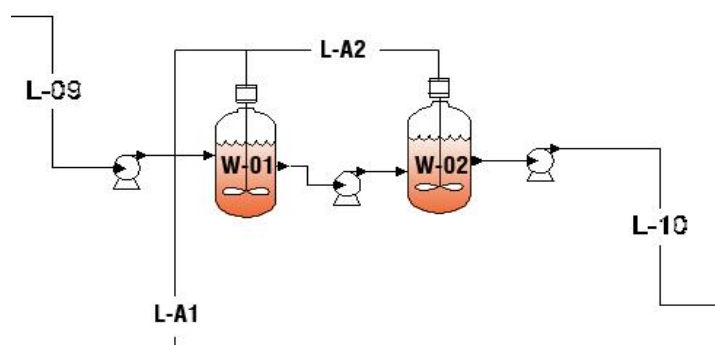
El flujo proveniente de la fracción ligera del decantador, constituido básicamente por los ésteres metílicos formados, se somete a un proceso de lavado. En esta etapa se va a producir una extracción líquido-líquido según viene explicado en la memoria descriptiva apartado 4.8.7.4, con el objeto de que el agua actúe de disolvente y extraiga del soluto el metanol y la glicerina, obteniéndose un biodiesel más purificado.

Este proceso se lleva a cabo en dos tanques con un sistema de agitación incorporado para favorecer la disolución.

### 6.1. Balance de materia a las unidades de Lavado W-01 y W-02

En esta etapa previa a la primera unidad de evaporación EV-01 se aportan 200L de agua por cada 1000L de biodiesel que se producen<sup>F</sup>, se realizarán dos lavados; en cada uno de ellos se aportarán 100L/h de agua a la red de flujo principal L-09, donde se mezclarán en dos tanques agitados.

En el estudio de esta extracción al no encontrar datos de equilibrio para sistemas cuaternarios se hizo la suposición de que toda la cantidad de metanol y glicerina se iban a disolver en el agua; por lo que estos caudales se sumaron a los del agua. El tiempo de lavado recomendado por la bibliografía<sup>F</sup> es de aproximadamente dos horas.



|                   | L-09(Kmol/h) | L-A1(Kmol/h) | L-A2(kmol/h) | L-10(kmol/h)  |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Metanol           | 0,765        | -            | -            | -             |
| Esteres Metilicos | 2,94         | -            | -            | 2,94          |
| Glicerina         | 0,026        | -            | -            | -             |
| Agua              | -            | 5,55         | 5,55         | 11,891        |
| <b>TOTAL</b>      | <b>3,73</b>  | <b>5,55</b>  | <b>5,55</b>  | <b>14,831</b> |

**Tabla 6.1** Balance de materia a las unidades de lavado

Los tanques de lavado consisten en tanques cilíndricos provistos de un eje vertical. La parte superior del tanque puede estar abierta, pero generalmente está cerrada. EL fondo y la parte superior suelen ser redondeados, para eliminar las esquinas o regiones agudas en las que no penetrarían las corrientes del fluido, además favorece la limpieza y el vaciado del depósito y resulta más agradable desde el punto de vista estético. La profundidad o altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque. Un agitador va instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje sostenido en la parte superior, por lo general también lleva incorporados accesorios tales como líneas de entrada y salida, serpentines, encamisados y pozo para termómetros u otros equipos de medición de la temperatura, pH etc.

El diseño se llevará a cabo de acuerdo con condiciones de presión y temperatura atmosféricas. El material de construcción empleado es el acero al carbono SA-285-C. Éste material es el convencional para la construcción de tanques en estas condiciones. Ver diseño de tanques de almacenamiento, apartado 1.2

## 6.2. Dimensiones características

Las dimensiones de un tanque agitado varían según la naturaleza del problema de agitación y para ser un análisis dimensional entra en juego la experiencia. No obstante, por lo general se emplean diseños estandarizados de tanques o recipientes cilíndricos verticales y alargados.

Para realizar el dimensionado de los tanques de lavado se hará uso del caudal de la corriente que entra, del tiempo de residencia (2h) y de la relación entre la altura y diámetro para este tipo de tanques que suele estar comprendido entre:

$$\frac{H}{D_{\text{tanque}}} = (1-3)$$

Se toma la relación de 1,5 por similitud a la relación que se ha tomado para los demás tanques de la planta. Y se considerará un tiempo de residencia de 1h en cada tanque. Por lo tanto:

$$V_{(m^3)} = Qv_{(m^3/h)}$$

Donde el caudal volumétrico de la alimentación viene dado por:

$$Qv_{(m^3/h)} = \frac{Wm_{Kmol/h} \cdot PM_{Kg/kmol}}{\rho_{Kg/m^3}} \dots (6.2)$$

El peso molecular medio de la alimentación:

$$PM = PM_{MeOH} \cdot X_{MeOH} + PM_{gly} \cdot X_{gly} + PM_{Estermetílico} \cdot X_{Estermetílico}$$

$$PM = 0,205.32_{Kg/kmol} + 0,788.295,39_{Kg/kmol} + 0,007.92,1_{Kg/kmol} = 212_{Kg/kmol}$$

Se procede a realizar el cálculo de la densidad del mismo modo que el peso molecular.

$$\rho = \rho_{MeOH} \cdot X_{MeOH} + \rho_{gly} \cdot X_{gly} + \rho_{Estermetilico} \cdot X_{Estermetilico}$$

| Compuesto         | $\rho$ , Kg/m <sup>3</sup> | Temperatura (K)        | Referencia                   |
|-------------------|----------------------------|------------------------|------------------------------|
| Ésteres Metílicos | 881,000                    | 298K <sub>(25°C)</sub> | XIV (tabla 21 a.gráfico)     |
| Glicerina         | 1258,000                   | 298K                   | Perry (tabla 20 a.gráfico)   |
| Metanol           | 789,000                    | 298K                   | Perry (tabla 19 a. grafico)  |
| Agua              | 997,045                    | 298K                   | Perry, (tabla 16 a. grafico) |

Tabla 6.2 Densidades de los compuestos de alimentación del tanque

$$\rho = 789_{Kg/m^3} \cdot 0,205 + 1258_{Kg/m^3} \cdot 0,007 + 881_{Kg/m^3} \cdot 0,788 = 865_{Kg/m^3}$$

Sustituyendo en la ecuación 6,2 se obtiene que el caudal volumétrico de la alimentación es de:

$$Q_{v_{alim}(m^3/h)} = \frac{3,73_{Kmol/h} \cdot 212_{Kg/kmol}}{865_{Kg/m^3}} = 0,91_{m^3/h}$$

Para el agua se obtiene un caudal volumétrico de:

$$Q_{v_{alim}(m^3/h)} = \frac{5,55_{Kmol/h} \cdot 18_{Kg/kmol}}{997,045_{Kg/m^3}} = 0,10_{m^3/h}$$

|              | L-09 (m <sup>3</sup> ) | L-A1(m <sup>3</sup> ) | LA2(m <sup>3</sup> ) |
|--------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| Alimentación | 0,91                   | -                     | -                    |
| Agua         | -                      | 0,10                  | 0,10                 |

Tabla 6.3 Caudales volumétricos de entrada a las unidades de lavado

$$V_{util} = 0,8.V_{total} \Rightarrow V_{total} = \frac{V_{util}}{0,8}$$

Conocida la relación típica  $H/D = 1,5$  se calcula las dimensiones del tanque de lavado.

$$V_{tan\ que} = \frac{\pi.D^2.H}{4} \quad \text{Sustituyendo } H= 1,5D$$

$$V_{tan\ que} = \frac{\pi..D^3}{24} \Rightarrow D = \left( \frac{4.V_{tan\ que.}}{1,5.\pi} \right)^{1/3}$$

Por lo tanto las dimensiones de los tanques de lavado serían:

| TANQUE | $V_{util} (m^3)$ | $V_{total} (m^3)$ | H (m) | D(m) |
|--------|------------------|-------------------|-------|------|
| W-01   | 1,012            | 1,3               | 1,6   | 1,03 |
| W-02   | 1,114            | 1,4               | 1,6   | 1,06 |

Tabla 6.4 Dimensiones de los tanques de lavado

### 6.3. Cálculo de espesores

#### 6.3.1. Cálculo del espesor de la envolvente en la línea de tangencia

Conocidos los datos de Presión de diseño, Diámetro interior de la tubería, la eficiencia de la soldadura (E), el sobreespesor por corrosión (c) y La tensión máxima admisible (S), se puede calcular el espesor mínimo de la envolvente para cada uno de los tanques de lavado.

Para esfuerzo longitudinal:

$$t_{\delta x} = \frac{P.R_o}{2.SE + 0,4P} + c$$

Para esfuerzo circunferencial:

$$t_{\delta} = \frac{P.R_o}{SE - 0,6P} + c$$

Siguiendo el mismo procedimiento que el utilizado para el diseño de los tanques de almacenamiento, y los mismos criterios para la selección del material (SA-285C) apartado 1.2 se obtiene:

| TANQUE | P <sub>diseño</sub> (psi) | S <sub>(psi)</sub> | C(mm) | D <sub>int(m)</sub> | t <sub>δx</sub> (mm) | t <sub>δφ</sub> (mm) | t <sub>final</sub> (mm) |
|--------|---------------------------|--------------------|-------|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| W-01   | 49,781                    | 15700              | 2     | 1,03                | 2,963                | 3,93                 | 4                       |
| W-02   | 49,781                    | 15700              | 2     | 1,06                | 2,987                | 3,98                 | 4                       |

**Tabla 6.5** Espesor del casco de los tanques de lavado

### 6.3.2. Cálculo del espesor de los cabezales

Al igual que en el diseño de tanques de almacenamiento (apartado 1.5.2) se toma cabezal y fondo semielíptico calculándose el espesor con la siguiente expresión

$$t_f = \frac{P.D_i}{2.SE - 0,2P} + c$$

| TANQUE | D <sub>int(m)</sub> | t <sub>f</sub> semielíptico (mm) | t <sub>f</sub> final(mm) |
|--------|---------------------|----------------------------------|--------------------------|
| W-01   | 1,03                | 3,928                            | 4                        |
| W-02   | 1,06                | 3,976                            | 4                        |

**Tabla 6.6** Espesor fondo

### 6.3.3. Espesores de tubuladuras

Las conexiones están sometida, además de a la presión interna, a otras tensiones que les transmiten las tuberías que llegan a ellas. Estas tensiones son debidas, básicamente a las fuerzas y momentos producidos por la dilatación térmica y a los pesos de los fluidos y de la propia línea. Por ello, todas las normas exigen para las tubuladuras unos espesores mínimos superiores a los exigidos para los otros elementos sometidos a presión.

Para el código ASME, Sección VIII, div 1, este espesor mínimo será:

$$e_{\min} = \frac{e_{Sch}}{0,875} + c_{(mm)}$$

Siendo  $e_{sch}$  el espesor nominal de la tubería según su correspondiente Schedule y "c" el sobreespesor por corrosión.

|                         |       | DN   | $e_{sch}$ | $e_{\min}$ |
|-------------------------|-------|------|-----------|------------|
| <b>W-01</b>             |       |      |           |            |
| Entrada de alimentación | L-09  | 1/2" | 0,00277   | 0,005166   |
| Salida de la mezcla     | L10a  | 1/2" | 0,00277   | 0,005166   |
| Entrada de agua         | L-A1  | 1/8" | 0,00232   | 0,004651   |
| <b>W-02</b>             |       |      |           |            |
| Entrada de alimentación | L-10a | 1/2" | 0,00277   | 0,005166   |
| Salida de la mezcla     | L-10  | 1/2" | 0,00277   | 0,005166   |
| Entrada de agua         | L-A2  | 1/8" | 0,00232   | 0,004651   |

**Tabla 6.6.1** Espesores de tubuladuras

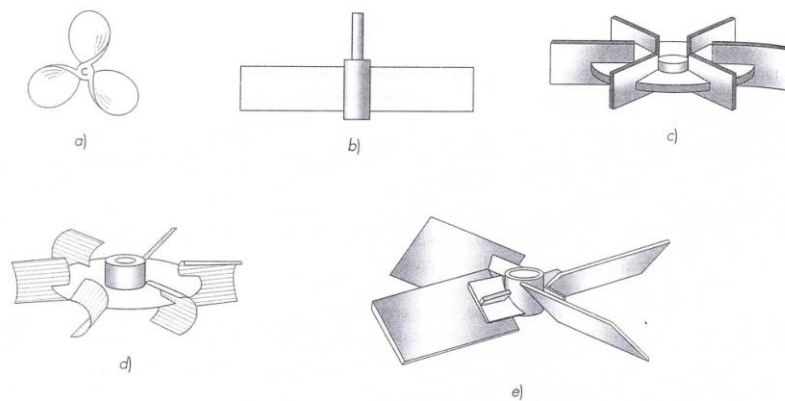
### 6.4. Sistema de Agitación.

Los tres principales tipos de impulsores para líquidos de baja a moderada viscosidad son las hélices, turbinas e impulsores de alta eficiencia. Cada uno de ellos comprende muchas variantes y subtipos que no se consideran aquí.



Para líquidos muy viscosos los impulsores más adecuados son los de hélice y agitadores de anclaje.

El fluido que se desea agitar no es muy viscoso y lo que se desea es empujar el líquido en dirección radial y longitudinal; por estas razones se optará por un agitador de turbina sencilla de palas rectas.

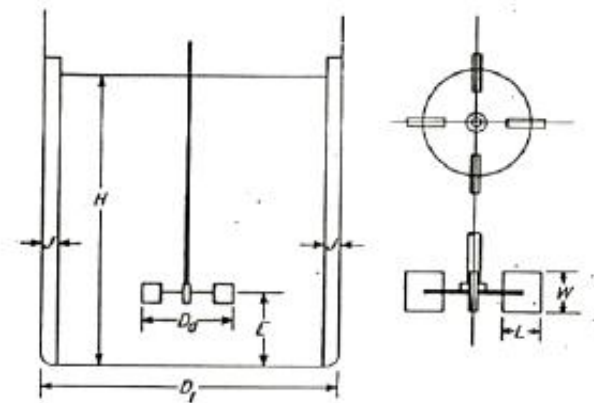


**FIG 6.1** Agitadores de turbina

Los agitadores de turbina, tiene la peculiaridad al estar dispuesto sobre un eje vertical, que las componentes radial y tangencial están en un plano horizontal y la componente longitudinal es vertical. Las componentes radial y longitudinal son útiles, ya que dan lugar al flujo necesario para que se produzca la mezcla. Cuando el eje es vertical y está dispuesto en el centro del tanque, la componente tangencial de velocidad es generalmente perjudicial para la mezcla ya que crea un vórtice en la superficie del líquido. Por esta razón se utilizarán placas deflectoras para aumentar la turbulencia del fluido, romper los vórtices que se forman ya que impiden el flujo rotacional sin afectar al flujo radial y longitudinal mejorando así la dilución <sup>[5]</sup>

Los deflectores son bandas planas verticales, colocadas radialmente a lo largo de la pared del tanque, como se ilustra en la fig.6.2. Casi siempre son adecuados cuatro deflectores. Una de las anchuras comunes de los deflectores es de 1/10 a 1/12 del diámetro del tanque

Para poder calcular la potencia que hay que comunicar al agitador, hay que calcular las dimensiones del sistema de agitación



**FIG 6.2** Dimensiones Características del agitador

Donde:

$D_t$ : diámetro del tanque

$E$ : altura del rodete sobre el fondo del tanque

$L$ : longitud de las palas del rodete

$W$ : anchura de las palas del rodete

$J$ : anchura de las placas deflectoras

$H$ : altura del líquido

El diseñador de un tanque agitado dispone de un gran e inusual número de elecciones sobre el tipo y localización del agitador, las proporciones del tanque, el número y las proporciones de los deflectores y otros factores. Cada una de estas decisiones afecta a la velocidad de circulación del líquido, los patrones de velocidad y el consumo de potencia.

Como punto de partida para el diseño de los problemas ordinarios de agitación, generalmente se utiliza un agitador de turbina, con proporciones típicas de:

$$\frac{D_a}{D_{\text{tanque}}} = \frac{1}{3} \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{E}{D_{\text{tanque}}} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{J}{D_{\text{tanque}}} = \frac{1}{12} \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

Por lo general, el número de deflectores es 4; el número de palas del agitador varía entre 4 y 16.

| TANQUE | $D_a$ (m) | E (m) | J (m) | W (m) | L (m) |
|--------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| W-01   | 0,35      | 0,35  | 0,09  | 0,07  | 0,09  |
| W-02   | 0,36      | 0,36  | 0,09  | 0,07  | 0,09  |

**Tabla 6.7** Dimensiones características de las partes de un sistema de agitación

#### 6.4.1. Consumo de la potencia requerida

La potencia que hay que suministrar al agitador dependerá del tipo de flujo y de las proporciones geométricas del equipo. El mecanismo de flujo es una combinación complicada de flujo laminar, turbulento y separación de capa límite. La potencia comunicada al líquido se calcula con la siguiente expresión.

$$P = N_p \cdot n^3 D_a^5 \cdot \rho \dots (6.3)$$

Donde:

P: Potencia, (kW)

$N_p$ : Numero de potencia (adimensional)

N: Velocidad angular, (m/s.)

$D_a$ : Diámetro del agitador, (m)

$\rho$ : Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

Esta expresión se deduce de un análisis dimensional que viene perfectamente descrito en <sup>[5]</sup>

Se calcula en primer lugar el número de Reynold para determinar el número de potencia ya que este depende del régimen de flujo en algunos casos:

$$Re = \frac{D_a^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \dots (6.4)$$

Para realizar este cálculo es necesario determinar las propiedades del fluido a su temperatura media, como ambas corrientes se mezclan a temperatura ambiente su temperatura media es aproximadamente 25°C.

Para los efectos del cálculo de potencia de cada motor de agitación, se considera para el primer tanque de lavado W-01 la situación más desfavorable, en la que el agua no ha logrado extraer nada de metanol y nada de glicerina, de esta forma se obtiene unas propiedades medias de la mezcla para cada tanque y la potencia necesaria a aportar por cada motor:

Para W-01:

| Compuesto         | Composición | $\rho$ , Kg/m <sup>3</sup> | $\mu$ (Kg/m.s) |
|-------------------|-------------|----------------------------|----------------|
| Metanol           | 0,082       | 789                        | 541E-6         |
| Esteres Metílicos | 0,32        | 881                        | 5,8E-3         |
| Glicerina         | 0,0028      | 1258                       | 0,95           |
| Agua              | 0,60        | 980,55                     | 0,891E-6       |

**Tabla 6.8** Propiedades de la mezcla a 25°C de W-01

$$\rho_{mexcla} = \rho_{MeOH} \cdot X_{MeOH} + \rho_{gly} \cdot X_{gly} + \rho_{Estermetílico} \cdot X_{Ester\ metílico} + \rho_{agua} \cdot X_{agua}$$

$$\rho_{mexcla} = 938,5 \text{ Kg/m}^3$$

$$\ln(\mu_{mexcla}) = X_{MeOH} \cdot \ln(\mu_{MeOH}) + X_{gly} \cdot \ln(\mu_{gly}) + X_{Ester\ metílico} \cdot \ln(\mu_{Ester\ Metílico}) + X_{agua} \cdot \ln(\mu_{agua})$$

$$e^{\ln(\mu_{mexcla})} = \mu_{mexcla} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ Pa.s}$$

Para W-02:

| Compuesto         | Composición | $\rho$ , kg/m <sup>3</sup> | $\mu$ (kg/m.s) |
|-------------------|-------------|----------------------------|----------------|
| Metanol           | -           | -                          | -              |
| Esteres Metílicos | 0,2         | 881                        | 5,8E-3         |
| Glicerina         | -           | -                          | -              |
| Agua              | 0,8         | 980,55                     | 0,891E-6       |

Tabla 6.9. Propiedades de la mezcla a Tm=25°C de W-02

$$\rho_{mexcla} = \rho_{Estermetílico} \cdot X_{Ester\ metílico} + \rho_{agua} \cdot X_{agua}$$

$$\rho_{mexcla} = 960 \text{ Kg/m}^3$$

$$\ln(\mu_{mexcla}) = X_{Ester\ metílico} \cdot \ln(\mu_{Ester\ Metílico}) + X_{agua} \cdot \ln(\mu_{agua})$$

$$e^{\ln(\mu_{mexcla})} = \mu_{mexcla} = 5,16 \cdot 10^{-6} \text{ Pa.s}$$

El término n de la expresión del Reynolds es la velocidad de giro, la común para estos casos (200r.p.m = 3,3m/s)<sup>J</sup>. Sustituyendo en la Ec 6.4 se obtiene que el número de reynolds es igual a:

| TANQUE                               | W-01   | W-02    |
|--------------------------------------|--------|---------|
| $\rho_{mezcla}$ (Kg/m <sup>3</sup> ) | 938,5  | 960     |
| $\mu_{mezcla}$ (Pa.s)                | 2,4E-5 | 5,16E-6 |
| Reynold                              | 1,6E7  | 8E7     |

**Tabla 6.10.** Estimación del Reynolds

Cuando se trata de un tanque con placas deflectoras, para números de Reynolds superiores a 10000, el número de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad ya no influye. En este intervalo, el flujo es totalmente turbulento y el número de potencia se calcula con la expresión:

$$Np = Kt$$

Transformándose la ecuación de potencia en:

$$P = Kt \cdot n^3 D_a^5 \cdot \rho \dots (6.5)$$

Siendo  $Kt$  una constante característica de cada tipo de impulsor, su valor se encuentra recogido en la tabla 24 del anexo gráfico

$$Kt = 5,75$$

| TANQUE | Potencia (kW) |
|--------|---------------|
| W-01   | 1,046         |
| W-02   | 1,070         |

**Tabla 6.11.** Estimación de la Potencia

El motor de agitación es un motor Milton Roy de serie VR( 3051S) de potencia igual 1,1 kW, eficacia del eje del motor del aproximadamente 85% (Ver anexo de fichas técnicas)

### 6.5. Patas de Apoyo

Los tanques de lavado, descritos anteriormente como tanques cilíndricos verticales que disponen de sistema de agitación, irán soportados por patas. Al tener ambos, un diámetro mayor a 0,75 m se dispondrá de 4 patas de apoyo<sup>J</sup> de perfiles comerciales IPN de acero al carbono.

El procedimiento de cálculo para la elección del perfil IPN correspondiente a cada tanque de lavado, es el mismo seguido para los tanques de almacenamiento. Ver: *Diseño mecánico de tanques de almacenamiento apartado 1.8*

| IPN | Radiogiro | Área | Esbeltez | w    | $\sigma_{comp}$ W-01 | $\sigma_{comp}$ W-02 |
|-----|-----------|------|----------|------|----------------------|----------------------|
| 80  | 3,2       | 7,58 | 93,75    | 1,84 | 63,91                | 72,87                |
| 100 | 4,01      | 10,6 | 74,81    | 1,42 | 35,27                | 40,21                |
| 120 | 4,81      | 14,2 | 63,37    | 1,24 | 22,99                | 26,21                |
| 140 | 5,61      | 18,3 | 53,48    | 1,15 | 16,54                | 18,86                |

**Tabla 6.12** elección del tipo de perfil de los soportes, según tablas 37 y 37.1

Por lo tanto, los dos tanques de lavado irán soportados por patas con perfiles **IPN-80** ya que la tensión de compresión calculada para este perfil es inferior a la tensión admisible del material.

## 7. DISEÑO DEL EVAPORADOR FLASH EV-01.

El objetivo de la evaporación es concentrar una solución consistente en un soluto no volátil y un solvente volátil. En la mayor parte de los evaporadores el solvente es agua. La evaporación se realiza vaporizando una parte del solvente para producir una solución concentrada. La evaporación difiere del secado en que el residuo es un líquido – a veces altamente viscoso- en vez de un sólido; difiere de la destilación en que el vapor es generalmente un solo componente y, aun cuando el componente sea una mezcla en la evaporación no se intenta separa el vapor en fracciones.

La diferencia que presenta con la destilación flash es que la evaporación la produce un intercambiador de calor con una disposición específica, mientras que en la destilación flash la produce una válvula despresurizadora.

Los principales tipos de evaporadores tubulares calentados con vapor de agua que se utilizan actualmente son:

- Evaporadores de tubos largos verticales.
  - Flujo Ascendente.
  - Flujo Descendente.
  - Circulación Forzada
- Evaporadores de película agitada.

Las partes esenciales de un evaporador son:

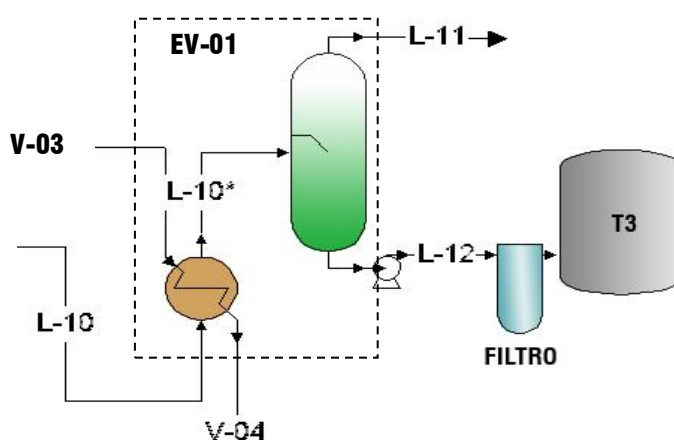
- Un intercambiador de calor tubular con vapor de agua en el lado de la coraza y el líquido que se desea concentrar en el interior de los tubos.
- Una columna de separación para separar el líquido arrastrado por el vapor.



- Existen entradas para el líquido de alimentación y el vapor de calentamiento y salidas para el vapor de calentamiento, la solución concentrada y el vapor del disolvente.

El EV-01 será un evaporador de película ascendente. En estos tipos de evaporadores la alimentación se introduce por la parte inferior del equipo y la misma asciende por los tubos. Están provistas de una unidad de tubo y coraza conocida como calandrias o calderas de circulación natural

El principio teórico que tienen estos evaporadores se asimila al 'efecto sifón', ya que cuando la alimentación se pone en contacto con los tubos calientes, comienza a producirse la evaporación, en donde el vapor se va generando paulatinamente hasta que el mismo, empieza a ejercer presión hacia los tubos, determinando de esta manera, una película ascendente. Esta presión, también genera una turbulencia en el producto que está siendo concentrado, lo que permite mejor la transferencia térmica, y por ende, la evaporación. Al contrario de las calderas no contienen líquido en ebullición; en su lugar, el líquido entra en el intercambiador y es parcialmente vaporizado. La reducción de la densidad causa una mezcla vapor-líquido para aumentar y succionar líquido de alimentación adicional. El líquido y el vapor dejan la parte superior del intercambiador a una gran velocidad, para ser separados en dos corrientes. [5]



### **7.1. Cálculo de la temperatura de la columna.**

Para realizar el cálculo de la temperatura a la que debe estar la cámara de separación y por lo tanto la temperatura que se debe alcanzar en el intercambiador de calor se seguirá la misma metodología utilizada para los cálculos de la columna de destilación flash, (apartado 3 de la memoria de cálculo) Este método permitirá conocer máxima fracción de vapor que se puede obtener en función de sus volatilidades.

El primer paso para determinar la temperatura, es listar las hipótesis que se adoptarán para proponer el modelo de cálculo.

- El vapor y líquido tienen el tiempo de contacto suficiente para alcanzar el equilibrio (no se tienen en cuenta los parámetros geométricos).
- La presión de líquido y vapor son las del tambor separador ( $\Delta P=0$ ). Esto implica que no se considera los componentes usuales en este tipo de equipos como separadores de gotas, etc., y la caída de presión que se origina en ellos.
- Existen sólo una fase líquida y vapor (L-V)
- No existen reacciones químicas.
- La columna trabaja a presión atmosférica.

#### *7.1.1. Estimación de las volatilidades o razones de equilibrio.*

Para poder llevar a cabo la evaporación es necesario que los componentes de la mezcla tengan distintas presiones de vapor. Cuanto más diferente sean más eficaz será la evaporación. Por ello, para conocer el grado de separación se estudia los datos de equilibrio líquido-vapor de la mezcla. Y se sigue el mismo procedimiento y explicación que los expresados en el apartado 3 para la columna CF-01

Se define la razón de equilibrio como la relación entre las fracciones molares de una especie en dos fases que se encuentran en equilibrio. Para el caso de vapor –líquido esta definido por:

$$Volatilidad = K = \frac{y_i}{x_i} \dots(7.1)$$

Se puede representar la razón de equilibrio o la volatilidad en función de las presiones de saturación de los componentes puros asumiendo que los componentes que constituyen la mezcla forman una solución ideal a presión atmosférica. (Según viene descrito en el aparato 3.2) De tal forma queda que la volatilidad es igual a:

$$Volatilidad = K = \frac{P^{sat}}{P_{Operación}} \dots(7.2)$$

#### 7.1.2. Presión de Saturación.

Para el cálculo de la presión de saturación se hace uso de la ecuación de Antoine, ésta ecuación esta en función de tres constantes que varían para cada compuesto.

$$\text{Log}P^{sat} = A - \frac{B}{T + C}$$

| Ec. De Antoine |       |          |          |
|----------------|-------|----------|----------|
|                | A     | B        | C        |
| Ester Metílico | 5,225 | 2723,181 | -91,822  |
| Agua           | 3,559 | 643,748  | -198,043 |

**Tabla 7.1** Constantes A, B y C para la ecuación de Antoine (NIST)

Conocidas la presión de saturación de los compuestos que entran a la columna y la presión de operación (1 bar = 100000Pa) se obtiene que, la presión de saturación de cada compuesto es igual a su volatilidad. Según la ecuación 7.2

$$P_i^{sat} = K_i$$

Los resultados se encuentran recogidos en la siguiente tabla.

| T (K) | K <sub>Ester Metílico</sub> | K <sub>agua</sub> |
|-------|-----------------------------|-------------------|
| 473   | 0,0121                      | 16,5319           |
| 450   | 0,0042                      | 10,1064           |
| 421   | 0,0009                      | 4,7019            |
| 403   | 0,0003                      | 2,6224            |
| 401   | 0,0003                      | 2,4420            |
| 384   | 0,0001                      | 1,2525            |
| 373   | 0,0000                      | 0,7588            |
| 364   | 0,0000                      | 0,4793            |
| 353   | 0,0000                      | 0,2542            |
| 343   | 0,0000                      | 0,1314            |
| 342   | 0,0000                      | 0,1224            |

**Tabla 7.2** Volatilidades a la Presión de Operación de 1 bar

### 7.1.3. Método de cálculo de Rachford – Rice.

Para el cálculo de la temperatura de la columna se utilizará un método de tanteo de Rachford – Rice en donde sus expresiones se deducen exactamente de la misma forma que el apartado 3.3.1 y 3.3.2 de la memoria de cálculo:

Ecuación de Rachford-Rice

$$\sum_{i=1}^c y_i - \sum_{i=1}^c x_i = 0 = \sum_{i=1}^c \frac{K_i z_i}{1 + (K_i - 1) \cdot \phi} - \sum_{i=1}^c \frac{z_i}{1 + (K_i - 1) \cdot \phi} = 0$$

Entre las consideraciones adicionales a tener en cuenta se encuentran:

- A. La fracción de vapor  $\phi$  tendrá un valor entre 0 y 1.
- B. Las volatilidades del metílester son aproximadamente cero, para temperaturas por debajo de 450°K; vease tabla 7.2

De la ecuación de Rachford-Rice y siguiendo la consideración (B) se obtiene que

$$\sum_{i=1}^c y_i - \sum_{i=1}^c x_i = 0$$

$$\frac{K_{agua} z_{agua}}{1 + (K_{agua} - 1) \cdot \phi} - \frac{z_{agua}}{1 + (K_{agua} - 1) \cdot \phi} - \frac{z_{EsterMetilico}}{(1 - \phi)} = 0$$

Despejando

$$K_{agua} = 1 + \frac{\frac{z_{EsterMetilico}}{z_{agua} (1 - \phi)}}{1 - \frac{z_{EsterMetilico} \cdot \phi}{z_{agua} (1 - \phi)}}$$

El tanteo se realiza suponiendo un valor de  $\phi$  entre 0 y 1, de tal forma que el valor de la volatilidad relativa corresponda a una temperatura por debajo de la temperatura de rocío y por encima de la temperatura de burbuja, por lo tanto estas temperaturas se calcularan previamente.

#### 7.1.3.1. . Cálculo de la temperatura de burbuja y de la temperatura de rocío

Como es conocido, por definición, temperatura de rocío (a una presión) es la temperatura a la cual se forma la primera gota de condensado en la mezcla. Análogamente, la temperatura de burbuja es la temperatura (a una presión) a la cual se forma la primera burbuja en la mezcla. Por otra parte, definiciones equivalentes pueden darse para la presión de burbuja y rocío (a una temperatura).

Interesa encontrar una forma de calcular, dada la composición inicial de la mezcla, la temperatura de burbuja y rocío respectivamente

### 7.1.3.1.1. Cálculo del punto de Burbuja

Si se aplica la definición de temperatura de burbuja y se analiza la ecuación (3.16), se ve que dada la presión hay que encontrar la temperatura a la cual aparece la primera burbuja de vapor en la mezcla líquido –vapor en equilibrio, equivale conceptualmente a la siguiente condición límite

$$\lim_{\phi \rightarrow 0} \left\{ \sum_{i=1}^{NC} \frac{(K_i - 1)z_i}{1 + (K_i - 1)\phi} \right\} = 0$$

Resolviendo en el límite se tiene:

$$\sum_{i=1}^{comp} z_i - \sum_{i=1}^{comp} K_i z_i = 0$$

De donde debe satisfacerse:

$$\sum_{i=1}^{comp} K_i z_i = 1 \dots (7.2.1)$$

Para utilizar esta ecuación, se supone un valor de temperatura comprendido entre las temperaturas de ebullición de los compuestos puros

|                   | Teb(°C) |
|-------------------|---------|
| Esteres Metílicos | 194     |
| Agua              | 100     |

**Tabla 7.3** temperatura de ebullición

Los valores de  $k_i$  se obtienen a partir de un ábaco en función de la presión total conocida, o partir de los datos de presión de vapor (tabla 7.2). Si el sumatorio de los  $k_i \cdot z_i$  difiere de 1, se toma uno de las volatilidades y se divide por el valor dado en el sumatorio, es decir.

$$\frac{K_{ref}}{\sum_{i=1}^{comp} K_i z_i} = K_i'$$

Se buscan las volatilidades en la tabla 7.2 para los demás compuestos a este mismo valor de volatilidad ( $K_i'$ ) y se aplica nuevamente el sumatorio, y así sucesivamente hasta que el sumatorio de la expresión (7.2.1) sea igual a la unidad.

Aplicando este procedimiento se obtiene que la **temperatura de burbuja es de 111°C** (384K) y las volatilidades de cada compuesto son:

|                   | $K_i$         |
|-------------------|---------------|
| Esteres Metílicos | $8,034E^{-5}$ |
| Agua              | 1,253         |

**Tabla 7.4** Volatilidades a la Temperatura de burbuja y presión 1 atm

#### 7.1.3.1.2. Cálculo del punto de Rocío

El procedimiento para el cálculo del punto de rocío es análogo al del punto de burbuja pero en este caso por definición se debe encontrar la condición de equilibrio a la cual (fijada la presión) aparece la primera gota de condensado; la condición que debe cumplirse:

$$\sum_{i=1}^{comp} \frac{z_i}{k_i} = 1 \dots (7.2.2)$$

Nuevamente se supone una temperatura comprendida entre las temperaturas de ebullición de los compuestos puros (tabla 7.3) se localizan en la tabla 7.2 las volatilidades para cada compuesto, se calcula el sumatorio y si

este difiere de uno, se toma el valor de una de las volatilidades como referencia y se multiplica por el resultado del sumatorio, es decir.

$$K_{ref} \cdot \sum_{i=1}^{comp} K_i z_i = K_i'$$

Haciendo uso nuevamente de la tabla 7.2 se busca la temperatura correspondiente a esta nueva volatilidad de referencia ( $K_i'$ ) y las volatilidades a dicha temperatura para los demás compuestos del sistema hasta que se cumpla que el sumatorio de la expresión (7.2.2) sea igual a la unidad

Aplicando este procedimiento se obtiene que la **temperatura de rocío es de 278 °C** (551K) y las volatilidades de cada compuesto:

| K <sub>i</sub>    |       |
|-------------------|-------|
| Esteres Metílicos | 0,19  |
| Agua              | 54,42 |

**Tabla 7.5** Volatilidades a la temperatura de rocío y presión 1 atm

Volviendo a la ecuación:

$$K_{agua} = 1 + \frac{\frac{Z_{EsterMetílico}}{Z_{agua} (1 - \phi)}}{1 - \frac{z_{EsterMetílico} \cdot \phi}{z_{agua} (1 - \phi)}}$$

El tanteo se realiza suponiendo un valor de  $\phi$  entre 0 y 1, de tal forma que el valor de la volatilidad relativa corresponda a una temperatura por debajo de la temperatura de rocío (551K) y por encima de la temperatura de burbuja (384K), buscando siempre que la fracción de vapor sea lo más alta posible.



| $\emptyset$ | K agua | T(K)                   |
|-------------|--------|------------------------|
| 0,95        | -0,337 | -                      |
| 0,8         | -      | -                      |
| 0,79        | 17,5   | 485                    |
| 0,78(*)     | 11     | 450 <sub>(177°C)</sub> |
| 0,75        | 4,807  | 423                    |
| 0,7         | 2,941  | 406                    |
| 0,65        | 2,302  | 400                    |
| 0,6         | 1,980  | 396                    |
| 0,55        | 1,785  | 393                    |
| 0,5         | 1,655  | 391                    |

Tabla 7.6 Iteración (\*) Mejor valor.

Temperatura de EV-01 ~ 450K (177°C).

En la tabla se puede observar que se podían obtener fracciones mayores de vapor pero en estos casos la temperatura sufría un incremento muy alto. A estas temperaturas aumenta la volatilidad del metilester y no se desea tener en la fase vapor fracciones de este compuesto.

## 7.2. Balance de materia a la unidad de Evaporación EV-01

El balance de materia vendrá definido por.

$$L-10^{*}_{\text{alimentación de la columna}} = L-11_{\text{Corriente vapor}} + L-12_{\text{Corriente líquida}}$$

Conocida la fracción de vapor calculada en el apartado anterior:

$$\emptyset = 0,78 \text{ Relación Vapor / Alimentación}$$

Se Obtiene que:

$$L-11_{\text{Corriente vapor}} = 0,78.L-10^{*}$$

Además, al ser la volatilidad de metílester tan baja;

$$Est.Metílicos_{L-10^*} = Est.Metílicos_{L-12}$$

| Zi                | L-10* (Kmol/h) | L-11(Kmol/h) | L-12(kmol/h) |
|-------------------|----------------|--------------|--------------|
| Esteres Metílicos | 0,2            | 2,940        | -            |
| Agua              | 0,8            | 11,891       | 11,568       |
|                   |                | 14,831       | 11,568       |
|                   |                |              | 3,26         |

**Tabla 7.7** Balance de materia al Evaporador CF-03

### 7.2.1. Composiciones en Equilibrio.

Conocida la fracción de vapor  $\phi$  y la volatilidad se puede calcular las composiciones en equilibrio:

Para el Líquido, usando la ecuación (3.14):

$$x_{agua} = \frac{z_{agua}}{1 + (K_{agua} - 1)\phi} = \frac{0,8}{1 + (11 - 1) \cdot 0,78} = 0,09$$

$$x_{EsterMetílico} = \frac{z_{EsterMetílico}}{1 - \phi} = \frac{0,2}{1 - 0,78} = 0,909$$

Se debe cumplir la Ec (3.12)

$$\sum_{i=1}^c x_i = 1 \Rightarrow 0,3148 + 0,5138 + 0,1709 = 1$$

Para el Vapor, usando la ecuación (3.15):

$$y_{agua} = \frac{K_{agua} z_{agua}}{1 + (K_{agua} - 1) \cdot \phi} = \frac{11 \times 0,8}{1 + (11 - 1) \cdot 0,78} = 1$$

Se debe cumplir la Ec (3.11)

$$\sum_{i=1}^c y_i = 1$$

|                   | xi    | yi | L-11(Kmol/h) | L-12(kmol/h) |
|-------------------|-------|----|--------------|--------------|
| Esteres Metílicos | 0,909 | -  | -            | 2,94         |
| Agua              | 0,090 | 1  | 11,568       | 0,32         |
|                   |       |    | 11,568       | 3,26         |

**Tabla 7.8** Composiciones en Equilibrio y caudales de salida de la columna.

### 7.3. Balance de energía al Intercambiador de Calor.

En un evaporador de simple efecto el vapor que circula por la coraza transfiere el calor necesario a través de la superficie de calentamiento para vaporizar el agua de la solución en ebullición. Se necesitan dos balances de entalpía, uno para el vapor de agua y otro para el lado del líquido.

Aplicando el balance de energía:

$$E = S$$

$$(L - 10)H_{L-10} + (V - 03)H_{v-03} = (V - 04)h_{v-04} + (L - 11)H_{L-11} + (L - 12)H_{L-12}$$

Se supone que no hay fugas ni arrastre, por lo que las pérdidas de calor no se consideran. La corriente de vapor de agua que entra a la cámara puede ser sobrecalentada y una vez que ocurra la transferencia de calor puede que haya o no condensación de dicho vapor.

$$(V - 03) = (V - 04)$$

Agrupando términos:

$$(V - 03)(H_{v-03} - h_{v-04}) = (L - 11)H_{L-11} + (L - 12)H_{L-12} - (L - 10)H_{L-10}$$

Para el lado del vapor:

$$Q_{ced} = (V - 03)(H_{v-03} - h_{v-04}) \dots (7.3)$$

Donde:

$Q_{ced}$ : Velocidad de transferencia de calor a través de la superficie de calentamiento (kW).

$H_{v-03}$ : Entalpía específica del vapor de agua a la entra del intercambiador (KJ/Kmol).

$h_{v-04}$ : Entalpía específica del vapor de agua a la salida del intercambiador (KJ/Kmol)..

V-03: Caudal másico de vapor.

Para el lado del concentrado:

$$Q_{absorbido} = (L - 11)H_{L-11} + (L - 12)H_{L-12} - (L - 10)H_{L-10} \dots (7.4)$$

Donde:

$Q_{ced}$ : Velocidad de transferencia de calor desde la superficie de calentamiento hacia el líquido (kW)..

$H_{L-10}$ : Entalpía específica de la solución diluida (KJ/Kmol)..

$H_{L-11}$ : Entalpía específica del vapor (KJ/Kmol). .

$H_{L-12}$ : Entalpía específica de la solución concentrada (KJ/Kmol)..

- Entalpía específica de la solución diluida  $H_{L-10}$ :

Este término constará de un calor sensible para llevar la solución de la alimentación a la temperatura de ebullición de la mezcla.

$$H_{L-10} = C_{p_{a\lim}} \cdot (T_{eb_{mezcla}} - T_{entrada}) \dots (7.5)$$

La capacidad calorífica de alimentación será una capacidad calorífica promedio entre las capacidades caloríficas que forma la disolución a una temperatura media de 341K (68°C) de esta manera:

$$\overline{C_{p_{a\lim}}} = X_{agua} \cdot C_{p_{agua}} + X_{Ester\ metílico} \cdot C_{p_{Ester\ Metílico}}$$

|                | <b>Xi</b> | <b>Cp (J/molK)</b> |
|----------------|-----------|--------------------|
| Ester Metílico | 0,2       | 680                |
| Agua           | 0,8       | 75,4               |

Tabla 7.9. Capacidades caloríficas de la alimentación

De esta manera:  $\overline{C_{p_{a\lim}}} = 0,8 \cdot 75,4_{J/molK} + 0,2 \cdot 680_{J/molK} = 0,196_{kJ/molK}$

Sustituyendo en la Ec 7.5 se obtiene que la entalpía específica de la solución diluida es de:

$$H_{L-10} = 0,196_{kJ/molK} \cdot (384 - 298)_K = 16856_{kJ/Kmol}$$

- Entalpía específica del vapor  $H_{L-11}$ : Este término consta de dos calores:

$$H_{L-11} = Q_{lat} + Q_{sensible}$$

1. Un calor latente del disolvente que se evapora, pero a una temperatura superior a la temperatura de ebullición del disolvente puro, es decir para una presión dada, la temperatura de ebullición de la solución es mayor que la del agua pura. El aumento del punto de ebullición sobre el del agua se conoce con el nombre de elevación del punto de ebullición BPE “ Boiling point elevation” de la solución ( $\Delta e$ ). Si la disolución tiene aumento apreciable en el punto de ebullición, entonces el vapor procedente de la disolución es vapor recalentado, y tomando como temperatura de referencia la temperatura de saturación, su entalpía será el calor latente a  $T_{sat}$ , más el aumento de entalpía debido al recalentamiento, y este aumento es aproximadamente igual a 0,46 veces la elevación en el punto de ebullición.<sup>F</sup>

$$\lambda_{lat} = \lambda_{lat\text{agua}} + 0,46\Delta T$$

$\lambda_{lat}$ : Calor latente de vaporización.

$\lambda_{lat\text{agua}}$ : Calor latente de vaporización del agua pura a su temperatura de saturación y a una presión de 1 bar

2. Un calor sensible para llevar el vapor desde la temperatura de ebullición de la disolución a la temperatura de la columna o temperatura de salida del vapor.

$$h_{sensible} = C_{p\text{vapor}} \cdot (T_{columna} - T_{eb\text{mezcla}})$$

Por lo tanto se obtiene que la entalpía específica del vapor viene definida por:

$$H_{L-11} = \lambda_{latagua} + 0,46(T_{eb_{mezcla}} - T_{sat}) + Cp_{vapor} \cdot (T_{columna} - T_{eb_{mezcla}}) \dots (7.6)$$

El calor latente del disolvente (agua) a 1 bar de presión es según la tabla 27 del anexo gráfico de:

$$\lambda_{latagua} = 2257_{KJ / Kg}$$

|   |            | Referencia                              |
|---|------------|---|
| Temperatura de ebullición de la mezcla $T_{eb_{mezcla}}(K)$ | 384(111°C) | Temperatura de burbuja apartado 7.2.6.1 |
| Temperatura de la Columna $T_{columna}(K)$                  | 450(177°C) | Apartado 7.2.3                          |
| Temperatura de entrada de la mezcla $T_{entrada}(K)$        | 298(25°C)  | Apartado 6.3.1                          |
| Temperatura de saturación del agua a 1 bar $T_{sat}(K)$     | 373(100°C) | Tabla 27 anexo gráfico                  |

**Tabla 7.10.** Temperaturas para el cálculo de la entalpía específica del vapor.

La capacidad calorífica del vapor a la temperatura media del vapor entre la temperatura de salida y la temperatura de ebullición de la mezcla  $T_m = 417K$  (144°C) y que según la tabla 17 del anexo gráfico es de:

$$Cp_{vapor} = 1,99_{KJ / KgK}$$

Sustituyendo en 7.6 se obtiene que la entalpía específica del vapor es de:

$$H_{L-11} = 2257_{KJ / Kg} + 0,46(384 - 373) + 1,99_{KJ / KgK} \cdot (450 - 384)K$$

$$H_{L-11} = 2393_{KJ/Kg} = 43074_{KJ/Kmol}$$

- Entalpía específica de la solución concentrada  $H_{L-12}$ : Este término constará de dos calores.

$$H_{L-12} = Q_{disolución} + Q_{sensible}$$

1. Un calor de disolución o de mezclado ( $H_d$ ) que se define como el cambio de entalpía para un proceso en el que 1 mol de un soluto se disuelve en n moles de disolvente líquido. Este calor que se libera o se absorbe se gana o se pierde respectivamente en el proceso de separación, es decir es lo contrario al calor que se genera al mezclar dos compuestos, si antes se libera ahora lo requiere para separarse del disolvente. En la mayoría de las soluciones de sustancias orgánicas, como para soluciones moderadamente concentradas no se produce un gran efecto térmico<sup>F</sup> se va a despreciar este término.
2. Un calor sensible para elevar la temperatura de la solución concentrada hasta la temperatura de la columna.

$$H_{L-12} = Cp_{concentrado} \cdot (T_{columna} - T_{eb\ mezcla}) \dots (7.7)$$

La capacidad calorífica se corresponde con la promedio de la disolución concentrada, con las composiciones en equilibrio y a la temperatura media del líquido en este intervalo  $T_m=417K$  (144°C). Se toma para el agua su capacidad calorífica como líquido saturado ya que el agua que se encuentra en el concentrado sigue siendo líquida a una temperatura por encima de su temperatura de saturación.



|                | Xi    | Cp (J/molK) | Referencia             |
|----------------|-------|-------------|------------------------|
| Ester Metílico | 0,909 | 834         | Tabla 14 Anexo gráfico |
| Agua           | 0,09  | 75,8        | Tabla 17 Anexo gráfico |

**Tabla 7.11** Capacidades caloríficas del la solución concentrada

$$\overline{Cp}_{concentrado} = 0,909 \cdot 834_{J/molK} + 0,09 \cdot 75,8_{J/molK} = 0,765_{KJ/molK}$$

Sustituyendo en la Ec 7.7 se obtiene que la entalpía de la solución concentrada es de:

$$H_{L-12} = 0,765_{KJ/molK} \cdot (450 - 384)_K = 50490_{KJ/kmol}$$

Introduciendo todas las entalpías calculadas en la Ec 7.4 se obtiene que el calor absorbido es igual a:

$$Q_{absorbido} = 11,568_{kmol/h} \cdot 43074_{KJ/kmol} + 3,26_{kmol/h} \cdot 50490_{KJ/kmol} - 14,831_{kmol/h} \cdot 16856_{KJ/kmol}$$

$$Q_{absorbido} = 412886_{KJ/h}$$

### 7.3.1. Cálculo de temperatura de salida del vapor de calentamiento.

Del balance de energía se dedujo que:

$$Q_{ced} = Q_{absorbido}$$

Por lo tanto:

$$Q_{ced} = (V - 03)(H_{v-03} - h_{v-04}) = 412886_{KJ/h}$$

De esta expresión se puede despejar el valor de la entalpía en la salida del vapor de calentamiento y así conocer las condiciones de esa corriente, es decir saber si se ha condensado o simplemente saber la temperatura a la que sale del evaporador.

$$h_{v-04} = H_{v-03} - \frac{412886_{KJ/h}}{(V - 03)} \dots(7.7)$$

Al evaporador entra una corriente de vapor (V-03), que sale de la coraza del reactor, esta corriente tiene unas condiciones de presión de 40 bar, una temperatura de 689K (416°C) y un caudal de 7500 kg/h según se calculó en el apartado 2.6.4 de la presente memoria. Para el cálculo de su entalpía  $H_{V-03}$  se utiliza la tabla 12.1 del anexo gráfico. Obteniéndose:

$$H_{v-03} = 3250_{KJ/kg}$$

Sustituyendo en 7.7

$$h_{v-04} = 3250_{KJ/kg} - \frac{412886_{KJ/h}}{7500_{Kg/h}} = 3194_{KJ/kmol}$$

Utilizando la misma tabla 12.1 se puede ver que para una entalpía de 3194 KJ/kg la temperatura es de 666K (393°C), por lo que se concluye que con tan solo una pequeña aportación de calor sensible del vapor en esas condiciones se consigue evaporar una gran parte del disolvente sin condensación del vapor.

#### **7.4. Dimensiones características del intercambiador de calor.**

Para definir las dimensiones de un evaporador hay que calcular el área de intercambio de calor, ésta vendrá definida al igual que en casos previos por:

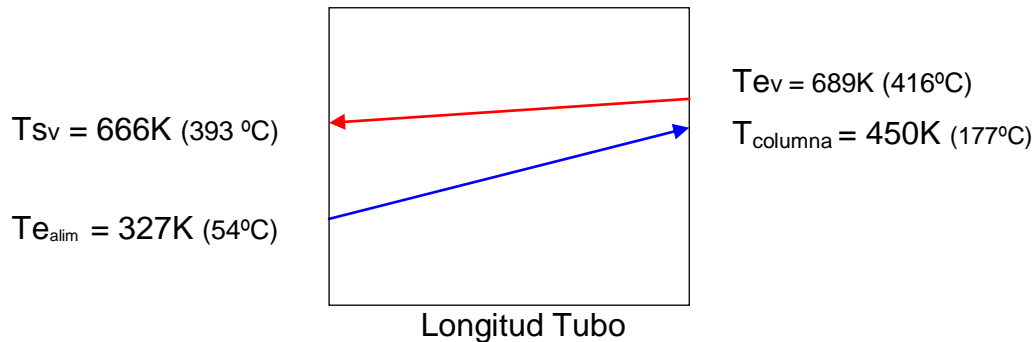
$$Q = A.U.\Delta T_{ml} \quad \text{Despejando el área se obtiene}$$

$$A = \frac{Q}{U.\Delta T_{ml}} \dots(7.8)$$

Donde Q = calor cedido por el vapor obtenido en el  
Apartado 7.3

$\Delta T_{ml}$  = Incremento medio logarítmico

- *Diagrama térmico*



**Figura 7.1.** Diagrama Térmico del EV-01

A partir de este diagrama se puede deducir la expresión del incremento medio logarítmico de temperaturas.

$$\Delta T_{ml} = \frac{((T_{s_v} - T_{entrada}) - (T_{e_v} - T_{columna}))}{\ln\left(\frac{(T_{s_v} - T_{entrada})}{(T_{e_v} - T_{columna})}\right)} \cdot F$$

Siendo F un factor de corrección en función de la disposición de los tubos, suponiendo una coraza con varios tubos de un solo paso el factor de corrección es aproximadamente 1 según el grafico 28 del anexo

$$\Delta T_{ml} = \frac{((666 - 327) - (689 - 450))}{\ln\left(\frac{(666 - 327)}{(689 - 450)}\right)} = 286$$

Debido a la dificultad de medir los elevados coeficientes individuales de película en un evaporador, por lo general los resultados experimentales se expresan en función de los coeficientes globales. Éstos están basados en la caída neta de temperatura corregida para tener en cuenta la elevación del punto de ebullición.

Los coeficientes típicos globales para este tipo de evaporador vienen tabulados y están en los siguientes rangos:

| Servicio                   | Coefficiente Global U(W/m <sup>2</sup> °K) |
|----------------------------|--|
| Químicos Orgánicos pesados | 579-900                                    |
| Hidrocarburos ligeros      | 900-1250                                   |
| Agua, disoluciones acuosas | 1250-2000                                  |

**Tabla 7.12** Coeficientes globales de transmisión de calor.

Se toma la situación más desfavorable para el caso de disoluciones acuosas, es decir;

$$U = 1250_{W/m^2.K}$$

Se sustituye en la expresión 7,8 y se obtiene un área de:

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{115_{Kw}}{1,250_{Kw/m^2.k} \cdot 286_K} = 0,32_{m^2}$$

Los evaporadores tubulares de tubos cortos tienen por lo general de 50,8 a 76,2 mm de diámetro y de 1,2 a 1,8 metros de longitud <sup>[5]</sup>

Si se fija la longitud en 1,5 metros para no tener un evaporador muy largo y un diámetro de 0,050 se obtiene un intercambiador con dos haces de tubos, es decir;

$$A = n \cdot \pi \cdot D \cdot L \quad \text{Donde } n = \text{número de tubos.}$$

$$n = \frac{A}{\pi \cdot D \cdot L} = \frac{0,32_{m^2}}{\pi \cdot 0,050_m \cdot 1,5_m} = 1,36 \approx 2$$

Para el diseño de las tuberías en la carcasa es necesario primeramente calcular el espesor de la tubería, apartado 7.6.1, una vez conocido el diámetro exterior real y con la tabla 41 del anexo gráfico, extrapolando para un diámetro exterior de 0,06m se obtiene que el espaciamento entre ambos tubos es de 0,075m

### 7.5. Dimensiones características de la columna

Como resultado de los cálculos efectuados se dispone de datos de caudal y composición de líquido y vapor de la columna. El siguiente paso será determinar las dimensiones características de la columna como diámetro y longitud, altura de líquido, materiales etc...

Conocidas las composiciones en equilibrio en la columna y algunas propiedades de interés como el peso molecular y la densidad se determina las características de los dos corrientes efluentes de la columna

|                | $X_i$ | L-11<br>(kmol/h) | L-12<br>(kmol/h) | PM<br>(kg/kmol) | Densidad<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------|------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|
| Ester Metílico | 0,909 | -                | 2,94             | 295,39          | 790                              |
| Agua           | 0,090 | 11,568           | 0,32             | 18              | 960(*)                           |

**Tabla 7.13** Propiedades de los elementos en el EV-01 (\*) Corresponde a la densidad del agua como líquido saturado

Para el cálculo de los caudales máxicos tanto de la corriente de vapor (L-11) como al de líquido (L-12) se determinan con:

$$W_v = (L - 11) \cdot \overline{Pm}_v$$

$$W_l = (L - 12) \cdot \overline{Pm}_l$$

En donde los pesos moleculares, son los promedios de los compuestos que lo forman, por ejemplo en la corriente líquida se encuentran presentes el agua que no se vaporiza y los esteres metílicos, por lo tanto el peso molecular vendrá dado en función de las fracciones molares de estos compuestos y de sus respectivos pesos moleculares:

$$\overline{Pm}_l = x_{agua} \cdot Pm_{agua} + x_{Ester\ metílico} \cdot Pm_{Ester\ metílico} = 270,130_{Kg / Kmol}$$

El peso molecular para la corriente de vapor será el del agua pura 18 Kg/kmol

De esta manera:

$$W_v = (L - 11) \cdot \overline{Pm}_v = 11,568_{Kmol / h} \cdot 18_{kg / Kmol} = 208,22_{Kg / h}$$

$$W_l = (L - 12) \cdot \overline{Pm}_l = 3,26_{Kmol / h} \cdot 270,13_{Kg / Kmol} = 880,62_{Kg / h}$$

Para el diseño se utiliza un grupo adimensional denominado Parámetro de Flujo definido como:

$$Fl_v = \frac{Wl}{Wv} \cdot \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{1/2}$$

Esta expresión viene definido en función de sus caudales másicos y de las densidades de cada corriente, para determinar estas densidades se hará el mismo análisis que para el caso de los pesos moleculares, es decir.

Para (L-12)<sub>liq</sub>:

$$\overline{\rho}_l = x_{agua} \cdot \rho_{agua} + x_{Ester\ metílico} \cdot \rho_{Ester\ metílico} = 804,330_{Kg / m^3}$$

Y para  $(L-11)_{vapor}$ : al estar trabajando a presión atmosférica y a temperaturas no tan elevadas se puede determinar haciendo uso de la ecuación de los gases ideales

$$\rho_v = \frac{P.Pm_{vapor}}{R.T} = 0,4878_{Kg/m^3}$$

Conocidas todas estas propiedades se puede calcular el parámetro de flujo

$$Fl_v = \frac{880,622_{Kg/h}}{208,22_{Kg/h}} \cdot \left( \frac{0,4878}{804,33} \right)^{1/2} = 0,104$$

Por otro lado, un alto nivel de líquido en la columna, así como una alta velocidad del vapor, producen una elevada caída de presión, lo cual puede llevar a inundaciones de la columna, por esta razón es importante determinar velocidad máxima permisible a la hora de hacer la estimación del área transversal de la columna, ésta se calcula haciendo uso de la siguiente expresión:

$$v_{\max}^{permisible} (m/s) = 0,3048.CF \cdot \left( \frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \right)^{1/2}$$

Donde CF, se define como un coeficiente de inundación y depende del tipo de columna. para una columna sin platos la expresión es igual a:

$$CF = EXP[A + B.LN(Fl_v) + C.LN(Fl_v)^2 + D.LN(Fl_v)^3 + E.LN(Fl_v)^4]$$

|          |           |
|----------|-----------|
| <b>A</b> | -1,877478 |
| <b>B</b> | -0,81458  |
| <b>C</b> | -0,18707  |
| <b>D</b> | -0,014522 |
| <b>E</b> | -0,00101  |

**Tabla 7.14** Constantes del coeficiente de inundación

Sustituyendo en la expresión se obtiene:  $CF = 0,43$

Se calcula la velocidad máxima permisible

$$v_{\text{max permisible}} = 0,30480,43 \cdot \left( \frac{804,33 - 0,487}{0,487} \right)^{1/2} = 5,286_{m/s}$$

Una vez fijada la velocidad máxima, es posible calcular la velocidad del vapor a través del área neta de la columna con un valor del 80 al 85 % de la velocidad de inundación para líquidos que no hacen espuma.

$$v = v_{\text{max permisible}} \cdot 0,85 = 5,286_{m/s} \cdot 0,85 = 4,49_{m/s}$$

Conocida la velocidad se calcula el área transversal de la columna

$$A_c = \frac{Wv_{kg/h}}{v_{(m/s)} \cdot 3600_{(s/h)} \cdot \rho_{v(kg/m^3)}}$$
$$A_c = \frac{208,22_{kg/h}}{4,49_{m/s} \cdot 3600_{s/h} \cdot 0,4878_{Kg/m^3}} = 0,026_{m^2}$$

El área se relaciona con el diámetro al conocer que la columna es un cilindro de sección circular, por tanto:

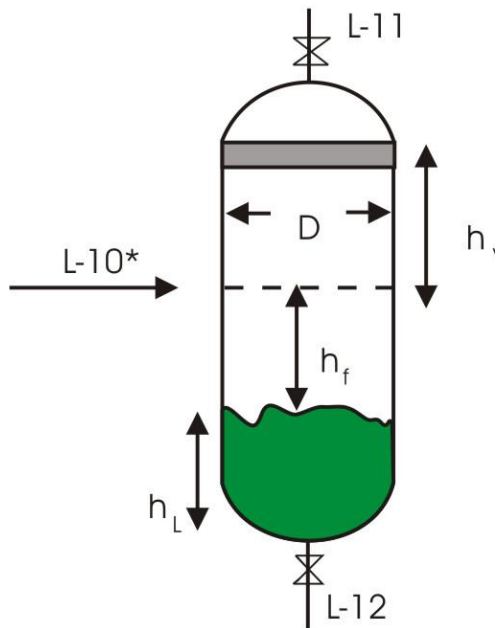
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,026_{m^2}}{\pi}} = 0,182_m$$

Al diámetro se le suele aumentar al siguiente incremento de 6"

$$D = 0,182_m + 0,1524_m = 0,3344_m$$

Para el cálculo de la longitud o altura de la columna se determinará la altura del líquido, la altura del vapor y la altura entre la tubería de descarga y el nivel del líquido, según se representa en el grafico 7.2





$$h_v = 0,914 + \frac{D}{2} \quad h_v > 1,22_m$$

$$h_f = 0,305 + \frac{D}{2} \quad h_f > 0,46_m$$

$$h_l = \frac{4 \cdot V_{liq}}{\pi \cdot D^2}$$

FIG 7.2, Alturas de una columna

Haciendo uso de las expresiones expuestas se obtiene que las alturas parciales son del orden de:

$$h_v = 0,914 + \frac{0,336}{2} = 1,082_m$$

$$h_f = 0,305 + \frac{0,614}{2} = 0,611_m$$

$$h_l = \frac{4 \cdot V_{liq}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot \left( \frac{Wl}{\rho l} \right)}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot \left( \frac{880,62_{Kg/h}}{804,33_{Kg/m^3}} \right)}{\pi \cdot (0,336_m)^2} = 12,37_m$$

Por tanto la altura total de la columna es de:

$$L = h_v + h_f + h_l = 1,082_m + 0,473_m + 12,370_m = 13,92_m$$

La experiencia y la bibliografía <sup>c</sup> dice que la relación longitud-diámetro debe estar comprendida entre:

$$3 < \frac{L}{D} < 5$$

En este caso  $L/D = 41,43$  por lo que se tendrá que aumentar el diámetro de la columna 50 cm para que se cumpla la relación longitud diámetro. De tal forma que las alturas parciales quedarían:

Para  $D = 0,836$

|           |       |
|-----------|-------|
| <b>hv</b> | 1,332 |
| <b>hf</b> | 0,723 |
| <b>hl</b> | 1,996 |
| <b>L</b>  | 4,051 |

**Tabla 7.15** dimensiones del evaporador EV-01

*Por lo tanto  $L/D = 4,84$ , cumpliéndose la restricción de esta relación. Por lo que en definitiva se obtiene un diámetro de columna de 0,836m y una altura de 4,051m*

### **7.6. Cálculo de espesores.**

Conocidos los datos de Presión de diseño, Diámetro interior de la tubería, la eficiencia de la soldadura (E), el sobreespesor por corrosión (c) y La tensión máxima admisible (S), se puede calcular el espesor mínimo de la envolvente para cada uno de los tanques de lavado.

Para esfuerzo longitudinal:

$$t_{xc} = \frac{P \cdot R_o}{2 \cdot SE + 0,4P} + c$$

Para esfuerzo circunferencial:

$$t_{\delta} = \frac{P.R_o}{SE - 0,6P} + c$$

Siguiendo el mismo procedimiento que el utilizado en el Anexo de Cálculo para los tanques de almacenamiento, Ver: *Diseño mecánico de tanques de almacenamiento*, se procede al cálculo de los espesores del cabezal y del casco.

| TANQUE | P <sub>diseño</sub> (psi) | S <sub>(psi)</sub> | C <sub>(mm)</sub> | D <sub>int(m)</sub> | t <sub>δx</sub> (mm) | t <sub>δφ</sub> (mm) | t <sub>final</sub> (mm) |
|--------|---------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| EV-01  | 49,781                    | 12960              | 0                 | 0,836               | 0,944                | 1,894                | 3                       |

**Tabla 7.16:** Espesor del casco del evaporador EV-01

El espesor calculado es muy bajo, pero se coge el espesor de caso de **3 mm** que es el mínimo exigido por el Código ASME para este tipo de acero.

#### 7.6.1. Cálculo del espesor de los cabezales

Para el fondo y cabezal de la columna, se elige fondo toriesférico ya que no hay mucha diferencia entre el espesor calculado para fondo semielíptico. Dentro de las tapas toriesféricas los más utilizados son: Korbogen Boden, con radios de curvaturas  $L = 0,8D_o$  y, radio menor  $r = D_o/6,5$  y Klopper Boden, con radios  $L = D_o$ ;  $r = D_o/10$ .

Se elige tipo Klopper Boden que se usan para presiones moderadas.

Espesor semielíptico:

$$t_f = \frac{P.D_i}{2.SE - 0,2P} + c$$

Espesor toriesférico:

$$t_f = \frac{P.L.M}{2.SE - 0,2P} + c$$

| TANQUE | D <sub>int(m)</sub> | t <sub>f semielíptico(mm)</sub> | L   | M    | t <sub>f toriesférico(mm)</sub> | t <sub>f final(mm)</sub> |
|--------|---------------------|---------------------------------|-----|------|---------------------------------|--------------------------|
| EV-01  | 0,836               | 1,890                           | 836 | 1,54 | 2,911                           | 3                        |

Tabla 7.17 Espesor fondo y cabezal

Tanto el caso como fondo y cabezal del evaporador EV-01 tiene de espesor **3 mm**.

#### 7.6.2. Espesor de la pared del tubo interno del intercambiador.

Para el cálculo del espesor de la pared del tubo interior del intercambiador de EV-01 según el código de diseño ASME B31.1. Power Piping viene dado en función del diámetro interno para los aceros inoxidable SS304 y SS316 según la siguiente expresión:

$$t_{(m)} = \frac{P.di + 2.SE.c + 2.y.P.c}{2.(SE + P.y - P)}$$

El valor del coeficiente “y” por lo general tiene un valor de 0,4 según la tabla 42 del anexo gráfico, los demás valores se encuentran recogidos en la tabla 7.17.1 , se considera la presión de diseño y la tensión admisible de la línea (L-10\*)

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| Tensión admisible, SE ( psi) | 14000 |
| Presión de Diseño (psi)      | 50    |

Tabla 7.17.1 Condiciones de diseño

$$t_{(m)} = \frac{50.0,05_m + 2 - 14000.0,00228 + 2.0,4.50.0,00228}{2.(14000 + 50.0,4 - 50)} = 0,0023m$$

Por lo tanto el diámetro exterior es del orden de 0,0546m y que según el catálogo de tuberías estas dimensiones se verán redefinidas en:

|        |              |
|--------|--------------|
| di(m)  | 0,058        |
| de(m)  | 0,06         |
| Sch(m) | 0,00277(10S) |

### 7.6.3. Espesores de tubuladuras

Las conexiones están sometida, además de a la presión interna, a otras tensiones que les transmiten las tuberías que llegan a ellas. Estas tensiones son debidas, básicamente a las fuerzas y momentos producidos por la dilatación térmica y a los pesos de los fluidos y de la propia línea. Por ello, todas las normas exigen para las tubuladuras unos espesores mínimos superiores a los exigidos para los otros elementos sometidos a presión.

Para el código ASME, Sección VIII, div 1, este espesor mínimo será:

$$e_{\min} = \frac{e_{Sch}}{0,875} + c_{(mm)}$$

Siendo  $e_{sch}$  el espesor nominal de la tubería según su correspondiente Schedule y "c" el sobreespesor por corrosión.

| EV-01                          |      | DN     | e <sub>sch</sub> | e <sub>min</sub> |
|--------------------------------|------|--------|------------------|------------------|
| Entrada de alimentación        | L-10 | 1/2"   | 0,00277          | 0,005166         |
| Entrada de vapor               | V-03 | 2 1/2" | 0,00574          | 0,008560         |
| Salida de alimentación (liq)   | L-12 | 1/2"   | 0,00277          | 0,005166         |
| Salida de alimentación (vapor) | L-11 | 3"     | 0,00305          | 0,005486         |
| Salida de Vapor                | V-04 | 2 1/2" | 0,00574          | 0,008560         |

Tabla 7.17.2 Espesores de tubuladuras

### 7.7. Pérdidas de Carga.

Las pérdidas de carga que se producen en esta unidad, pueden producirse primero en el intercambiador de calor y después en la columna. En la columna para efectos de cálculo se considera que la pérdida de carga es despreciable  $\Delta P=0$ , por lo tanto sólo se consideran las pérdidas en el intercambiador.

Este intercambiador está formado por una carcasa que contiene en su interior 2 tubos. Por tanto se calcula las pérdidas producidas en el interior de los tubos y por el lado de la coraza:

#### 7.7.1. Pérdidas por el lado de la coraza:

Según se estudió en el apartado 2.6 de la presente memoria la caída de presión en un haz de tubos viene dado por:

$$\Delta P = N \cdot \chi \cdot \left( \frac{\rho \cdot V_{m\acute{a}x}^2}{2} \right) \cdot f \dots (7.9)$$

$f$ : factor de fricción, recogido en gráfica 38 del anexo gráfico; viene representado en función del número de Reynolds máximo y de un parámetro geométrico ( $P_g$ ).

X: factor de corrección, recogido en gráfica 38 del anexo gráfico; viene representado en función del número de Reynolds máximo y de un parámetro geométrico ( $P_h$ ).

$V_{\max}$ : velocidad máxima del fluido dentro del haz de tubos

N: número de filas de tubos que este caso son 1.

$\rho$ : la densidad a la temperatura media del vapor (405°C) que se obtiene de la tabla 12 y 12.1 del anexo gráfico.

En un haz alineado, el fluido alcanza la velocidad máxima en la región que separa los dos tubos adyacentes, el espaciamiento entre los tubos es de 0,075m según viene representado en el apartado 7.4:

$$\frac{v_{\max}}{v_0} = \frac{P_t}{P_t - d_e} = \frac{0,075_m}{0,075_m - 0,06_m} = 5$$

$$V_0 = \frac{Wm_{(kg/s)}}{\rho_{(kg/m^3)} \cdot S_{(m^2)}}$$

Sustituyendo, se obtiene que la velocidad máxima es de:

$$V_{\max} = 5 \cdot \frac{(7500/3600)_{(kg/s)}}{13,51_{kg/m^3} (0,20_m \cdot 1,5_m)} = 2,57_{m/s}$$

Y el número de Reynolds por tanto será igual a:

$$Re_{\max} = \frac{\rho \cdot V_{\max} \cdot d_e}{\mu} = \frac{13,51_{kg/m^3} \cdot 2,57_{m/s} \cdot 0,06_m}{2,5 \cdot 10^{-5}_{kg/m.s}} = 8,3 \cdot 10^4$$

El parámetro geométrico

$$P_g = \frac{Pt}{d_e} = \frac{0,075_m}{0,06_m} = 1,25$$

Obteniéndose del gráfico 38 que:  $f = 0,3$

Con el mismo procedimiento se estima el factor de corrección, al igual que en el caso anterior vendrá dado en función del Reynolds máximo y otro parámetro geométrico ( $P_h$ );

$$P_h = \frac{Pl}{de} = \frac{0,1_m}{0,06_m} = 1,6$$

Relacionando ambos parámetros geométricos:

$$\frac{P_g}{P_h} = 0,75$$

Con este valor y el número de Reynolds, se extrae del gráfico 38 el valor del factor de corrección:

$$\chi = 1,2$$

Sustituyendo en 7.9:

$$\Delta P = 1.1,2 \cdot \left( \frac{13,51_{kg/m^3} \cdot (2,57_{m/s})^2}{2} \right) \cdot 0,3 = 16,06_{Pa}$$

$$\Delta h = \frac{16,06_{Pa}}{9,8_{m/s^2} \cdot 13,51_{kg/m^3}} = 0,12_m$$



### 7.7.2. Pérdidas en los tramos rectos de tubería.

En el interior del intercambiador se encuentran 2 tramos rectos de tubería, ambos de las mismas dimensiones, para el cálculo de las pérdidas de carga se hará uso de la ecuación de Fanning,

$$\sum F = 2f \cdot \frac{L}{di} \cdot v^2 \dots (7.10)$$

La pérdida de energía por unidad de masa  $\sum F$  está ligada a la pérdida de presión a causa del rozamiento, por la relación:

$$\sum F = \frac{\Delta p_{roz}}{\rho} = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta h}{\rho} = g \cdot \Delta h \dots (7.11)$$

El factor de fricción vendrá dado en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa, según se explica en el apartado 9.8 de la presente memoria.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot di}{\mu}$$

La densidad y la viscosidad se estimarán a la temperatura media del intercambiador 100°C.

|      | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | Viscosidad (kg/m.s) |
|------|-------------------------------|---------------------|
| Agua | 1,68                          | 12,02E-4            |

**Tabla 7.18** propiedades del agua a Tm=100°C.

La velocidad se calcula con la fracción del caudal volumétrico que se vaporiza en el intercambiador (78%), como este caudal se separa en 2 tubos, se obtiene que la velocidad en cada tubo es de:

$$Wm_{(kg/s)} = X \cdot Fm_{kmol/h} \cdot \overline{PM}_{Kg/kmol} = 0,78 \cdot 14,831_{kmol/h} \cdot 73,48_{kg/kmol} \cdot \frac{1_h}{3600_s} = 0,234_{kg/s}$$

$$v = \frac{(Wm_v / \rho) / 2}{S} = \frac{(0,234_{kg/s} / 1,68_{kg/m^3}) / 2}{\pi \cdot 0,058_m^2 / 4} = 26,4_{m/s}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot di}{\mu} = \frac{1,68_{kg/m^3} \cdot 26,4_{m/s} \cdot 0,058_m}{12,02 \cdot 10^{-4}} = 2140$$

Como el régimen de flujo es laminar el factor de fricción solo depende del número de Reynolds y se determina con la expresión:

$$f = \frac{16}{Re} = \frac{16}{2140} = 0,0075$$

Sustituyendo en 7.10:

$$\Sigma F = 2 \cdot 0,0075 \cdot \frac{1,5_m}{0,058_m} (26,4_{m/s})^2 = 270_{m^2/s^2}$$

$$\Delta h = \frac{270_{m^2/s^2}}{9,8_{m/s^2}} = 27,58_m \Rightarrow \Delta h = 2 \cdot 27,58_m = 55,17_m$$

### 7.8. Soportes de apoyo

La columna del evaporador irá soportada por patas. Al tener, un diámetro mayor a 0,75 m se dispondrá de 4 patas de apoyo<sup>J</sup> de perfiles comerciales IPN de acero al carbono.

Considerando el perfil como una columna empotrada en la base y libre en el extremo se tiene que la longitud de pandeo  $l_p = 2l$ .

En este caso, al tratarse de una columna de dimensiones reducidas se parte de un perfil de 1,5 metros de longitud y a partir de aquí se calcula la esbeltez y el coeficiente de seguridad de esbeltez necesario. Ver *Tabla 37 y 37.1 de Anexo Gráfico*.

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| Densidad líquido, kg/m <sup>3</sup> | 804,33  |
| Volumen líquido, m <sup>3</sup>     | 1,1     |
| Peso líquido, kg                    | 884,763 |
| Peso total, kg                      | 973,24  |
| $l_p$ , cm                          | 300     |

**Tabla 7.19** Características para diseño de patas EV-01

El procedimiento de cálculo para la elección del perfil IPN correspondiente al evaporador, es el mismo seguido para los tanques de almacenamiento. Ver: *Diseño mecánico de tanques de almacenamiento*.

| IPN | RADIOGIRO | AREA | ESBELTEZ | w    | $\sigma_{comp}$ CF-01 |
|-----|-----------|------|----------|------|-----------------------|
| 80  | 3,2       | 7,58 | 93,75    | 1,84 | 59,062                |
| 100 | 4,01      | 10,6 | 74,81    | 1,42 | 32,59                 |
| 120 | 4,81      | 14,2 | 63,37    | 1,24 | 21,24                 |
| 140 | 5,61      | 18,3 | 53,48    | 1,15 | 15,38                 |

**Tabla 7.20** Elección del perfil de la estructura.

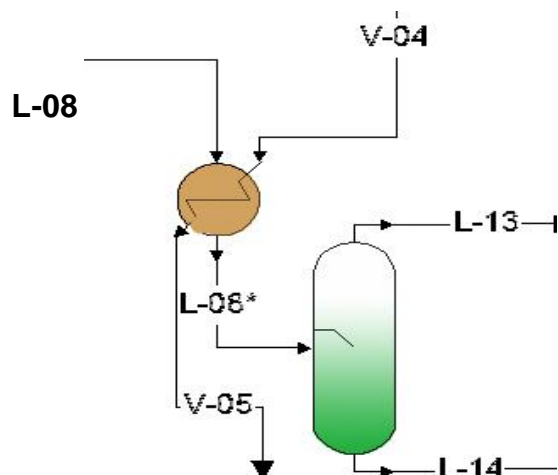
El perfil calculado para la columna de destilación flash es un perfil **IPN-80** se acero al carbono tipo A-42.

## 8. DISEÑO DEL EVAPORADOR EV-02.

La concentración de materiales altamente sensibles al calor, tales como el jugo de naranja o en nuestro caso la glicerina, requieren un tiempo mínimo de exposición a una superficie caliente. Esto se consigue con evaporadores de película descendente de un solo paso, en los que el líquido entra por la parte superior, desciende por la interior de los tubos calentados con vapor de agua, como una película, y sale por el fondo. Los tubos son largos y de 50 a 250 mm de diámetro. El vapor procedente del líquido es generalmente arrastrado hacia abajo con el líquido y sale por el fondo de la unidad. Estos evaporadores parecen largos intercambiadores tubulares verticales con un separador de líquido y vapor en el fondo y un distribuidor de líquido en la parte superior.

El principal problema de un evaporador de película descendente es la distribución uniforme del líquido como en forma de película dentro de los tubos. Esto se consigue mediante una serie de placas metálicas perforadas situadas sobre una placa tubular cuidadosamente nivelada, por medio de inserciones en los extremos de los tubos que generen un flujo uniforme en cada tubo, o mediante distribuidores tipo araña con brazos radiales que distribuyan con velocidad constante la alimentación sobre la superficie interior de cada tubo. Otra forma consiste en utilizar una boquilla individual de pulverización dentro de cada tubo.

Otra característica de este evaporador es que trabaja a vacío a una presión de 0,1 bar, para conseguir estas condiciones se disponen de dos bombas de vacío en las corrientes de salida del evaporador, es decir, una a la salida de L-13 y otra en L-14 y de una bomba de impulsión a la entrada del evaporador para evitar que el sistema este abierto, además debe utilizar un sistema de control para regular y controlar dicha presión.



### **8.1. Cálculo de la temperatura de la columna.**

Se sigue la misma metodología utilizada para los cálculos en la CF-01 (apartado 3 de la presente memoria). Este método permite conocer la máxima fracción de vapor que se puede obtener en función de sus volatilidades y se consideran las mismas hipótesis planteadas en el caso anterior. Con la peculiaridad que este evaporador se trabajará a vacío de 0,1 bar

#### *8.1.1. Estimación de las volatilidades o razones de equilibrio.*

Para poder llevar a cabo la evaporación es necesario que los componentes de la mezcla tengan distintas presiones de vapor. Cuanto más diferente sean más eficaz será la evaporación. Por ello, para conocer el grado de separación se estudia los datos de equilibrio líquido-vapor de la mezcla.

Se hará la aproximación de que las condiciones del sistema son condiciones ideales y pueden ser asumidas por la ley de Raoult ya que para casos reales la estimación de volatilidades y datos de equilibrio se hace mucho más compleja.

Se define la razón de equilibrio como la relación entre las fracciones molares de una especie en dos fases que se encuentran en equilibrio. Para el caso de vapor –líquido esta definido por:

$$Volatilidad = K = \frac{y_i}{x_i} \dots(8.1)$$

Se puede representar la razón de equilibrio o la volatilidad en función de las presiones de saturación de los componentes puros asumiendo que las condiciones de la solución son también asumidas por la ley de Dalton:

$$Volatilidad = K = \frac{P^{sat}}{P_{Operación}} \dots(8.2)$$

### 8.1.2. Presión de Saturación.

Para el cálculo de la presión de saturación se hace uso de la Ecuación de Antoine, esta ecuación está en función de tres constantes que varían para cada compuesto.

$$\text{Log}P^{sat} = A - \frac{B}{T + C}$$

| Ec. De Antoine |       |          |          |
|----------------|-------|----------|----------|
|                | A     | B        | C        |
| Metanol        | 5,158 | 1569,613 | -34,846  |
| Glicerina      | 3,937 | 1411,531 | -200,566 |

Tabla 8.1 Constantes A, B y C para la ecuación de Antoine (NIST)

Conocidas la presión de saturación de los compuestos que entran a la columna a distintas temperaturas y a la presión de operación (0,1 bar = 10000Pa) y sustituyendo en 8.2, se obtiene:

| T (K) | KMeOH  | Kgly     |
|-------|--------|----------|
| 403   | 78,534 | 0,0092   |
| 397   | 66,746 | 0,00567  |
| 389   | 53,274 | 0,0027   |
| 380   | 40,827 | 0,0011   |
| 377   | 37,246 | 0,0008   |
| 369   | 28,923 | 0,0003   |
| 359   | 20,717 | 0,0001   |
| 349   | 14,528 | 2,67E-05 |
| 341   | 10,756 | 7,69E-06 |
| 333   | 7,835  | 1,90E-06 |
| 324   | 5,373  | 3,17E-07 |
| 313   | 3,277  | 2,41E-08 |
| 303   | 2,018  | 1,47E-09 |

**Tabla 8.2** Volatilidades a la Presión de Operación de 0,1 bar

### 8.1.3. Método de cálculo de Rachford – Rice.

Para el cálculo de la temperatura de la columna se utilizará un método de tanteo de Rachford – Rice en donde sus expresiones se deducen exactamente de la misma forma que el apartado 3.3.1 y 3.3.2 de la memoria de cálculo:

Ecuación de Rachford-Rice

$$\sum_{i=1}^c y_i - \sum_{i=1}^c x_i = 0 = \sum_{i=1}^c \frac{K_i z_i}{1 + (K_i - 1) \cdot \phi} - \sum_{i=1}^c \frac{z_i}{1 + (K_i - 1) \cdot \phi} = 0$$

Entre las consideraciones adicionales a tener en cuenta se encuentran:

- La fracción de vapor  $\phi$  tendrá un valor entre 0 y 1.
- Las volatilidades de la glicerina son aproximadamente cero, para temperaturas por debajo de 380°K; vease tabla 8.2
- La temperatura de la columna no debe exceder la temperatura de descomposición del glicerol. A altas temperaturas el glicerol polimeriza, se degrada en calidad y su purificación se hace más dificultosa, por lo que la temperatura en la columna debe ser inferior a 403°K (130°C).



De la ecuación de Rachford-Rice y siguiendo la consideración (B) se obtiene que

$$\sum_{i=1}^c y_i - \sum_{i=1}^c x_i = 0$$

$$\frac{K_{MeOH} z_{MeOH}}{1 + (K_{MeOH} - 1) \cdot \phi} - \frac{z_{MeOH}}{1 + (K_{MeOH} - 1) \cdot \phi} - \frac{z_{Gly}}{(1 - \phi)} = 0$$

Despejando

$$K_{MeOH} = 1 + \frac{\frac{z_{Gly}}{(1 - \phi)}}{1 - \frac{z_{Gly} \cdot \phi}{z_{MeOH} (1 - \phi)}}$$

El tanteo se realiza suponiendo un valor de  $\phi$  entre 0 y 1, de tal forma que el valor de la volatilidad relativa corresponda a una temperatura por debajo de la temperatura de rocío y por encima de la temperatura de burbuja, por lo tanto estas temperaturas se calcularán previamente.

#### 8.1.3.1. Cálculo de la temperatura de burbuja y de la temperatura de rocío

Como es conocido, por definición, temperatura de rocío (a una presión) es la temperatura a la cual se forma la primera gota de condensado en la mezcla. Análogamente, la temperatura de burbuja es la temperatura (a una presión) a la cual se forma la primera burbuja en la mezcla. Por otra parte, definiciones equivalentes pueden darse para la presión de burbuja y rocío (a una temperatura).

Aquí interesa encontrar una forma de calcular, dada la composición inicial de la mezcla, la temperatura de burbuja y rocío respectivamente

### 8.1.3.1.1. Cálculo del punto de Burbuja

Si se aplica la definición de temperatura de burbuja y se analiza la ecuación (3.16)

Se obtiene:

$$\sum_{i=1}^{comp} K_i z_i = 1 \dots (8.3)$$

Para utilizar esta ecuación, se supone un valor de temperatura comprendido entre las temperaturas de ebullición de los compuestos puros, al estar trabajando a una presión de 0,1 bar habrá que determinar haciendo uso de la ecuación de Antoine la temperatura de ebullición de cada compuesto.

$$T_{(K)} = \frac{B}{A - \log P^{sat}} - C$$

Las constantes A, B, C se toman de la tabla 8.1, se obtiene:

| Teb(°C)   |     |
|-----------|-----|
| Metanol   | 15  |
| Glicerina | 214 |

**Tabla 8.3** Temperatura de ebullición a 0,1 bar

Los valores de  $k_i$  se obtienen a partir de un ábaco en función de la presión total conocida, o partir de los datos de presión de vapor (tabla 8.2). Si el sumatorio de los  $k_i z_i$  difiere de 1, se toma uno de las volatilidades y se divide por el valor dado en el sumatorio, es decir:

$$\frac{K_{ref}}{\sum_{i=1}^{comp} K_i z_i} = K_i'$$

Se buscan las volatilidades en la tabla 8.2 para los demás compuestos a este mismo valor de volatilidad ( $K_i'$ ) y se aplica nuevamente el sumatorio, y así sucesivamente hasta que el sumatorio de la expresión (8.3) sea igual a la unidad.

Aplicando este procedimiento se obtiene que la **temperatura de burbuja es de 30°C (303K)** y las volatilidades de cada compuesto son:

|           | $K_i$                |
|-----------|----------------------|
| Metanol   | 1,96                 |
| Glicerina | 1,437E <sup>-9</sup> |

**Tabla 8.4** Volatilidades a la Temperatura de burbuja y presión 0,1 atm

#### 8.1.3.1.2. Cálculo del punto de Rocío

El procedimiento para el cálculo del punto de rocío es análogo al del punto de burbuja pero en este caso por definición se debe encontrar la condición de equilibrio a la cual (fijada la presión) aparece la primera gota de condensado; la condición que debe cumplirse:

$$\sum_{i=1}^{comp} \frac{z_i}{k_i} = 1 \dots (8.4)$$

Nuevamente se supone una temperatura comprendida entre las temperaturas de ebullición de los compuestos puros (tabla 8.3), se localizan en la tabla 8.2 las volatilidades para cada compuesto, se calcula el sumatorio y si este difiere de uno, se toma el valor de una de las volatilidades como referencia y se multiplica por el resultado del sumatorio, es decir.

$$K_{ref} \cdot \sum_{i=1}^{comp} K_i z_i = K_i'$$

Haciendo uso nuevamente de la tabla 8.2 se busca la temperatura correspondiente a esta nueva volatilidad de referencia ( $K_i'$ ) y las volatilidades a dicha temperatura para los demás compuestos del sistema hasta que se cumpla que el sumatorio de la expresión (8.4) sea igual a la unidad

Aplicando este procedimiento se obtiene que la **temperatura de rocío es de 197 °C** (470K) y las volatilidades de cada compuesto:

| K <sub>i</sub> |      |
|----------------|------|
| Metanol        | 356  |
| Glicerina      | 0,48 |

**Tabla 8.5** Volatilidades a la temperatura de rocío y presión 0,1 atm

El tanteo se realiza suponiendo un valor de  $\phi$  entre 0 y 1, de tal forma que el valor de la volatilidad relativa corresponda a una temperatura por debajo de la temperatura de rocío (470K) y por encima de la temperatura de burbuja (303K), buscando siempre que la fracción de vapor sea lo más alta posible.

Volviendo a la ecuación:

$$K_{MeOH} = 1 + \frac{\frac{z_{Gly}}{z_{MeOH}(1-\phi)}}{1 - \frac{z_{Gly} \cdot \phi}{z_{MeOH}(1-\phi)}}$$

| T(K)   | $\phi$ | K       |
|--------|--------|---------|
| 305    | 0,1    | 2,1844  |
| 308    | 0,2    | 2,5641  |
| 313    | 0,3    | 3,3018  |
| 336    | 0,45   | 8,8709  |
| 380(*) | 0,5    | 41,6666 |
| -      | 0,6    | -4,5454 |
| -      | 0,65   | -2,5362 |
| -      | 0,7    | -1,5957 |

Tabla 8.6 Iteración

(\*) Mejor valor.

Temperatura de EV-02 ~ 380K (107°C).

En la tabla se puede observar que la fracción máxima de vapor que se puede obtener es 0,5 para fracciones de vapor mayores se obtiene volatilidades negativas es decir, por encima de este punto ya se ha evaporado todo el metanol posible.

## 8.2. Balance de materia a la unidad de Evaporación EV-02

El balance de materia vendrá definido por.

$$L - 08^{*}_{\text{alimentación columna}} = L - 13_{\text{corriente de vapor}} + L - 14_{\text{Corriente líquida}}$$

Conociendo la fracción de vapor calculada en el apartado anterior:

$$\phi = 0,5 \text{ Relación Vapor / Alimentación}$$

Se Obtiene que:

$$L - 13_{\text{Corriente vapor}} = 0,5 \cdot L - 08^{*}$$

Además, al ser la volatilidad de la glicerina tan baja;

$$Glicerina_{L-08^{*}} = Glicerina_{L-14}$$

|           | Zi    | L-08*(Kmol/h) | L-13(Kmol/h) | L-14(kmol/h) |
|-----------|-------|---------------|--------------|--------------|
| Metanol   | 0,512 | 0,998         | 0,975        | 0,023        |
| Glicerina | 0,488 | 0,952         | -            | 0,952        |
|           |       | 1,95          | 0,975        | 0,975        |

**Tabla 8.7** Balance de materia al Evaporador CF-03

### 8.2.1. Composiciones en Equilibrio.

Conocida la fracción de vapor  $\phi$  y la volatilidad se puede calcular las composiciones en equilibrio:

Para el Líquido, usando la ecuación (3.14):

$$x_{MeOH} = \frac{z_{MeOH}}{1 + (K_{MeOH} - 1)\phi} = \frac{0,512}{1 + (41,6 - 1) \cdot 0,5} = 0,024$$

$$x_{Gly} = \frac{z_{Gly}}{1 - \phi} = \frac{0,488}{1 - 0,5} = 0,976$$

Se debe cumplir la Ec (3.12)

$$\sum_{i=1}^c x_i = 1 \Rightarrow 0,024 + 0,976 = 1$$

Para el Vapor, usando la ecuación (3.15):

$$y_{MeOH} = \frac{K_{MeOH} z_{MeOH}}{1 + (K_{MeOH} - 1)\phi} = \frac{41,6 \times 0,512}{1 + (41,6 - 1) \cdot 0,5} = 0,999$$

Se debe cumplir la Ec (3.11)

$$\sum_{i=1}^c y_i = 1$$

|           | xi    | yi | L-13(Kmol/h) | L-14(kmol/h) |
|-----------|-------|----|--------------|--------------|
| Metanol   | 0,024 | 1  | 0,975        | 0,023        |
| Glicerina | 0,976 | -  | -            | 0,952        |
|           |       |    | 0,975        | 0,975        |

**Tabla 8.8** Composiciones en Equilibrio y caudales de salida de la columna.

Es importante destacar de estos resultados la elevada pureza en glicerina que se obtiene 98%, lo que la hace apta para su comercialización directa.

### **8.3. Balance de energía al Intercambiador de Calor.**

En un evaporador de efecto simple el vapor que circula por la coraza transfiere el calor necesario a través de la superficie de calentamiento para vaporizar agua de solución en ebullición. Se necesitan dos balances de entalpía, uno para el vapor de agua y otro para el lado del líquido.

Aplicando el balance de energía:

$$E = S$$

$$(L - 08)H_{L-08} + (V - 04)H_{v-04} = (V - 05)h_{v-05} + (L - 13)H_{L-13} + (L - 14)H_{L-14}$$

Se supone que no hay fugas o arrastre, por lo que las pérdidas de calor no se consideran. La corriente de vapor de agua que entra a la cámara puede ser sobrecalentada y una vez que ocurra la transferencia de calor puede que haya o no condensación del vapor.

$$(V - 04) = (V - 05)$$

Agrupando términos:

$$(V - 04)(H_{V-04} - h_{v-05}) = (L - 13)H_{L-13} + (L - 14)H_{L-14} - (L - 08)H_{L-08}$$

Para el lado del vapor:

$$Q_{ced} = (V - 04)(H_{V-04} - h_{v-05}) \dots (8.5)$$

Donde:

$Q_{ced}$  = Velocidad de transferencia de calor a través de la superficie de calentamiento (kW)

$H_{V-04}$  = Entalpía específica del vapor de agua a la entra del intercambiador. (KJ/Kmol)

$h_{v-05}$  = Entalpía específica del vapor de agua a la salida del intercambiador. (KJ/kmol)

V-04 = Caudal másico de vapor. (KJ/kmol)

Para el lado del licor:

$$Q_{absorbido} = (L - 13)H_{L-13} + (L - 14)H_{L-14} - (L - 08)H_{L-08} \dots (8.6)$$

Donde:

$Q_{ced}$  = Velocidad de transferencia de calor desde la superficie de calentamiento hacia el líquido. (kW)

$H_{L-08}$  = Entalpía específica de la solución diluida. (KJ/kmol)

$H_{L-13}$  = Entalpía específica del vapor. (KJ/kmol)

$H_{L-14}$  = Entalpía específica de la solución concentrada. (KJ/kmol)



- Entalpía específica de la solución diluida  $H_{L-08}$ :

Este término se simplifica porque la alimentación entra a la temperatura de ebullición de la mezcla por lo que no será necesario aportar calor sensible a la disolución.

- Entalpía específica del vapor  $H_{L-13}$ : Este termino costa de dos calores:

$$H_{L-13} = Q_{lat} + Q_{sensible}$$

1. Un calor latente del disolvente que se evapora, pero a una temperatura superior a la temperatura de ebullición del disolvente puro, es decir para una presión dada, la temperatura de ebullición de las soluciones es mayor que la del metanol puro. El aumento del punto de ebullición sobre el del metanol se conoce con el nombre de elevación del punto de ebullición BPE “ Boiling point elevation” de la solución ( $\Delta e$ ). Si la disolución tiene aumento apreciable en el punto de ebullición, entonces el vapor procedente de la disolución es vapor recalentado, y tomando como temperatura de referencia la temperatura de saturación, su entalpía será el calor latente a  $T_{sat}$ , más el aumento de entalpía debido al recalentamiento, y este aumento es aproximadamente igual a 0,46 veces la elevación en el punto de ebullición.<sup>F</sup>

$$\lambda_{lat} = \lambda_{lat\ MeOH\ puro} + 0,46\Delta T$$

$\lambda_{sat}$ : Calor latente de vaporización.

$\lambda_{lat\ MeOH\ puro}$ : Calor latente de vaporización del metanol puro a su temperatura de saturación y a una presión de 0,1 bar.

2. Un calor sensible para llevar el vapor desde la temperatura de ebullición de la disolución a la temperatura de la columna o temperatura de salida del vapor.

$$h_{sensible} = Cp_{MeOH_g} \cdot (T_{columna} - T_{eb_{mezcla}})$$

Por lo tanto se obtiene que la entalpía específica del vapor viene definida por:

$$H_{L-13} = \lambda_{MeOH_{puro}}^{T_{sat}} + 0,46(T_{eb_{mezcla}} - T_{sat}) + Cp_{MeOH_g} \cdot (T_{columna} - T_{eb_{mezcla}}) \dots (8.7)$$

El calor latente del disolvente (Metanol) a 0,1 bar de presión es según la tabla 29 del anexo gráfico de:

$$\lambda_{lat_{MeOH_{puro}}} = 37728_{KJ / Kmol}$$

|   |            | Referencia                              |
|---|------------|---|
| Temperatura de ebullición de la mezcla; $T_{eb_{mezcla}}(K)$  | 303(30°C)  | Temperatura de burbuja apartado 8.2.6.1 |
| Temperatura de la Columna $T_{columna}(K)$                    | 380(107°C) | Apartado 8.2.3                          |
| Temperatura de entrada; $T_{entrada}(K)$                      | 303(30°C)  | Apartado 5.3                            |
| Temperatura de saturación del Metanol a 0,1 bar; $T_{sat}(K)$ | 288(15°C)  | Tabla 29 anexo gráfico                  |

**Tabla 8.9.** Temperaturas para el cálculo de la entalpía específica del vapor.

La capacidad calorífica del metanol a la temperatura media entre la temperatura de salida y la temperatura de ebullición de la mezcla  $T_m = 342K$  (69°C) y que según la tabla 30 del anexo gráfico es de:

$$Cp_{MeOH_g} = 48,6_{KJ / KmolK}$$

La capacidad calorífica es una propiedad dependiente de la temperatura pero no de la presión ( $P^0 \rightarrow 0$ )

Sustituyendo en 8.7 se obtiene que la entalpía específica del vapor es de:

$$H_{L-13} = 37728_{KJ/Kmol} + 0,46(303 - 288) + 48,6_{KJ/KmolK} \cdot (380 - 303)K$$

$$H_{L-13} = 41477,1_{KJ/Kmol}$$

- Entalpía específica de la solución concentrada  $H_{L-14}$ : Este término constará de dos calores.

$$H_{L-14} = Q_{lat} + Q_{sensible}$$

1. Un calor de disolución o de mezclado ( $H_0$ ) que se define como el cambio de entalpía para un proceso en el que 1 mol de un soluto se disuelve en n moles de disolvente líquido. Este calor que se libera o se absorbe se gana o se pierde respectivamente en el proceso de separación, es decir es lo contrario al calor que se genera al mezclar dos compuestos si antes se libera ahora lo requiere para separarse del disolvente. En la mayoría de las soluciones de sustancias orgánicas, como para soluciones moderadamente concentradas no se produce un gran efecto térmico <sup>F</sup> se va a despreciar este término.
2. Un calor sensible para elevar la temperatura de la solución concentrada hasta la temperatura de la columna.

$$H_{L-14} = C_p_{Concentrado} \cdot (T_{columna} - T_{eb\ mezcla}) \dots (8.9)$$

La capacidad calorífica se corresponde con la promedio de la disolución concentrada, con las composiciones en equilibrio y a la temperatura media del líquido en este intervalo  $T_m=342K$  ( $69^\circ C$ ). Se toma para el metanol su capacidad calorífica como líquido saturado ya que el agua que se encuentra en el concentrado sigue siendo líquida a una temperatura por encima de su temperatura de saturación.

|           | <b><math>X_i</math></b> | <b><math>C_p</math> (J/molK)</b> | <b>Referencia</b>      |
|-----------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Metanol   | 0,024                   | 81                               | Tabla 29 Anexo gráfico |
| Glicerina | 0,976                   | 233                              | Tabla 15 Anexo gráfico |

**Tabla 8.10** Capacidades caloríficas del la solución concentrada

$$\overline{C_p}_{Concentrado} = 0,976 \cdot 233_{J/molK} + 0,024 \cdot 81_{J/molK} = 0,229_{KJ/molK}$$

Sustituyendo en la Ec. 8.9 se obtiene que la entalpía de la solución concentrada es de:

$$H_{L-14} = 0,229_{KJ/molK} \cdot (450 - 303)_K = 33663_{KJ/Kmol}$$

Introduciendo todas las entalpías calculadas en la Ec 8.6 se obtiene que el calor absorbido es igual a:

$$Q_{absorbido} = 0,975_{Kmol/h} \cdot 41477,1_{KJ/kmol} + 0,975_{Kmol/h} \cdot 33663_{KJ/kmol}$$

$$Q_{absorbido} = 73262_{KJ/h}$$

### 8.3.1. Cálculo de temperatura de salida del vapor de calentamiento.

Del balance de energía se dedujo que:

$$Q_{ced} = Q_{absorbido}$$

Por lo tanto:

$$Q_{ced} = (V - 04)(H_{v-04} - h_{v-05}) = 73262_{KJ/h}$$

De esta expresión se puede despejar el valor de la entalpía en la salida del vapor de calentamiento y así conocer las condiciones de esa corriente, es decir, saber si se ha condensado o simplemente saber la temperatura a la que sale del evaporador.

$$h_{v-05} = H_{v-04} - \frac{73262_{KJ/h}}{(V - 04)} \dots(8.10)$$

Al evaporador entra la corriente de vapor (V-04), que sale de la coraza del evaporador EV-01, ésta corriente tiene unas condiciones de presión de 40 bar, una temperatura de 666K (393°C), un caudal de 7500 kg/h y una entalpía 3194 KJ/Kg, según se cálculo en el apartado 7.3.1

$$H_{v-04} = h_{v-05} = 3194_{KJ/kg}$$

Sustituyendo en 8.10

$$h_{v-05} = 3194_{KJ/kg} - \frac{73262_{KJ/h}}{7500_{Kg/h}} = 3184_{KJ/kmol}$$

Utilizando la misma tabla 12.1 se puede ver que para una entalpía de 3184 KJ/kg la temperatura es de 662K (389°C), por lo que se concluye que con tan solo una pequeña aportación de un calor sensible del vapor en esas condiciones se consigue evaporar una gran parte del disolvente.

#### 8.4. Dimensiones características del intercambiador de calor.

Para definir las dimensiones de un evaporador hay que calcular el área de intercambio, ésta vendrá definida al igual que en casos previos de intercambiadores de calor por:

$$Q = A.U.\Delta T_{ml} \quad \text{Despejando el área se obtiene}$$

$$A = \frac{Q}{U.\Delta T_{ml}} \quad \text{Donde } Q = \text{calor cedido por el vapor obtenido en el Apartado 8.3}$$

$\Delta T_{ml}$  = Incremento medio logarítmico

- Diagrama térmico

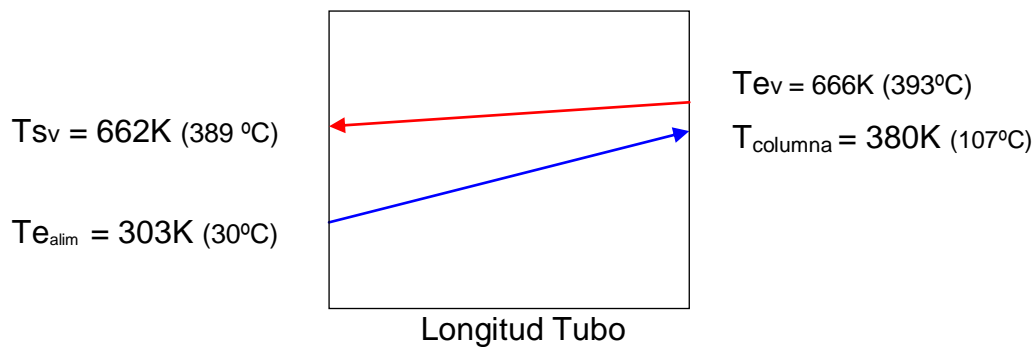


Figura 8.1. Diagrama Térmico del EV-02

A partir de éste diagrama se puede deducir la expresión del incremento medio logarítmico de temperaturas.

$$\Delta T_{ml} = \frac{((T_{s_v} - T_{entrada}) - (T_{e_v} - T_{columna}))}{\ln\left(\frac{(T_{s_v} - T_{entrada})}{(T_{e_v} - T_{columna})}\right)} . F$$

Siendo F un factor de corrección en función de la disposición de los tubos, suponiendo una coraza con varios tubos de un solo paso el factor de corrección es aproximadamente 1, según el grafico 28 del anexo gráfico.

$$\Delta T_{ml} = \frac{((662 - 303) - (666 - 380))}{\ln\left(\frac{(662 - 303)}{(666 - 450)}\right)} = 143,7$$

Debido a la dificultad de medir los elevados coeficientes de película individuales en un evaporador, por lo general los resultados experimentales se expresan en función de los coeficientes globales. Éstos están basados en la caída neta de temperatura corregida para tener en cuenta la elevación del punto de ebullición.

En la grafica 31 del anexo gráfico, se pueden ver coeficientes globales de transferencia de calor de evaporadores verticales de tubos largos, que se encuentran comúnmente en la práctica comercial. Los coeficientes más altos se encuentran cuando se evaporan soluciones diluidas y el intervalo más bajo para líquidos viscosos, la curva de guiones representa el límite inferior aproximado, para líquidos con viscosidades mayores a 0,1 Pa.s.

La mezcla metanol – glicerina a medida que se vaya evaporando el metanol va a tender hacia un rango de viscosidad elevado, por tanto se busca en la gráfica 31 a partir de la temperatura de ebullición de la mezcla a 1 bar de presión (84°C) donde corte la curva punteada, obteniéndose un coeficiente global de transmisión de calor del orden de:

$$U = 570_{W/m^2K}$$

Sustituyendo en la expresión 8.11 se obtiene un área de:

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{20,35_{Kw}}{0,570_{Kw/m^2 \cdot k} \cdot 143,7_K} = 0,25_{m^2}$$

Los evaporadores tubulares son más largos que los de la calandria; tienen por lo general de 25 a 50mm de diámetro y de 3 a 10 metros de longitud <sup>[5]</sup>

Si se fija la longitud en 3 metros para no tener un evaporador muy largo y un diámetro de 0,025 m, se obtiene un intercambiador con un haz de tubos, es decir;

$$A = n \cdot \pi \cdot D \cdot L \quad \text{Donde } n = \text{número de tubos.}$$

$$n = \frac{A}{\pi \cdot D \cdot L} = \frac{0,25_{m^2}}{\pi \cdot 0,025_m \cdot 3_m} = 0,53 \approx 1$$



### 8.5. Dimensiones características de la Columna.

Como resultado de los cálculos efectuados se dispone de datos de caudal y composición de líquido y vapor de la columna. El siguiente paso será determinar las dimensiones características de la columna como diámetro y longitud, altura de líquido, materiales etc.

Conocidas las composiciones en equilibrio en la columna y algunas propiedades de interés como el peso molecular y la densidad se determina las características de las dos corrientes efluentes de la columna.

La densidad del metanol se corresponde con la densidad del metanol como líquido saturado a las condiciones de la columna de separación (tabla 29 anexo gráfico), ya que en el concentrado contiene metanol a una temperatura por encima de su temperatura de ebullición como compuesto puro.

Para el caso de la glicerina, se intentó utilizar ecuaciones de estado y otras ecuaciones empíricas pero los resultados no tenían sentido físico. Por lo que se hará la aproximación a la densidad de la glicerina a 107°C y 1 bar, se supone que el error no será muy alto al ser un líquido y el cambio de presión bajo. Véase tabla 20 del anexo gráfico

|           | $X_i$ | L-13<br>(kmol/h) | L-14<br>(kmol/h) | PM<br>(kg/kmol) | Densidad<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------|------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|
| Metanol   | 0,024 | 0,975            | 0,023            | 32              | 795,5(*)                         |
| Glicerina | 0,976 | -                | 0,952            | 92,1            | 1209                             |

**Tabla 8.11** Propiedades de los elementos en la columna EV-02, (\*) corresponde a la densidad del metanol como líquido saturado a 0,1 bar

El cálculo de los caudales máxicos tanto de la corriente de vapor (L-13) como al de líquido (L-14) se determinan con:

$$W_v = (L-13) \cdot \overline{Pm}_v$$

$$W_l = (L-14) \cdot \overline{Pm}_l$$

En donde los pesos moleculares, son los promedios de los compuestos que lo forman, por ejemplo en la corriente líquida se encuentran presentes el metanol que no se vaporiza y la glicerina, por lo tanto el peso molecular viene dado en función de las fracciones molares de estos compuestos y de sus respectivos pesos moleculares:

$$\overline{Pm}_l = x_{MeOH} \cdot Pm_{MeOH} + x_{Gly} \cdot Pm_{Gly} = 90,658_{Kg/Kmol}$$

El peso molecular para la corriente de vapor será el del metanol puro 32 Kg/kmol

De esta manera:

$$W_g = (L-13) \cdot \overline{Pm}_g = 0,975_{Kmol/h} \cdot 32_{kg/Kmol} = 31,2_{Kg/h}$$

$$W_l = (L-14) \cdot \overline{Pm}_l = 0,975_{Kmol/h} \cdot 90,658_{Kg/Kmol} = 88,4_{Kg/h}$$

Para el diseño se utiliza un grupo adimensional denominado Parámetro de Flujo definido como:

$$Fl_g = \frac{Wl}{Wg} \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{1/2}$$

Esta expresión viene definida en función de sus caudales máxicos y de las densidades de cada corriente, para determinar estas densidades se hará el mismo análisis que para el caso de los pesos moleculares, es decir.

$$\text{Para (L-14)}_{\text{liq}}: \quad \bar{\rho}_l = x_{\text{MeOH}} \cdot \rho_{\text{MeOH}} + x_{\text{Gly}} \cdot \rho_{\text{Gly}} = 1200 \text{ Kg/m}^3$$

Y para (L-13)<sub>gas</sub>: se puede determinar haciendo uso de la ecuación de los gases ideales siendo P = 0,1 bar

$$\rho_g = \frac{P \cdot Pm_{\text{MeOH}_g}}{R \cdot T} = 0,1 \text{ Kg/m}^3$$

Conocidas todas estas propiedades se puede calcular el parámetro de flujo

$$Fl_g = \frac{84,4 \text{ Kg/h}}{31,2 \text{ Kg/h}} \cdot \left( \frac{0,1}{1200} \right)^{1/2} = 0,026$$

Por otro lado, un alto nivel de líquido en la columna, así como una alta velocidad del vapor, producen una elevada caída de presión, lo cual puede llevar a inundaciones de la columna, por esta razón es importante determinar la velocidad máxima permisible a la hora de hacer la estimación del área transversal de la columna, ésta se calcula haciendo uso de la siguiente expresión:

$$v_{\text{max}} \text{ permisible (m/s)} = 0,3048 \cdot CF \cdot \left( \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right)^{1/2}$$

Donde CF, se define como un coeficiente de inundación y depende del tipo de columna; para una columna sin platos la expresión es igual a:

$$CF = \text{EXP} \left[ A + B \cdot \text{LN}(Fl_g) + C \cdot \text{LN}(Fl_g)^2 + D \cdot \text{LN}(Fl_g)^3 + E \cdot \text{LN}(Fl_g)^4 \right]$$

|          |           |
|----------|-----------|
| <b>A</b> | -1,877478 |
| <b>B</b> | -0,81458  |
| <b>C</b> | -0,18707  |
| <b>D</b> | -0,014522 |
| <b>E</b> | -0,00101  |

**Tabla 8.12** Constantes del coeficiente de inundación

Sustituyendo en la expresión se obtiene:  $CF = 0,42$

Se calcula la velocidad máxima permisible

$$v_{\text{max permisible}} = 0,30480,42 \cdot \left( \frac{1200 - 0,1}{0,1} \right)^{1/2} = 14_{m/s}$$

Una vez fijada la velocidad máxima, es posible calcular la velocidad del vapor a través del área neta de la columna con un valor del 80 al 85 % de la velocidad de inundación para líquidos que no hacen espuma.

$$v = v_{\text{max permisible}} \cdot 0,85 = 14_{m/s} \cdot 0,85 = 12_{m/s}$$

Conocida la velocidad se calcula el área transversal de la columna:

$$A_c = \frac{Wg_{kg/h}}{v_{(m/s)} \cdot 3600_{(s/h)} \cdot \rho_g_{(kg/m^3)}}$$

$$A_c = \frac{31,2_{kg/h}}{12_{m/s} \cdot 3600_{s/h} \cdot 0,1_{Kg/m^3}} = 0,0072_{m^2}$$

El área se relaciona con el diámetro al conocer que la columna es un cilindro de sección circular:

$$D = \sqrt{\frac{4.A_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.0,0072_m^2}{\pi}} = 0,1_m$$

Al diámetro se le suele aumentar al siguiente incremento de 6"

$$D = 0,1_m + 0,1524_m = 0,25_m$$

Para el cálculo de la longitud o altura de la columna se determina la altura del líquido, la altura del vapor y la altura entre la tubería de descarga y el nivel del líquido, según se representa en el gráfico 8.2.

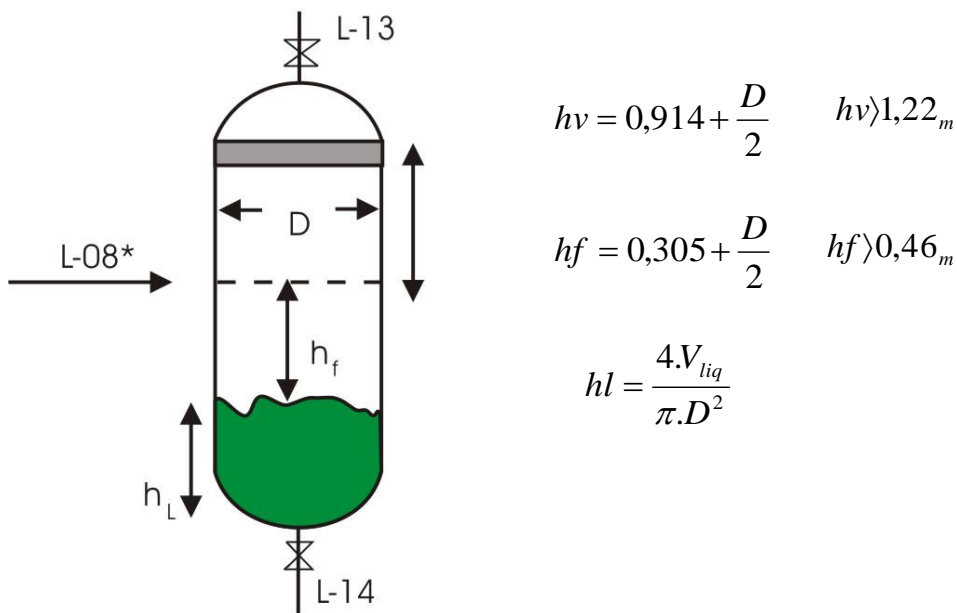


FIG 8.2 Alturas de una columna

Haciendo uso de las expresiones expuestas se obtiene que las alturas parciales son del orden de:

$$h_v = 0,914 + \frac{0,25}{2} = 0,937_m$$

$$h_f = 0,305 + \frac{0,25}{2} = 0,431$$

$$h_l = \frac{4 \cdot V_{liq}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot \left( \frac{Wl}{\rho l} \right)}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot \left( \frac{84,4_{Kg/h}}{1200_{Kg/m^3}} \right)}{\pi \cdot (0,1_m)^2} = 1,53_m$$

Por tanto la altura total de la columna es de:

$$L = h_v + h_f + h_l = 2,89_m$$

La experiencia y la bibliografía <sup>c</sup> indican que la relación longitud/diámetro debe estar comprendida entre:

$$3 < \frac{L}{D} < 5$$

En este caso  $L/D = 11,66$  y las alturas parciales no cumplen las restricciones dadas, por lo que se tiene que aumentar el diámetro de la columna 0,25 cm para que se cumpla la relación longitud-diámetro. De tal forma que las alturas parciales quedarían:

Para  $D = 0,5_m$

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| <b>h<sub>v(m)</sub></b> | 1,062 |
| <b>h<sub>f(m)</sub></b> | 0,554 |
| <b>h<sub>l(m)</sub></b> | 0,378 |
| <b>L<sub>(m)</sub></b>  | 1,99  |

**Tabla 8.13** Dimensiones del EV-02

Por lo tanto  $L/D = 4$  cumpliéndose la restricción de esta relación. En definitiva se obtiene un diámetro de columna de 0,5 m y una altura de 2 m

### 8.6. Cálculo de espesores.

Conocidos los datos de Presión de diseño, Diámetro interior de la tubería, la eficiencia de la soldadura (E), el sobreespesor por corrosión (c) y La tensión máxima admisible (S), se puede calcular el espesor mínimo de la envolvente para cada uno de los tanques de lavado.

Para esfuerzo longitudinal:

$$t_{xc} = \frac{P.R_o}{2.SE + 0,4P} + c$$

Para esfuerzo circunferencial:

$$t_{\phi c} = \frac{P.R_o}{SE - 0,6P} + c$$

Siguiendo el mismo procedimiento que el utilizado en el Anexo de Cálculo para los tanques de almacenamiento, Ver: *Diseño mecánico de tanques de almacenamiento*, se procede al cálculo de los espesores del cabezal y del casco.

| Tanque | P <sub>diseño</sub><br>(psi) | S<br>(psi) | c<br>(mm) | D <sub>int</sub><br>(m) | t <sub>ox</sub><br>(mm) | t <sub>oφ</sub><br>(mm) | t <sub>final</sub><br>(mm) |
|--------|------------------------------|------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| EV-02  | 4,9781                       | 11540      | 0         | 0,500                   | 0,063                   | 0,127                   | 3                          |

Tabla 8.14 Espesor del casco del evaporador EV-02

El espesor calculado es muy bajo, pero se coge el espesor de caso de 3 mm que es el mínimo exigido por el Código ASME para este tipo de acero.

### 8.6.1. Cálculo del espesor de los cabezales

Para el fondo y cabezal de la columna, se elige fondo toriesférico ya que no hay mucha diferencia entre el espesor calculado para fondo semielíptico. Dentro de las tapas toriesféricas los más utilizados son: Korbbogen Boden, con radios de curvaturas  $L = 0,8D_o$  y, radio menor  $r = D_o/6,5$  y Klopper Boden, con radios  $L = D_o$ ;  $r = D_o/10$ .

Se elige tipo Klopper Boden que se usan para presiones moderadas.

Espesor semielíptico:

$$t_f = \frac{P.D_i}{2.SE - 0,2P} + c$$

Espesor toriesférico:

$$t_f = \frac{P.L.M}{2.SE - 0,2P} + c$$

| TANQUE | $D_{int}(m)$ | $t_f$ semielíptico(mm) | L   | M    | $t_{ftoriesférico}(mm)$ | $t_f$ final(mm) |
|--------|--------------|------------------------|-----|------|-------------------------|-----------------|
| EV-02  | 0,500        | 0,127                  | 500 | 1,54 | 2,591                   | 3               |

Tabla 8.15: Espesor fondo y cabezal

Tanto el casco, fondo y cabezal del evaporador EV-02 tiene de espesor **3 mm**.

### 8.6.2. Espesor de la pared del tubo interno del intercambiador

Para el cálculo del espesor de la pared del tubo interior del intercambiador de EV-02 según el código de diseño ASME B31.1. Power Piping viene dado en función del diámetro interno para los aceros inoxidables SS304 y SS316 según la siguiente expresión:



$$t_{(m)} = \frac{P.di + 2.SE.c + 2.y.P.c}{2.(SE + P.y - P)}$$

El valor del coeficiente “y” por lo general tiene un valor de 0,4 según la tabla 42 del anexo gráfico, los demás valores se encuentran recogidos en la tabla 8.15.1, se considera la presión de diseño y la tensión admisible de la línea (L-08\*).

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| Tensión admisible, SE ( psi) | 14000 |
| Presión de Diseño (psi)      | 50    |

**Tabla 8.15.1** Condiciones de diseño

$$t_{(m)} = \frac{50.0,05_m + 2 - 14000.0,00228 + 2.0,4.50.0,00228}{2.(14000 + 50.0,4 - 50)} = 0,0023m$$

Por lo tanto el diámetro exterior es del orden de 0,0546m y según el catálogo de tuberías estas dimensiones son redefinidas en:

|        |              |
|--------|--------------|
| di(m)  | 0,058        |
| de(m)  | 0,06         |
| Sch(m) | 0,00277(10S) |

### 8.6.3. Espesores de tubuladuras

Las conexiones están sometidas, además de a la presión interna, a otras tensiones que les transmiten las tuberías que llegan a ellas. Estas tensiones son debidas, básicamente a las fuerzas y momentos producidos por la dilatación térmica y a los pesos de los fluidos y de la propia línea. Por ello,

todas las normas exigen para las tubuladuras unos espesores mínimos superiores a los exigidos para los otros elementos sometidos a presión.

Para el código ASME, Sección VIII, div 1, este espesor mínimo será:

$$e_{\min} = \frac{e_{Sch}}{0,875} + c_{(mm)}$$

Siendo  $e_{sch}$  el espesor nominal de la tubería según su correspondiente Schedule y "c" el sobreespesor por corrosión.

| EV-02                          |      | DN     | esch    | emin     |
|--------------------------------|------|--------|---------|----------|
| Entrada de alimentación        | L-08 | 1/8"   | 0,00242 | 0,004766 |
| Entrada de vapor               | V-04 | 2 1/2" | 0,00574 | 0,011299 |
| Salida de alimentación (liq)   | L-14 | 1/8"   | 0,00242 | 0,004766 |
| Salida de alimentación (vapor) | L-13 | 2 1/2" | 0,00305 | 0,005486 |
| Salida de Vapor                | V-05 | 2 1/2" | 0,00574 | 0,011299 |

**Tabla 8.15.2** Espesores de tubuladuras

### **8.7. Pérdidas de carga.**

Las pérdidas de carga que se producen en esta unidad, pueden producirse primero en el intercambiador de calor y después en la columna. En la columna para efectos de cálculo se considera que la pérdida de carga es despreciable  $\Delta P=0$ , por lo tanto solo se considera las pérdidas en el intercambiador.

Este intercambiador está formado por dos tubos concéntricos. Por tanto se calcula las pérdidas producidas en la tubería interior y exterior:

### 8.7.1. Pérdidas de carga en la tubería exterior.

La consideración adicional a tener en cuenta además de las ya expresadas en el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías rectas utilizadas varias veces, es la de sección anular de la tubería, por lo que se sigue el mismo procedimiento que el utilizado en el intercambiador de calor de la alimentación de metanol.

El diámetro hidráulico es de:

$$D_h = Di - de = 0,15_m - 0,06_m = 0,09_m$$

La caída de presión viene dada según <sup>G</sup> por la Ecuación de Fanning en función del Diámetro hidráulico:

$$\Sigma F = 2f \cdot \frac{L}{D_h} \cdot v^2$$

El factor de fricción viene dado en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu}$$

De la tabla 12 y 12.1 del anexo gráfico (Propiedades del vapor a 40 bar y la temperatura media del vapor 664 K) se obtiene el valor de la viscosidad y de la densidad

$$v_{(m/s)} = \frac{Qv_{vapor} (m^3/s)}{S_{m^2}} = \frac{7500_{Kg/h} / 13,8_{kg/m^3}}{\pi \cdot (0,15_m^2 - 0,06_m^2) / 4} = 10,17_{m/s}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu} = \frac{13,8_{kg/m^3} \cdot 10,17_{m/s} \cdot 0,09m}{2,44 \cdot 10^{-5}_{kg/m.s}} = 5,17 \cdot 10^5$$

Según la tabla 35 del anexo gráfico la rugosidad relativa para tubos de acero comerciales es de:

$$\frac{\varepsilon}{dh} = 0,0004$$

Con el número de Reynolds, la rugosidad relativa y el diagrama de Moody, que se encuentra en el punto 39 del anexo gráfico, se obtiene que el factor de fricción es de:

$$f = 0,005$$

Sustituyendo en la Ec de Fanning:

$$\Sigma F = 2.0,005 \cdot \frac{3_m}{0,09_m} \cdot (10,17_{m/s})^2 = 34,5_{m^2/s^2}$$

$$\Delta h = \frac{34,5_{m^2/s^2}}{9,8_{m/s^2}} = 3,5_m$$

### 8.7.2. Pérdidas de carga en la tubería interior.

En este tramo de tubería se considera 3 metros de tubo recto, tomándose los datos de densidad y viscosidad a la temperatura media entre la entrada y la salida (341,4 K). A pesar de que en estas líneas de flujo coexisten dos fases se toma para su diseño siempre las condiciones de la fase gaseosa ya que con ésta se obtiene un resultado más desfavorable.

$$Re_D = \frac{G \cdot d_i}{\mu} \quad \text{Donde:} \quad G = \frac{Wm}{As}$$

$$Wm_{(kg/s)} = Fm_{kmol/h} \cdot \overline{PM}_{Kg/kmol} = 1,95_{kmol/h} \cdot 61,33_{kg/kmol} \cdot \frac{1_h}{3600_s} = 0,033_{kg/s}$$

Se vaporiza un 50% del caudal de alimentación:

$$Wm_g (kg/s) = 0,5 \cdot 0,033_{kg/s} = 0,0165_{kg/s}$$

$$G = \frac{Wm_g}{S} = \frac{0,0165_{kg/s}}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,058^2)_{m^2}} = 6,24_{kg/m^2 \cdot s}$$

Se obtiene la densidad y viscosidad del metanol de la tabla 33 del anexo gráfico, tomándose la viscosidad a la presión de 1 bar.

|         | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | Viscosidad (kg/m.s) |
|---------|-------------------------------|---------------------|
| Metanol | 0,14                          | 3,15E-4*            |

**Tabla 8.16** Propiedades del metanol

Se puede obtener el número de Reynolds.

$$Re_D = \frac{G \cdot d_i}{\mu} = \frac{6,24_{kg/m^2 \cdot s} \cdot 0,058_m}{3,15 \cdot 10^{-4}_{Pa \cdot s}} = 1150$$

La velocidad se calcula con el caudal del metanol que se vaporiza:

$$v_{(m/s)} = \frac{(Wm_g (kg/s) / \rho_{(Kg/m^3)})}{S_{(m^2)}} = \frac{0,0165_{kg/s} / 0,14_{kg/m^3}}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,058^2)_{m^2}} = 45_{m/s}$$

Como el régimen de flujo es laminar el factor de fricción se determina con:

$$f = \frac{16}{Re} = \frac{16}{1150} = 0,014$$

Sustituyendo en la Ec de Fanning:

$$\Sigma F = 2.0,014 \cdot \frac{3_m}{0,058_m} \cdot (45_{m/s})^2 = 2932_{m^2/s^2}$$

$$\Delta h_1 = \frac{2932_{m^2/s^2}}{9,8_{m/s^2}} = 300_m$$

### 8.8. Soportes de apoyo.

La columna del evaporador (EV-02) irá soportado por patas. Al tener, un diámetro menor a 0,75 m y tener las dimensiones muy pequeñas, se dispondrán sólo de 2 patas de apoyo<sup>J</sup> de perfiles comerciales IPN de acero al carbono.

Considerando el perfil como una columna empotrada en la base y libre en el extremo se tiene que la longitud de pandeo  $l_p = 2l$ .

En este caso, al tratarse de una columna de dimensiones reducidas se parte de un perfil de 1 metro de longitud y a partir de aquí se calcula la esbeltez y el coeficiente de seguridad de esbeltez necesario. Ver 37 y 37.1 del anexo gráfico

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| Densidad líquido, kg/m <sup>3</sup> | 1200 |
| Volumen líquido, m <sup>3</sup>     | 0,07 |
| Peso líquido, kg                    | 84   |
| Peso total, kg                      | 92,4 |
| lp, cm                              | 200  |

Tabla 8.17 Características para diseño de patas EV-02

El procedimiento de cálculo para la elección del perfil IPN correspondiente al evaporador, es el mismo seguido para los tanques de almacenamiento. Ver: *Diseño mecánico de tanques de almacenamiento apartado 1.8*

| IPN | RADIOGIRO | AREA | ESBELTEZ | w    | $\sigma_{comp}$ CF-01 |
|-----|-----------|------|----------|------|-----------------------|
| 80  | 3,2       | 7,58 | 62,50    | 1,24 | 7,558                 |
| 100 | 4,01      | 10,6 | 49,88    | 1,13 | 4,925                 |
| 120 | 4,81      | 14,2 | 41,58    | 1,08 | 3,514                 |
| 140 | 5,61      | 18,3 | 35,65    | 1,06 | 2,676                 |

**Tabla 8.18** Elección del perfil de la estructura

El perfil calculado para evaporador EV-02 es un perfil **IPN-80** de acero al carbono tipo A-42.

## 9. DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERIAS DEL PROCESO.

Los fluidos se transportan por lo general en tuberías o tubos, los cuales tienen una sección transversal disponible en una variedad de tamaños, espesores de pared y materiales de construcción. Las tuberías y tubos se clasifican en función de su diámetro y de su espesor de pared.

En las tuberías de acero, los diámetros nominales estándar, están comprendidos en un intervalo de 1/8 a 30 pulgadas, para tuberías grandes los diámetros nominales son los diámetros externos reales; para las tuberías pequeñas el diámetro nominal no corresponde a ninguna dimensión real. Estos tamaños estándar para las tuberías de acero se conocen como IPS (iron pipe size) o NPS (normal pipe size).

El espesor de la pared de una tubería está indicado por el número de Schedule el cual aumenta con el espesor, (5S, 10S, 40S, 80S, 160S)

Los materiales para la construcción de tuberías son muy diversos, los sistemas de tuberías de metales ferrosos que incluyen los aceros maleables, al carbono e inoxidable, son los que más se utilizan y tienen mayor cobertura de parte de los códigos de diseño. Su clasificación se basa fundamentalmente en la composición química del material (porcentaje de carbono, porcentaje de azufre y fósforo, porcentaje de componentes que mejoran las cualidades del acero tales como silicio, molibdeno, cromo y níquel) y en sus propiedades mecánicas (carga de rotura, límite elástico, alargamiento y resistencia). En la elección del tipo de acero se debe tener en cuenta:

- La resistencia mecánica según la temperatura (ruptura y fluencia).
- La resistencia a la corrosión.
- La resistencia a la oxidación.



### **9.1. Procedimiento de diseño de tuberías**

El diseño de un sistema de tuberías consiste en el diseño de sus tuberías, bridas, válvulas, accesorios, filtros, etc. También incluye el diseño de los elementos de soporte, tales como zapatas, resortes y colgantes, pero no incluye el de estructuras para fijar los soportes, tales como fundaciones, armaduras o pórticos de acero.

La lista siguiente muestra los pasos que deben seguirse en el diseño mecánico de cualquier sistema de tuberías:

- a) Establecimiento de las condiciones de diseño incluyendo presión, temperaturas y otras condiciones como, gradientes térmicos etc.
- b) Se impone una velocidad de flujo en el interior de la tubería. En el caso de líquidos y del vapor, la velocidad supuesta se selecciona a partir de valores típicos tabulados en la bibliografía ( tabla 32 del anexo gráfico)
- c) Determinación del diámetro de la tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido.
- d) Selección de los materiales de la tubería con base en corrosión, fragilización y resistencia.
- e) Cálculo del espesor mínimo de pared (Schedule) para las temperaturas y presiones de diseño, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido.
- f) Selección de las clases de "rating" de bridas y válvulas.

## **9.2. Normas de diseño**

Las normas más utilizadas en el análisis de sistemas de tuberías son las normas conjuntas del American Estándar Institute y la American Society of Mechanical Engineers ANSI/ASME B31.1, B31.3, etc. Cada uno de estos códigos recoge la experiencia de numerosas empresas especializadas, investigadores, ingenieros de proyectos e ingenieros de campo en áreas de aplicación específicas, a saber:

- B31.1. (1989) Power Piping
- B31.3 (1990) Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping
- B31.4 (1989) Liquid Transportation System for Hydrocarbons, Petroleum Gas, Anhydrous Ammonia and Alcohols
- B31.5 (1987) Refrigeration Piping
- B31.8 (1989) Gas Transmission and Distribution Piping System
- B31.9 (1988) Building Services Piping
- B31.11 (1986) Slurry Transportation Piping System

En lo que concierne al diseño todas las normas son muy parecidas, existiendo algunas discrepancias con relación a las condiciones de diseño, al cálculo de los esfuerzos y a los factores admisibles. El estándar de tuberías más importante y de uso más frecuente es el código para tuberías a Presión B.31. Este código es una guía de los mínimos requerimientos para el diseño, y como tal, permite al diseñador tomar rápidas decisiones en los problemas referentes a este aspecto, con la seguridad de que sus decisiones serán aceptadas.

### **9.3. Cálculo de los caudales volumétricos de cada tubería.**

Conocidas las condiciones de operación de cada línea de flujo, los caudales másicos y la imposición de la velocidad de flujo según la tabla 32 del anexo gráfico se puede estimar la densidad y el caudal volumétrico de cada línea.

Con la presión, la temperatura y las composiciones de cada línea se determinan las densidades. La mayoría de ellas calculadas previamente en el estudio de cada unidad de proceso.

Conocida la densidad y el caudal másico se determina el caudal volumétrico de la siguiente manera.

$$Qv_{(m^3/h)} = \frac{Wm_{(kg/h)}}{\rho_{(kg/m^3)}}$$

Los resultados se encuentran recogidos en la tabla 9.2 de la presente memoria para la línea principal del proceso, en la tabla 9.6 para la línea de vapor, y en la tabla 9.10 para la línea de agua.

### **9.4. Cálculo del diámetro nominal y del espesor de tubería.**

Una vez conocido el caudal volumétrico de cada corriente, y según la expresión:

$$S_{(m^2)} = \frac{Qv_{(m^3/s)}}{V_{(m/s)}}$$

De igual manera la sección se define como:

$$S_{(m^2)} = \frac{\pi \cdot di^2}{4}$$

Relacionando ambas expresiones se obtiene que el diámetro interno de la tubería es de:

$$di_{(m)} = \sqrt{\frac{4.Q_v}{\pi.V}}$$

Para poder utilizar las tablas de dimensiones de tuberías para aceros inoxidables de acuerdo con ASME 36.19M se ha de estimar previamente el diámetro exterior, para ello se requerirá deducir el espesor de tubería, que según el código de diseño ASME B31.1. Power Piping viene dado en función del diámetro interno para los aceros inoxidables SS304 y SS316 según la siguiente expresión:

$$t_{(m)} = \frac{P.di + 2.SE.c + 2.y.P.c}{2.(SE + P.y - P)}$$

Para las tuberías de acero aleado INCONEL 625 se usará la misma expresión que la usada en la estimación del espesor de pared del reactor, código ASME 31.3 Process Piping por las elevadas condiciones en estos tramos de tubería.

$$t_{(m)} = \frac{di + 2.c}{2} \cdot \left[ \text{EXP}\left(\frac{1,155 \times P}{S}\right) - 1 \right]$$

Donde:

P: Presión de Diseño, (psi)

di: Diámetro interior, (m)

SE: Tensión máxima admisible (psi); donde E (Eficacia de soldadura) para tuberías sin costura en los materiales seleccionados es de 1, según tabla 9 del anexo gráfico.

y: Coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura. Para acero a temperaturas de servicio inferiores a 900°F se toma  $y = 0,4$ ., ver tabla 42 del anexo gráfico.

c: sobreespesor de corrosión. En general, este valor será de 2mm para aceros inoxidables, para el acero aleado INCONEL 625 tiene un valor de 0, por su elevada resistencia a la corrosión, (m)

Conocido el espesor y el diámetro interior se obtiene el diámetro exterior

$$D_{(m)} = di_{(m)} + 2.t_{(m)}$$

Haciendo uso de la tabla 11 del anexo gráfico se obtiene el diámetro nominal y el Schedule correspondiente. Los números de Schedule son la gama de espesores comerciales para las distintas presiones internas a las que se puede someter una tubería a nivel industrial.

Obtenidos el espesor y el diámetro externo comercial se puede determinar el diámetro interno real y así mismo calcular la velocidad flujo real en cada tramo de tubería.

$$V_{(m/s)} = \frac{4.Qv_{(m^3/s)}}{\pi.di^2}$$

Los resultados se encuentran recogidos en la tabla 9.3 y 9.4 de la presente memoria para la línea principal del proceso, en la tabla 9.7 y 9.8 para la línea de vapor, y en la tabla 9.11 y 9.12 para la línea de agua.

**9.5. Red de tuberías de la línea principal de proceso.**

| TUBERÍA | UBICACIÓN  |
|---------|--|
| L-01    | Tubería de descarga de metanol desde el tanque de almacenamiento T1 a la bomba de alta presión de acero inoxidable SS 304          |
| L-01    | Tubería de alimentación de metanol al intercambiador de calor IC-01, de acero aleado INCONEL 625                                   |
| L-02    | Tubería de descarga de aceite de colza desde el tanque de almacenamiento T2 a la bomba de alta presión, de acero inoxidable SS 304 |
| L-02    | Tubería de alimentación de aceite de colza al reactor R-01, de acero aleado INCONEL 625  |
| L-03    | Tubería de alimentación de metanol al reactor R-01, de acero aleado INCONEL 625  |
| L-04    | Tubería de descarga del reactor R-01 a la válvula de despresurización, de acero aleado INCONEL 625                                 |
| L-05    | Tubería desde la válvula despresurizadora a la columna de destilación flash CF-01, acero inoxidable SS 304                         |
| L-06    | Tubería de descarga de la corriente líquida de la columna CF-01 al decantador, de acero inoxidable SS 304                          |
| L-07    | Tubería de descarga de la corriente gaseosa de la columna CF-01 al condensador IC-02, de acero inoxidable SS 304                   |
| L-08    | Tubería de descarga de la fase pesada del decantador D-01 al evaporador EV-02, de acero inoxidable SS 304                          |
| L-08*   | Tubería desde el intercambiador de calor del evaporador EV-02 a la entrada de la columna de separación, de acero inoxidable SS 304 |
| L-09    | Tubería de descarga de la fase ligera del decantador D-01 a los tanques de lavado, de acero inoxidable SS 304                      |
| L-10    | Tubería desde los tanques de lavado al evaporador EV-01, de acero inoxidable SS 304  |
| L-10*   | Tubería desde el intercambiador de calor del evaporador EV-01 a la entrada de la columna de separación, de acero inoxidable SS 316 |
| L-11    | Tubería de descarga de la corriente gaseosa del evaporador EV-01, de acero inoxidable SS 316                                       |
| L-12    | Tubería de descarga de la corriente líquida del evaporador EV-01, de acero inoxidable SS 316                                       |
| L-13    | Tubería de descarga de la corriente gaseosa del evaporador EV-02, de acero inoxidable SS 304                                       |
| L-14    | Tubería de descarga de la corriente líquida del evaporador EV-02, de acero inoxidable SS 304                                       |

**Tabla 9.1** Identificación de cada línea de la corriente principal de proceso.

- Caudales volumétricos de cada tramo de la línea principal.

| Identificador | T(°C) | Presión (bar) | V(m/s) | Wm(kg/h) | Dens(kg/m <sup>3</sup> ) | QV(m <sup>3</sup> /s) |
|---------------|-------|---------------|--------|----------|--------------------------|-----------------------|
| L-01`         | 25    | 1             | 1,5    | 1984,000 | 789,000                  | 0,00070               |
| L-01          | 25    | 450           | 1,5    | 1984,000 | 822,000                  | 0,00067               |
| L-02`         | 25    | 1             | 1,5    | 873,000  | 908,000                  | 0,00027               |
| L-02          | 25    | 450           | 1,5    | 873,000  | 926                      | 0,00026               |
| L-03          | 425   | 450           | 1,5    | 1984,000 | 283,260                  | 0,00195               |
| L-04          | 370   | 450           | 1,5    | 2857,000 | 396,000                  | 0,00200               |
| L-05          | 100   | 1             | 30     | 2857,000 | 1,046                    | 0,75871               |
| L-06          | 100   | 1             | 1,5    | 1012,589 | 870,000                  | 0,00032               |
| L-07          | 100   | 1             | 30     | 1833,532 | 1,046                    | 0,48692               |
| L-08          | 30    | 0,1           | 1,5    | 119,600  | 1014,000                 | 0,00003               |
| L-08*         | 107   | 0,1           | 30     | 119,600  | 0,100 <sup>a</sup>       | 0,33222               |
| L-09          | 30    | 1             | 1,5    | 895,100  | 863,000                  | 0,00029               |
| L-10          | 25    | 1             | 1,5    | 1090,000 | 974,000                  | 0,00031               |
| L-10*         | 177   | 1             | 30     | 1090,000 | 0,487 <sup>a</sup>       | 0,62172               |
| L-11          | 177   | 1             | 30     | 208,220  | 0,487                    | 0,11877               |
| L-12          | 177   | 1             | 1,5    | 880,620  | 804,500                  | 0,00030               |
| L-13          | 107   | 0,1           | 30     | 31,200   | 0,100                    | 0,08667               |
| L-14          | 107   | 0,1           | 1,5    | 84,400   | 1200,000                 | 0,00002               |

Tabla 9.2 Caudales volumétricos

- a. A pesar de que en estas líneas de flujo coexisten dos fases se toma para su diseño siempre las condiciones de la fase gaseosa ya que con ésta se obtiene un resultado más desfavorable y además en algunos de estos casos la fracción de gas o vapor es mayor que la de líquido.

- Supercrítico.

- Vacío

- Diámetro nominal y Espesor de tubería

| Identificador | T(°C) | Material    | SE(psi) | P <sub>diseño</sub> (psi) | D <sub>i</sub> (m) | t <sub>min</sub> (m) | D(m)  | DN     | D <sub>real</sub> (m) | 5S      | Schedule |         |         |
|---------------|-------|-------------|---------|---------------------------|--------------------|----------------------|-------|--------|-----------------------|---------|----------|---------|---------|
|               |       |             |         |                           |                    |                      |       |        |                       |         | 10S      | 40S     | 80S     |
| L-01`         | 25    | SS 304      | 18800   | 50                        | 0,024              | 0,0023               | 0,029 | 1"     | 0,033                 |         | 0,00277  |         |         |
| L-01          | 25    | INCONEL 625 | 40000   | 7251                      | 0,024              | 0,0028               | 0,029 | 1"     | 0,033                 |         | 0,00277  |         |         |
| L-02`         | 25    | SS 304      | 18800   | 50                        | 0,015              | 0,0023               | 0,020 | 1/2"   | 0,021                 |         |          | 0,00277 |         |
| L-02          | 25    | INCONEL 625 | 40000   | 7251                      | 0,015              | 0,0017               | 0,018 | 1/2"   | 0,021                 |         |          | 0,00277 |         |
| L-03          | 425   | INCONEL 625 | 37400   | 7251                      | 0,041              | 0,0051               | 0,051 | 2"     | 0,060                 |         |          |         | 0,00554 |
| L-04          | 370   | INCONEL 625 | 37400   | 7251                      | 0,041              | 0,0052               | 0,052 | 2"     | 0,060                 |         |          |         | 0,00554 |
| L-05          | 100   | SS 304      | 15700   | 50                        | 0,179              | 0,0026               | 0,185 | 8"     | 0,219                 | 0,00277 |          |         |         |
| L-06          | 100   | SS 304      | 15700   | 50                        | 0,017              | 0,0023               | 0,021 | 1/2"   | 0,021                 |         |          | 0,00277 |         |
| L-07          | 100   | SS 304      | 15700   | 50                        | 0,144              | 0,0025               | 0,149 | 6"     | 0,168                 | 0,00277 |          |         |         |
| L-08          | 30    | SS 304      | 18800   | 50                        | 0,005              | 0,0023               | 0,010 | 1/8"   | 0,010                 |         |          |         | 0,00242 |
| L-08*         | 107   | SS 304      | 15300   | 50                        | 0,119              | 0,0025               | 0,124 | 5"     | 0,141                 | 0,00277 |          |         |         |
| L-09          | 30    | SS 304      | 18800   | 50                        | 0,016              | 0,0023               | 0,020 | 1/2"   | 0,021                 |         |          | 0,00277 |         |
| L-10          | 25    | SS 304      | 18800   | 50                        | 0,016              | 0,0023               | 0,021 | 1/2"   | 0,021                 |         |          | 0,00277 |         |
| L-10*         | 177   | SS 316      | 14000   | 50                        | 0,162              | 0,0026               | 0,168 | 6"     | 0,168                 | 0,00277 |          |         |         |
| L-11          | 177   | SS 316      | 14000   | 50                        | 0,071              | 0,0024               | 0,076 | 3"     | 0,089                 |         | 0,00305  |         |         |
| L-12          | 177   | SS 316      | 14000   | 50                        | 0,016              | 0,0023               | 0,021 | 1/2"   | 0,021                 |         |          | 0,00277 |         |
| L-13          | 107   | SS 304      | 15300   | 50                        | 0,061              | 0,0024               | 0,065 | 2 1/2" | 0,073                 |         | 0,00305  |         |         |
| L-14          | 107   | SS 304      | 15300   | 50                        | 0,004              | 0,0023               | 0,009 | 1/8"   | 0,010                 |         |          |         | 0,00242 |

Tabla 9.3 Diámetro Nominal y espesor de tubería.

- los valores del sobreespesor de corrosión para SS304 y para SS316 es de 0,00228m
- el valor de "y" es de 0,4 según tabla 42 del anexo gráfico



- Cálculo del diámetro interior y de la velocidad real del fluido.

| Identificador | Qv(m <sup>3</sup> /s) | DN     | D <sub>real</sub> (m) | 5S      | 10S     | 40S     | 80S     | d <sub>i</sub> <sub>real</sub> (m) | V <sub>real</sub> (m/s) |
|---------------|-----------------------|--------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|------------------------------------|-------------------------|
| L-01`         | 0,00070               | 1"     | 0,033                 |         | 0,00277 |         |         | 0,028                              | 1,146                   |
| L-01          | 0,00067               | 1"     | 0,033                 |         | 0,00277 |         |         | 0,028                              | 1,100                   |
| L-02`         | 0,00027               | 1/2"   | 0,021                 |         |         | 0,00277 |         | 0,016                              | 1,369                   |
| L-02          | 0,00026               | 1/2"   | 0,021                 |         |         | 0,00277 |         | 0,016                              | 1,342                   |
| L-03          | 0,00195               | 2"     | 0,060                 |         |         |         | 0,00554 | 0,049                              | 1,022                   |
| L-04          | 0,00200               | 2"     | 0,060                 |         |         |         | 0,00554 | 0,049                              | 1,052                   |
| L-05          | 0,75871               | 8"     | 0,219                 | 0,00277 |         |         |         | 0,213                              | 21,201                  |
| L-06          | 0,00032               | 1/2"   | 0,021                 |         |         | 0,00277 |         | 0,016                              | 1,657                   |
| L-07          | 0,48692               | 6"     | 0,168                 | 0,00277 |         |         |         | 0,163                              | 23,403                  |
| L-08          | 0,00003               | 1/8"   | 0,010                 |         |         |         | 0,00242 | 0,005                              | 1,399                   |
| L-08*         | 0,33222               | 5"     | 0,141                 | 0,00277 |         |         |         | 0,135                              | 23,053                  |
| L-09          | 0,00029               | 1/2"   | 0,021                 |         |         | 0,00277 |         | 0,016                              | 1,477                   |
| L-10          | 0,00031               | 1/2"   | 0,021                 |         |         | 0,00277 |         | 0,016                              | 1,594                   |
| L-10*         | 0,62172               | 6"     | 0,168                 | 0,00277 |         |         |         | 0,163                              | 29,883                  |
| L-11          | 0,11877               | 3"     | 0,089                 |         | 0,00305 |         |         | 0,083                              | 22,057                  |
| L-12          | 0,00030               | 1/2"   | 0,021                 |         |         | 0,00277 |         | 0,016                              | 1,559                   |
| L-13          | 0,08667               | 2 1/2" | 0,073                 |         | 0,00305 |         |         | 0,067                              | 24,656                  |
| L-14          | 0,00002               | 1/8"   | 0,010                 |         |         |         | 0,00242 | 0,005                              | 0,834                   |

Tabla 9.4 Diámetro interior y velocidad real del fluido.

### 9.6. Red de tuberías de la línea de vapor.

| TUBERÍA | UBICACIÓN  |
|---------|--|
| V-01    | Tubería de alimentación de vapor sobrecalentado al intercambiador de calor IC-01, de acero inoxidable SS 316             |
| V-02    | Tubería de salida del vapor del intercambiador de calor IC-01 y alimentación al reactor R-01, de acero inoxidable SS 316 |
| V-03    | Tubería de salida del vapor del reactor R-01 y alimentación al evaporador EV-01, de acero inoxidable SS 316              |
| V-04    | Tubería de salida del vapor del evaporador EV-01 y alimentación al evaporador EV-02, de acero inoxidable SS 316          |
| V-05    | Tubería de salida del vapor del evaporador EV-02, de acero inoxidable SS 316   |

**Tabla 9.5** Identificación de cada línea de la corriente de vapor.

- Caudales volumétricos de cada tramo de la línea de vapor.

| Identificador | T(°C) | Presión(bar) | V(m/s) | Wm(kg/h) | Dens(kg/m <sup>3</sup> ) | QV(m <sup>3</sup> /s) |
|---------------|-------|--------------|--------|----------|--------------------------|-----------------------|
| V-01          | 505   | 40           | 60     | 7500     | 12,000                   | 0,1736                |
| V-02          | 425   | 40           | 60     | 7500     | 13,150                   | 0,1584                |
| V-03          | 416   | 40           | 60     | 7500     | 13,250                   | 0,1572                |
| V-04          | 393   | 40           | 60     | 7500     | 13,800                   | 0,1509                |
| V-05          | 389   | 40           | 60     | 7500     | 13,900                   | 0,1498                |

**Tabla 9.6** Caudales Volumétricos

- Diámetro nominal y Espesor de tubería.

| Identificador | T(°C) | Material | SE(ψ) | P <sub>diseño</sub> (ψ) | Di(m)  | t <sub>cal</sub> (m) | D(m)   | DN     | D <sub>real</sub> (m) | Schedule 40S |
|---------------|-------|----------|-------|-------------------------|--------|----------------------|--------|--------|-----------------------|--------------|
| V-01          | 505   | SS 316   | 15400 | 650                     | 0,0606 | 0,0036               | 0,0681 | 2 1/2" | 0,073                 | 0,00574      |
| V-02          | 425   | SS 316   | 15900 | 650                     | 0,0579 | 0,0035               | 0,0652 | 2 1/2" | 0,073                 | 0,00574      |
| V-03          | 416   | SS 316   | 16000 | 650                     | 0,0577 | 0,0035               | 0,0649 | 2 1/2" | 0,073                 | 0,00574      |
| V-04          | 393   | SS 316   | 16100 | 650                     | 0,0566 | 0,0035               | 0,0637 | 2 1/2" | 0,073                 | 0,00574      |
| V-05          | 389   | SS 316   | 16200 | 650                     | 0,0563 | 0,0035               | 0,0635 | 2 1/2" | 0,073                 | 0,00574      |

**Tabla 9.7** Diámetro nominal y espesor de tubería

- Cálculo del diámetro interior y de velocidad de flujo real.

| Identificador | Qv(m <sup>3</sup> /s) | DN     | D <sub>real</sub> (m) | Schedule 40S | d <sub>real</sub> (m) | V <sub>real</sub> (m/s) |
|---------------|-----------------------|--------|-----------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|
| V-01          | 0,17361               | 2 1/2" | 0,073                 | 0,00574      | 0,0615                | 58,407                  |
| V-02          | 0,15843               | 2 1/2" | 0,073                 | 0,00574      | 0,0615                | 53,299                  |
| V-03          | 0,15723               | 2 1/2" | 0,073                 | 0,00574      | 0,0615                | 52,897                  |
| V-04          | 0,15097               | 2 1/2" | 0,073                 | 0,00574      | 0,0615                | 50,788                  |
| V-05          | 0,14988               | 2 1/2" | 0,073                 | 0,00574      | 0,0615                | 50,423                  |

**Tabla 9.8** Diámetro interior y velocidad real de flujo

### 9.7. Red de tuberías de la línea de agua.

| TUBERÍA | UBICACIÓN  |
|---------|--|
| L-A1    | Tubería de suministro de agua al tanque de lavado W-01, de acero inoxidable SS 304 |
| L-A2    | Tubería de suministro de agua al tanque de lavado W-02, de acero inoxidable SS 304 |
| L-A3    | Tubería de suministro de agua al decantador D-01, de acero inoxidable SS 304       |
| L-A4    | Tubería de salida de agua del decantador D-01, de acero inoxidable SS 304          |

Tabla 9.9 Identificación de cada línea de la corriente de agua

- Cálculo de los caudales volumétricos de cada tubería

| Identificador | T(°C) | V(m/s) | Wm(kg/h) | Dens(kg/m <sup>3</sup> ) | Qv(m <sup>3</sup> /s) |
|---------------|-------|--------|----------|--------------------------|-----------------------|
| L-A1          | 25    | 1,5    | 100,000  | 980,550                  | 0,00003               |
| L-A2          | 25    | 1,5    | 100,000  | 980,550                  | 0,00003               |
| L-A3          | 25    | 1,5    | 1990,000 | 980,550                  | 0,00056               |
| L-A4          | 43    | 1,5    | 1990,000 | 991,03                   | 0,00056               |

Tabla 9.10 Caudales volumétricos

- Diámetro nominal y Espesor de tubería.

| Identificador | T(°C) | Material | SE(psi) | P <sub>diseño</sub> (psi) | d <sub>i</sub> (m) | t <sub>cal</sub> (m) | D <sub>i</sub> (m) | DN   | D <sub>real</sub> (m) | d <sub>i,real</sub> (m) | Schedule 40S |
|---------------|-------|----------|---------|---------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|------|-----------------------|-------------------------|--------------|
| L-A1          | 25    | SS 304   | 18800   | 50                        | 0,00490            | 0,00229              | 0,00948            | 1/8" | 0,0103                | 0,0057                  | 0,00232      |
| L-A2          | 25    | SS 304   | 18800   | 50                        | 0,00490            | 0,00229              | 0,00948            | 1/8" | 0,0103                | 0,0057                  | 0,00232      |
| L-A3          | 25    | SS 304   | 18800   | 50                        | 0,02188            | 0,00231              | 0,02650            | 3/4" | 0,0267                | 0,021                   | 0,00287      |
| L-A4          | 43    | SS 304   | 18800   | 50                        | 0,02176            | 0,00231              | 0,02639            | 3/4" | 0,0267                | 0,021                   | 0,00287      |

Tabla 9.11 diámetro nominal y espesor de tubería

- Cálculo del diámetro interior y de la velocidad flujo real.

| Identificador | D(m)    | DN   | D <sub>real</sub> (m) | d <sub>i,real</sub> (m) | Schedule 40S | V <sub>real</sub> (m/s) |
|---------------|---------|------|-----------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
| L-A1          | 0,00948 | 1/8" | 0,0103                | 0,0057                  | 0,00232      | 1,1259                  |
| L-A2          | 0,00948 | 1/8" | 0,0103                | 0,0057                  | 0,00232      | 1,1259                  |
| L-A3          | 0,02650 | 3/4" | 0,0267                | 0,021                   | 0,00287      | 1,6338                  |
| L-A4          | 0,02639 | 3/4" | 0,0267                | 0,021                   | 0,00287      | 1,6165                  |

Tabla 9.12 Diámetro interior

### **9.8. Pérdidas de Carga.**

Las pérdidas de carga son debidas al rozamiento superficial del fluido sobre las paredes internas de los tubos cilíndricos rectos, a este tipo de pérdidas de carga se le denomina pérdidas mayores.

La pérdida de energía por rozamiento que experimenta un fluido en circulación por una conducción, constituye un caso particular de la ley general de rozamiento entre un sólido y un fluido en movimiento relativo.

Se ha comprobado experimentalmente que la fuerza de rozamiento depende de las siguientes variables:

- Características del sólido: forma, tamaño y naturaleza de su superficie.
- Características del fluido: densidad y viscosidad.
- Velocidad relativa del fluido respecto del sólido.

Siguiendo un análisis dimensional, y haciendo uso de la semejanza macroscópica, (que es una comparación externa de los sólidos en cuanto esferas de diámetro distinto, cilindros de bases y alturas proporcionales, etc.) y una semejanza rigurosa, que además de considerar la indicada forma externa, compara también la forma de las rugosidades superficiales, esto implicará un parámetro adicional  $\varepsilon$ , que representa la profundidad media de las rugosidades para cada tipo de rugosidad superficial. Se desprende que la fuerza de rozamiento para cuerpos rigurosamente semejantes puede expresarse como función de las variables indicadas:

$$F_{roz} = \varphi(di, \varepsilon, \rho, \mu, V)$$

La función de la fuerza de rozamiento con todas estas variables será única para cada serie de sólidos geoméricamente semejantes. Este análisis

dimensional se encuentra detallado en <sup>[6]</sup>. De este análisis se obtiene la expresión de Fanning.

$$\sum F = 2f \cdot \frac{L}{d_i} V^2 \dots (9.1)$$

Donde:

f: Factor de fricción.

L: Longitud de tramo de tubería.(m)

V: Velocidad del fluido. (m/s)

d<sub>i</sub>: diámetro interior de tubería.(m)

g: aceleración de gravedad.(m)

La pérdida de energía por unidad de masa  $\sum F$  está ligada a la pérdida de presión a causa del rozamiento por la relación:

$$\sum F = \frac{\Delta p_{roz}}{\rho} = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta h}{\rho} = g \cdot \Delta h \dots (9.2)$$

Todos los sistemas de tuberías presentan una serie de accidentes o elementos, como ensanchamientos, estrechamientos y curvaturas de las tuberías, uniones y codos, té para ramificaciones, válvulas etc. Todos estos accidentes provocan variaciones de magnitud o dirección de las velocidades de los fluidos que los atraviesan. Son muchas las veces que se producen rozamientos de forma, a causa de la separación de las capas límite, con la consiguiente formación de vórtices y torbellinos que incrementan la turbulencia del flujo y con ella una mayor disipación de energía mecánica útil en calor. Estas pérdidas se denominan menores a causa de que la debida a cada uno de los accidentes por separado suele ser pequeña comparada con el rozamiento en las paredes de las conducciones en que están localizados. Sin embargo, la suma de todas las pérdidas menores puede adquirir importancia y suponer incluso una fracción apreciable de la pérdida total.

Como la estimación precisa de las pérdidas menores es inviable y todas ellas son consecuencia de fenómenos en los que la inercia del fluido, es decir, su masa y su velocidad, desempeñan el papel más importante, sin

tenerlo apenas la viscosidad, suelen expresarse empíricamente las mismas como función de la energía cinética que corresponde a la unidad de masa del fluido

$$\sum F = K \cdot \frac{V^2}{2} \dots (9.3)$$

Expresión general, en la que la constante K se obtiene de forma experimental y tiene valores distintos para cada accidente función de las condiciones geométricas del accidente o del contorno, incluida la rugosidad ( $\epsilon$ ) y el número de Reynolds, aunque en la mayoría de los casos depende sólo del contorno.

El valor de la velocidad (V) se corresponde con el de la velocidad media del fluido si se trata de codos, válvulas, etc, mientras que es la velocidad en la sección menor cuando se trate de ensanchamientos bruscos o contracciones.

Estas pérdidas se pueden calcular también utilizando la misma formulación que se emplea para las pérdidas mayores, sustituyendo en dicha expresión la longitud de la tubería  $L_{tub}$ , por otra mayor que comprenda dichas pérdidas en metros de longitud de tubería, por lo que la longitud a utilizar en la fórmula será la longitud geométrica, más la longitud equivalente correspondiente a las pérdidas de carga accidentales ( $L = L_{tub} + L_{eq}$ ),

Para hacer uso de la expresión de Fanning se ha de estimar previamente el factor de fricción. Para el cálculo de los factores de rozamiento se usará una ecuación empírica válida cualquiera que sea la rugosidad del tubo y para regímenes de transición y turbulento, sin prácticamente desviación respecto del diagrama de Moody.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \cdot \log \left\{ \frac{1}{3,7065} \cdot \left( \frac{\epsilon}{di} \right) - \frac{5,0452}{Re} \cdot \log \left[ \frac{1}{2,8257} \cdot \left( \frac{\epsilon}{di} \right)^{1,1098} + \frac{5,8506}{Re^{0,8981}} \right] \right\}$$



Para los regímenes laminares ( $Re < 2000$ ) se utiliza:

$$f = \frac{16}{Re}$$

Al evaluar los coeficientes de rozamiento, conviene tener en cuenta un factor de seguridad para prever el cambio de rugosidad con el tiempo. En el caso de tubos de acero suele cifrarse aquel en un 20-30% considerando su evolución en unos ocho años, a partir de los cuales la misma parece detenerse. El Reynolds vendrá dado por:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot di}{\mu}$$

Y la rugosidad relativa para tubos aceros vendrá dada por el gráfico 35 del anexo gráfico.

Los resultados se encuentran recogidos en la tabla 9.13 de la presente memoria.

| Identificador | T(°C)   | d <sub>real</sub> (m) | V <sub>real</sub> (m/s) | Dens(kg/m <sup>3</sup> ) | Viscosidad(Pa.s)      | Re          | ε/di   | f       |
|---------------|---------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|--------|---------|
| L-01`         | 25,000  | 0,028                 | 1,146                   | 789,000                  | 5,50E-04              | 45794,791   | 0,0015 | 0,0077  |
| L-01          | 25,000  | 0,028                 | 1,100                   | 822,000                  | 7,90E-04              | 31882,440   | 0,0015 | 0,0065  |
| L-02`         | 25,000  | 0,016                 | 1,369                   | 908,000                  | 0,060 <sup>a</sup>    | 326,531     | 0,0018 | 0,0600* |
| L-02          | 25,000  | 0,016                 | 1,342                   | 926,000                  | 0,092 <sup>a.1</sup>  | 212,955     | 0,0018 | 0,0900* |
| L-03          | 425,000 | 0,049                 | 1,022                   | 283,260                  | 3,43E-06              | 4154776,990 | 0,0010 | 0,0060  |
| L-04          | 370,000 | 0,049                 | 1,052                   | 396,000                  | 4,02E-06 <sup>b</sup> | 5104866,130 | 0,0010 | 0,0060  |
| L-05          | 100,000 | 0,213                 | 21,201                  | 1,046                    | 2,18E-04 <sup>c</sup> | 21714,781   | 0,0002 | 0,0078  |
| L-06          | 100,000 | 0,016                 | 1,657                   | 870,000                  | 1,00E-03              | 22724,545   | 0,0018 | 0,0084  |
| L-07          | 100,000 | 0,163                 | 23,403                  | 1,046                    | 2,18E-04 <sup>d</sup> | 18276,899   | 0,0003 | 0,0081  |
| L-08          | 30,000  | 0,005                 | 1,399                   | 1014,000                 | 1,83E-02              | 423,356     | 0,0019 | 0,0454* |
| L-08*         | 107,000 | 0,135                 | 23,053                  | 0,100                    | 2,18E-04 <sup>c</sup> | 1432,457    | 0,0004 | 0,0168  |
| L-09          | 30,000  | 0,016                 | 1,477                   | 863,000                  | 3,20E-03              | 6281,380    | 0,0018 | 0,0108  |
| L-10          | 25,000  | 0,016                 | 1,594                   | 974,000                  | 5,16E-10              | 4,7407E+10  | 0,0018 | 0,0068  |
| L-10*         | 177,000 | 0,163                 | 29,883                  | 0,487                    | 1,52E-05 <sup>c</sup> | 155830,851  | 0,0003 | 0,0055  |
| L-11          | 177,000 | 0,083                 | 22,057                  | 0,487                    | 1,52E-05              | 58514,935   | 0,0006 | 0,0054  |
| L-12          | 177,000 | 0,016                 | 1,559                   | 804,500                  | 7,34E-04              | 26924,924   | 0,0018 | 0,0084  |
| L-13          | 107,000 | 0,067                 | 24,656                  | 0,100                    | 2,18E-04              | 756,642     | 0,0007 | 0,0253* |
| L-14          | 107,000 | 0,005                 | 0,834                   | 1200,000                 | 3,26E-03              | 1677,067    | 0,0010 | 0,0156  |
| V-01          | 505,000 | 0,062                 | 58,407                  | 12,000                   | 1,19E-04              | 362339,925  | 0,0007 | 0,0057  |
| V-02          | 425,000 | 0,062                 | 53,299                  | 13,150                   | 1,85E-04              | 233072,708  | 0,0007 | 0,0059  |
| V-03          | 416,000 | 0,062                 | 52,897                  | 13,250                   | 1,97E-04              | 219097,820  | 0,0007 | 0,0059  |
| V-04          | 393,000 | 0,062                 | 50,789                  | 13,800                   | 2,39E-04              | 180411,929  | 0,0007 | 0,0059  |
| V-05          | 389,000 | 0,062                 | 50,423                  | 13,900                   | 2,52E-04              | 171104,964  | 0,0007 | 0,0060  |
| L-A1          | 25,000  | 0,006                 | 1,126                   | 980,550                  | 8,91E-04              | 7013,326    | 0,0019 | 0,0109  |
| L-A2          | 25,000  | 0,006                 | 1,126                   | 980,550                  | 8,91E-04              | 7013,326    | 0,0019 | 0,0108  |
| L-A3          | 25,000  | 0,021                 | 1,634                   | 980,550                  | 8,91E-04              | 37687,932   | 0,0016 | 0,0079  |
| L-A4          | 43,000  | 0,021                 | 1,617                   | 991,030                  | 6,07E-04              | 55321,165   | 0,0016 | 0,0076  |

Tabla 9.13 Determinación del factor de fricción de cada tubería incluido un factor de seguridad del 20%

\*. Régimen Laminar.

a. Se cálculo según punto 34 del anexo gráfico.

a.1 Se aumenta el resultado obtenido en a en un 2% por no conocer ecuaciones empíricas para calcular la viscosidad del aceite en estas condiciones de presión.

b. Se aproxima la viscosidad a la del metanol puro por encontrarse en esta corriente casi un 94% del mismo.

c. A pesar de que en estas líneas de flujo coexisten dos fases se toma para su diseño siempre las condiciones de la fase gaseosa ya que con ésta se obtiene un resultado más desfavorable y además en algunos de estos casos la fracción de gas o vapor es mayor que la de líquido.

Con los valores de longitud y diámetro respectivos de las distintas tuberías que conforman la planta, se puede conocer el valor de  $\Sigma F$  con la expresión de Fanning (9.1) correspondiente a las pérdidas de carga mayores en la tubería

| Identificador | L(m)  | f      | $\Sigma F_{\text{mayores}}$ |
|---------------|-------|--------|-----------------------------|
| L-01`         | 28,3  | 0,0077 | 20,469                      |
| L-01          | 2     | 0,0065 | 1,134                       |
| L-02`         | 8,2   | 0,0600 | 117,033                     |
| L-02          | 3     | 0,0900 | 61,753                      |
| L-03          | 10,1  | 0,0060 | 2,570                       |
| L-04          | 25,86 | 0,0060 | 6,980                       |
| L-05          | 1,4   | 0,0078 | 45,990                      |
| L-06          | 6     | 0,0084 | 17,569                      |
| L-07          | 13,4  | 0,0081 | 732,683                     |
| L-08          | 23,5  | 0,0454 | 764,593                     |
| L-08*         | 0,9   | 0,0168 | 118,638                     |
| L-09          | 15,3  | 0,0108 | 45,743                      |
| L-10          | 13,2  | 0,0068 | 29,097                      |
| L-10*         | 2     | 0,0055 | 120,325                     |
| L-11          | 25    | 0,0054 | 1597,060                    |
| L-12          | 26    | 0,0084 | 67,531                      |
| L-13          | 42,5  | 0,0253 | 19556,794                   |
| L-14          | 26    | 0,0156 | 103,448                     |
| V-01          | 20,35 | 0,0057 | 12891,321                   |
| V-02          | 17,53 | 0,0059 | 9500,092                    |
| V-03          | 37,1  | 0,0059 | 19884,387                   |
| V-04          | 11,8  | 0,0059 | 5818,466                    |
| V-05          | 25    | 0,0060 | 12398,495                   |
| L-A1          | 9,5   | 0,0109 | 46,421                      |
| L-A2          | 5     | 0,0108 | 24,190                      |
| L-A3          | 21,5  | 0,0079 | 43,375                      |
| L-A4          | 25    | 0,0076 | 47,280                      |

Tabla 9.14 Estimación de la pérdida de energía.

Los accesorios necesarios para las conducciones de la instalación proyectada, y los valores de “K” para cada accesorio

| <b>Accesorios</b>    | <b>L-01` DN 1"</b>  | <b>L-01 DN 1"</b>  | <b>L-02` DN 1/2"</b> | <b>L-02 DN 1/2"</b> | <b>L-03 DN 2"</b>  | <b>L-04 DN 2"</b> | <b>L-05 DN 8"</b>   | <b>L-06 DN 1/2"</b>   | <b>L-07 DN 6"</b>   |
|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Codo de 90°          | 0,75(3)             | 0,75(2)            | 0,75(2)              | 0,75(2)             | 0,75(4)            | 0,75(4)           |                     | 0,75(1)               | 0,75(3)             |
| Codo de 45°          | 0,3(1)              |                    |                      | 0,3(1)              |                    |                   |                     |                       |                     |
| Te                   |                     |                    |                      |                     |                    |                   |                     |                       | 1,8(1)              |
| Válvula de compuerta | 0,17(1)             |                    | 0,17(1)              |                     |                    |                   |                     |                       |                     |
| Válvula de aguja.    |                     |                    |                      |                     |                    |                   |                     | 9(1)                  | 9(1)                |
| Uniones              | 0,04(8)             | 0,04(6)            | 0,04(8)              | 0,04(8)             | 0,04(10)           | 0,04(10)          | 0,04(2)             | 0,04(8)               | 0,04(12)            |
| <b>ΣnK</b>           | <b>2,74</b>         | <b>1,74</b>        | <b>1,99</b>          | <b>2,12</b>         | <b>3,4</b>         | <b>3,4</b>        | <b>0,08</b>         | <b>10,07</b>          | <b>13,53</b>        |
| <b>Accesorios</b>    | <b>L-08 DN 1/8"</b> | <b>L-08* DN 5"</b> | <b>L-09 DN 1/2"</b>  | <b>L-10 DN 1/2"</b> | <b>L-10* DN 6"</b> | <b>L-11 DN 3"</b> | <b>L-12 DN 1/2"</b> | <b>L-13 DN 2 1/2"</b> | <b>L-14 DN 1/8"</b> |
| Codo de 90°          | 0,75(3)             | 0,75(1)            | 0,75(4)              | 0,75(2)             | 0,75(1)            | 0,75(5)           | 0,75(3)             | 0,75(4)               | 0,75(3)             |
| Codo de 45°          | 0,3(1)              |                    | 0,3(1)               |                     |                    |                   |                     |                       |                     |
| Te                   |                     |                    |                      |                     |                    |                   |                     | 1,8(1)                |                     |
| Válvula de compuerta |                     |                    |                      |                     |                    |                   |                     |                       |                     |
| Válvula de aguja.    | 9(1)                |                    | 9(1)                 | 9(1)                |                    |                   | 9(1)                |                       | 9(1)                |
| Uniones              | 0,04(14)            | 0,04(4)            | 0,04(14)             | 0,04(10)            | 0,04(4)            | 0,04(14)          | 0,04(12)            | 0,04(12)              | 0,04(12)            |
| <b>ΣnK</b>           | <b>12,11</b>        | <b>0,91</b>        | <b>12,86</b>         | <b>10,9</b>         | <b>0,91</b>        | <b>4,31</b>       | <b>11,73</b>        | <b>5,28</b>           | <b>11,73</b>        |

**Tabla 9.15** Pérdidas de carga menores referente a cada accesorio en cada tramo de la línea principal de proceso; cada casilla contiene el valor de K y el número de accesorios del respectivo tipo entre paréntesis.

| Accesorios           | V-01 DN 2 1/2" | V-02 DN 2 1/2" | V-03 DN 2 1/2" | V-04 DN 2 1/2" | V-05 DN 2 1/2" |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Codo de 90°          | 0,75(4)        | 0,75(6)        | 0,75(5)        | 0,75(5)        | 0,75(5)        |
| Codo de 45°          |                |                |                |                |                |
| Te                   | 1,81(1)        | 1,81(1)        | 1,81(1)        | 1,81(1)        | 1,81(1)        |
| Válvula de compuerta | 0,17(1)        |                |                |                |                |
| Válvula de aguja.    |                |                |                |                |                |
| Uniones              | 0,04(18)       | 0,04(18)       | 0,04(16)       | 0,04(18)       | 0,04(18)       |
| $\sum nK$            | <b>5,69</b>    | <b>7,02</b>    | <b>6,19</b>    | <b>6,27</b>    | <b>4,27</b>    |

Tabla 9.16 Pérdidas de carga menores referentes a cada accesorio en cada tramo de la línea de vapor

| Accesorios           | L-A1 DN 1/8" | L-A2 DN 1/8" | L-A3 DN 3/4" | L-A4 DN 3/4" |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Codo de 90°          | 0,75(1)      | 0,75(1)      | 0,75(2)      | 0,75(5)      |
| Codo de 45°          | 0,3(1)       | 0,3(1)       |              |              |
| Te                   | 1,2(2)       | 1,2(1)       | 1,2(1)       |              |
| Válvula de compuerta |              |              |              |              |
| Válvula de aguja.    | 9(1)         | 9(1)         | 9(1)         | 9(1)         |
| Uniones              | 0,04(12)     | 0,04(8)      | 0,04(12)     | 0,04(14)     |
| $\sum nK$            | <b>12,93</b> | <b>11,57</b> | <b>12,18</b> | <b>13,31</b> |

Tabla 9.17 Pérdidas de carga menores referentes a cada accesorio en cada tramo de la línea de agua

La cantidad de energía por unidad de masa según la expresión 9.3

| Identificador | $\sum nK$ | V(m/s) | $\sum F_{\text{menores}}$ |
|---------------|-----------|--------|---------------------------|
| L-01`         | 2,74      | 1,146  | 1,799                     |
| L-01          | 1,74      | 1,1    | 1,053                     |
| L-02`         | 1,99      | 1,369  | 1,865                     |
| L-02          | 2,12      | 1,342  | 1,909                     |
| L-03          | 3,4       | 1,022  | 1,776                     |
| L-04          | 3,4       | 1,052  | 1,881                     |
| L-05          | 0,08      | 21,201 | 17,979                    |
| L-06          | 10,07     | 1,657  | 13,824                    |
| L-07          | 13,53     | 23,403 | 3705,193                  |
| L-08          | 12,11     | 1,399  | 11,851                    |
| L-08*         | 0,91      | 23,053 | 241,806                   |
| L-09          | 12,86     | 1,477  | 14,027                    |
| L-10          | 10,9      | 1,594  | 13,848                    |
| L-10*         | 0,91      | 29,883 | 406,312                   |
| L-11          | 4,31      | 22,057 | 1048,432                  |
| L-12          | 11,73     | 1,559  | 14,255                    |
| L-13          | 5,28      | 24,656 | 1604,904                  |
| L-14          | 11,73     | 0,834  | 4,079                     |
|               |           |        |                           |
| V-01          | 5,69      | 58,407 | 9705,369                  |
| V-02          | 7,02      | 53,299 | 9971,150                  |
| V-03          | 6,19      | 52,897 | 8660,097                  |
| V-04          | 6,27      | 50,788 | 8086,485                  |
| V-05          | 6,27      | 50,423 | 7970,671                  |
|               |           |        |                           |
| L-A1          | 12,93     | 1,1259 | 8,195                     |
| L-A2          | 11,57     | 1,1259 | 7,333                     |
| L-A3          | 12,18     | 1,6338 | 16,256                    |
| L-A4          | 13,31     | 1,6165 | 17,390                    |

Tabla 9.18 La cantidad de energía por unidad de masa según la expresión 9.3

Esta energía por unidad de masa del fluido se convierte en pérdidas de carga según la expresión 9.2, es decir:

$$\Sigma F = \Sigma F_{mayores} + \Sigma F_{menores} \Rightarrow \Delta h = \frac{\Sigma F}{g}$$

| Identificador | L <sub>(m)</sub> | f      | ΣF <sub>mayores</sub> | ΣF <sub>menores</sub> | ΣF        | Δh(m)    |
|---------------|------------------|--------|-----------------------|-----------------------|-----------|----------|
| L-01`         | 28,3             | 0,0077 | 20,469                | 1,799                 | 22,268    | 2,272    |
| L-01          | 2                | 0,0065 | 1,134                 | 1,053                 | 2,186     | 0,223    |
| IC-01         |                  |        |                       |                       |           | 0,171    |
| L-02`         | 8,2              | 0,0600 | 117,033               | 1,865                 | 118,897   | 12,132   |
| L-02          | 3                | 0,0900 | 61,753                | 1,909                 | 63,662    | 6,500    |
| L-03          | 10,1             | 0,0060 | 2,570                 | 1,776                 | 4,345     | 0,443    |
| R-01          |                  |        |                       |                       |           | 0,200    |
| L-04          | 25,86            | 0,0060 | 6,980                 | 1,859                 | 8,840     | 0,902    |
| L-05          | 1,4              | 0,0078 | 45,990                | 17,979                | 63,969    | 6,527    |
| L-06          | 6                | 0,0084 | 17,569                | 13,824                | 31,393    | 3,203    |
| L-07          | 13,4             | 0,0081 | 732,683               | 3595,653              | 4328,337  | 441,667  |
| L-08          | 23,5             | 0,0454 | 764,593               | 11,812                | 776,405   | 79,225   |
| EV-02         |                  |        |                       |                       |           | 300,000  |
| L-08*         | 0,9              | 0,0168 | 118,638               | 241,806               | 360,444   | 36,780   |
| L-09          | 15,3             | 0,0108 | 45,743                | 14,027                | 59,770    | 6,099    |
| L-10          | 13,2             | 0,0068 | 29,097                | 13,848                | 42,945    | 4,382    |
| EV-01         |                  |        |                       |                       |           | 55,170   |
| L-10*         | 2                | 0,0055 | 120,325               | 406,312               | 526,637   | 53,738   |
| L-11          | 25               | 0,0054 | 1597,060              | 1048,432              | 2645,491  | 269,948  |
| L-12          | 26               | 0,0084 | 67,531                | 14,255                | 81,786    | 8,345    |
| L-13          | 42,5             | 0,0253 | 19556,794             | 1604,904              | 21161,698 | 2159,357 |
| L-14          | 26               | 0,0156 | 103,448               | 4,079                 | 107,528   | 10,972   |
| V-01          | 20,35            | 0,0057 | 12891,321             | 9705,369              | 22596,691 | 2305,785 |
| IC-01         |                  |        |                       |                       |           | 195,000  |
| V-02          | 17,53            | 0,0059 | 9500,092              | 9971,150              | 19471,242 | 1986,861 |
| R-01          |                  |        |                       |                       |           | 0,0018   |
| V-03          | 37,1             | 0,0059 | 19884,387             | 8660,097              | 28544,484 | 2912,702 |
| EV-01         |                  |        |                       |                       |           | 0,120    |
| V-04          | 11,8             | 0,0059 | 5818,466              | 8086,485              | 13904,950 | 1418,872 |
| EV-02         |                  |        |                       |                       |           | 3,500    |
| V-05          | 25               | 0,0060 | 12398,495             | 7970,671              | 20369,167 | 2078,486 |
| L-A1          | 9,5              | 0,0109 | 46,421                | 8,195362487           | 54,616    | 5,573    |
| L-A2          | 5                | 0,0108 | 24,190                | 7,30800692            | 31,498    | 3,214    |
| L-A3          | 21,5             | 0,0079 | 43,375                | 16,25605186           | 59,631    | 6,085    |
| L-A4          | 25               | 0,0076 | 47,280                | 17,38999582           | 64,670    | 6,599    |

Tabla 9.19 Pérdidas de carga totales de todas las líneas, incluidas las pérdidas de cada unidad de proceso.

### **9.9. Uniones.**

Los métodos utilizados para unir las piezas de tuberías o tubos, dependen en parte de las propiedades del material, pero sobre todo del espesor de la pared

Las uniones entre tuberías o entre una tubería y un accesorio, válvula, brida ó tubuladura pueden ser de dos clases: permanentes y, mecánicas o desmontables. Las permanentes son aquellas que una vez efectuadas, es muy laborioso deshacerlas y por tanto sólo se utilizan en los casos en que la necesidad de desmontaje de las mismas sólo se prevé a largo plazo o con poca frecuencia.

En cambio las uniones mecánicas, que son más caras que las permanentes, son muy fáciles de deshacer, y por eso se utilizan en los casos en que sea previsible la necesidad de un desmontaje frecuente de la unión en cuestión.

Para el estudio de las uniones entre tuberías, o tuberías y accesorios, bridas, etc. Se va a hacer una clasificación en dos grupos. El primero comprende las tuberías de diámetro nominal igual o menor que 1 ½" y en él las uniones se realiza de una determinada manera, a este grupo se le llamará tuberías pequeñas a efectos de simplificar ideas.

El segundo grupo lo comprenden tuberías de 2" de D.N en adelante y, en él las uniones se realizan de una forma en general distinta que para las tuberías pequeña. A este grupo se le llama tuberías grandes.

En el caso de tuberías de acero, las uniones permanentes de tuberías grandes se realizan por medio de soldaduras a tope (BUT WELDING) para lo cual los extremos de los elementos a soldar se deben preparar adecuadamente mediante la formación de un bisel, cuyas dimensiones, así como las distancia



que debe existir entre los bordes, detalles de la soldadura, etc. vienen definidos en la norma ANSI B 16.25.

Para tuberías pequeñas, estas uniones se suelen realizar, empleando unos accesorios de acero forjado (FORGED STEEL). Estos accesorios, válvulas o bridas, están dotados en el lado que va a conectar con la tubería, de un rebaje en el cual encaja la tubería a la que va a conectar. Una vez que el extremo del tubo se ha introducido en el rebaje del elemento con el cual conecta, se suelda todo alrededor. Este sistema de unión permanente se llama enchufe y soldadura (SOCKET WELDING).

Para tuberías grandes las uniones desmontables que se emplean son las BRIDAS. Antes de proceder a la descripción de este tipo de uniones es necesario definir el término de “presión primaria de servicio (Rating)”. Esta presión indica la presión a la que puede hacerse trabajar a la válvula o a la brida en continuo y a una temperatura límite superior. El rating es inversamente proporcional a la temperatura, es decir, a temperaturas inferiores, las válvulas resisten presiones más elevadas y viceversa.

Este rating suele utilizarse para seleccionar un diámetro exterior y un espesor para la brida. Lógicamente a mayor rating mayor será dicho diámetro.

Y para tuberías pequeñas las uniones desmontables suelen ser con accesorios roscados.

| Identificador | DN     | Nº Uniones | Desmontable         | Permanente                           |
|---------------|--------|------------|---------------------|--------------------------------------|
| L-01`         | 1"     | 8(4)       | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura (socket welding) |
| L-01          | 1"     | 6(2)       | Accesorios Roscados | Accesorios Roscados*                 |
| L-02`         | 1/2"   | 8(2)       | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura (socket welding) |
| L-02          | 1/2"   | 7(3)       | Accesorios Roscados | Accesorios Roscados*                 |
| L-03          | 2"     | 10(4)      | Bridas              | Bridas*                              |
| L-04          | 2"     | 10(4)      | Bridas              | Bridas*                              |
| L-05          | 8"     | 2          | Bridas              | Soldadura a tope (But Welding)       |
| L-06          | 1/2"   | 8(1)       | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura (socket welding) |
| L-07          | 6"     | 12(4)      | Bridas              | Soldadura a tope (But Welding)       |
| L-08          | 1/8"   | 14(4)      | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura (socket welding) |
| L-08*         | 5"     | 4(1)       | Bridas              | Soldadura a tope (But Welding)       |
| L-09          | 1/2"   | 14(5)      | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura (socket welding) |
| L-10          | 1/2"   | 10(2)      | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura (socket welding) |
| L-10*         | 6"     | 4(1)       | Bridas              | Soldadura a tope (But Welding)       |
| L-11          | 3"     | 14(5)      | Bridas              | Soldadura a tope (But Welding)       |
| L-12          | 1/2"   | 12(3)      | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura (socket welding) |
| L-13          | 2 1/2" | 12(5)      | Bridas              | Soldadura a tope (But Welding)       |
| L-14          | 1/8"   | 12(3)      | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura (socket welding) |
| V-01          | 2 1/2" | 14(4)      | Bridas              | Bridas*                              |
| V-02          | 2 1/2" | 14(6)      | Bridas              | Bridas*                              |
| V-03          | 2 1/2" | 12(5)      | Bridas              | Bridas*                              |
| V-04          | 2 1/2" | 14(5)      | Bridas              | Bridas*                              |
| V-05          | 2 1/2" | 14(5)      | Bridas              | Bridas*                              |
| L-A1          | 1/8"   | 12(4)      | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura (socket welding) |
| L-A2          | 1/8"   | 8(3)       | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura (socket welding) |
| L-A3          | 3/4"   | 12(3)      | Bridas              | Soldadura a tope (But Welding)       |
| L-A4          | 3/4"   | 14(5)      | Bridas              | Soldadura a tope (But Welding)       |

**Tabla 9.20** Clasificación del tipo de unión según sus diámetros nominales.

\* Debido a las condiciones extremas de trabajo en estas líneas se usarán bridas para uniones permanentes, en vez de uniones roscadas y soldadura a tope, en el primer caso porque no se recogen en catálogo este tipo de uniones para tuberías mayores a 1" y en el segundo porque no se puede trabajar con soldaduras a estas temperaturas.

Para las uniones bridadas se determina la presión primaria de servicio (rating) para ello se ha recurrido a la norma ASME/ANSI B16.5 Esta norma recoge las relaciones de presión- temperatura de las bridas en función del material empleado. Ver tablas 45 y 46 del anexo gráfico

- **Materiales:** Toda brida para satisfacer sus condiciones de trabajo en servicio debe proyectarse con determinados materiales de acuerdo con la resistencia mecánica y con los fluidos a manejar. En la elección de los materiales a emplear debe tenerse en cuenta, de un modo muy especial, su posible corrosión, tanto por los fluidos que hayan de circular por ellas, como por el ambiente en que han de prestar servicio. Para asegurar una buena resistencia se utilizarán los mismos materiales que se usaron en el diseño de tuberías. Es decir cada brida será del mismo material de la tubería que conecta con ella.

| Identificador | DN     | Pdiseño (psi) | T(°C) | Material    | Tipo de Unión (desmontable) | Rating(lb)*       |
|---------------|--------|---------------|-------|-------------|-----------------------------|-------------------|
| L-03          | 2"     | 7251          | 445   | INCONEL 625 | Bridas                      | 4500 <sup>a</sup> |
| L-04          | 2"     | 7251          | 390   | INCONEL 625 | Bridas                      | 4500 <sup>a</sup> |
| L-05          | 8"     | 50            | 120   | SS 304      | Bridas                      | 150               |
| L-07          | 6"     | 50            | 120   | SS 304      | Bridas                      | 150               |
| L-08*         | 5"     | 50            | 127   | SS 304      | Bridas                      | 150               |
| L-10*         | 6"     | 50            | 197   | SS 316      | Bridas                      | 150               |
| L-11          | 3"     | 50            | 197   | SS 316      | Bridas                      | 150               |
| L-13          | 2 1/2" | 50            | 127   | SS 304      | Bridas                      | 150               |
| V-01          | 2 1/2" | 650           | 525   | SS 316      | Bridas                      | 900               |
| V-02          | 2 1/2" | 650           | 445   | SS 316      | Bridas                      | 900               |
| V-03          | 2 1/2" | 650           | 436   | SS 316      | Bridas                      | 900               |
| V-04          | 2 1/2" | 650           | 413   | SS 316      | Bridas                      | 900               |
| V-05          | 2 1/2" | 650           | 409   | SS 316      | Bridas                      | 900               |
| L-A3          | 3/4"   | 50            | 45    | SS 304      | Bridas                      | 150               |
| L-A4          | 3/4"   | 50            | 63    | SS 304      | Bridas                      | 150               |

**Tabla 9.21** Determinación de la presión primaria de servicio (rating) para las uniones bridadas.

\*Tablas 43 y 44

<sup>a</sup> La norma ASME/ANSI B16.5 recoge los valores de presión – temperatura hasta la clase 2500lb. Es decir hasta presiones de diseño de 4060psi por lo

que es necesario realizar una extrapolación (tal como indican los fabricantes) para las líneas L-03 y L-04.

| INCONEL 625                 |               |
|-----------------------------|---------------|
| T <sub>diseño</sub> = 850°F |               |
| Clase(lb)                   | P.Máxima(psi) |
| 150                         | 65            |
| 300                         | 485           |
| 400                         | 650           |
| 600                         | 975           |
| 900                         | 1460          |
| 1500                        | 2435          |
| 2500                        | 4060          |
| Extrapolación               |               |
| 4500                        | 7251          |

**Tabla 9.22** Extrapolación para obtener el rating

Las dimensiones de bridas vienen recogidas en la tabla 50 del anexo gráfico para las clases o ratings 150lb, 900lb, 1500lb y 2500lb.

Las series de presión y temperatura de las válvulas bridadas son en general las mismas que corresponden a sus bridas. Por ejemplo, una válvula de acero de extremos bridados de la serie 300lbs aguantará la misma presión interna máxima para cada temperatura que una brida de acero, según ANSI B16.5, aunque la máxima temperatura de funcionamiento de la válvula puede ser menor que la de la brida. Sus dimensiones vienen recogidas en la tabla 53 del anexo gráfico

Para la clasificación del tipo de soldadura se requiere de la normativa ANSI B16.9 la cual es de difícil adquisición, para tener una idea del tipo de soldadura y de su resistencia se utilizará la tabla 49 del anexo gráfico proporcionadas por [4]

| Identificador | DN     | Pdiseño (psi) | T(°C) | Tipo de Unión (permanente) | Material de Unión utilizado en las juntas*                             |
|---------------|--------|---------------|-------|----------------------------|--|
| L-05          | 8"     | 50            | 120   | Soldadura a Tope           | Soldadura de Estaño- antimonio al 95-5                                 |
| L-07          | 6"     | 50            | 120   | Soldadura a Tope           | Soldadura de Estaño- antimonio al 95-5                                 |
| L-08*         | 5"     | 50            | 127   | Soldadura a Tope           | Soldadura de Estaño- antimonio al 95-5                                 |
| L-10*         | 6"     | 50            | 197   | Soldadura a Tope           | Soldadura de plata   |
| L-11          | 3"     | 50            | 197   | Soldadura a Tope           | Soldadura de plata   |
| L-13          | 2 1/2" | 50            | 127   | Soldadura a Tope           | Soldadura de Estaño- antimonio al 95-5                                 |
| L-A3          | 3/4"   | 50            | 45    | Soldadura a Tope           | Soldadura de estaño y plomo al 50-50, aleación ASTM B32.66 t Grado 50A |
| L-A4          | 3/4"   | 50            | 63    | Soldadura a Tope           | Soldadura de estaño y plomo al 50-50, aleación ASTM B32.66 t Grado 50A |

**Tabla 9.23** Material de unión utilizado en las juntas vease tablas 47 y 48

Las dimensiones de los accesorios unidos por soldadura se encuentran recogidas en el anexo grafico tabla 51

En cuanto a los accesorios roscados o mediante enchufe y soldadura, pueden ser de diversos materiales, pero los que mas frecuentemente se utilizan en piping, son los de acero forjado (forged steel), sobre todo, para condiciones de altas presiones y temperaturas y, tanto si son para enchufe y soldadura como si son roscados, sus dimensiones están definidas por la norma ANSI B16.11. Para condiciones de bajas presiones y temperaturas se suelen utilizar materiales de fundición.

Las roscas para conectar con tuberías son siempre NPT, definida por la norma ANSI B 1.20.1 y también la API 6<sup>a</sup>.

De forma similar a como ocurría con las bridas de acero forjado, los accesorios de dicho material y de extremos roscados o de enchufe y soldadura están clasificados en cuatro series que son (según el COLD WORKING PRESSURE RATING) las siguientes

- Serie 2000lbs adecuada para tuberías de Sch 40
- Serie de 3000lbs adecuada para tuberías de Sch 80
- Serie de 4000lbs adecuada para tuberías de Sch 160
- Serie de 6000lbs adecuada para tuberías de Sch XXS

Cuando se hace la denominación del rating a la temperatura ambiente, o sea de -20 a 100°F, el rating que da la denominación a la serie es el COLD WORKING RATING. Este solo se emplea para determinados tipos de válvulas que solo van a trabajar en frío, y para los accesorios de extremos roscados o de enchufe y soldadura, en acero forjado.

En la práctica en España sólo se utilizan normalmente, accesorios de 3000lbs y de 6000lbs. Los de 3000lbs se usan para tuberías de Sch 40 y Sch 80 y los de 6000lbs se usan para tuberías de Sch 160 y XXS.

Como se puede observar en la tabla 9.20 y 9.24 para las líneas L-01, L-02, L-03 y L-04 que son las líneas que trabajan en condiciones mas extremas; las uniones que se proponen son bridas y uniones roscadas clasificación hecha según su diámetro nominal. Las primeras se han explicado anteriormente y las segundas se proponen ya que la mayoría de las empresas comerciales suelen suministrar uniones roscadas en la mayoría de las conducciones y conectores para aplicaciones de alta presión. El inconveniente del empleo de este tipo de uniones es que, a tan altas presiones y temperaturas, las uniones por rosca pueden quedar fuertemente fijadas, y resultaría muy difícil proceder a su recambio en caso de necesidad.

Existen varios tipos de conexión utilizados ampliamente para aplicaciones como la que se trata en el presente proyecto, como son las conexiones NPT que son las que se van a utilizar de forma más general, las conexiones SWAGELOCK y las conexiones AUTOCLAVE, que son las que se propondrán para estas líneas de proceso en que las condiciones de trabajo son tan extremas.

Estas conexiones AUTOCLAVE tienen una excelente capacidad de cierre y reutilización, ayudan a asegurar una medición precisa de los parámetros de proceso, minimizan las emisiones medioambientales tales como fuga de fluidos.

Para el caso de las líneas L-01 y L-02 al ser las condiciones de trabajo tan elevadas se propondrán ratings de 6000lb. Se hace esta consideración debido a que la normativa que regula las uniones roscadas y que puede dar una clasificación en función de la presión máxima de servicio (ANSI B16.11) está fuera de nuestro alcance por su elevado coste de adquisición.

| Identificador | DN   | Pdiseño (psi) | T(°C) | Nº Uniones** | Material    | Sch | Tipo de Unión       |                     | Rating (lbs) |
|---------------|------|---------------|-------|--------------|-------------|-----|---------------------|---------------------|--------------|
|               |      |               |       |              |             |     | Desmontables        | Permanente          |              |
| L-01`         | 1"   | 50            | 45    | 8(4)         | SS 304      | 10S | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura | 3000         |
| L-01          | 1"   | 7251          | 45    | 6(2)         | INCONEL 625 | 10S | Accesorios Roscados | Accesorios Roscados | 6000*        |
| L-02`         | 1/2" | 50            | 45    | 8(2)         | SS 304      | 40S | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura | 3000         |
| L-02          | 1/2" | 7251          | 45    | 7(3)         | INCONEL 625 | 40S | Accesorios Roscados | Accesorios Roscados | 6000*        |
| L-06          | 1/2" | 50            | 120   | 8(1)         | SS 304      | 40S | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura | 3000         |
| L-08          | 1/8" | 50            | 50    | 14(4)        | SS 304      | 80S | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura | 3000         |
| L-09          | 1/2" | 50            | 50    | 14(5)        | SS 304      | 40S | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura | 3000         |
| L-10          | 1/2" | 50            | 45    | 10(2)        | SS 304      | 40S | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura | 3000         |
| L-12          | 1/2" | 50            | 197   | 12(3)        | SS 316      | 40S | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura | 3000         |
| L-14          | 1/8" | 50            | 127   | 12(3)        | SS 304      | 80S | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura | 3000         |
| L-A1          | 1/8" | 50            | 45    | 12(4)        | SS 304      | 40S | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura | 3000         |
| L-A2          | 1/8" | 50            | 45    | 8(3)         | SS 304      | 40S | Accesorios Roscados | Enchufe y soldadura | 3000         |

**Tabla 9.24** Determinación de la presión primaria de servicio (rating) para las uniones roscadas y enchufe y soldadura (socket welding)

\* Se recomienda el uso 6000lbs de rating por las elevadas condiciones de trabajo. Este tipo de uniones se encuentran recogidos en el catálogo 6 de la memoria de Fichas Técnicas

\*\* El número entre paréntesis es el número de uniones permanentes



## 10. VÁLVULAS

Las válvulas permiten el control del flujo en la instalación y, en función del conexionado entre las tuberías y las válvulas, se tendrá que definir un tipo u otro de accesorio para hacer posible su configuración completa. Las bridas, por ejemplo, conectan tuberías y válvulas que previsiblemente tengan que ser desmontadas a lo largo de la vida útil de la instalación.

Las válvulas son componentes que tienen relaciones presión-temperatura específicas. Estas relaciones se encuentran en las normas ANSI, API e industriales y son aceptables para presiones y temperaturas de diseño, a menos que estén limitadas por el código.

Existen numerosos tipos de válvulas, según la finalidad a que se destinen, ver apartado 6 de la memoria descriptiva, aunque de una forma general se pueden clasificar en dos grandes grupos.

- Válvulas de corte de flujo, también llamadas “todo-nada”: estas se caracterizan por sus dos posiciones extremas de funcionamiento: totalmente abiertas o totalmente cerradas.

Válvulas de corte de flujo {  
- De compuerta.  
- De retención.  
- De bola.  
- Tronco – cónica.  
- De mariposa

- Válvulas de regulación: estas están diseñadas específicamente para poder regular el flujo, y son de accionamiento más lento que las anteriores.

Válvulas de regulación {  
- De asiento  
- De diafragma  
- De aguja

Para la selección de las válvulas se ha recurrido a la norma ASME/ANSI B16.5 Esta norma recoge las relaciones de presión- temperatura de las válvulas en función del material empleado. Las válvulas se denominan según su clase (150lb, 900lbs, etc) El material a emplear en las válvulas de la presente instalación será acero SS316.

La norma recoge los valores de presión – temperatura hasta la clase 2500lb. Estas relaciones para la clase 4500lb se obtienen por extrapolación tal como se realizó para las bridas.

| INCONEL 625                 |               |
|-----------------------------|---------------|
| T <sub>diseño</sub> = 850°F |               |
| Clase(lb)                   | P.Máxima(psi) |
| 150                         | 65            |
| 300                         | 485           |
| 400                         | 650           |
| 600                         | 975           |
| 900                         | 1460          |
| 1500                        | 2435          |
| 2500                        | 4060          |
| Extrapolación               |               |
| 4500                        | 7251          |

**Tabla 10.1** Extrapolación para obtener el rating

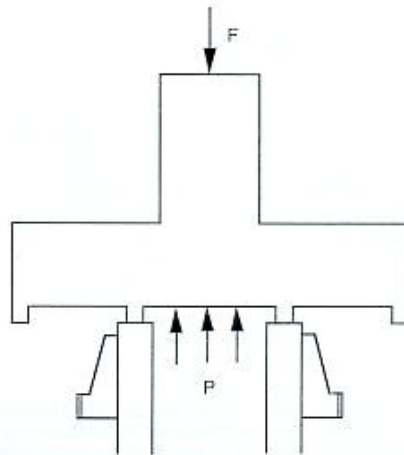
- Además de los tipos de válvulas citados anteriormente, se requiere del uso de una válvula aguja de diseño especial para la despresurización de la corriente L-04 que sale del reactor, a una presión de 450 bar y entra a la columna a una presión de 1bar

### **10.1. Válvulas de seguridad y discos de rotura.**

Los dispositivos de protección más utilizados para controlar un aumento de presión son las válvulas de seguridad y los discos de ruptura, instalados individualmente o en combinación.

Las válvulas de seguridad son un dispositivo empleado para evacuar el caudal de fluido necesario de tal forma que no se sobrepase la presión máxima del elemento protegido. Se diseñan para abrir y aliviar un aumento de la presión interna del fluido, por exposición a condiciones anormales de operación o a emergencias.

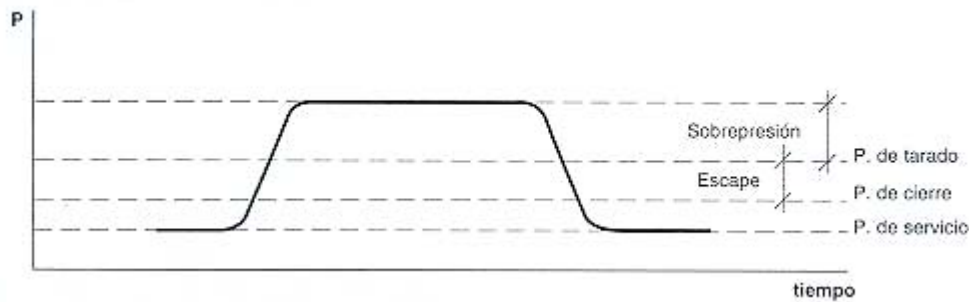
Son actuadas por la energía de la presión estática. Cuando en el recipiente o sistema protegido por la válvula se produce un aumento de presión interna, hasta alcanzar la presión de tarado (presión a la cual abre la válvula) la fuerza ejercida por el muelle es equilibrada por la fuerza producida por la presión sobre el área del disco de cierre. A partir de aquí, un pequeño aumento de presión producirá el levantamiento del disco de cierre y permitirá la salida del fluido. Si se trata de una válvula de seguridad de apertura instantánea, el disco de cierre se separará repentina y totalmente, debido al incremento de la fuerza resultante del producto de la presión por el incremento del área del disco de cierre. Pero si se trata de una válvula de alivio de presión, la válvula abrirá proporcionalmente al incremento de presión producido.



F: Fuerza ejercida por el muelle; P: Presión interna

**Fig 10.1** Válvula de seguridad de apertura instantánea

Cuando la presión disminuye, la válvula cierra a una presión ligeramente inferior a la presión de tarado como consecuencia de la energía cinética del fluido en el escape.



**Fig 10.2** Diagrama de evolución de la presión en la apertura y cierre de una válvula de seguridad

Aunque las válvulas de seguridad son los dispositivos de alivio de presión más utilizados, en ciertas circunstancias no pueden dar una completa protección. Entonces se debe considerar la instalación de discos de ruptura. Son unos dispositivos de alivio de presión sin cierre repetido del mecanismo, accionados por diferencia de presión entre el interior y exterior y diseñados para funcionar por estallido o venteo de un disco.

Las principales ventajas de los discos de ruptura son que estos dispositivos aíslan completamente el fluido del lado externo de descarga y que son más económicos en su compra y mantenimiento.

En contrapartida sus inconvenientes principales son la imposibilidad de nuevo cierre y la necesidad de detención del proceso en caso de ruptura, para la reposición de uno nuevo. Este último se supera combinando un disco de ruptura con una válvula de seguridad o instalando dos discos de ruptura en paralelo.

Debido a que estos dispositivos y las válvulas de seguridad cumplen la misma función aunque con aplicaciones según situaciones determinadas, es de gran utilidad el seguimiento de un árbol de toma de decisión para el proceso de selección entre estos dos dispositivos como el mostrado en la figura. 10.3

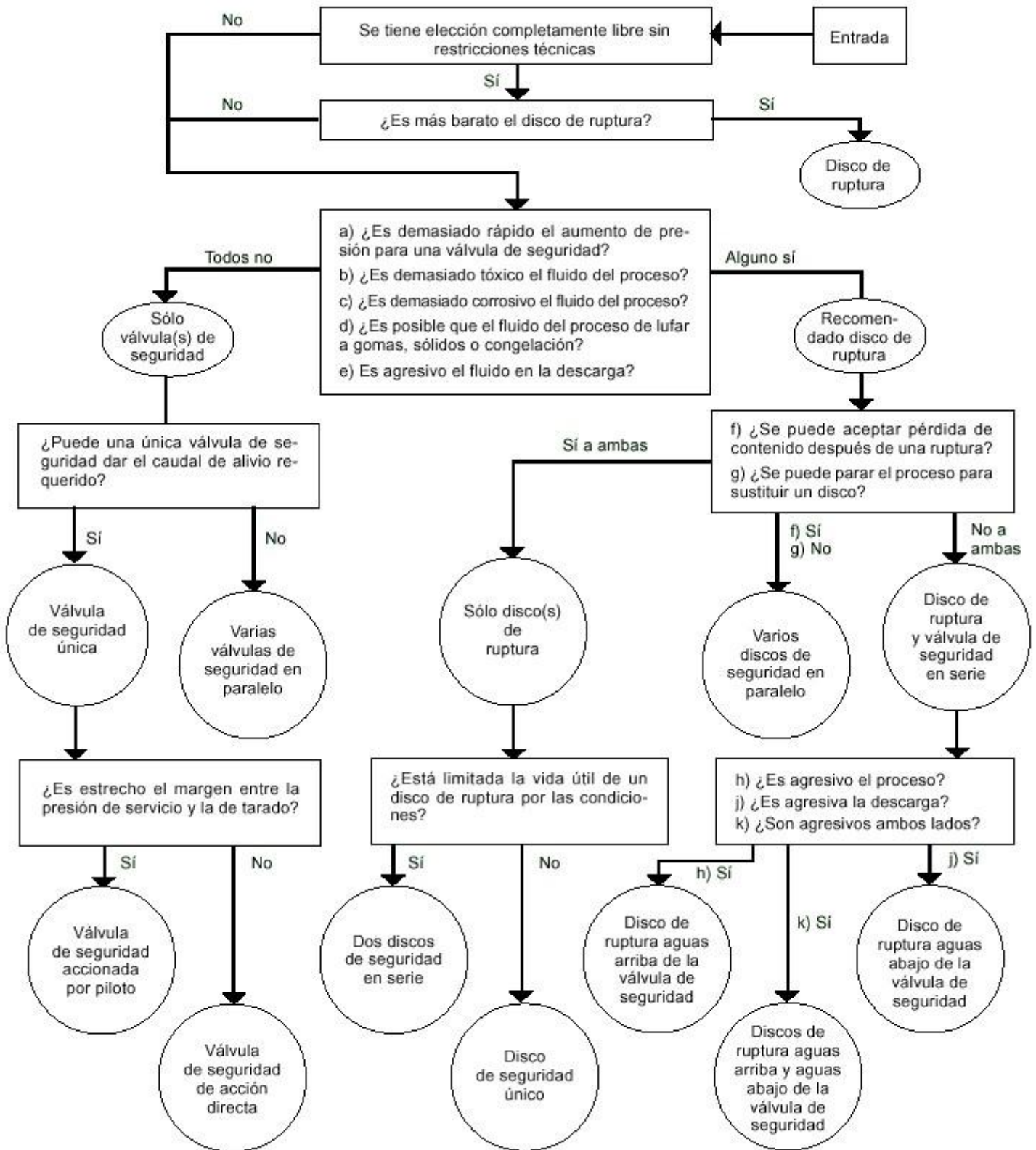
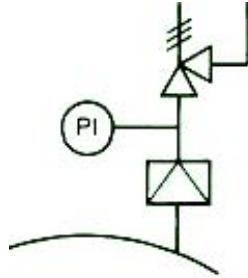


FIG 10.3 Árbol de decisión para la selección de dispositivos de alivio de presión

Del árbol de selección se deduce que se requiere disco de rotura y válvula de seguridad en serie.



Esta combinación puede tener, asimismo, varios objetivos:

- *Proteger la válvula* de seguridad contra condiciones en el sistema presurizado que pueden afectarla por su naturaleza corrosiva, formar incrustaciones o crear problemas.
- *Evitar fugas* por la válvula de seguridad; evitar la pérdida total del contenido después del estallido de un disco de ruptura.

En esta combinación son esenciales las siguientes condiciones:

- La presión máxima de estallido no debe exceder la presión de diseño del sistema a proteger.
- El área de la sección de descarga del disco de ruptura no debe ocasionar restricción a la entrada de la válvula de seguridad.
- El espacio entre el disco y la válvula de seguridad debe estar controlado para detectar cualquier aumento de presión debido a fugas en una u otra dirección. El dispositivo de control debe ser como mínimo un manómetro localizado en esa posición, pero preferiblemente un indicador de presión y una alarma de alta presión independiente con visión en una pantalla de una sala de control permanentemente vigilada. El espacio entre el disco y la válvula de seguridad también debe ser venteado a un lugar seguro. En el venteo se puede instalar una válvula de exceso de flujo para evitar la pérdida del contenido del recipiente en caso de estallido.

- La entrada de la válvula de seguridad debe estar protegida contra restos de un disco roto.
- La capacidad de descarga de la combinación debe considerarse un 0,9 de la capacidad de descarga certificada de la válvula de seguridad sola. Se puede permitir un factor mayor si se ha realizado un ensayo de flujo del tipo de combinación montada

Los discos de rotura se encuentran en la memoria de fichas técnicas (18)

| Indicador           | Línea que la contiene | Tipo de unión | Rating(lbs) | Tipo de válvula          | Modelo                  |
|---------------------|-----------------------|---------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| Valv01              | L-01´                 | Unión roscada | 3000        | Válvula de Compuerta     | ACCIAIO/STEEL ITEM 1155 |
| Valv02              | L-02´                 | Unión roscada | 3000        | Válvula de Compuerta     | ACCIAIO/STEEL ITEM 1155 |
| Valv03              | L-03                  | Bridas        | 4500        | Válvula de Seguridad     | Válvula Forjada         |
| Valv04              | L-04                  | Bridas        | 4500        | Válvula de Seguridad     | Válvula Forjada         |
| ValvD               | L-05                  | Bridas        | 4500        | Válvula despresurizadora | Válvula Forjada         |
| Valv06              | L-06                  | Unión roscada | 3000        | Válvula de aguja         | 10V8071                 |
| Valv07              | L-07                  | Brida         | 150         | Válvula de aguja         | -                       |
| Valv08              | L-08                  | Unión roscada | 3000        | Válvula de aguja         | 10V2071                 |
| Valv09              | L-09                  | Unión roscada | 3000        | Válvula de aguja         | 10V6071                 |
| Valv10              | L-10                  | Unión roscada | 3000        | Válvula de aguja         | 10V6071                 |
| Valv12              | L-12                  | Unión roscada | 3000        | Válvula de aguja         | 10V6071                 |
| Valv14              | L-14                  | Unión roscada | 3000        | Válvula de aguja         | 10V2071                 |
| Valv15              | V-01                  | Bridas        | 900         | Válvula de Seguridad     | 300/600 KUNKLE          |
| Valv15 <sub>2</sub> | V-01                  | Bridas        | 900         | Válvula de Compuerta     | ACCIAIO/STEEL ITEM 1195 |
| Valv16              | V-02                  | Bridas        | 900         | Válvula de Seguridad     | 300/600 KUNKLE          |
| Valv17              | V-03                  | Bridas        | 900         | Válvula de Seguridad     | 300/600 KUNKLE          |
| Valv18              | V-04                  | Bridas        | 900         | Válvula de Seguridad     | 300/600 KUNKLE          |
| Valv19              | V-05                  | Bridas        | 900         | Válvula de Seguridad     | 300/600 KUNKLE          |
| Valv20              | L-A1                  | Unión roscada | 3000        | Válvula de aguja         | 10V2071                 |
| Valv21              | L-A2                  | Unión roscada | 3000        | Válvula de aguja         | 10V2071                 |
| Valv22              | L-A3                  | Brida         | 150         | Válvula de aguja         | 10V7071                 |
| Valv23              | L-A4                  | Brida         | 150         | Válvula de aguja         | 10V7071                 |

**Tabla 10.1** Selección de válvulas, ver fichas de catálogos.

## **11. CÁLCULO DE EQUIPOS PARA LA IMPULSIÓN DE FLUIDOS.**

Los aparatos destinados a la impulsión de líquidos se denominan bombas y compresores. La diferencia fundamental entre bombas y compresores es que los líquidos se bombean, mientras que los gases se comprimen, y por lo tanto, no hay distinción clara si una máquina es una bomba o un compresor. La forma en que dicha impulsión se produce puede ser variada, aunque suele ser de dos tipos: por desplazamiento volumétrico del fluido, conseguido mecánicamente, o por la acción de una fuerza centrífuga.

En el primer caso, las bombas se denominan de desplazamiento positivo o volumétrico, pues en la admisión, el líquido es confinado en un cierto espacio de la bomba, donde se le comunica la energía, siendo desplazado a continuación hasta la zona de expulsión. Este tipo de bombas proporciona una cantidad constante de líquido en cada embolada o revolución de la parte móvil, sin que el líquido pueda circular libremente a través del cuerpo y de la bomba. Esta, lógicamente, no puede funcionar con la salida cerrada y si se quiere disminuir o suprimir el caudal son parar la bomba, es necesario recircular parte o todo el líquido bombeado, respectivamente.

En el segundo caso, las bombas se denominan centrífugas, y en ellas el líquido si puede circular libremente a su través, pues recibe la energía por acción de la fuerza centrífuga que le comunica un disco giratorio a gran velocidad, sin necesidad de ser confinado en espacios interiores.

En la memoria descriptiva se encuentra una explicación y descripción mas detallada de los tipos de bombas y compresores apartado 7



### **11.1. Cálculo de los parámetros característicos de las bombas y compresores.**

Lo primero que se debe considerar a la hora de realizar los cálculos de los parámetros característicos de la bomba es la diferenciación de fluidos incompresibles de fluidos compresibles.

Los fluidos incompresibles son aquellos en los que las variaciones de la densidad del fluido son insignificantes, Esta circunstancia se cumple siempre en el caso de los líquidos y en los gases cuando su número de Mach es inferior a 0,3. Si se tratase de fluidos no isotérmicos, particularmente de líquidos, al variar mucho la temperatura varía la densidad, la viscosidad y el factor de rozamiento en cada tramo recto. En este caso se consideran valores medios de los volúmenes específicos.

Cuando la pérdida de presión del fluido en el sistema es suficiente para determinar una variación de su densidad superior al 10%, el flujo debe ser considerado como compresible, teniéndose muy en cuenta las variaciones de densidad y de la velocidad del gas durante el mismo.

#### *11.1.1. Altura Manométrica:*

Es uno de los términos que se utiliza habitualmente cuando se maneja bombas y es la presión efectiva que debe vencer la bomba para elevar el fluido desde su nivel más bajo hasta el punto de elevación más alto, venciendo el desnivel existente, las presiones y las resistencias que pueden existir, tales como codos, válvulas, bridas, reducciones, etc. El cálculo se realiza aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos de aspiración y descarga de la bomba

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + H = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{\dots} \quad (11.1)$$

Despejando H:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_{1-2} \dots (11.2)$$

Donde:

$(z_2 - z_1)$ : Diferencia de cotas entre los puntos considerados de aspiración y descarga.

$(P_2 - P_1)/\rho g$ : Diferencia de presiones entre los puntos considerados. (m)

$(v_2^2 - v_1^2)/2g$ : Diferencia de velocidad entre los dos puntos considerados. (m)

h: Pérdidas de carga totales externas a la bomba. (m)

H: altura manométrica. (m)

La línea principal de proceso se divide en diferentes tramos, en cada tramo se consideran las pérdidas de carga mayores y menores de paso por cada unidad de proceso. Cada uno de estos tramos vienen descritos en la siguiente tabla (tabla 11.1), así como todos los términos que conforman la ecuación de Bernoulli.

Las diferencia de cotas se determina haciendo uso de la isométricas de la planta (Planos). Las velocidades, de la tabla 9.4, 9.8 y 9.12 del diseño de tuberías, cuando es descarga o carga en depósitos se consideran cero. La diferencia de presión se obtiene de conocerse la presión en cada tramo descrito en cada unidad de proceso diseñada y las pérdidas de carga de la tabla 9.19 de la presente memoria

La línea de vapor de agua se diseña considerándola un fluido incomprensible, ya que su densidad varía muy poco a través de toda la línea; la temperatura es casi constante en todo el proceso y se desea además que la presión sea igual en cada punto de la línea de vapor, por lo tanto se aproxima toda la línea de vapor a un fluido incomprensible. De esta manera para estos casos se utiliza también Bernoulli para el cálculo de la altura manométrica. En el caso de que no se puedan realizar estas aproximaciones el procedimiento de

cálculo para la altura manométrica es diferente y se corresponde a fluidos compresibles<sup>[6]</sup>

| Bomba             | Descripción de los puntos de aspiración (1) y descarga (2)      | $\rho(\text{kg/m}^3)$ | $Z_2-Z_1$ (m) | $P_2-P_1$ (Pa) | $V_2-V_1$ (m/s) | $h_{1-2}$ (m) | H(m)    |
|-------------------|---|-----------------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|---------|
| B-01              | Desde el depósito T5 (1) hasta la salida del R-01 (2)           | 592,00*               | -0,3          | 4,50E+07       | 1,05            | 3,31          | 7759,54 |
| B-02              | Desde el depósito T2 (1) hasta la entrada del R-01 (2)          | 920,00*               | 0,65          | 4,50E+07       | 1,34            | 18,64         | 5010,51 |
| B-04              | Desde el R-01 (1) hasta la válvula despresurizadora (2)         | 396,00                | 3,7           | 0,00E+00       | 0,00            | 0,90          | 4,60    |
| B-09              | Desde el tanque D-01 (1) hasta el tanque de lavado W-01 (2)     | 863,00                | 1,3           | 0,00E+00       | 1,48            | 6,09          | 7,51    |
| B-08              | Desde el tanque D-01 (1) hasta el EV-02 (2)                     | 1014,00 <sup>a</sup>  | 1,2           | -9,00E+04      | 1,40            | 416,00        | 408,24  |
| B-10              | Desde el tanque W-01 (1) hasta el tanque W-02 (2)               | 974,00 <sup>a</sup>   | 2             | 0,00E+00       | 1,59            | 4,38          | 6,51    |
| B-10 <sub>2</sub> | Desde el tanque W-02(1) hasta el EV-01 (2)                      | 974,00                | 3,2           | 0,00E+00       | 1,59            | 113,30        | 116,63  |
| B-12              | Desde el EV-01 (1) hasta el depósito T3 (2)                     | 804,50                | 0             | 0,00E+00       | 0,00            | 8,34          | 8,35    |
| B-14              | Desde el EV-02 (1) hasta el depósito T4 (2)                     | 1200,00               | 0             | 9,00E+04       | 0,00            | 8,34          | 16,00   |
| BA-01             | Desde la Te de bifurcación de agua (1) hasta el tanque W-01 (2) | 980,55                | 2,2           | 0,00E+00       | 0,00            | 5,57          | 7,77    |
| BA-03             | Desde la Te de bifurcación de agua (1) hasta el tanque D-01 (2) | 980,55                | 0             | 0,00E+00       | -1,63           | 6,08          | 6,22    |
| BV-01             | Desde la salida de la caldera (1) hasta la salida del EV-02 (2) | 13,30*                | 0,1           | 0,00E+00       | 0,00            | 9483,00       | 10901   |

**Tabla 11.1** Altura útil

\* Para el caso de tramos en que el fluido ha sufrido cambios de temperatura se ha considerado densidades medias entre los puntos 1 y 2.

a. en el punto 1 es un líquido y el punto 2 es vapor se considera la densidad del líquido al ser mayor el tramo de tubería en este estado.

### 11.1.2 Potencia.

Una bomba puede elevar un líquido a una altura mayor, forzarlo a entrar en un recipiente a mayor presión, proporcionar la presión requerida para vencer la fricción de la tubería o cualquier combinación de éstas. Se debe impartir toda la energía o potencia requerida para vencer dichos requerimientos de la bomba. Se diferencian dos tipos de potencias para las bombas.

- *Potencia Hidráulica.* Es la potencia precisada por la bomba exclusivamente para bombear el líquido o la potencia que se le suministra al líquido. Se representa como WHP y se expresa habitualmente en CV. La fórmula para su cálculo es:

$$WHP = Qv_{(m^3/s)} \rho_{(Kg/m^3)} \cdot g_{(m/s^2)} \cdot H_{(m)}$$

- *Potencia absorbida.* Es la potencia en el eje de la bomba y equivale a la potencia hidráulica más la potencia consumida en compensar los distintos tipos de pérdidas que se ocasionan en la bomba. Por tanto, es mayor que la potencia hidráulica. Se representa por BHP. Conociendo el rendimiento de la bomba que incluye las pérdidas de potencia de ésta, la potencia absorbida o potencia al eje consumida por la bomba puede hallarse mediante la siguiente fórmula

$$BHP = \frac{WHP}{\eta}$$

El rendimiento total de la bomba, es el producto de tres rendimientos: el hidráulico, el volumétrico y el mecánico. A modo estimativo, se supone un rendimiento global en torno al 60%. Normalmente se recomienda que la potencia absorbida o de accionamiento sea un 20-25% superior a la calculada

| Bomba             | $\rho(\text{kg/m}^3)$ | $Q_v(\text{m}^3/\text{s})$ | H(m)      | WHP(kW) | BHP (kW) |
|-------------------|-----------------------|----------------------------|-----------|---------|----------|
| B-01              | 592,000               | 0,00070                    | 7759,545  | 31,512  | 63,05    |
| B-02              | 920,000               | 0,00027                    | 5010,508  | 12,197  | 24,394   |
| B-04              | 396,000               | 0,00200                    | 4,602     | 0,036   | 0,071    |
| B-09              | 863,000               | 0,00029                    | 7,510     | 0,018   | 0,036    |
| B-08              | 1014,000              | 0,00003                    | 408,243   | 0,122   | 0,243    |
| B-10              | 974,000               | 0,00031                    | 6,512     | 0,019   | 0,038    |
| B-10 <sub>2</sub> | 974,000               | 0,00031                    | 116,629   | 0,345   | 0,690    |
| B-12              | 804,500               | 0,00030                    | 8,345     | 0,019   | 0,039    |
| B-14              | 1200,000              | 0,00002                    | 15,998    | 0,004   | 0,007    |
| BA-01             | 980,550               | 0,00003                    | 7,770     | 0,002   | 0,004    |
| BA-03             | 980,550               | 0,00056                    | 6,216     | 0,033   | 0,067    |
| BV-01             | 13,3000               | 0,15090                    | 10901,000 | 214,404 | 428,808  |

**Tabla 11.2** Potencia hidráulica y potencia absorbida, para convertir de CV a KW multiplicar por 0,735

### 11.1.3. Selección de bombas.

Dada la gran variedad de tipos de bombas y el elevado número de factores que determina la selección de una bomba para una instalación concreta, deben eliminarse en una primera selección todos los tipos que no tengan una posibilidad razonable de utilización. Existen gráficos en los que se representan los intervalos de caudal y presión de salida en los que pueden operar los distintos tipos de bomba. Con esta información es posible realizar una primera selección, observando las curvas que están situadas por encima del punto deseado, las cuales indican las bombas utilizables. En la grafica 47 del anexo gráfico se representa esta curva y en la siguiente tabla 11.3 los resultados de la selección

| Bomba | H(m)     | Qv(m <sup>3</sup> /h) | Familia de bomba                 |                               |
|-------|----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| B-01  | 7759,545 | 2,520                 | Bomba de desplazamiento positivo | De embolo de varios cilindros |
| B-02  | 5010,508 | 0,972                 | Bomba de desplazamiento positivo | De embolo de varios cilindros |
| B-04  | 4,602    | 7,200                 | Bomba centrífuga                 | De aspiración simple          |
| B-09  | 7,510    | 1,044                 | Bomba centrífuga                 | De aspiración simple          |
| B-08  | 408,243  | 0,108                 | Bomba de desplazamiento positivo | De diafragma                  |
| B-10  | 6,512    | 1,116                 | Bomba centrífuga                 | De aspiración simple          |
| B-102 | 116,629  | 1,116                 | Bomba de desplazamiento positivo | De diafragma                  |
| B-12  | 8,345    | 1,080                 | Bomba centrífuga                 | De aspiración simple          |
| B-14* | 15,998   | 0,072                 | Bomba de desplazamiento positivo | Etapa simple (en seco)        |
| BA-01 | 7,770    | 0,108                 | Bomba centrífuga                 | De aspiración simple          |
| BA-03 | 6,216    | 2,016                 | Bomba de desplazamiento positivo | De diafragma                  |

**Tabla 11.3** Tipo de bomba para las corrientes líquidas

\*Para la catalogar la familia de bombas de vacío se hace uso de la gráfica 52 del anexo gráfico.

Para la selección del modelo de la bomba se realiza una búsqueda en los distintos catálogos de empresa, intentando encontrar el que mejor se ajuste a los requerimientos del sistema y a nuestras necesidades.

| Bomba             | TIPO/MODELO-<br>Ficha técnica | Qv(m <sup>3</sup> /s) | Velocidad(r.p.m) | Potencia<br>(kW) |
|-------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| B-01              | PF3017-10(2)*                 | 0,0007                | 1800             | 38               |
| B-02              | PF4312-11                     | 0,00027               | 1800             | 28               |
| B-04              | SIMPLEX M                     | 0,002                 | 2900             | 3                |
| B-09              | SIMPLEX M                     | 0,00029               | 2900             | 3                |
| B-08              | FMP-50                        | 0,00003               | 10               | -                |
| B-10              | SIMPLEX M                     | 0,00031               | 2900             | 3                |
| B-10 <sub>2</sub> | FMP-50                        | 0,00031               | 10               | -                |
| B-12              | SIMPLEX M                     | 0,0003                | 2900             | 3                |
| B-14              | SIHI <sup>dry</sup> M160(2)** | 0,00002               | -                | 3,5              |
| BA-01             | SIMPLEX M                     | 0,00003               | 2900             | 3                |
| BA-03             | FMP-50                        | 0,00056               | 10               | -                |

**Tabla 11.4** modelo de las bombas, las fichas técnicas se encuentran recogidas en la memoria de fichas técnicas. (1),(2),(3),(4),(5)

\* Para alcanzar la potencia necesaria de la bomba en este tramo, se tendrá que utilizar dos bombas en serie de las mismas características.

\*\* Se utilizarán dos bombas de estas características para crear ámbito cerrado y en vacío en el EV-02

#### 11.1.4. Selección de compresores.

Los criterios de selección del tipo de aparato más adecuado para la impulsión de gases son en principio los mismos que para la selección del tipo de bomba. Se han de tener en cuenta, por un lado, las propiedades del gas y por otro, las condiciones de impulsión. En principio, el primer factor a considerar es la presión de descarga que se ha de alcanzar, o mejor dicho, el salto de presión requerido y el caudal. Existen gráficos análogos al utilizado anteriormente, para los aparatos de impulsión de gases. En la figura 46 del anexo gráfico aparecen las zonas de presión y caudal aptas para cada tipo. La utilización de estos gráficos es similar a la de los correspondientes a las bombas.

Como se observa en la tabla 11.1 para la corriente de vapor (BV-01) la potencia necesaria es de 428,8084KW y la altura manométrica de



aproximadamente 10901m, la potencia necesaria es muy alta debido a la altura manométrica tan elevada que hay que vencer, por lo que se propone el uso de compresores en serie. Este tipo de configuración se utiliza cuando se requiere elevar un caudal dado a alturas importantes, puesto que sus curvas se suman en el sentido del eje.

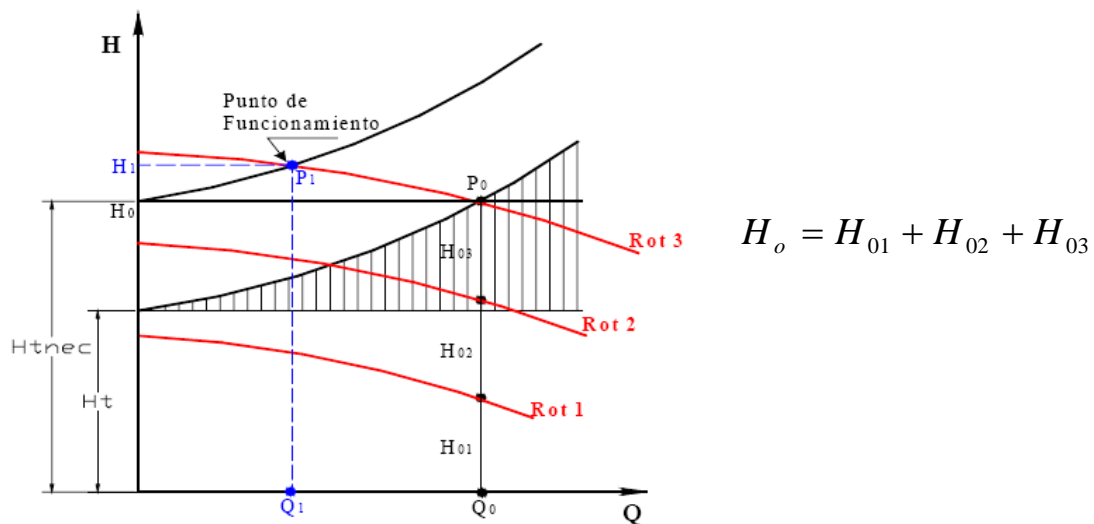


Figura 11.1 Compresores en serie

De esta manera se propone el uso de cuatro compresores alternativos, tipo de compresor seleccionado según el (gráfico 46 del anexo gráfico). Se proponen compresores comerciales de tipo H5450 serie Reavell conectados en serie con las siguientes características Ficha técnica 7

- Presión operativa máxima de 50 a 350 bar
- Potencia 110kW
- Presión de Entrada 7 bar
- Velocidad (r.p.m) 1475

De tal modo que cada compresor podrá desarrollar una potencia sobre el eje de 110 KW que multiplicado por cuatro se obtiene (440kW) más que la potencia requerida de 428,8084kW.

# ANEXO GRÁFICO

## 1. Parámetro de potencial de Lennard- Jones

| Molécula                           | Compuesto                | $b_0, \dagger$<br>cm <sup>3</sup> /g-mol | $\sigma, \text{A}$ | $\epsilon_0/k, \text{°K}$ |
|------------------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------------|
| A                                  | Argón                    | 46.08                                    | 3.542              | 93.3                      |
| He                                 | Helio                    | 20.95                                    | 2.551 ‡            | 10.22                     |
| Kr                                 | Criptón                  | 61.62                                    | 3.655              | 178.9                     |
| Nc                                 | Neón                     | 28.30                                    | 2.820              | 32.8                      |
| Xe                                 | Xenón                    | 83.66                                    | 4.047              | 231.0                     |
| Aire                               | Aire                     | 64.50                                    | 3.711              | 78.6                      |
| AsH <sub>3</sub>                   | Arsina                   | 89.88                                    | 4.145              | 259.8                     |
| BCl <sub>3</sub>                   | Cloruro de boro          | 170.1                                    | 5.127              | 337.7                     |
| BF <sub>3</sub>                    | Fluoruro de boro         | 93.35                                    | 4.198              | 186.3                     |
| B(OCH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>  | Borato metílico          | 210.3                                    | 5.503              | 396.7                     |
| Br <sub>2</sub>                    | Bromo                    | 100.1                                    | 4.296              | 507.9                     |
| CCl <sub>4</sub>                   | Tetracloruro de carbono  | 265.5                                    | 5.947              | 322.7                     |
| CF <sub>4</sub>                    | Tetrafluoruro de carbono | 127.9                                    | 4.662              | 134.0                     |
| CHCl <sub>3</sub>                  | Cloroformo               | 197.5                                    | 5.389              | 340.2                     |
| CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>    | Cloruro de metileno      | 148.3                                    | 4.898              | 356.3                     |
| CH <sub>3</sub> Br                 | Bromuro de metilo        | 88.14                                    | 4.118              | 449.2                     |
| CH <sub>3</sub> Cl                 | Cloruro de metilo        | 92.31                                    | 4.182              | 350                       |
| CH <sub>3</sub> OH                 | Metanol                  | 60.17                                    | 3.626              | 481.8                     |
| CH <sub>4</sub>                    | Metano                   | 66.98                                    | 3.758              | 148.6                     |
| CO                                 | Monóxido de carbono      | 63.41                                    | 3.690              | 91.7                      |
| COS                                | Sulfuro de carbonilo     | 88.91                                    | 4.130              | 336.0                     |
| CO <sub>2</sub>                    | Dióxido de carbono       | 77.25                                    | 3.941              | 195.2                     |
| CS <sub>2</sub>                    | Disulfuro de carbono     | 113.7                                    | 4.483              | 467                       |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>      | Acetileno                | 82.79                                    | 4.033              | 231.8                     |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>      | Etileno                  | 91.06                                    | 4.163              | 224.7                     |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>      | Etano                    | 110.7                                    | 4.443              | 215.7                     |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl   | Cloruro etílico          | 148.3                                    | 4.898              | 300                       |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH   | Etanol                   | 117.3                                    | 4.530              | 362.6                     |
| C <sub>2</sub> N <sub>2</sub>      | Cianógeno                | 104.7                                    | 4.361              | 348.6                     |
| CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>   | Eter metílico            | 100.9                                    | 4.307              | 395.0                     |
| CH <sub>2</sub> CHCH <sub>3</sub>  | Propileno                | 129.2                                    | 4.678              | 298.9                     |
| CH <sub>3</sub> CCH                | Metilacetileno           | 136.2                                    | 4.761              | 251.8                     |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>      | Ciclopropano             | 140.2                                    | 4.807              | 248.9                     |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>      | Propano                  | 169.2                                    | 5.118              | 237.1                     |
| n-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH | Alcohol n-propílico      | 118.8                                    | 4.549              | 576.7                     |
| CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>  | Acetona                  | 122.8                                    | 4.600              | 560.2                     |

## 2. Viscosidad de gases a baja presión y a 370°C.

| Compuesto            | T, °C. | Viscosidad experimental* | Valores calculados con los métodos de |             |                                   |             |   |             |
|----------------------|--------|--------------------------|---------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|---|-------------|
|                      |        |                          | Ec. (9-9)†<br>teórica                 |             | Bromley<br>y Wilke,<br>Ec. (9-12) |             | Stiel y<br>Thodos,<br>Ecs. (9-14)<br>a (9-17) |             |
|                      |        |                          | Calc.                                 | %<br>Error‡ | Calc.                             | %<br>Error‡ | Calc.   | %<br>Error‡ |
| Alcohol metílico ... | 35     | 1.013                    | 1.015                                 | + 0.2       | 0.890                             | -12         | 0.9586  | -5.4        |
|                      | 65     | 1.114                    | 1.119                                 | + 0.4       | 0.975                             | -12         | 1.065   | -4.4        |
|                      | 120    | 1.290                    | 1.298                                 | + 0.6       | 1.140                             | -12         | 1.260   | -2.3        |
|                      | 160    | 1.428                    | 1.428                                 | 0.0         | 1.253                             | -13         | 1.401   | -1.9        |
|                      | 240    | 1.692                    | 1.689                                 | - 0.2       | 1.478                             | -12         | 1.685   | -0.4        |
|                      | 320    | 1.945                    | 1.942                                 | - 0.2       | 1.692                             | -13         | 1.968   | +1.2        |
| Cloruro metílico ... | 20     | 1.061                    | 1.067                                 | + 0.6       | 1.083                             | + 2.1       | 1.039   | -2.1        |
|                      | 50     | 1.194                    | 1.177                                 | - 1.4       | 1.193                             | - 0.1       | 1.146   | -4.0        |
|                      | 80     | 1.287                    | 1.287                                 | 0.0         | 1.303                             | + 1.2       | 1.251   | -2.8        |
|                      | 130    | 1.471                    | 1.470                                 | - 0.1       | 1.482                             | + 0.7       | 1.421   | -3.4        |
| Cloruro de metileno  | 20     | 0.985                    | 1.024                                 | + 4.0       | 1.034                             | + 5.0       | 1.014   | +2.9        |
|                      | 100    | 1.265                    | 1.307                                 | + 3.3       | 1.320                             | + 4.3       | 1.306   | +3.2        |
|                      | 200    | 1.600                    | 1.666                                 | + 4.1       | 1.668                             | + 4.3       | 1.612   | +0.8        |
|                      | 300    | 1.925                    | 2.014                                 | + 4.7       | 2.002                             | + 4.0       | 1.975   | +2.6        |
| Alcohol n-propílico. | 125    | 1.035                    | 1.044                                 | + 0.9       | 1.026                             | - 0.9       | 1.058   | +2.2        |
|                      | 200    | 1.240                    | 1.244                                 | + 0.3       | 1.218                             | - 1.7       | 1.279   | +3.1        |
|                      | 275    | 1.440                    | 1.437                                 | - 0.2       | 1.404                             | - 2.5       | 1.500   | +4.2        |
| Error medio ....     | .....  | .....                    | .....                                 | 1.7         | .....                             | 4.4         | .....   | 3.2         |

\* Los valores experimentales se tomaron de P. M. Craven y J. D. Lambert, *Proc. Roy. Soc. (Londres)*, A205:439 (1951) y "Landolt-Börnstein Tables", volumen 4, pt. 1, Springer-Verlag OHG, Berlín, 1955.

† Para los valores calculados con la ecuación (9-9), si no se tuviesen los potenciales de Lennard-Jones del Apéndice G, se estimarían con las ecuaciones (2-42) y (2-43).

‡ % de error = [(calculado - experimental)/experimental] × 100.

§ Acido acético tomado como enlace de no hidrógeno.

### 3. Tabla de propiedades del metanol supercrítico del NIST (National Institute of Standards and technology )

| Isobaric Data for P = 45.000 MPa |                |                 |                |                          |                   |                   |              |              |                  |                       |                   |                      |               |
|----------------------------------|----------------|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|---------------|
| Temperature (K)                  | Pressure (MPa) | Density (kg/m3) | Volume (m3/kg) | Internal Energy (kJ/mol) | Enthalpy (kJ/mol) | Entropy (J/mol*K) | Cv (J/mol*K) | Cp (J/mol*K) | Sound Spd. (m/s) | Joule-Thomson (K/MPa) | Viscosity (uPa*s) | Therm. Cond. (W/m*K) | Phase         |
| 293.00                           | 45.000         | 826.54          | 0.0012099      | -43.099                  | -25.654           | -13.905           | 66.578       | 79.222       | 1340.7           | -0.35396              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 303.00                           | 45.000         | 818.76          | 0.0012214      | -35.260                  | -17.650           | -11.219           | 68.159       | 80.889       | 1315.5           | -0.34480              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 313.00                           | 45.000         | 811.00          | 0.0012330      | -27.251                  | -0.94714          | -85.632           | 69.799       | 82.696       | 1291.3           | -0.33482              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 323.00                           | 45.000         | 803.24          | 0.0012450      | -19.057                  | -0.11060          | -59.325           | 71.484       | 84.634       | 1267.9           | -0.32406              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 333.00                           | 45.000         | 795.45          | 0.0012571      | -10.667                  | 0.74595           | -33.211           | 73.201       | 86.695       | 1245.1           | -0.31256              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 343.00                           | 45.000         | 787.60          | 0.0012697      | -0.20708                 | 16.237            | -0.72421          | 74.936       | 88.869       | 1222.9           | -0.30036              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 353.00                           | 45.000         | 779.65          | 0.0012826      | 0.67425                  | 25.237            | 18.620            | 76.679       | 91.147       | 1201.1           | -0.28749              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 363.00                           | 45.000         | 771.58          | 0.0012960      | 15.782                   | 34.469            | 44.410            | 78.420       | 93.521       | 1179.5           | -0.27400              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 373.00                           | 45.000         | 763.36          | 0.0013100      | 25.055                   | 43.944            | 70.156            | 80.151       | 95.983       | 1157.9           | -0.25989              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 383.00                           | 45.000         | 754.96          | 0.0013246      | 34.570                   | 53.669            | 95.883            | 81.865       | 98.527       | 1136.3           | -0.24516              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 393.00                           | 45.000         | 746.36          | 0.0013398      | 44.333                   | 63.652            | 12.161            | 83.557       | 101.15       | 1114.4           | -0.22982              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 403.00                           | 45.000         | 737.54          | 0.0013559      | 54.350                   | 73.900            | 14.736            | 85.221       | 103.83       | 1092.3           | -0.21383              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 413.00                           | 45.000         | 728.46          | 0.0013728      | 64.627                   | 84.421            | 17.315            | 86.853       | 106.59       | 1069.8           | -0.19715              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 423.00                           | 45.000         | 719.11          | 0.0013906      | 75.168                   | 95.220            | 19.898            | 88.450       | 109.40       | 1046.8           | -0.17970              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 433.00                           | 45.000         | 709.45          | 0.0014095      | 85.979                   | 10.630            | 22.488            | 90.007       | 112.27       | 1023.2           | -0.16141              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 443.00                           | 45.000         | 699.48          | 0.0014296      | 97.062                   | 11.768            | 25.084            | 91.522       | 115.20       | 999.03           | -0.14216              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 453.00                           | 45.000         | 689.16          | 0.0014510      | 10.842                   | 12.934            | 27.689            | 92.991       | 118.17       | 974.23           | -0.12182              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 463.00                           | 45.000         | 678.46          | 0.0014739      | 12.006                   | 14.131            | 30.302            | 94.411       | 121.19       | 948.79           | -0.10021              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 473.00                           | 45.000         | 667.38          | 0.0014984      | 13.198                   | 15.358            | 32.924            | 95.778       | 124.26       | 922.72           | -0.077144             | undefined         | undefined            | liquid        |
| 483.00                           | 45.000         | 655.87          | 0.0015247      | 14.418                   | 16.616            | 35.556            | 97.088       | 127.36       | 896.06           | -0.052395             | undefined         | undefined            | liquid        |
| 493.00                           | 45.000         | 643.92          | 0.0015530      | 15.666                   | 17.906            | 38.198            | 98.336       | 130.49       | 868.88           | -0.025706             | undefined         | undefined            | liquid        |
| 503.00                           | 45.000         | 631.50          | 0.0015835      | 16.943                   | 19.226            | 40.850            | 99.517       | 133.66       | 841.29           | 0.0032042             | undefined         | undefined            | liquid        |
| 513.00                           | 45.000         | 618.59          | 0.0016166      | 18.248                   | 20.579            | 43.512            | 100.62       | 136.83       | 813.42           | 0.034641              | undefined         | undefined            | liquid        |
| 523.00                           | 45.000         | 605.17          | 0.0016524      | 19.580                   | 21.963            | 46.184            | 101.65       | 140.01       | 785.46           | 0.068921              | undefined         | undefined            | supercritical |
| 533.00                           | 45.000         | 591.23          | 0.0016914      | 20.940                   | 23.379            | 48.866            | 102.59       | 143.16       | 757.60           | 0.10636               | undefined         | undefined            | supercritical |
| 543.00                           | 45.000         | 576.75          | 0.0017338      | 22.326                   | 24.826            | 51.556            | 103.43       | 146.26       | 730.05           | 0.14727               | undefined         | undefined            | supercritical |
| 553.00                           | 45.000         | 561.75          | 0.0017801      | 23.737                   | 26.304            | 54.252            | 104.16       | 149.26       | 703.04           | 0.19190               | undefined         | undefined            | supercritical |
| 563.00                           | 45.000         | 546.24          | 0.0018307      | 25.171                   | 27.811            | 56.953            | 104.78       | 152.11       | 676.81           | 0.24043               | undefined         | undefined            | supercritical |
| 573.00                           | 45.000         | 530.27          | 0.0018858      | 26.626                   | 29.345            | 59.655            | 105.27       | 154.73       | 651.59           | 0.29288               | undefined         | undefined            | supercritical |
| 583.00                           | 45.000         | 513.88          | 0.0019460      | 28.098                   | 30.904            | 62.352            | 105.62       | 157.03       | 627.66           | 0.34892               | undefined         | undefined            | supercritical |
| 593.00                           | 45.000         | 497.18          | 0.0020113      | 29.584                   | 32.484            | 65.039            | 105.84       | 158.87       | 605.38           | 0.40769               | undefined         | undefined            | supercritical |
| 603.00                           | 45.000         | 480.31          | 0.0020820      | 31.078                   | 34.080            | 67.707            | 105.92       | 160.14       | 585.10           | 0.46775               | undefined         | undefined            | supercritical |
| 613.00                           | 45.000         | 463.43          | 0.0021578      | 32.573                   | 35.685            | 70.347            | 105.85       | 160.72       | 567.12           | 0.52742               | undefined         | undefined            | supercritical |

#### 4. Conductividad Térmica del Metanol Supercrítico

Experimental thermal conductivities ( $\lambda \times 10^4 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ), pressures, and temperatures of methanol

| <i>T</i> (K) | <i>P</i> (MPa) |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|              | 0.1            | 1    | 5    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   |  |
| 292.3        | 2038           | 2042 | 2073 | 2106 | 2162 | 2209 | 2251 | 2291 | 2333 |  |
| 308.4        | 1982           | 1992 | 2017 | 2052 | 2110 | 2156 | 2200 | 2244 | 2285 |  |
| 323.9        | 1940           | 1948 | 1971 | 2006 | 2065 | 2110 | 2155 | 2200 | 2244 |  |
| 340.0        | 193            | 1898 | 1925 | 1960 | 2021 | 2070 | 2113 | 2159 | 2205 |  |
| 371.9        | 228            | 1808 | 1837 | 1878 | 1935 | 1984 | 2031 | 2076 | 2123 |  |
| 401.2        | 262            | 1738 | 1770 | 1817 | 1871 | 1928 | 1979 | 2025 | 2070 |  |
| 419.1        | 282            | 375  | 1729 | 1780 | 1844 | 1902 | 1952 | 1995 | 2045 |  |
| 448.7        | 317            | 375  | 1662 | 1721 | 1795 | 1855 | 1908 | 1960 | 2008 |  |
| 480.5        | 359            | 395  | 1566 | 1648 | 1734 | 1805 | 1870 | 1922 | 1974 |  |
| 499.8        | 384            | 412  | 636  | 1581 | 1696 | 1776 | 1846 | 1901 | 1955 |  |
| 521.6        | 412            | 434  | 599  | 1467 | 1640 | 1731 | 1815 | 1876 | 1932 |  |
| 549.2        | 450            | 465  | 573  | 1257 | 1557 | 1682 | 1778 | 1850 | 1912 |  |
| 575.4        | 488            | 502  | 572  | 1091 | 1446 | 1637 | 1752 | 1833 | 1896 |  |
| 601.1        | 525            | 542  | 591  | 1028 | 1360 | 1594 | 1727 | 1816 | 1883 |  |

#### 5. Propiedades del INCONEL 625 (N06625)

Table A-1

ASME B31.3-2002

TABLE A-1 (CONT'D)  
BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS<sup>1</sup>

Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

| Material                             | Spec. No. | P-No. or S-No. (5) | UNS No. or Grade | Class          | Size Range, in. | Notes    | Min. Temp., °F (6) | Specified Min. Strength, ksi |       | Min. Temp. |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------------------------|-----------|--------------------|------------------|----------------|-----------------|----------|--------------------|------------------------------|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                                      |           |                    |                  |                |                 |          |                    | Tensile                      | Yield | to 100     | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  | 650  | 700  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nickel and Nickel Alloy (4) (Cont'd) |           |                    |                  |                |                 |          |                    |                              |       |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Forgings and Fittings (2) (Cont'd)   |           |                    |                  |                |                 |          |                    |                              |       |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ni-Cr-Fe                             | B 564     | 43                 | N06600           | Annealed       | All             | (9)      | -325               | 80                           | 35    | 23.3       | 23.3 | 23.3 | 23.3 | 23.3 | 23.3 | 23.3 | 23.3 | 23.3 | 23.3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ni-Cr-Mo-Fe                          | B 366     | S-43               | N06002           | ...            | ...             | (32)(74) | -325               | 100                          | 40    | 26.7       | 23.3 | 23.3 | 22.9 | 22.3 | 21.1 | 20.7 | 20.3 |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Low C-Ni-Fe-Cr-Mo-Cu                 | B 366     | S45                | N08031           | Annealed H.W.  | All             | ...      | -325               | 94                           | 40    | 26.7       | 26.7 | 26.6 | 24.8 | 23.2 | 22.1 | 21.8 | 21.2 |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Low C-Ni-Fe-Cr-Mo-Cu                 | B 564     |                    |                  |                |                 |          |                    |                              |       |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ni-Mo-Cr                             | B 366     | 44                 | N10276           | Sol. ann.      | All             | ...      | -325               | 100                          | 41    | 27.3       | 27.3 | 27.3 | 27.3 | 26.9 | 25.4 | 24.7 | 24.0 |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ni-Mo-Cr                             | B 564     | 44                 | N10276           | Sol. ann.      | All             | (9)      |                    |                              |       |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ni-Mo                                | B 366     | 44                 | N10001           | ...            | ...             | (32)(74) | -325               | 100                          | 45    | 30.0       | 25.0 | 25.0 | 24.7 | 24.3 | 24.2 | 24.1 | 24.0 |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ni-Mo-Cr                             | B 366     | 44                 | N06022           | ...            | ...             | (32)(74) | -325               | 100                          | 45    | 30.0       | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 28.6 | 27.1 | 26.5 | 25.9 |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ni-Cr-Mo                             | B 564     | 44                 | N06022           | ...            | ...             | ...      |                    |                              |       |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Low C-Ni-Cr-Mo                       | B 366     | S44                | N06059           | H.W. Sol. ann. | All             | ...      | -325               | 100                          | 45    | 30.0       | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 29.6 | 28.1 | 27.5 | 26.7 |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Low C-Ni-Cr-Mo                       | B 564     |                    |                  |                |                 |          |                    |                              |       |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ni-Cr-Mo-Cb                          | B 564     | 43                 | N06625           | Annealed       | ≤ 4             | (9)(64)  | -325               | 120                          | 60    | 40.0       | 40.0 | 40.0 | 40.0 | 38.3 | 38.0 | 37.7 | 37.4 |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ni-Mo                                | B 366     | 44                 | N10665           | Sol. ann.      | All             | ...      | -325               | 110                          | 51    | 34.0       | 34.0 | 34.0 | 34.0 | 34.0 | 34.0 | 34.0 | 34.0 |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



**TABLE A-1 (CONT'D)**  
**BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS<sup>1</sup>**  
 Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

| Basic Allowable Stress S, ksi (1), at Metal Temperature, °F (7) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | UNS No.<br>or Grade  | Spec.<br>No.            |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|-------------------------|
| 750   | 800  | 850  | 900  | 950  | 1000 | 1050 | 1100 | 1150 | 1200 | 1250 | 1300 | 1350 | 1400 | 1450 | 1500 | 1550 | 1600 | 1650 |  |                         |
|   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Nickel and Nickel Alloy (4) (Cont'd)<br>Forgings and Fittings (2) (Cont'd) |                         |
| 23.3  | 23.3 | 20.0 | 16.0 | 10.6 | 7.0  | 4.5  | 3.0  | 2.2  | 2.0  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | N06600   | B 564                   |
| 20.1  | 19.8 | 19.7 | 19.6 | 19.5 | 19.3 | 18.4 | 17.5 | 14.1 | 11.3 | 9.5  | 7.7  | 6.1  | 4.3  | 3.8  | 3.0  | ...  | ...  | ...  | N06002   | B 366<br>B 366          |
| 20.9  | 20.5 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | N08031   | B 564                   |
| 23.5  | 23.0 | 22.6 | 22.3 | 22.1 | 21.8 | 18.5 | 15.0 | 12.2 | 9.8  | 7.8  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | N10276   | B 366<br>B 564          |
| 23.9  | 23.8 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | N10001   | B 366                   |
| 25.5  | 25.1 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | N06022   | B 366<br>B 564<br>B 366 |
| 26.1  | 25.6 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | N06059   | B 564                   |
| 37.4  | 37.4 | 37.4 | 37.4 | 37.4 | 37.4 | 37.4 | 23.4 | 21.0 | 13.2 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | N06625   | B 564                   |
| 34.0  | 34.0 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | N10665   | B 366                   |

## 6. . Conductividad térmica del INCONEL 625

| Temperature<br>°F | Mean Linear<br>Expansion <sup>a</sup><br>10 <sup>-6</sup> in/in•°F | Thermal<br>Conductivity <sup>b,c</sup><br>Btu•in/ft <sup>2</sup> •h•°F | Electrical<br>Resistivity <sup>c</sup><br>ohm-circ mil/ft | Temperature<br>°C | Mean Linear<br>Expansion <sup>a</sup><br>µm/µm•°C | Thermal<br>Conductivity <sup>b,c</sup><br>W/m•°C | Electrical<br>Resistivity <sup>c</sup><br>µΩ-cm |
|-------------------|--|--|---|-------------------|---|--|---|
| -250              | -  | 50   | -   | -157              | -   | 7.2  | -   |
| -200              | -  | 52   | -   | -129              | -   | 7.5  | -   |
| -100              | -  | 58   | -   | -73               | -   | 8.4  | -   |
| 0                 | -  | 64   | -   | -18               | -   | 9.2  | -   |
| 70                | -  | 68   | 776   | 21                | -   | 9.8  | 129   |
| 100               | -  | 70   | 780   | 38                | -   | 10.1   | 130   |
| 200               | 7.1  | 75   | 794   | 93                | 12.8  | 10.8   | 132   |
| 400               | 7.3  | 87   | 806   | 204               | 13.1  | 12.5   | 134   |
| 600               | 7.4  | 98   | 812   | 316               | 13.3  | 14.1   | 135   |
| 800               | 7.6  | 109  | 818   | 427               | 13.7  | 15.7   | 136   |
| 1000              | 7.8  | 121  | 830   | 538               | 14.0  | 17.5   | 138   |
| 1200              | 8.2  | 132  | 830   | 649               | 14.8  | 19.0   | 138   |
| 1400              | 8.5  | 144  | 824   | 760               | 15.3  | 20.8   | 137   |
| 1600              | 8.8  | 158  | 818   | 871               | 15.8  | 22.8   | 136   |
| 1700              | 9.0  | -  | -   | 927               | 16.2  | -  | -   |
| 1800              | -  | 175  | 812   | 982               | -   | 25.2   | 135   |
| 2000              | -  | -  | 806   | 1093              | -   | -  | 134   |

## 7. Dimensiones características de tuberías de INCONEL 625

| NOMINAL PIPE SIZE<br>in | OUTSIDE DIAMETER<br>in mm |        | NOMINAL WALL THICKNESS |      |                      |      |                      |       |                      |       |                       |       |
|-------------------------|---------------------------|--------|------------------------|------|----------------------|------|----------------------|-------|----------------------|-------|-----------------------|-------|
|                         |                           |        | Schedule 5<br>in mm    |      | Schedule 10<br>in mm |      | Schedule 40<br>in mm |       | Schedule 80<br>in mm |       | Schedule 160<br>in mm |       |
| 1/8                     | 0.405                     | 10.29  |                        |      | 0.049                | 1.24 | 0.068                | 1.73  | 0.095                | 2.41  |                       |       |
| 1/4                     | 0.540                     | 13.72  |                        |      | 0.065                | 1.65 | 0.088                | 2.24  | 0.119                | 3.02  |                       |       |
| 3/8                     | 0.675                     | 17.14  |                        |      | 0.065                | 1.65 | 0.091                | 2.31  | 0.126                | 3.20  |                       |       |
| 1/2                     | 0.840                     | 21.34  | 0.065                  | 1.65 | 0.083                | 2.11 | 0.109                | 2.77  | 0.147                | 3.73  | 0.187                 | 4.75  |
| 3/4                     | 1.050                     | 26.67  | 0.065                  | 1.65 | 0.083                | 2.11 | 0.113                | 2.87  | 0.154                | 3.91  | 0.218                 | 5.54  |
| 1                       | 1.315                     | 33.40  | 0.065                  | 1.65 | 0.109                | 2.77 | 0.133                | 3.38  | 0.179                | 4.55  | 0.250                 | 6.35  |
| 1 ¼                     | 1.660                     | 42.16  | 0.065                  | 1.65 | 0.109                | 2.77 | 0.140                | 3.56  | 0.191                | 4.85  | 0.250                 | 6.35  |
| 1 ½                     | 1.900                     | 48.26  | 0.065                  | 1.65 | 0.109                | 2.77 | 0.145                | 3.68  | 0.200                | 5.08  | 0.281                 | 7.14  |
| 2                       | 2.375                     | 60.32  | 0.065                  | 1.65 | 0.109                | 2.77 | 0.154                | 3.91  | 0.218                | 5.54  | 0.343                 | 8.71  |
| 2 ½                     | 2.875                     | 73.02  | 0.083                  | 2.11 | 0.120                | 3.05 | 0.203                | 5.16  | 0.276                | 7.01  | 0.375                 | 9.52  |
| 3                       | 3.500                     | 88.90  | 0.083                  | 2.11 | 0.120                | 3.05 | 0.216                | 5.49  | 0.300                | 7.62  | 0.438                 | 11.10 |
| 3 ½                     | 4.000                     | 101.60 | 0.083                  | 2.11 | 0.120                | 3.05 | 0.226                | 5.74  | 0.318                | 8.08  |                       |       |
| 4                       | 4.500                     | 114.30 | 0.083                  | 2.11 | 0.120                | 3.05 | 0.237                | 6.02  | 0.337                | 8.56  | 0.531                 | 13.50 |
| 5                       | 5.563                     | 141.30 | 0.109                  | 2.77 | 0.134                | 3.40 | 0.258                | 6.55  | 0.375                | 9.52  | 0.625                 | 15.90 |
| 6                       | 6.625                     | 168.30 | 0.109                  | 2.77 | 0.134                | 3.40 | 0.280                | 7.11  | 0.0432               | 11.00 | 0.718                 | 18.20 |
| 8                       | 8.625                     | 219.10 | 0.109                  | 2.77 | 0.148                | 3.76 | 0.322                | 8.18  | 0.500                | 12.70 | 0.906                 | 23.00 |
| 10                      | 10.750                    | 273.00 | 0.134                  | 3.40 | 0.165                | 4.19 | 0.365                | 9.27  | 0.593                | 15.10 |                       |       |
| 12                      | 12.750                    | 323.80 | 0.165                  | 4.19 | 0.180                | 4.57 | 0.406                | 10.30 | 0.687                | 17.40 |                       |       |



## 8. Propiedades mecánicas del acero al carbono SA 285 C

TABLE 1A (CONT'D)  
 SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3;\* AND SECTION VIII, DIVISION 1  
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES *S* FOR FERROUS MATERIALS  
 (\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

| Line No. | Nominal Composition | Product Form      | Spec No.         | Type/Grade | Alloy Desig./ UNS No. | Class/ Cond./ Temper | Size/ Thickness, in. | P-No. | Group No. |
|----------|---------------------|-------------------|------------------|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-------|-----------|
| 1        | Carbon steel        | Wld. pipe         | SA-134           | A283B      | ...                   | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 2        | Carbon steel        | Plate             | SA-283           | B          | ...                   | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 3        | Carbon steel        | Plate             | SA-285           | B          | K02200                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 4        | Carbon steel        | Plate             | SA-285           | B          | K02200                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 5        | Carbon steel        | Wld. pipe         | SA-672           | A50        | K02200                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 6        | Carbon steel        | Sheet             | SA-414           | B          | K02201                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 7        | Carbon steel        | Plate             | SA/EN<br>10028-3 | P275NH     | ...                   | ...                  | 2 < t ≤ 4            | 1     | 1         |
| 8        | Carbon steel        | Bar               | SA-675           | 55         | ...                   | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 9        | Carbon steel        | Bar               | SA-675           | 55         | ...                   | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 10       | Carbon steel        | Wld. pipe         | SA-134           | A283C      | K02401                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 11       | Carbon steel        | Plate             | SA-283           | C          | K02401                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 12       | Carbon steel        | Plate             | SA-285           | C          | K02801                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 13       | Carbon steel        | Smls. & wld. pipe | SA-333           | 1          | K03008                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 14       | Carbon steel        | Smls. & wld. tube | SA-334           | 1          | K03008                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 15       | Carbon steel        | Wld. tube         | SA-334           | 1          | K03008                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 16       | Carbon steel        | Plate             | SA-516           | 55         | K01800                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 17       | Carbon steel        | Smls. pipe        | SA-524           | II         | K02104                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 18       | Carbon steel        | Wld. pipe         | SA-671           | CA55       | K02801                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 19       | Carbon steel        | Wld. pipe         | SA-671           | CE55       | K02202                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 20       | Carbon steel        | Wld. pipe         | SA-672           | A55        | K02801                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 21       | Carbon steel        | Wld. pipe         | SA-672           | B55        | K02001                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 22       | Carbon steel        | Wld. pipe         | SA-672           | C55        | K01800                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 23       | Carbon steel        | Wld. pipe         | SA-672           | E55        | K02202                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 24       | Carbon steel        | Sheet             | SA-414           | C          | K02503                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 25       | Carbon steel        | Plate             | SA/EN<br>10028-3 | P275NH     | ...                   | ...                  | ≤ 2                  | 1     | 1         |
| 26       | ...                 | ...               | ...              | ...        | ...                   | ...                  | ...                  | ...   | ...       |
| 27       | Carbon steel        | Bar               | SA-36            | ...        | K02600                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 28       | Carbon steel        | Plate, sheet      | SA-36            | ...        | K02600                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 29       | Carbon steel        | Plate, sheet      | SA-662           | A          | K01701                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 30       | Carbon steel        | Forgings          | SA-181           | ...        | K03502                | 60                   | ...                  | 1     | 1         |
| 31       | Carbon steel        | Castings          | SA-216           | WCA        | J02502                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 32       | Carbon steel        | Forgings          | SA-266           | 1          | K03506                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 33       | Carbon steel        | Forgings          | SA-350           | LF1        | K03009                | 1                    | ...                  | 1     | 1         |
| 34       | Carbon steel        | Castings          | SA-352           | LCA        | J02504                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 35       | Carbon steel        | Cast pipe         | SA-660           | WCA        | J02504                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 36       | Carbon steel        | Bar               | SA-675           | 60         | ...                   | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 37       | Carbon steel        | Bar               | SA-675           | 60         | ...                   | ...                  | ...                  | 1     | 1         |
| 38       | Carbon steel        | Forgings          | SA-765           | I          | K03046                | ...                  | ...                  | 1     | 1         |

TABLE 1A (CONT'D)  
 SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3;\* AND SECTION VIII, DIVISION 1  
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES S FOR FERROUS MATERIALS  
 (\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

| Line No. | Min. Tensile Strength, ksi | Min. Yield Strength, ksi | Applic. and Max. Temp. Limits<br>(NP = Not Permitted)<br>(SPT = Supports Only) |                  |        | External Pressure Chart No. | Notes                      |
|----------|----------------------------|--------------------------|--|------------------|--------|-----------------------------|----------------------------|
|          |                            |                          | I  | III              | VIII-1 |                             |                            |
| 1        | 50                         | 27                       | NP   | 300 (Cl. 3 only) | NP     | CS-1                        | W12                        |
| 2        | 50                         | 27                       | NP   | 300 (Cl. 3 only) | 650    | CS-1                        | ...                        |
| 3        | 50                         | 27                       | 900  | NP               | NP     | CS-1                        | G10, S1, T1                |
| 4        | 50                         | 27                       | NP   | 700              | 900    | CS-1                        | G10, G35, T1               |
| 5        | 50                         | 27                       | NP   | 700              | NP     | CS-1                        | S6, T1, W10, W12           |
| 6        | 50                         | 30                       | NP   | NP               | 900    | CS-2                        | G10, G35, T1               |
| 7        | 53.5                       | 34                       | NP   | NP               | 400    | CS-2                        | G10, G35                   |
| 8        | 55                         | 27.5                     | 850  | 700 (SPT)        | 900    | CS-1                        | G10, G15, G18, G22, S1, T2 |
| 9        | 55                         | 27.5                     | NP   | 650 (Cl. 3 only) | NP     | CS-1                        | ...                        |
| 10       | 55                         | 30                       | NP   | 300 (Cl. 3 only) | NP     | CS-2                        | W12                        |
| 11       | 55                         | 30                       | NP   | 300 (Cl. 3 only) | 650    | CS-2                        | ...                        |
| 12       | 55                         | 30                       | 900  | 700              | 900    | CS-2                        | G10, G35, S1, T2           |
| 13       | 55                         | 30                       | NP   | 700              | 650    | CS-2                        | W12, W14                   |
| 14       | 55                         | 30                       | NP   | 700              | 650    | CS-2                        | W12, W14                   |
| 15       | 55                         | 30                       | NP   | NP               | 650    | CS-2                        | G24, W6                    |
| 16       | 55                         | 30                       | 850  | 700              | 1000   | CS-2                        | G10, S1, T2                |
| 17       | 55                         | 30                       | NP   | NP               | 1000   | CS-2                        | G10, T2                    |
| 18       | 55                         | 30                       | NP   | 700              | NP     | CS-2                        | S6, W10, W12               |
| 19       | 55                         | 30                       | NP   | 700              | NP     | CS-2                        | S6, W10, W12               |
| 20       | 55                         | 30                       | NP   | 700              | NP     | CS-2                        | S6, W10, W12               |
| 21       | 55                         | 30                       | NP   | 700              | NP     | CS-2                        | S6, W10, W12               |
| 22       | 55                         | 30                       | NP   | 700              | NP     | CS-2                        | S6, W10, W12               |
| 23       | 55                         | 30                       | NP   | 700              | NP     | CS-2                        | S6, W10, W12               |
| 24       | 55                         | 33                       | NP   | 700              | 900    | CS-2                        | G10, G35, T1               |
| 25       | 56.5                       | 38.5                     | NP   | NP               | 400    | CS-2                        | G10, G35                   |
| 26       | ...                        | ...                      | ...  | ...              | ...    | ...                         | ...                        |
| 27       | 58                         | 36                       | 650  | 650 (SPT)        | 900    | CS-2                        | G10, G15, G18, G35, T1     |
| 28       | 58                         | 36                       | NP   | 700              | 650    | CS-2                        | G10, G35, G36, T1          |
| 29       | 58                         | 40                       | NP   | NP               | 700    | CS-2                        | T1                         |
| 30       | 60                         | 30                       | 1000   | 700              | 1000   | CS-2                        | G10, G18, G35, S1, T2      |
| 31       | 60                         | 30                       | 1000   | 700              | 1000   | CS-2                        | G1, G10, G17, G18, S1, T2  |
| 32       | 60                         | 30                       | 1000   | 700              | 1000   | CS-2                        | G10, G18, S1, T2           |
| 33       | 60                         | 30                       | NP   | 700              | 1000   | CS-2                        | G10, T2                    |
| 34       | 60                         | 30                       | NP   | 700              | NP     | CS-2                        | G17                        |
| 35       | 60                         | 30                       | 1000   | 700              | NP     | CS-2                        | G1, G10, G17, G18, S1, T2  |
| 36       | 60                         | 30                       | 850  | 700 (SPT)        | NP     | CS-2                        | G10, G15, G18, S1, T2      |
| 37       | 60                         | 30                       | NP   | 650 (Cl. 3 only) | 900    | CS-2                        | G10, G22, G35, T2          |
| 38       | 60                         | 30                       | NP   | NP               | 650    | CS-2                        | ...                        |

TABLE 1A (CONT'D)  
 SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3;\* AND SECTION VIII, DIVISION 1  
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES S FOR FERROUS MATERIALS  
 (\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

| Line No. | Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |
|----------|--|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
|          | -20 to 100   | 150  | 200  | 250 | 300  | 400  | 500  | 600  | 650  | 700  | 750  | 800  | 850 | 900 |
| 1        | 14.3   | ...  | 14.3 | ... | 14.3 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ... | ... |
| 2        | 14.3   | 14.3 | 14.3 | ... | 14.3 | 14.3 | 14.3 | 13.8 | 13.3 | ...  | ...  | ...  | ... | ... |
| 3        | 14.3   | ...  | 14.3 | ... | 14.3 | 14.3 | 14.3 | 13.8 | 13.3 | 12.5 | 11.0 | 9.4  | 7.3 | 5.0 |
| 4        | 14.3   | 14.3 | 14.3 | ... | 14.3 | 14.3 | 14.3 | 13.8 | 13.3 | 12.5 | 11.2 | 9.6  | 8.1 | 5.9 |
| 5        | 14.3   | ...  | 14.3 | ... | 14.3 | 14.3 | 14.3 | 13.8 | 13.3 | 12.5 | ...  | ...  | ... | ... |
| 6        | 14.3   | 14.3 | 14.3 | ... | 14.3 | 14.3 | 14.3 | 14.3 | 14.3 | 12.5 | 11.2 | 9.6  | 8.1 | 5.9 |
| 7        | 15.3   | 15.3 | 15.3 | ... | 15.3 | 15.3 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ... | ... |
| 8        | 15.7   | 15.7 | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 14.9 | 14.1 | 13.6 | 13.1 | 12.7 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 9        | 15.7   | ...  | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 14.9 | 14.1 | 13.6 | ...  | ...  | ...  | ... | ... |
| 10       | 15.7   | ...  | 15.7 | ... | 15.7 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ... | ... |
| 11       | 15.7   | 15.7 | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | ...  | ...  | ...  | ... | ... |
| 12       | 15.7   | 15.7 | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 13       | 15.7   | ...  | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | ...  | ...  | ... | ... |
| 14       | 15.7   | ...  | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | ...  | ...  | ... | ... |
| 15       | 13.4   | 13.4 | 13.4 | ... | 13.4 | 13.4 | 13.4 | 13.0 | 12.6 | ...  | ...  | ...  | ... | ... |
| 16       | 15.7   | 15.7 | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 17       | 15.7   | 15.7 | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 18       | 15.7   | ...  | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | ...  | ...  | ... | ... |
| 19       | 15.7   | ...  | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | ...  | ...  | ... | ... |
| 20       | 15.7   | ...  | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | ...  | ...  | ... | ... |
| 21       | 15.7   | ...  | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | ...  | ...  | ... | ... |
| 22       | 15.7   | ...  | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | ...  | ...  | ... | ... |
| 23       | 15.7   | ...  | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | ...  | ...  | ... | ... |
| 24       | 15.7   | 15.7 | 15.7 | ... | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.6 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 25       | 16.1   | 16.1 | 16.1 | ... | 16.1 | 16.1 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ... | ... |
| 26       | ...  | ...  | ...  | ... | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ... | ... |
| 27       | 16.6   | 16.6 | 16.6 | ... | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 15.6 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 28       | 16.6   | ...  | 16.6 | ... | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 15.6 | ...  | ...  | ... | ... |
| 29       | 16.6   | 16.6 | 16.6 | ... | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 15.6 | ...  | ...  | ... | ... |
| 30       | 17.1   | 17.1 | 17.1 | ... | 17.1 | 17.1 | 16.3 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 31       | 17.1   | ...  | 17.1 | ... | 17.1 | 17.1 | 16.3 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 32       | 17.1   | 17.1 | 17.1 | ... | 17.1 | 17.1 | 16.3 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 33       | 17.1   | 17.1 | 17.1 | ... | 17.1 | 17.1 | 16.3 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 34       | 17.1   | ...  | 17.1 | ... | 17.1 | 17.1 | 16.3 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | ...  | ...  | ... | ... |
| 35       | 17.1   | ...  | 17.1 | ... | 17.1 | 17.1 | 16.3 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 36       | 17.1   | ...  | 17.1 | ... | 17.1 | 17.1 | 16.3 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | ... |
| 37       | 17.1   | 17.1 | 17.1 | ... | 17.1 | 17.1 | 16.3 | 15.3 | 14.8 | 14.3 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 5.9 |
| 38       | 17.1   | 17.1 | 17.1 | ... | 17.1 | 17.1 | 16.3 | 15.3 | 14.8 | ...  | ...  | ...  | ... | ... |

## 9. Propiedades del acero inoxidable SS-316 (A312) y SS-304(A312) para las tuberías

Table A-3

ASME B31.1-2001

TABLE A-3  
STAINLESS STEELS (CONT'D)

| Spec. No.                       | Type or Grade | Class | UNS Alloy No. | Nominal Composition | P-No. | Notes      | Specified Minimum Tensile, ksi | Specified Minimum Yield, ksi | E or F |
|---------------------------------|---------------|-------|---------------|---------------------|-------|------------|--------------------------------|------------------------------|--------|
| Seamless Pipe and Tube (Cont'd) |               |       |               |                     |       |            |                                |                              |        |
| Austenitic (Cont'd)             |               |       |               |                     |       |            |                                |                              |        |
| A 312                           | TP304         | ...   | S30400        | 18Cr-8Ni            | 8     | (10)       | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP304         | ...   | S30400        | 18Cr-8Ni            | 8     | (9)(10)    | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP304H        | ...   | S30409        | 18Cr-8Ni            | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP304H        | ...   | S30409        | 18Cr-8Ni            | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 1.00   |
| A 312                           | TP304L        | ...   | S30403        | 18Cr-8Ni            | 8     | (1)        | 70                             | 25                           | 1.00   |
|                                 | TP304L        | ...   | S30403        | 18Cr-8Ni            | 8     | (1)(9)     | 70                             | 25                           | 1.00   |
|                                 | TP304N        | ...   | S30451        | 18Cr-8Ni-N          | 8     | (10)       | 80                             | 35                           | 1.00   |
|                                 | TP304N        | ...   | S30451        | 18Cr-8Ni-N          | 8     | (9)(10)    | 80                             | 35                           | 1.00   |
| A 312                           | TP309H        | ...   | S30909        | 23Cr-12Ni           | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP309H        | ...   | S30909        | 23Cr-12Ni           | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP310H        | ...   | S31009        | 25Cr-20Ni           | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP310H        | ...   | S31009        | 25Cr-20Ni           | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 1.00   |
| A 312                           | TP316         | ...   | S31600        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | (10)       | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP316         | ...   | S31600        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | (9)(10)    | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP316H        | ...   | S31609        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP316H        | ...   | S31609        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 1.00   |
| A 312                           | TP316L        | ...   | S31603        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | (1)        | 70                             | 25                           | 1.00   |
|                                 | TP316L        | ...   | S31603        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | (1)(9)     | 70                             | 25                           | 1.00   |
|                                 | TP316N        | ...   | S31651        | 16Cr-12Ni-2Mo-N     | 8     | (10)       | 80                             | 35                           | 1.00   |
|                                 | TP316N        | ...   | S31651        | 16Cr-12Ni-2Mo-N     | 8     | (9)(10)    | 80                             | 35                           | 1.00   |
| A 312                           | TP317         | ...   | S31700        | 18Cr-13Ni-3Mo       | 8     | (1)(10)    | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP317         | ...   | S31700        | 18Cr-13Ni-3Mo       | 8     | (1)(9)(10) | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP321         | ...   | S32100        | 18Cr-10Ni-Ti        | 8     | (10)       | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP321         | ...   | S32100        | 18Cr-10Ni-Ti        | 8     | (9)(10)    | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP321H        | ...   | S32109        | 18Cr-10Ni-Ti        | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP321H        | ...   | S32109        | 18Cr-10Ni-Ti        | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 1.00   |
| A 312                           | TP347         | ...   | S34700        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | (10)       | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP347         | ...   | S34700        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | (9)(10)    | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP347H        | ...   | S34709        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 1.00   |
|                                 | TP347H        | ...   | S34709        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 1.00   |

ASME B31.1-2001

Table A-3

TABLE A-3  
STAINLESS STEELS (CONT'D)

| Maximum Allowable Stress Values in Tension, ksi, for Metal Temperature, °F, Not Exceeding |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                     |              |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|--------------|
| -20<br>to<br>100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  | 650  | 700  | 750  | 800  | 850  | 900  | 950  | 1000 | 1050 | 1100 | 1150 | 1200 | Type<br>or<br>Grade | Spec.<br>No. |
| Seamless Pipe and Tube (Cont'd)<br>Austenitic (Cont'd)                                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                     |              |
| 18.8  | 15.7 | 14.1 | 13.0 | 12.2 | 11.4 | 11.3 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.4 | 10.2 | 10.0 | 9.8  | 9.5  | 8.9  | 7.7  | 6.1  | TP304               | A 312        |
| 18.8  | 17.8 | 16.6 | 16.2 | 15.9 | 15.9 | 15.9 | 15.9 | 15.6 | 15.2 | 14.9 | 14.7 | 14.4 | 13.8 | 12.2 | 9.8  | 7.7  | 6.1  | TP304               |              |
| 18.8  | 15.7 | 14.1 | 13.0 | 12.2 | 11.4 | 11.3 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.4 | 10.2 | 10.0 | 9.8  | 9.5  | 8.9  | 7.7  | 6.1  | TP304H              |              |
| 18.8  | 17.8 | 16.6 | 16.2 | 15.9 | 15.9 | 15.9 | 15.9 | 15.6 | 15.2 | 14.9 | 14.7 | 14.4 | 13.8 | 12.2 | 9.8  | 7.7  | 6.1  | TP304H              |              |
| 15.7  | 13.4 | 12.0 | 11.0 | 10.3 | 9.7  | 9.5  | 9.4  | 9.2  | 9.1  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | TP304L              | A 312        |
| 15.7  | 15.7 | 15.3 | 14.7 | 14.4 | 14.0 | 13.7 | 13.5 | 13.3 | 13.0 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | TP304L              |              |
| 20.0  | 17.9 | 15.7 | 14.1 | 13.0 | 12.4 | 12.2 | 11.9 | 11.8 | 11.6 | 11.3 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.3 | 9.8  | 7.7  | 6.1  | TP304N              |              |
| 20.0  | 20.0 | 19.0 | 18.3 | 17.8 | 17.4 | 17.3 | 17.2 | 16.9 | 16.7 | 16.3 | 15.9 | 15.6 | 15.0 | 12.4 | 9.8  | 7.7  | 6.1  | TP304N              |              |
| 18.8  | 18.8 | 18.7 | 18.3 | 17.9 | 17.5 | 17.3 | 17.1 | 16.8 | 16.5 | 16.1 | 15.6 | 15.1 | 13.8 | 10.3 | 7.6  | 5.5  | 4.0  | TP309H              | A 312        |
| 18.8  | 17.6 | 16.1 | 15.1 | 14.1 | 13.9 | 13.7 | 13.5 | 13.3 | 13.1 | 12.9 | 12.7 | 12.5 | 12.8 | 10.3 | 7.6  | 5.5  | 4.0  | TP309H              |              |
| 18.8  | 18.4 | 17.6 | 17.4 | 17.4 | 17.4 | 17.4 | 17.4 | 17.2 | 17.0 | 16.7 | 16.3 | 15.9 | 13.8 | 10.3 | 7.6  | 5.5  | 4.0  | TP310H              |              |
| 18.8  | 17.6 | 16.1 | 15.1 | 14.3 | 13.7 | 13.5 | 13.3 | 13.1 | 12.9 | 12.7 | 12.5 | 12.3 | 12.1 | 10.3 | 7.6  | 5.5  | 4.0  | TP310H              |              |
| 18.8  | 16.2 | 14.6 | 13.4 | 12.5 | 11.8 | 11.6 | 11.3 | 11.2 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 10.7 | 10.6 | 10.5 | 10.3 | 9.3  | 7.4  | TP316               | A 312        |
| 18.8  | 18.8 | 18.4 | 18.1 | 18.0 | 17.0 | 16.7 | 16.3 | 16.1 | 15.9 | 15.7 | 15.6 | 15.4 | 15.3 | 14.5 | 12.4 | 9.8  | 7.4  | TP316               |              |
| 18.8  | 16.2 | 14.6 | 13.4 | 12.5 | 11.8 | 11.6 | 11.3 | 11.2 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 10.7 | 10.6 | 10.5 | 10.3 | 9.3  | 7.4  | TP316H              |              |
| 18.8  | 18.8 | 18.4 | 18.1 | 18.0 | 17.0 | 16.7 | 16.3 | 16.1 | 15.9 | 15.7 | 15.6 | 15.4 | 15.3 | 14.5 | 12.4 | 9.8  | 7.4  | TP316H              |              |
| 15.7  | 13.3 | 11.9 | 10.8 | 10.0 | 9.4  | 9.2  | 9.0  | 8.8  | 8.6  | 8.4  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | TP316L              | A 312        |
| 15.7  | 15.7 | 15.7 | 15.5 | 14.4 | 13.5 | 13.2 | 12.9 | 12.6 | 12.4 | 12.1 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | TP316L              |              |
| 20.0  | 19.4 | 17.8 | 16.5 | 15.4 | 14.6 | 14.2 | 13.9 | 13.6 | 13.3 | 13.1 | 12.8 | 12.6 | 12.4 | 12.2 | 11.7 | 9.8  | 7.4  | TP316N              |              |
| 20.0  | 20.0 | 19.2 | 18.8 | 18.6 | 18.6 | 18.6 | 18.6 | 18.5 | 18.4 | 18.3 | 18.1 | 17.8 | 17.4 | 15.8 | 12.4 | 9.8  | 7.4  | TP316N              |              |
| 18.8  | 16.2 | 14.6 | 13.4 | 12.5 | 11.8 | 11.6 | 11.3 | 11.2 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 10.7 | 10.6 | 10.5 | 10.3 | 9.3  | 7.4  | TP317               | A 312        |
| 18.8  | 18.8 | 18.4 | 18.1 | 18.0 | 17.0 | 16.7 | 16.3 | 16.1 | 15.9 | 15.7 | 15.5 | 15.4 | 15.3 | 14.5 | 12.4 | 9.8  | 7.4  | TP317               |              |
| 18.8  | 15.9 | 14.2 | 12.9 | 12.0 | 11.4 | 11.2 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 10.7 | 10.6 | 10.6 | 10.4 | 9.2  | 6.9  | 5.0  | 3.6  | TP321               |              |
| 18.8  | 18.4 | 17.3 | 17.1 | 17.1 | 16.4 | 16.1 | 15.8 | 15.7 | 15.5 | 15.4 | 15.3 | 15.2 | 13.8 | 9.6  | 6.9  | 5.0  | 3.6  | TP321               |              |
| 18.8  | 15.9 | 14.2 | 12.9 | 12.0 | 11.4 | 11.2 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 10.7 | 10.6 | 10.6 | 10.5 | 10.1 | 8.8  | 6.9  | 5.4  | TP321H              |              |
| 18.8  | 18.4 | 17.3 | 17.1 | 17.1 | 16.4 | 16.1 | 15.8 | 15.7 | 15.5 | 15.4 | 15.3 | 15.2 | 14.0 | 11.7 | 9.1  | 6.9  | 5.4  | TP321H              |              |
| 18.8  | 17.3 | 16.1 | 15.0 | 14.1 | 13.4 | 13.2 | 12.9 | 12.8 | 12.7 | 12.7 | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 11.9 | 9.1  | 6.1  | 4.4  | TP347               | A 312        |
| 18.8  | 17.9 | 16.4 | 15.5 | 14.9 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 14.6 | 14.0 | 12.1 | 9.1  | 6.1  | 4.4  | TP347               |              |
| 18.8  | 17.3 | 16.1 | 15.0 | 14.1 | 13.4 | 13.2 | 12.9 | 12.8 | 12.8 | 12.7 | 12.6 | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 12.1 | 10.5 | 7.9  | TP347H              |              |
| 18.8  | 17.9 | 16.4 | 15.5 | 14.9 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 14.6 | 14.4 | 14.1 | 13.0 | 10.5 | 7.9  | TP347H              |              |

## 10. Propiedades del acero inoxidable SS-316 (A249)

Table A-3

ASME B31.1-2001

01

TABLE A-3  
STAINLESS STEELS (CONT'D)

| Spec. No.  | Type or Grade | Class | UNS Alloy No. | Nominal Composition | P-No. | Notes      | Specified Minimum Tensile, ksi | Specified Minimum Yield, ksi | E or F |
|--|---------------|-------|---------------|---------------------|-------|------------|--------------------------------|------------------------------|--------|
| Welded Pipe and Tube — Without Filler Metal (Cont'd) |               |       |               |                     |       |            |                                |                              |        |
| Austenitic (Cont'd)                                  |               |       |               |                     |       |            |                                |                              |        |
| A 249  | TP309H        | ...   | S30909        | 23Cr-12Ni           | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP309H        | ...   | S30909        | 23Cr-12Ni           | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 0.85   |
| A 249  | TP316         | ...   | S31600        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | (10)       | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP316         | ...   | S31600        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | (9)(10)    | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP316H        | ...   | S31609        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP316H        | ...   | S31609        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 0.85   |
| A 249  | TP316L        | ...   | S31603        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | (1)        | 70                             | 25                           | 0.85   |
|  | TP316L        | ...   | S31603        | 16Cr-12Ni-2Mo       | 8     | (1)(9)     | 70                             | 25                           | 0.85   |
|  | TP316N        | ...   | S31651        | 16Cr-12Ni-2Mo-N     | 8     | (10)       | 80                             | 35                           | 0.85   |
|  | TP316N        | ...   | S31651        | 16Cr-12Ni-2Mo-N     | 8     | (9)(10)    | 80                             | 35                           | 0.85   |
| A 249  | TP317         | ...   | S31700        | 19Cr-13Ni-3Mo       | 8     | (1)(10)    | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP317         | ...   | S31700        | 19Cr-13Ni-3Mo       | 8     | (1)(9)(10) | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP321         | ...   | S32100        | 18Cr-10Ni-Ti        | 8     | (10)       | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP321         | ...   | S32100        | 18Cr-10Ni-Ti        | 8     | (9)(10)    | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP321H        | ...   | S32109        | 18Cr-10Ni-Ti        | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP321H        | ...   | S32109        | 18Cr-10Ni-Ti        | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 0.85   |
| A 249  | TP347         | ...   | S34700        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | (10)       | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP347         | ...   | S34700        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | (9)(10)    | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP347H        | ...   | S34709        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP347H        | ...   | S34709        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 0.85   |
| A 249  | TP348         | ...   | S34800        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | (10)       | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP348         | ...   | S34800        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | (9)(10)    | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP348H        | ...   | S34809        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP348H        | ...   | S34809        | 18Cr-10Ni-Cb        | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 0.85   |
| A 249  | ...           | ...   | S31254        | 20Cr-18Ni-6Mo       | 8     | (1)(32)    | 94                             | 44                           | 0.85   |
|  | ...           | ...   | S31254        | 20Cr-18Ni-6Mo       | 8     | (1)(9)(32) | 94                             | 44                           | 0.85   |
| A 312  | TP304         | ...   | S30400        | 18Cr-8Ni            | 8     | (10)       | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP304         | ...   | S30400        | 18Cr-8Ni            | 8     | (9)(10)    | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP304H        | ...   | S30409        | 18Cr-8Ni            | 8     | ...        | 75                             | 30                           | 0.85   |
|  | TP304H        | ...   | S30409        | 18Cr-8Ni            | 8     | (9)        | 75                             | 30                           | 0.85   |

TABLE A-3  
STAINLESS STEELS (CONT'D)

| Maximum Allowable Stress Values in Tension, ksi, for Metal Temperature, °F, Not Exceeding |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                     |              |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|--------------|
| -20<br>to<br>100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  | 650  | 700  | 750  | 800  | 850  | 900  | 950  | 1000 | 1050 | 1100 | 1150 | 1200 | Type<br>or<br>Grade | Spec.<br>No. |
| Welded Pipe and Tube – Without Filler Metal (Cont'd)<br>Austenitic (Cont'd)               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                     |              |
| 16.0  | 16.0 | 15.9 | 15.6 | 15.2 | 14.9 | 14.7 | 14.5 | 14.3 | 14.1 | 13.7 | 13.3 | 12.8 | 11.7 | 8.8  | 6.5  | 4.7  | 3.4  | TP309H              | A 249        |
| 16.0  | 15.0 | 13.7 | 12.8 | 12.0 | 11.8 | 11.6 | 11.5 | 11.3 | 11.1 | 11.0 | 10.8 | 10.6 | 10.5 | 8.8  | 6.5  | 4.7  | 3.4  | TP309H              |              |
| 16.0  | 13.8 | 12.4 | 11.4 | 10.6 | 10.1 | 9.8  | 9.6  | 9.5  | 9.4  | 9.3  | 9.2  | 9.1  | 9.0  | 8.9  | 8.8  | 7.9  | 6.3  | TP316               | A 249        |
| 16.0  | 16.0 | 15.6 | 15.4 | 15.3 | 14.5 | 14.2 | 13.9 | 13.7 | 13.5 | 13.4 | 13.2 | 13.1 | 13.0 | 12.3 | 10.6 | 8.4  | 6.3  | TP316               |              |
| 16.0  | 13.8 | 12.4 | 11.4 | 10.6 | 10.1 | 9.8  | 9.6  | 9.5  | 9.4  | 9.3  | 9.2  | 9.1  | 9.0  | 8.9  | 8.8  | 7.9  | 6.3  | TP316H              |              |
| 16.0  | 16.0 | 15.6 | 15.4 | 15.3 | 14.5 | 14.2 | 13.9 | 13.7 | 13.5 | 13.4 | 13.2 | 13.1 | 13.0 | 12.3 | 10.6 | 8.4  | 6.3  | TP316H              |              |
| 13.3  | 11.3 | 10.1 | 9.2  | 8.5  | 8.0  | 7.8  | 7.6  | 7.5  | 7.3  | 7.2  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | TP316L              | A 249        |
| 13.3  | 13.3 | 13.3 | 13.2 | 12.3 | 11.5 | 11.1 | 10.9 | 10.7 | 10.5 | 10.3 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | TP316L              |              |
| 17.0  | 16.5 | 15.1 | 14.0 | 13.1 | 12.4 | 12.1 | 11.8 | 11.6 | 11.3 | 11.1 | 10.9 | 10.7 | 10.5 | 10.4 | 9.9  | 8.3  | 6.3  | TP316N              |              |
| 17.0  | 17.0 | 16.3 | 16.0 | 15.8 | 15.8 | 15.8 | 15.8 | 15.7 | 15.6 | 15.6 | 15.4 | 15.1 | 14.8 | 13.4 | 10.5 | 8.3  | 6.3  | TP316N              |              |
| 16.0  | 13.8 | 12.4 | 11.4 | 10.6 | 10.1 | 9.8  | 9.6  | 9.5  | 9.4  | 9.3  | 9.2  | 9.1  | 9.0  | 8.9  | 8.8  | 7.9  | 6.3  | TP317               | A 249        |
| 16.0  | 16.0 | 15.6 | 15.4 | 15.3 | 14.5 | 14.2 | 13.9 | 13.7 | 13.5 | 13.4 | 13.2 | 13.1 | 13.0 | 12.3 | 10.6 | 8.4  | 6.3  | TP317               |              |
| 16.0  | 13.5 | 12.1 | 11.0 | 10.2 | 9.7  | 9.5  | 9.3  | 9.2  | 9.2  | 9.1  | 9.0  | 9.0  | 8.9  | 7.8  | 5.9  | 4.3  | 3.1  | TP321               |              |
| 16.0  | 15.6 | 14.7 | 14.6 | 14.6 | 13.9 | 13.7 | 13.5 | 13.3 | 13.2 | 13.1 | 13.0 | 12.9 | 11.8 | 8.2  | 5.9  | 4.3  | 3.1  | TP321               |              |
| 16.0  | 13.5 | 12.1 | 11.0 | 10.2 | 9.7  | 9.5  | 9.3  | 9.2  | 9.2  | 9.1  | 9.0  | 9.0  | 8.9  | 8.6  | 7.5  | 5.9  | 4.6  | TP321H              |              |
| 16.0  | 15.6 | 14.7 | 14.6 | 14.6 | 13.9 | 13.7 | 13.5 | 13.3 | 13.2 | 13.1 | 13.0 | 12.9 | 11.9 | 10.0 | 7.7  | 5.9  | 4.6  | TP321H              |              |
| 16.0  | 14.7 | 13.7 | 12.8 | 12.0 | 11.4 | 11.2 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.6 | 10.1 | 7.8  | 5.2  | 3.8  | TP347               | A 249        |
| 16.0  | 15.2 | 14.0 | 13.2 | 12.7 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.4 | 11.9 | 10.3 | 7.8  | 5.2  | 3.8  | TP347               |              |
| 16.0  | 14.7 | 13.7 | 12.8 | 12.0 | 11.4 | 11.2 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.6 | 10.3 | 8.9  | 6.7  | TP347H              |              |
| 16.0  | 15.2 | 14.0 | 13.2 | 12.7 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.4 | 12.3 | 12.0 | 11.1 | 8.9  | 6.7  | TP347H              |              |
| 16.0  | 14.7 | 13.7 | 12.8 | 12.0 | 11.4 | 11.2 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.6 | 10.1 | 7.8  | 5.2  | 3.8  | TP348               | A 249        |
| 16.0  | 15.2 | 14.0 | 13.2 | 12.7 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.4 | 11.9 | 10.3 | 7.8  | 5.2  | 3.8  | TP348               |              |
| 16.0  | 14.7 | 13.7 | 12.8 | 12.0 | 11.4 | 11.2 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.6 | 10.3 | 8.9  | 6.7  | TP348H              |              |
| 16.0  | 15.2 | 14.0 | 13.2 | 12.7 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.4 | 12.3 | 12.0 | 11.1 | 8.9  | 6.7  | TP348H              |              |
| 20.0  | 20.0 | 18.2 | 16.9 | 15.7 | 15.2 | 15.0 | 14.9 | 14.7 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | S31254              | A 249        |
| 20.0  | 20.0 | 19.0 | 18.1 | 17.4 | 17.1 | 16.9 | 16.9 | 16.8 | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | S31254              |              |
| 16.0  | 13.3 | 12.0 | 11.0 | 10.5 | 9.7  | 9.5  | 9.4  | 9.2  | 9.0  | 8.8  | 8.7  | 8.5  | 8.3  | 8.1  | 7.6  | 6.5  | 5.2  | TP304               | A312         |
| 16.0  | 15.1 | 14.1 | 13.8 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.2 | 12.9 | 12.7 | 12.5 | 12.2 | 11.7 | 10.4 | 8.3  | 6.5  | 5.2  | TP304               |              |
| 16.0  | 13.3 | 12.0 | 11.0 | 10.5 | 9.7  | 9.5  | 9.4  | 9.2  | 9.0  | 8.8  | 8.7  | 8.5  | 8.3  | 8.1  | 7.6  | 6.5  | 5.2  | TP304H              |              |
| 16.0  | 15.1 | 14.1 | 13.8 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.2 | 12.9 | 12.7 | 12.5 | 12.2 | 11.7 | 10.4 | 8.3  | 6.5  | 5.2  | TP304H              |              |

### 11.. Dimensiones, espesores de pared y pesos de tuberías de acero inoxidable de acuerdo con ASME B36.19M

| Nominal<br>Pipe<br>Size<br>(inches) | Outside<br>Diameter |          | Schedule                  |      |                 |      |                 |      |                 |      |            |      |
|-------------------------------------|---------------------|----------|---------------------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|------------|------|
|                                     | (mm)                | (inches) | 5S                        |      | 10S             |      | 40S             |      | 80S             |      | 160S       |      |
|                                     |                     |          | Wall Thickness and Weight |      |                 |      |                 |      |                 |      |            |      |
|                                     |                     |          | mm<br>(in)                | kg/m | mm<br>(in)      | kg/m | mm<br>(in)      | kg/m | mm<br>(in)      | kg/m | mm<br>(in) | kg/m |
| 1/8                                 | 10.3                | 0.405    | -                         | -    | 1.25<br>(0.049) | 0.28 | 1.73<br>(0.068) | 0.37 | 2.42<br>(0.095) | 0.47 | -          | -    |
| 1/4                                 | 13.7                | 0.540    | -                         | -    | 1.66<br>(0.065) | 0.49 | 2.24<br>(0.088) | 0.63 | 3.03<br>(0.119) | 0.80 | -          | -    |
| 3/8                                 | 17.2                | 0.675    | -                         | -    | 1.66<br>(0.065) | 0.63 | 2.32<br>(0.091) | 0.85 | 3.20<br>(0.126) | 1.10 | -          | -    |
| 1/2                                 | 21.3                | 0.840    | 1.66<br>(0.065)           | 0.81 | 2.11<br>(0.083) | 1.00 | 2.77<br>(0.109) | 1.27 | 3.74<br>(0.147) | 1.62 | 4.78       | 1.90 |
| 3/4                                 | 26.7                | 1.050    | 1.66<br>(0.065)           | 1.02 | 2.11<br>(0.083) | 1.28 | 2.87<br>(0.113) | 1.68 | 3.92<br>(0.154) | 2.20 | 5.57       | 2.90 |
| 1                                   | 33.4                | 1.315    | 1.66<br>(0.065)           | 1.30 | 2.77<br>(0.109) | 2.09 | 3.38<br>(0.133) | 2.50 | 4.55<br>(0.179) | 3.24 | 6.35       | 4.20 |
| 1 1/4                               | 42.2                | 1.660    | 1.66<br>(0.065)           | 1.66 | 2.77<br>(0.109) | 2.69 | 3.56<br>(0.140) | 3.39 | 4.86<br>(0.191) | 4.47 | 6.35       | 5.60 |
| 1 1/2                               | 48.3                | 1.900    | 1.66<br>(0.065)           | 1.91 | 2.77<br>(0.109) | 3.11 | 3.69<br>(0.145) | 4.06 | 5.08<br>(0.200) | 5.41 | 7.14       | 7.20 |
| 2                                   | 60.3                | 2.375    | 2.11<br>(0.065)           | 2.40 | 2.77<br>(0.109) | 3.93 | 3.92<br>(0.154) | 5.45 | 5.54<br>(0.218) | 7.49 | 8.74       | 11.1 |
| 2 1/2                               | 73.0                | 2.875    | 2.11<br>(0.083)           | 3.69 | 3.05<br>(0.120) | 5.26 | 5.16<br>(0.203) | 8.64 | 7.01<br>(0.276) | 11.4 | 9.53       | 14.9 |
| 3                                   | 88.9                | 3.500    | 2.11                      | 4.52 | 3.05            | 6.46 | 5.49            | 11.3 | 7.62            | 15.3 | 11.13      | 21.3 |



DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO.

|       |       |        |                 |      |                 |      |                 |      |                  |      |       |      |
|-------|-------|--------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|------------------|------|-------|------|
|       |       |        | (0.083)         |      | (0.120)         |      | (0.216)         |      | (0.300)          |      |       |      |
| 3 1/2 | 101.6 | 4.000  | 2.11<br>(0.083) | 5.18 | 3.05<br>(0.120) | 7.41 | 5.74<br>(0.226) | 13.6 | 8.08<br>(0.318)  | 18.6 | -     | -    |
| 4     | 114.3 | 4.500  | 2.11<br>(0.083) | 5.84 | 3.05<br>(0.120) | 8.37 | 6.02<br>(0.237) | 16.1 | 8.56<br>(0.337)  | 22.3 | 13.49 | 33.5 |
| 5     | 141.3 | 5.563  | 2.77<br>(0.109) | 9.46 | 3.41<br>(0.134) | 11.6 | 6.56<br>(0.258) | 21.8 | 9.53<br>(0.375)  | 31.0 | 15.88 | 49.1 |
| 6     | 168.3 | 6.625  | 2.77<br>(0.109) | 11.3 | 3.41<br>(0.134) | 13.9 | 7.12<br>(0.280) | 28.3 | 10.98<br>(0.432) | 42.6 | 18.27 | 67.6 |
| 8     | 219.1 | 8.625  | 2.77<br>(0.109) | 14.8 | 3.76<br>(0.148) | 20.0 | 8.18<br>(0.322) | 42.5 | 12.70<br>(0.500) | 64.6 | 23.02 | 111  |
| 10    | 273.1 | 10.750 | 3.41<br>(0.134) | 22.7 | 4.20<br>(0.165) | 27.8 | 9.28<br>(0.365) | 60.4 | 12.70<br>(0.500) | 81.5 | 28.58 | 172  |
| 12    | 323.9 | 12.750 | 3.97<br>(0.156) | 31.3 | 4.58<br>(0.180) | 36.1 | 9.53<br>(0.375) | 73.9 | 12.70<br>(0.500) | 97.4 | 33.33 | 239  |

## 12. Propiedades termofísicas del vapor de agua

TABLE 2-356 Specific Heat and Other Thermophysical Properties of Water Substance\*

| Pressure, bar | Temperature, K |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|               | 300            | 350    | 400    | 450    | 500    | 600    | 700    | 800    | 900    | 1000   | 1200   | 1400   | 1600   | 1800   | 2000   |        |
| 1             | $\mu$          | 8.57-4 | 3.70-4 | 1.32-5 | 1.52-5 | 1.73-5 | 2.15-5 | 2.57-5 | 2.98-5 | 3.39-5 | 3.78-5 | 4.48-5 | 5.06-5 | 5.65-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.18   | 4.19   | 1.99   | 1.97   | 1.98   | 2.02   | 2.09   | 2.15   | 2.22   | 2.29   | 2.43   | 2.58   | 2.73   | 3.02   | 3.79   |
|               | $k$            | 0.614  | 0.668  | 0.0268 | 0.0311 | 0.0358 | 0.0464 | 0.0581 | 0.0710 | 0.0843 | 0.0981 | 0.13   | 0.16   | 0.21   | 0.33   | 0.57   |
|               | Pr             | 5.81   | 2.32   | 0.980  | 0.967  | 0.955  | 0.936  | 0.920  | 0.906  | 0.891  | 0.881  | 0.83   | 0.80   | 0.75   | 0.57   | 0.45   |
| 5             | $\mu$          | 8.57-4 | 3.70-4 | 2.17-4 | 1.49-5 | 1.72-5 | 2.15-5 | 2.57-5 | 2.98-5 | 3.39-5 | 3.78-5 | 4.45-5 | 5.06-5 | 5.65-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.18   | 4.19   | 4.26   | 2.21   | 2.10   | 2.07   | 2.11   | 2.16   | 2.23   | 2.29   | 2.43   | 2.58   | 2.73   | 2.98   | 3.40   |
|               | $k$            | 0.614  | 0.668  | 0.689  | 0.0335 | 0.0369 | 0.0469 | 0.0585 | 0.0713 | 0.0846 | 0.0984 | 0.13   | 0.16   | 0.20   | 0.28   | 0.43   |
|               | Pr             | 5.82   | 2.32   | 1.34   | 0.983  | 0.973  | 0.947  | 0.925  | 0.907  | 0.892  | 0.881  | 0.83   | 0.81   | 0.77   | 0.65   | 0.53   |
| 10            | $\mu$          | 8.57-4 | 3.70-4 | 2.17-4 | 1.51-4 | 1.71-5 | 2.15-5 | 2.58-5 | 2.99-5 | 3.39-5 | 3.78-5 | 4.45-5 | 5.06-5 | 5.65-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.18   | 4.19   | 4.25   | 4.39   | 2.29   | 2.13   | 2.18   | 2.24   | 2.30   | 2.44   | 2.58   | 2.73   | 2.95   | 3.29   |        |
|               | $k$            | 0.615  | 0.668  | 0.689  | 0.677  | 0.0380 | 0.0474 | 0.0590 | 0.0717 | 0.0851 | 0.0988 | 0.13   | 0.16   | 0.20   | 0.26   | 0.39   |
|               | Pr             | 5.82   | 2.32   | 1.34   | 0.981  | 1.028  | 0.963  | 0.931  | 0.908  | 0.892  | 0.881  | 0.84   | 0.82   | 0.78   | 0.70   | 0.57   |
| 20            | $\mu$          | 8.56-4 | 3.71-4 | 2.18-4 | 1.51-4 | 1.68-5 | 2.15-5 | 2.59-5 | 3.00-5 | 3.40-5 | 3.79-5 | 4.46-5 | 5.06-5 | 5.65-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.17   | 4.19   | 4.25   | 4.39   | 2.84   | 2.26   | 2.19   | 2.21   | 2.26   | 2.32   | 2.45   | 2.59   | 2.73   | 2.92   | 3.21   |
|               | $k$            | 0.616  | 0.669  | 0.689  | 0.679  | 0.0402 | 0.0485 | 0.0599 | 0.0726 | 0.0859 | 0.0996 | 0.13   | 0.16   | 0.20   | 0.25   | 0.36   |
|               | Pr             | 5.80   | 2.32   | 1.34   | 0.979  | 1.19   | 0.999  | 0.946  | 0.912  | 0.893  | 0.881  | 0.84   | 0.82   | 0.79   | 0.72   | 0.60   |
| 40            | $\mu$          | 8.55-4 | 3.71-4 | 2.18-4 | 1.52-4 | 1.19-4 | 2.15-5 | 2.61-5 | 3.02-5 | 3.42-5 | 3.80-5 | 4.47-5 | 5.07-5 | 5.65-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.17   | 4.19   | 4.25   | 4.35   | 4.65   | 2.32   | 2.28   | 2.30   | 2.34   | 2.46   | 2.59   | 2.73   | 2.90   | 3.14   |        |
|               | $k$            | 0.617  | 0.671  | 0.690  | 0.680  | 0.644  | 0.516  | 0.0620 | 0.0744 | 0.0877 | 0.101  | 0.13   | 0.16   | 0.19   | 0.24   | 0.33   |
|               | Pr             | 5.78   | 2.31   | 1.34   | 0.977  | 0.862  | 1.08   | 0.975  | 0.924  | 0.895  | 0.881  | 0.84   | 0.82   | 0.80   | 0.73   | 0.63   |
| 60            | $\mu$          | 8.54-4 | 3.72-4 | 2.19-4 | 1.53-4 | 1.20-4 | 2.14-5 | 2.63-5 | 3.04-5 | 3.43-5 | 3.82-5 | 4.48-5 | 5.07-5 | 5.66-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.16   | 4.18   | 4.24   | 4.37   | 4.63   | 3.11   | 2.47   | 2.35   | 2.34   | 2.37   | 2.48   | 2.60   | 2.73   | 2.89   | 3.11   |
|               | $k$            | 0.619  | 0.672  | 0.692  | 0.682  | 0.646  | 0.0561 | 0.0645 | 0.0764 | 0.0895 | 0.103  | 0.13   | 0.16   | 0.19   | 0.24   | 0.32   |
|               | Pr             | 5.74   | 2.31   | 1.34   | 0.976  | 0.859  | 1.19   | 1.008  | 0.934  | 0.899  | 0.879  | 0.84   | 0.82   | 0.81   | 0.74   | 0.65   |
| 80            | $\mu$          | 8.53-4 | 3.72-4 | 2.19-4 | 1.53-4 | 1.20-4 | 2.14-5 | 2.66-5 | 3.06-5 | 3.45-5 | 3.83-5 | 4.48-5 | 5.08-5 | 5.66-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.16   | 4.18   | 4.24   | 4.36   | 4.62   | 3.88   | 2.65   | 2.43   | 2.39   | 2.40   | 2.49   | 2.61   | 2.73   | 2.88   | 3.09   |
|               | $k$            | 0.620  | 0.674  | 0.693  | 0.684  | 0.648  | 0.0628 | 0.0672 | 0.0785 | 0.0914 | 0.105  | 0.13   | 0.16   | 0.10   | 0.24   | 0.31   |
|               | Pr             | 5.72   | 2.31   | 1.34   | 0.975  | 0.856  | 1.33   | 1.046  | 0.946  | 0.902  | 0.877  | 0.84   | 0.83   | 0.81   | 0.74   | 0.66   |
| 100           | $\mu$          | 8.52-4 | 3.73-4 | 2.20-4 | 1.53-4 | 1.21-4 | 2.14-5 | 2.69-5 | 3.08-5 | 3.47-5 | 3.85-5 | 4.49-5 | 5.08-5 | 5.66-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.15   | 4.17   | 4.23   | 4.35   | 4.60   | 5.22   | 2.85   | 2.52   | 2.44   | 2.44   | 2.50   | 2.62   | 2.73   | 2.88   | 3.08   |
|               | $k$            | 0.622  | 0.675  | 0.694  | 0.685  | 0.651  | 0.0730 | 0.0704 | 0.0807 | 0.0934 | 0.107  | 0.13   | 0.16   | 0.19   | 0.24   | 0.31   |
|               | Pr             | 5.69   | 2.31   | 1.34   | 0.975  | 0.853  | 1.74   | 1.088  | 0.960  | 0.905  | 0.876  | 0.84   | 0.83   | 0.81   | 0.74   | 0.67   |
| 150           | $\mu$          | 8.51-4 | 3.74-4 | 2.22-4 | 1.56-4 | 1.22-4 | 8.22-5 | 2.72-5 | 3.12-5 | 3.51-5 | 3.89-5 | 4.52-5 | 5.09-5 | 5.67-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.14   | 4.16   | 4.22   | 4.34   | 4.54   | 3.55   | 2.74   | 2.57   | 2.53   | 2.53   | 2.54   | 2.65   | 2.75   | 2.88   | 3.06   |
|               | $k$            | 0.624  | 0.678  | 0.699  | 0.693  | 0.657  | 0.520  | 0.079  | 0.086  | 0.098  | 0.110  | 0.14   | 0.16   | 0.19   | 0.23   | 0.31   |
|               | Pr             | 5.64   | 2.30   | 1.34   | 0.974  | 0.842  | 1.22   | 0.994  | 0.916  | 0.891  | 0.891  | 0.84   | 0.83   | 0.82   | 0.76   | 0.67   |
| 200           | $\mu$          | 8.50-4 | 3.75-4 | 2.24-4 | 1.57-4 | 1.23-4 | 8.32-5 | 2.80-5 | 3.17-5 | 3.54-5 | 3.93-5 | 4.54-5 | 5.11-5 | 5.67-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.12   | 4.15   | 4.21   | 4.32   | 4.51   | 4.67   | 3.04   | 2.71   | 2.62   | 2.57   | 2.57   | 2.67   | 2.76   | 2.88   | 3.05   |
|               | $k$            | 0.626  | 0.681  | 0.702  | 0.697  | 0.661  | 0.525  | 0.085  | 0.095  | 0.104  | 0.113  | 0.14   | 0.16   | 0.19   | 0.23   | 0.31   |
|               | Pr             | 5.59   | 2.29   | 1.34   | 0.974  | 0.833  | 1.38   | 1.014  | 0.925  | 0.903  | 0.903  | 0.84   | 0.83   | 0.82   | 0.76   | 0.67   |
| 250           | $\mu$          | 8.49-4 | 3.76-4 | 2.26-4 | 1.59-4 | 1.23-4 | 8.41-5 | 2.89-5 | 3.24-5 | 3.59-5 | 3.98-5 | 4.56-5 | 5.12-5 | 5.68-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.12   | 4.14   | 4.20   | 4.30   | 4.49   | 5.90   | 6.16   | 3.40   | 2.86   | 2.71   | 2.61   | 2.69   | 2.77   | 2.89   | 3.04   |
|               | $k$            | 0.627  | 0.683  | 0.705  | 0.701  | 0.672  | 0.537  | 0.112  | 0.103  | 0.110  | 0.119  | 0.136  | 0.16   | 0.19   | 0.23   | 0.31   |
|               | Pr             | 5.57   | 2.28   | 1.34   | 0.974  | 0.826  | 0.924  | 1.590  | 1.070  | 0.940  | 0.910  | 0.85   | 0.84   | 0.84   | 0.78   | 0.67   |
| 300           | $\mu$          | 8.49-4 | 3.77-4 | 2.28-4 | 1.60-4 | 1.24-4 | 8.50-5 | 3.7-5  | 3.4-5  | 3.64-5 | 4.02-5 | 4.59-5 | 5.14-5 | 5.68-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.10   | 4.13   | 4.19   | 4.29   | 4.44   | 5.60   | 10.20  | 3.82   | 3.03   | 2.81   | 2.65   | 2.72   | 2.78   | 2.90   | 3.04   |
|               | $k$            | 0.629  | 0.685  | 0.708  | 0.704  | 0.675  | 0.548  | 0.113  | 0.113  | 0.113  | 0.123  | 0.14   | 0.16   | 0.19   | 0.23   | 0.31   |
|               | Pr             | 5.53   | 2.27   | 1.34   | 0.973  | 0.820  | 0.859  | 2.18   | 1.149  | 0.976  | 0.917  | 0.87   | 0.87   | 0.87   | 0.81   | 0.74   |
| 400           | $\mu$          | 8.49-4 | 3.80-4 | 2.30-4 | 1.62-4 | 1.26-4 | 8.64-5 | 5.3-5  | 3.6-5  | 3.8-5  | 4.1-5  | 4.6-5  | 5.17-5 | 5.71-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.08   | 4.12   | 4.26   | 4.42   | 4.51   | 5.31   | 13.20  | 4.86   | 3.39   | 3.01   | 2.70   | 2.77   | 2.81   | 2.91   | 3.04   |
|               | $k$            | 0.631  | 0.689  | 0.714  | 0.710  | 0.676  | 0.567  | 0.327  | 0.145  | 0.129  | 0.134  | 0.15   | 0.15   | 0.15   | 0.15   | 0.15   |
|               | Pr             | 5.49   | 2.26   | 1.34   | 0.971  | 0.817  | 0.799  | 2.14   | 1.207  | 0.999  | 0.926  | 0.87   | 0.87   | 0.87   | 0.81   | 0.74   |
| 500           | $\mu$          | 8.50-4 | 3.82-4 | 2.31-4 | 1.64-4 | 1.28-4 | 8.83-5 | 5.8-5  | 4.0-5  | 4.0-5  | 4.2-5  | 4.7-5  | 5.21-5 | 5.74-5 | 6.19-5 | 6.70-5 |
|               | $c_p$          | 4.06   | 4.10   | 4.15   | 4.23   | 4.38   | 5.08   | 8.44   | 5.70   | 3.90   | 3.21   | 2.77   | 2.81   | 2.84   | 2.92   | 3.04   |
|               | $k$            | 0.634  | 0.695  | 0.719  | 0.717  | 0.693  | 0.583  | 0.378  | 0.186  | 0.147  | 0.145  | 0.15   | 0.15   | 0.15   | 0.15   | 0.15   |
|               | Pr             | 5.44   | 2.25   | 1.33   | 0.971  | 0.814  | 0.773  | 1.30   | 1.225  | 1.061  | 0.932  | 0.87   | 0.87   | 0.87   | 0.81   | 0.74   |

## 12.1. Propiedades del vapor sobrecalentado.

TABLE 2-354 Thermodynamic Properties of Compressed Steam\*

| Temperature,<br>K | Pressure, bar |        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-------------------|---------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                   | 0.1           | 0.5    | 1        | 5        | 10       | 20       | 40       | 60       | 80       | 100      |          |
| 350               | <i>v</i>      | 16.12  | 1.027,-3 | 1.027,-3 | 1.027,-3 | 1.027,-3 | 1.026,-3 | 1.025,-3 | 1.024,-3 | 1.023,-3 | 1.023,-3 |
|                   | <i>h</i>      | 2644   | 321.7    | 231.8    | 322.1    | 322.5    | 323.3    | 324.9    | 326.4    | 328.1    | 329.7    |
|                   | <i>s</i>      | 8.327  | 1.037    | 1.037    | 1.037    | 1.037    | 1.036    | 1.035    | 1.034    | 1.032    | 1.031    |
| 400               | <i>v</i>      | 18.44  | 3.67     | 1.827    | 1.067,-3 | 1.067,-3 | 1.066,-3 | 1.065,-3 | 1.064,-3 | 1.063,-3 | 1.061,-3 |
|                   | <i>h</i>      | 2739   | 2735     | 2730     | 533.1    | 533.4    | 534.1    | 535.4    | 536.8    | 538.2    | 539.6    |
|                   | <i>s</i>      | 8.581  | 7.831    | 7.502    | 1.601    | 1.600    | 1.599    | 1.597    | 1.595    | 1.593    | 1.592    |
| 450               | <i>v</i>      | 20.75  | 4.14     | 2.063    | 0.410    | 1.124,-3 | 1.123,-3 | 1.121,-3 | 1.119,-3 | 1.118,-3 | 1.116,-3 |
|                   | <i>h</i>      | 2835   | 2833     | 2830     | 2804     | 749.0    | 749.8    | 750.8    | 751.9    | 753.0    | 754.1    |
|                   | <i>s</i>      | 8.811  | 8.061    | 7.736    | 6.949    | 2.110    | 2.107    | 2.105    | 2.102    | 2.099    | 2.097    |
| 500               | <i>v</i>      | 23.07  | 4.61     | 2.298    | 0.452    | 0.221    | 0.104    | 1.201,-3 | 1.198,-3 | 1.196,-3 | 1.193,-3 |
|                   | <i>h</i>      | 2932   | 2931     | 2929     | 2912.4   | 2891.2   | 2839.4   | 975.9    | 976.3    | 976.8    | 977.3    |
|                   | <i>s</i>      | 9.012  | 8.261    | 7.944    | 7.177    | 6.823    | 6.422    | 2.578    | 2.575    | 2.571    | 2.567    |
| 600               | <i>v</i>      | 27.7   | 5.53     | 2.76     | 0.548    | 0.271    | 0.133    | 0.0630   | 0.0396   | 0.0276   | 0.0201   |
|                   | <i>h</i>      | 3131   | 3130     | 3129     | 3120     | 3109     | 3087     | 3036     | 2976     | 2906     | 2820     |
|                   | <i>s</i>      | 9.374  | 8.630    | 8.309    | 7.560    | 7.223    | 6.875    | 6.590    | 6.224    | 5.997    | 5.775    |
| 700               | <i>v</i>      | 32.3   | 6.46     | 3.23     | 0.643    | 0.319    | 0.158    | 0.0769   | 0.0500   | 0.0346   | 0.0283   |
|                   | <i>h</i>      | 3335   | 3335     | 3334     | 3328     | 3322     | 3307     | 3278     | 3247     | 3214     | 3179     |
|                   | <i>s</i>      | 9.692  | 8.946    | 8.625    | 7.877    | 7.550    | 7.215    | 6.864    | 6.644    | 6.431    | 6.334    |
| 800               | <i>v</i>      | 36.9   | 7.38     | 3.69     | 0.736    | 0.367    | 0.182    | 0.0889   | 0.0589   | 0.0436   | 0.0343   |
|                   | <i>h</i>      | 3547   | 3546     | 3546     | 3542     | 3537     | 3526     | 3506     | 3485     | 3464     | 3442     |
|                   | <i>s</i>      | 9.971  | 9.228    | 8.908    | 8.161    | 7.837    | 7.507    | 7.151    | 6.965    | 6.809    | 6.685    |
| 900               | <i>v</i>      | 41.5   | 8.31     | 4.15     | 0.829    | 0.414    | 0.206    | 0.102    | 0.0674   | 0.0501   | 0.0398   |
|                   | <i>h</i>      | 3765   | 3765     | 3764     | 3761     | 3757     | 3750     | 3737     | 3719     | 3704     | 3688     |
|                   | <i>s</i>      | 10.228 | 9.485    | 9.165    | 8.420    | 8.097    | 7.770    | 7.462    | 7.237    | 7.092    | 6.975    |
| 1000              | <i>v</i>      | 46.2   | 9.23     | 4.615    | 0.921    | 0.460    | 0.229    | 0.114    | 0.0758   | 0.0564   | 0.0449   |
|                   | <i>h</i>      | 3990   | 3990     | 3990     | 3987     | 3984     | 3978     | 3967     | 3955     | 3944     | 3935     |
|                   | <i>s</i>      | 10.466 | 9.723    | 9.402    | 8.659    | 8.336    | 8.011    | 7.682    | 7.486    | 7.345    | 7.233    |
| 1500              | <i>v</i>      | 69.2   | 13.9     | 6.92     | 1.385    | 0.692    | 0.341    | 0.1730   | 0.1153   | 0.0865   | 0.0692   |
|                   | <i>h</i>      | 5231   | 5228     | 5227     | 5225     | 5224     | 5221     | 5217     | 5212     | 5207     | 5203     |
|                   | <i>s</i>      | 11.47  | 10.77    | 10.40    | 9.66     | 9.34     | 9.015    | 8.693    | 8.503    | 8.368    | 8.262    |
| 2000              | <i>v</i>      | 93.0   | 18.6     | 9.26     | 1.850    | 0.925    | 0.462    | 0.231    | 0.1543   | 0.1157   | 0.0926   |
|                   | <i>h</i>      | 6832   | 6734     | 6706     | 6662     | 6649     | 6639     | 6629     | 6623     | 6619     | 6616     |
|                   | <i>s</i>      | 12.38  | 11.58    | 11.25    | 10.48    | 10.15    | 9.828    | 9.503    | 9.313    | 9.178    | 9.073    |
| 2500              | <i>v</i>      | 123.7  | 24.0     | 11.90    | 2.35     | 1.171    | 0.583    | 0.291    | 0.1942   | 0.1457   | 0.1166   |
|                   | <i>h</i>      | 10417  | 9330     | 9046     | 8621     | 8504     | 8413     | 8342     | 8307     | 8285     | 8269     |
|                   | <i>s</i>      | 13.95  | 12.73    | 12.28    | 11.35    | 10.80    | 10.62    | 10.26    | 10.06    | 9.920    | 9.810    |

\**v* = specific volume, m<sup>3</sup>/kg; *h* = specific enthalpy, kJ/kg; *s* = specific entropy, kJ/(kg·K). The notation 1.027,-3 signifies 1.027 × 10<sup>-3</sup>.

### 13. Capacidades caloríficas del metanol Líquido.

| $C_{p,liquid}$<br>(J/mol*K) | Temperature (K) | Reference  | Comment   |
|-----------------------------|-----------------|--|---|
| 79.5                        | 298.15          | <a href="#">Filatov and Afanas'ev, 1992</a>            | <i>DH</i>   |
| 81.11                       | 298.15          | <a href="#">Khasanshin and Zykova, 1989</a>            | T = 175 to 338 K. Unsmoothed experimental datum.; <i>DH</i>         |
| 80.24                       | 298.15          | <a href="#">Andreoli-Ball, Patterson, et al., 1988</a> | <i>DH</i>   |
| 80.35                       | 298.15          | <a href="#">Okano, Ogawa, et al., 1988</a>             | <i>DH</i>   |
| 81.0                        | 298.15          | <a href="#">Lankford and Criss, 1987</a>               | <i>DH</i>   |
| 81.32                       | 298.            | <a href="#">Korolev, Kukharenko, et al., 1986</a>      | <i>DH</i>   |
| 80.28                       | 298.15          | <a href="#">Ogawa and Murakami, 1986</a>               | <i>DH</i>   |
| 81.56                       | 298.15          | <a href="#">Tanaka, Toyama, et al., 1986</a>           | <i>DH</i>   |
| 80.22                       | 298.15          | <a href="#">Costas and Patterson, 1985</a>             | T = 298.15, 313.15 K.; <i>DH</i>                                    |
| 81.47                       | 298.15          | <a href="#">Zegers and Somsen, 1984</a>                | <i>DH</i>   |
| 78.90                       | 288.15          | <a href="#">Benson and D'Arcy, 1982</a>                | <i>DH</i>   |
| 81.92                       | 298.15          | <a href="#">Villamanan, Casanova, et al., 1982</a>     | <i>DH</i>   |
| 80.8                        | 293.15          | <a href="#">Atalla, El-Sharkawy, et al., 1981</a>      | <i>DH</i>   |
| 81.13                       | 298.15          | <a href="#">Carlson and Westrum, 1971</a>              | T = 5 to 332 K.; <i>DH</i>  |
| 83.7                        | 298.            | <a href="#">Deshpande and Bhatagadde, 1971</a>         | T = 298 to 318 K.; <i>DH</i>  |
| 85.8                        | 313.2           | <a href="#">Paz Andrade, Paz, et al., 1970</a>         | <i>DH</i>   |
| 85.8                        | 298.2           | <a href="#">Katayama, 1962</a>                         | T = 10 to 60°C.; <i>DH</i>  |
| 80.8                        | 311.            | <a href="#">Swietoslawski and Zielenkiewicz, 1960</a>  | Mean value 21 to 56°C.; <i>DH</i>                                   |
| 86.2                        | 323.            | <a href="#">Hough, Mason, et al., 1950</a>             | T = 323 to 353 K.; <i>DH</i>  |
| 75.77                       | 270.            | <a href="#">Staveley and Gupta, 1949</a>               | T = 90 to 270 K.; <i>DH</i>   |
| 86.6                        | 300.8           | <a href="#">Phillip, 1939</a>                          | <i>DH</i>   |
| 83.56                       | 313.15          | <a href="#">Fiock, Ginnings, et al., 1931</a>          | T = 40 to 110°C.; <i>DH</i>   |
| 79.9                        | 292.0           | <a href="#">Kelley, 1929</a>                           | T = 16 to 293 K. Value is unsmoothed experimental datum.; <i>DH</i> |
| 78.2                        | 270.            | <a href="#">Mitsukuri and Hara, 1929</a>               | T = 190 to 270 K.; <i>DH</i>  |
| 79.9                        | 290.1           | <a href="#">Parks, 1925</a>                            | T = 89 to 290 K. Value is unsmoothed experimental datum.; <i>DH</i> |
| 83.3                        | 298.            | <a href="#">von Reis, 1881</a>                         | T = 288 to 335 K.; <i>DH</i>  |

DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO.

TABLE 2-196 Heat Capacities of Inorganic and Organic Liquids

| Cmpd. no. | Name                             | Formula                         | CAS no. | Molwt   | C1         | C2          | C3          | C4          | C5         | T <sub>min.</sub> K | C <sub>p</sub> at T <sub>min.</sub> × 1E-05 | T <sub>max.</sub> K | C <sub>p</sub> at T <sub>max.</sub> × 1E-05 |
|-----------|----------------------------------|---------------------------------|---------|---------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|---------------------|---|---------------------|---|
| 1         | Methane (eqn. 2)                 | CH <sub>4</sub>                 | 74828   | 16.043  | 6.5708E+01 | 3.8883E+04  | -2.5795E+02 | 6.1407E+02  | 0          | 90.69               | 0.5361                                      | 190                 | 14.9780                                     |
| 2         | Ethane (eqn. 2)                  | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>   | 74840   | 30.070  | 4.4009E+01 | 8.9718E+04  | 9.1877E+02  | -1.8860E+03 | 0          | 92                  | 0.6855                                      | 290                 | 1.2444                                      |
| 3         | Propane (eqn. 2)                 | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>   | 74986   | 44.097  | 6.2983E+01 | 1.1363E+05  | 6.3321E+02  | -8.7346E+02 | 0          | 85.47               | 0.8488                                      | 360                 | 2.6079                                      |
| 4         | n-Butane (eqn. 2)                | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>  | 106978  | 58.123  | 6.4730E+01 | 1.6184E+05  | 9.8341E+02  | -1.4315E+03 | 0          | 134.86              | 1.1380                                      | 420                 | 5.0822                                      |
| 5         | n-Pentane                        | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>  | 109660  | 72.150  | 1.5908E+05 | -2.7050E+02 | 9.9537E-01  | 0           | 0          | 143.42              | 1.4076                                      | 390                 | 2.0498                                      |
| 6         | n-Hexane                         | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | 110543  | 86.177  | 1.7212E+05 | -1.8378E+02 | 8.8734E-01  | 0           | 0          | 177.83              | 1.6750                                      | 460                 | 2.7534                                      |
| 7         | n-Heptane (eqn. 2)               | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 142825  | 100.204 | 6.1260E+01 | 3.1441E+05  | 1.8246E+03  | -2.5479E+03 | 0          | 182.57              | 1.9889                                      | 520                 | 4.0657                                      |
| 8         | n-Octane                         | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 111659  | 114.231 | 2.2483E+05 | -1.8663E+02 | 9.5891E-01  | 0           | 0          | 216.38              | 2.2934                                      | 460                 | 3.4189                                      |
| 9         | n-Nonane                         | C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>  | 111842  | 128.258 | 3.8308E+05 | -1.1398E+03 | 2.7101E+00  | 0           | 0          | 219.66              | 2.6348                                      | 325                 | 2.9890                                      |
| 10        | n-Decane                         | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 124185  | 142.285 | 2.7862E+05 | -1.9791E+02 | 1.0737E+00  | 0           | 0          | 243.51              | 2.9409                                      | 460                 | 4.1478                                      |
| 11        | n-Undecane                       | C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> | 1120214 | 156.312 | 2.9398E+05 | -1.1498E+02 | 9.6936E-01  | 0           | 0          | 247.57              | 3.2493                                      | 433.42              | 4.2624                                      |
| 12        | n-Dodecane                       | C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> | 112403  | 170.338 | 5.0821E+05 | -1.3687E+03 | 3.1015E+00  | 0           | 0          | 263.57              | 3.6292                                      | 330                 | 3.9429                                      |
| 13        | n-Tridecane                      | C <sub>13</sub> H <sub>28</sub> | 629505  | 184.365 | 3.5018E+05 | -1.0470E+02 | 1.0022E+00  | 0           | 0          | 267.76              | 3.9400                                      | 508.62              | 5.5619                                      |
| 14        | n-Tetradecane                    | C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> | 629594  | 198.392 | 3.5314E+05 | 2.9130E+01  | 8.6116E-01  | 0           | 0          | 279.01              | 4.2831                                      | 526.73              | 6.0741                                      |
| 15        | n-Pentadecane                    | C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> | 629629  | 212.419 | 3.4691E+05 | 2.1954E+02  | 6.5632E-01  | 0           | 0          | 283.07              | 4.6165                                      | 543.84              | 6.6042                                      |
| 16        | n-Hexadecane                     | C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> | 544763  | 226.446 | 3.7035E+05 | 2.3147E+02  | 6.8632E-01  | 0           | 0          | 291.31              | 4.9602                                      | 560.01              | 7.1521                                      |
| 17        | n-Heptadecane                    | C <sub>17</sub> H <sub>36</sub> | 629787  | 240.473 | 3.7697E+05 | 3.4782E+02  | 5.7895E-01  | 0           | 0          | 295.13              | 5.3005                                      | 575.3               | 7.6869                                      |
| 18        | n-Octadecane                     | C <sub>18</sub> H <sub>38</sub> | 593453  | 254.500 | 3.9943E+05 | 3.7464E+02  | 5.8156E-01  | 0           | 0          | 301.31              | 5.6511                                      | 589.86              | 8.2276                                      |
| 19        | n-Nonadecane                     | C <sub>19</sub> H <sub>40</sub> | 629925  | 268.527 | 3.4257E+05 | 7.6208E+02  | 2.0481E-01  | 0           | 0          | 305.04              | 5.9409                                      | 603.05              | 8.7663                                      |
| 20        | n-Eicosane                       | C <sub>20</sub> H <sub>42</sub> | 112958  | 282.553 | 3.5272E+05 | 8.0732E+02  | 2.1220E-01  | 0           | 0          | 309.58              | 6.2299                                      | 616.93              | 9.3154                                      |
| 21        | 2-Methylpropane                  | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>  | 75285   | 58.123  | 1.7237E+05 | -1.7839E+03 | 1.4759E+01  | -4.7909E-02 | 5.9050E-05 | 113.54              | 0.9961                                      | 380                 | 2.0725                                      |
| 22        | 2-Methylbutane                   | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>  | 78784   | 72.150  | 1.0830E+05 | 1.4600E+02  | -2.9200E-01 | 1.5100E-03  | 0          | 113.25              | 1.2328                                      | 310                 | 1.7048                                      |
| 23        | 2,3-Dimethylbutane               | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | 79298   | 86.177  | 1.2945E+05 | 1.8500E+01  | 6.0800E-01  | 0           | 0          | 145.19              | 1.4495                                      | 331.13              | 2.0224                                      |
| 24        | 2-Methylpentane                  | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | 107835  | 86.177  | 1.4222E+05 | -4.7830E+01 | 7.3900E-01  | 0           | 0          | 119.55              | 1.4706                                      | 333.41              | 2.0842                                      |
| 25        | 2,3-Dimethylpentane <sup>1</sup> | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 565593  | 100.204 | 1.4642E+05 | 5.9200E+01  | 6.0400E-01  | 0           | 0          | 90                  | 1.5664                                      | 380                 | 2.5613                                      |
| 26        | 2,3,3-Trimethylpentane           | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 560214  | 114.231 | 3.8862E+05 | -1.4395E+03 | 3.2187E+00  | 0           | 0          | 280                 | 2.3791                                      | 320                 | 2.5757                                      |
| 27        | 2,2,4-Trimethylpentane           | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 540841  | 114.231 | 9.5275E+04 | 6.9670E+02  | -1.3765E+00 | 2.1734E-03  | 0          | 165.78              | 1.8285                                      | 520                 | 3.9095                                      |
| 28        | Ethylene                         | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>   | 74851   | 28.054  | 2.4739E+05 | -4.4280E+03 | 4.0936E+01  | -1.6970E-01 | 2.6816E-04 | 103.97              | 0.7013                                      | 252.7               | 0.9758                                      |
| 29        | Propylene                        | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>   | 115071  | 42.081  | 1.1720E+05 | -3.8632E+02 | 1.2348E+00  | 0           | 0          | 87.89               | 0.9279                                      | 298.15              | 1.1178                                      |
| 30        | 1-Butene                         | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>   | 106989  | 56.108  | 1.3589E+05 | -4.7739E+02 | 2.1835E+00  | -2.2230E-03 | 0          | 87.8                | 1.0930                                      | 300                 | 1.2917                                      |
| 31        | cis-2-Butene                     | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>   | 590181  | 56.108  | 1.2668E+05 | -6.5470E+01 | -6.4000E-01 | 2.9120E-03  | 0          | 134.26              | 1.1340                                      | 350                 | 1.5022                                      |
| 32        | trans-2-Butene                   | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>   | 624646  | 56.108  | 1.1276E+05 | -1.0470E+02 | 5.2140E-01  | 0           | 0          | 167.62              | 1.0986                                      | 274.03              | 1.2322                                      |
| 33        | 1-Pentene                        | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>  | 109671  | 70.134  | 1.5467E+05 | -4.2600E+02 | 1.9640E+00  | -1.8038E-03 | 0          | 107.93              | 1.2930                                      | 310                 | 1.5761                                      |
| 34        | 1-Hexene                         | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>  | 592416  | 84.161  | 1.9263E+05 | -5.7116E+02 | 2.4004E+00  | -1.9758E-03 | 0          | 133.39              | 1.5446                                      | 336.63              | 1.9700                                      |
| 35        | 1-Heptene                        | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>  | 592767  | 98.188  | 1.8997E+05 | -1.5670E+02 | 3.4300E-01  | 1.5222E-03  | 0          | 154.27              | 1.7955                                      | 330                 | 2.3032                                      |
| 36        | 1-Octene                         | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>  | 111660  | 112.215 | 3.7930E+05 | -2.1175E+03 | 8.2362E+00  | -9.0093E-03 | 0          | 171.45              | 2.1295                                      | 315                 | 2.4793                                      |
| 37        | 1-Nonene                         | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>  | 124118  | 126.242 | 2.5875E+05 | -3.5450E+02 | 1.3126E+00  | 0           | 0          | 191.78              | 2.3904                                      | 420.02              | 3.4142                                      |
| 38        | 1-Decene                         | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> | 872059  | 140.269 | 3.1950E+05 | -5.7621E+02 | 1.7087E+00  | 0           | 0          | 206.89              | 2.7343                                      | 443.75              | 4.0027                                      |
| 39        | 2-Methylpropene                  | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>   | 115117  | 56.108  | 8.7680E+04 | 2.1710E+02  | -9.1530E-01 | 2.2660E-03  | 0          | 132.81              | 1.0568                                      | 343.15              | 1.4596                                      |
| 40        | 2-Methyl-1-butene <sup>2</sup>   | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>  | 563462  | 70.134  | 1.4951E+05 | -2.4763E+02 | 9.1849E-01  | 0           | 0          | 135.58              | 1.3282                                      | 304.31              | 1.5921                                      |
| 41        | 2-Methyl-2-butene <sup>2</sup>   | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>  | 513359  | 70.134  | 1.5160E+05 | -2.6672E+02 | 9.0847E-01  | 0           | 0          | 139.39              | 1.3207                                      | 311.71              | 1.5673                                      |
| 42        | 1,2-Butadiene                    | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>   | 590192  | 54.092  | 1.3515E+05 | -3.1114E+02 | 9.7007E-01  | -1.5230E-04 | 0          | 136.95              | 1.1034                                      | 290                 | 1.2279                                      |
| 43        | 1,3-Butadiene                    | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>   | 106990  | 54.092  | 1.2886E+05 | -3.2310E+02 | 1.0150E+00  | 3.2000E-05  | 0          | 165                 | 1.0333                                      | 350                 | 1.4148                                      |
| 44        | 2-Methyl-1,3-butadiene           | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>   | 78795   | 68.119  | 1.4148E+05 | -2.8870E+02 | 1.0910E+00  | 0           | 0          | 130.32              | 1.2239                                      | 307.2               | 1.5575                                      |
| 45        | Acetylene                        | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>   | 74862   | 26.038  | 2.0011E+05 | -1.1988E+03 | 3.0027E+00  | 0           | 0          | 192.4               | 0.8061                                      | 250                 | 0.8808                                      |
| 46        | Methylacetylene                  | C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>   | 74997   | 40.065  | 7.9791E+04 | 8.9490E+01  | 0           | 0           | 0          | 200                 | 0.9769                                      | 249.94              | 1.0216                                      |
| 47        | Dimethylacetylene                | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>   | 503173  | 54.092  | 8.8153E+04 | 1.2416E+02  | 0           | 0           | 0          | 240.91              | 1.1806                                      | 300.13              | 1.2542                                      |
| 48        | 3-Methyl-1-butyne                | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>   | 598232  | 68.119  | 1.0520E+05 | 1.9110E+02  | 0           | 0           | 0          | 200                 | 1.4342                                      | 299.49              | 1.6243                                      |
| 49        | 1-Pentyne                        | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>   | 627190  | 68.119  | 8.6200E+04 | 2.5660E+02  | 0           | 0           | 0          | 200                 | 1.3752                                      | 313.33              | 1.6660                                      |
| 50        | 2-Pentyne                        | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>   | 627214  | 68.119  | 6.8671E+04 | 2.4666E+02  | 0           | 0           | 0          | 200                 | 1.1800                                      | 329.27              | 1.4989                                      |



DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO.

|     |                             |  |         |         |             |             |             |             |            |        |        |        |        |
|-----|-----------------------------|--|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| 51  | 1-Hexyne                    | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>               | 693027  | 82.145  | 9.3000E+04  | 3.2600E+02  | 0           | 0           | 0          | 200    | 1.5820 | 344.48 | 2.0530 |
| 52  | 2-Hexyne                    | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>               | 764352  | 82.145  | 9.4860E+04  | 2.5415E+02  | 0           | 0           | 0          | 300    | 1.7110 | 357.67 | 1.8576 |
| 53  | 3-Hexyne                    | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>               | 928494  | 82.145  | 8.2795E+04  | 2.8340E+02  | 0           | 0           | 0          | 300    | 1.6781 | 354.35 | 1.8322 |
| 54  | 1-Heptyne                   | C <sub>7</sub> H <sub>12</sub>               | 628717  | 96.172  | 8.5122E+04  | 4.0247E+02  | 0           | 0           | 0          | 192.22 | 1.6248 | 372.93 | 2.3522 |
| 55  | 1-Octyne                    | C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>               | 629050  | 110.199 | 9.1748E+04  | 4.7140E+02  | 0           | 0           | 0          | 193.55 | 1.8299 | 399.35 | 2.8000 |
| 56  | Vinylacetylene <sup>3</sup> | C <sub>4</sub> H <sub>4</sub>                | 689974  | 52.076  | 6.8720E+04  | 1.3500E+02  | 0           | 0           | 0          | 200    | 0.9572 | 278.25 | 1.0628 |
| 57  | Cyclopentane                | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>               | 287923  | 70.134  | 1.2253E+05  | -4.0380E+02 | 1.7344E+00  | -1.0975E-03 | 0          | 179.28 | 0.9956 | 322.4  | 1.3584 |
| 58  | Methylcyclopentane          | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>               | 96377   | 84.161  | 1.5592E+05  | -4.9000E+02 | 2.1383E+00  | -1.5585E-03 | 0          | 130.73 | 1.2492 | 366.48 | 1.8682 |
| 59  | Ethylcyclopentane           | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>               | 1640897 | 98.188  | 1.7852E+05  | -5.1835E+02 | 2.3255E+00  | -1.6818E-03 | 0          | 134.71 | 1.4678 | 301.82 | 1.8767 |
| 60  | Cyclohexane                 | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>               | 110827  | 84.161  | -2.2060E+05 | 3.1183E+03  | -9.4216E+00 | 1.0687E-02  | 0          | 279.69 | 1.4836 | 400    | 2.0323 |
| 61  | Methylcyclohexane           | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>               | 108872  | 98.188  | 1.3134E+05  | -6.3100E+01 | 8.1250E-01  | 0           | 0          | 146.58 | 1.3955 | 320    | 1.9435 |
| 62  | 1,1-Dimethylcyclohexane     | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>               | 590669  | 112.215 | 1.3450E+05  | 8.7650E+00  | 8.1151E-01  | 0           | 0          | 239.66 | 1.8321 | 392.7  | 2.6309 |
| 63  | Ethylcyclohexane            | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>               | 1678917 | 112.215 | 1.3236E+05  | 7.2740E+01  | 6.4738E-01  | 0           | 0          | 161.84 | 1.6109 | 404.95 | 2.6798 |
| 64  | Cyclopentene                | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>                | 142290  | 68.119  | 1.2538E+05  | -3.4970E+02 | 1.1430E+00  | 0           | 0          | 138.13 | 0.9888 | 317.38 | 1.2953 |
| 65  | 1-Methylcyclopentene        | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>               | 693890  | 82.145  | 5.3271E+04  | 3.2792E+02  | 0           | 0           | 0          | 200    | 1.1885 | 348.64 | 1.6760 |
| 66  | Cyclohexene                 | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>               | 110838  | 82.145  | 1.0585E+05  | -6.0000E+01 | 6.8000E-01  | 0           | 0          | 169.67 | 1.1525 | 356.12 | 1.7072 |
| 67  | Benzene                     | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                | 71432   | 78.114  | 1.2944E+05  | -1.6950E+02 | 6.4781E-01  | 0           | 0          | 278.68 | 1.3251 | 353.24 | 1.5040 |
| 68  | Toluene                     | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>                | 108583  | 92.141  | 1.4014E+05  | -1.5230E+02 | 6.9500E-01  | 0           | 0          | 178.18 | 1.3507 | 500    | 2.3774 |
| 69  | <i>o</i> -Xylene            | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>               | 95476   | 106.167 | 3.6500E+04  | 1.0175E+03  | -2.6300E+00 | 3.0200E-03  | 0          | 248    | 1.7315 | 415    | 2.2166 |
| 70  | <i>m</i> -Xylene            | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>               | 108383  | 106.167 | 1.7555E+05  | -2.9950E+02 | 1.0890E+00  | 0           | 0          | 225.3  | 1.6330 | 360    | 2.0873 |
| 71  | <i>p</i> -Xylene            | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>               | 106423  | 106.167 | -3.5500E+04 | 1.2872E+03  | -2.5990E+00 | 2.4260E-03  | 0          | 286.41 | 1.7697 | 600    | 3.2520 |
| 72  | Ethylbenzene                | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>               | 100414  | 106.167 | 1.3316E+05  | 4.4507E+02  | 3.9645E-01  | 0           | 0          | 178.15 | 1.5367 | 409.35 | 2.1781 |
| 73  | Propylbenzene               | C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>               | 103651  | 120.194 | 2.3477E+05  | -8.0022E+02 | 3.4037      | -3.1739E-03 | 0          | 173.59 | 1.8182 | 370    | 2.4389 |
| 74  | 1,2,4-Trimethylbenzene      | C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>               | 95636   | 120.194 | 1.7880E+05  | -1.2847E+02 | 8.3741E-01  | 0           | 0          | 229.33 | 1.9338 | 350    | 2.3642 |
| 75  | Isopropylbenzene            | C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>               | 98828   | 120.194 | 1.8290E+05  | -1.7400E+02 | 9.1200E-01  | 0           | 0          | 177.14 | 1.8069 | 500    | 3.2390 |
| 76  | 1,3,5-Trimethylbenzene      | C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>               | 108678  | 120.194 | 1.4805E+05  | 1.9700E+01  | 6.2260E-01  | 0           | 0          | 228.42 | 1.8503 | 350    | 2.3121 |
| 77  | <i>p</i> -Isopropyltoluene  | C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>              | 99876   | 134.221 | 1.4560E+05  | 2.4870E+02  | 1.8700E-01  | 0           | 0          | 205.25 | 2.0452 | 450.28 | 2.9550 |
| 78  | Naphthalene                 | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>               | 91203   | 128.174 | 2.9800E+04  | 5.2750E+02  | 0           | 0           | 0          | 353.43 | 2.1623 | 491.14 | 2.8888 |
| 79  | Biphenyl                    | C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>              | 92524   | 154.211 | 1.2177E+05  | 4.2930E+02  | 0           | 0           | 0          | 342.2  | 2.6968 | 533.37 | 3.5075 |
| 80  | Styrene                     | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>                | 100425  | 104.152 | 1.1334E+05  | 2.9020E+02  | -6.0510E-01 | 1.3567E-03  | 0          | 242.54 | 1.6749 | 418.31 | 2.2816 |
| 81  | <i>m</i> -Terphenyl         | C <sub>19</sub> H <sub>14</sub>              | 92068   | 230.309 | 1.9567E+05  | 5.9407E+02  | 0           | 0           | 0          | 360    | 4.0954 | 650    | 5.8182 |
| 82  | Methanol                    | CH <sub>3</sub> O                            | 67561   | 32.042  | 1.0580E+05  | -3.6223E+02 | 9.3790E-01  | 0           | 0          | 175.47 | 0.7112 | 400    | 1.1097 |
| 83  | Ethanol                     | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O              | 64175   | 46.069  | 1.0264E+05  | -1.3963E+02 | -3.0341E-02 | 2.0386E-03  | 0          | 159.05 | 0.8787 | 390    | 1.6450 |
| 84  | 1-Propanol                  | C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> O              | 71238   | 60.096  | 1.5876E+05  | -6.3500E+02 | 1.9698E+00  | 0           | 0          | 146.95 | 1.0797 | 400    | 2.1980 |
| 85  | 1-Butanol                   | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O              | 71363   | 74.123  | 1.9120E+05  | -7.3040E+02 | 2.2998E+00  | 0           | 0          | 184.51 | 1.3473 | 390.81 | 2.5701 |
| 86  | 2-Butanol                   | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O              | 78922   | 74.123  | 2.0670E+05  | -1.0204E+03 | 3.2900E+00  | 0           | 0          | 158.45 | 1.2762 | 372.7  | 2.8340 |
| 87  | 2-Propanol                  | C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> O              | 67630   | 60.096  | 7.2355E+05  | -8.0950E+03 | 3.6662E+01  | -6.6395E-02 | 4.4064E-05 | 185.28 | 1.1189 | 480    | 2.8122 |
| 88  | 2-Methyl-2-propanol         | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O              | 75650   | 74.123  | -9.2546E+05 | 7.8949E+03  | -1.7661E+01 | 1.3617E-02  | 0          | 298.96 | 2.2016 | 460    | 2.9455 |
| 89  | 1-Pentanol                  | C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> O             | 71410   | 88.150  | 2.0120E+05  | -6.5130E+02 | 2.2750E+00  | 0           | 0          | 200.14 | 1.6198 | 389.15 | 2.9227 |
| 90  | 2-Methyl-1-butanol          | C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> O             | 137326  | 88.150  | 8.2937E+04  | 4.5998E+02  | 0.0000E+00  | 0           | 0          | 250    | 1.9793 | 401.85 | 2.6778 |
| 91  | 3-Methyl-1-butanol          | C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> O             | 123513  | 88.150  | -5.3777E+04 | 8.8342E+02  | 0           | 0           | 0          | 295.52 | 2.0729 | 350    | 2.5542 |
| 92  | 1-Hexanol                   | C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> O             | 111273  | 102.177 | 4.8466E+05  | -2.7613E+03 | 6.5555E+00  | 0           | 0          | 228.55 | 1.9599 | 320    | 2.7233 |
| 93  | 1-Heptanol                  | C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> O             | 111706  | 116.203 | 4.3790E+05  | -2.0947E+03 | 5.2090E+00  | 0           | 0          | 239.15 | 2.3487 | 370    | 3.7597 |
| 94  | Cyclohexanol                | C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O             | 108930  | 100.161 | -4.0000E+04 | 8.5300E+02  | 0           | 0           | 0          | 296.6  | 2.1300 | 434    | 3.3020 |
| 95  | Ethylene glycol             | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 107211  | 62.068  | 3.5540E+04  | 4.3678E+02  | -1.8486E-01 | 0           | 0          | 260.15 | 1.3666 | 493.15 | 2.0598 |
| 96  | 1,2-Propylene glycol        | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> | 57556   | 76.095  | 5.8080E+04  | 4.4520E+02  | 0           | 0           | 0          | 213.15 | 1.5297 | 460.75 | 2.6321 |
| 97  | Phenol                      | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O              | 108952  | 94.113  | 1.0172E+05  | 3.1761E+02  | 0           | 0           | 0          | 314.06 | 2.0147 | 425    | 2.3670 |
| 98  | <i>o</i> -Cresol            | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O              | 95487   | 108.140 | -1.8515E+05 | 3.1480E+03  | -8.0367E+00 | 7.2540E-03  | 0          | 304.2  | 2.3297 | 400    | 2.5243 |
| 99  | <i>m</i> -Cresol            | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O              | 108394  | 108.140 | -2.4670E+05 | 3.2568E+03  | -7.4202E+00 | 6.0467E-03  | 0          | 285.39 | 2.1895 | 400    | 2.5578 |
| 100 | <i>p</i> -Cresol            | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O              | 106445  | 108.140 | 2.5998E+05  | -1.1123E+03 | 4.9427E+00  | -5.4367E-03 | 0          | 307.93 | 2.2740 | 400    | 2.5794 |

All substances are listed in alphabetical order in Table 2-6a.

Compiled from Daubert, T. E., R. P. Danner, H. M. Sibul, and C. C. Stebbins, DIPPR Data Compilation of Pure Compound Properties, Project 801 Sponsor Release, July, 1993, Design Institute for Physical Property Data, AIChE, New York, NY; and from Thermodynamics Research Center, "Selected Values of Properties of Hydrocarbons and Related Compounds," Thermodynamics Research Center Hydrocarbon Project, Texas A&M University, College Station, Texas (extant 1994).

Temperatures are expressed in kelvins; liquid heat capacities are in J/kmol-K.

$J/(kmol \cdot K) \times 2.390E-04 = cal/(gmol \cdot ^\circ C)$ ;  $J/(kmol \cdot K) \times 2.390059E-04 = Btu/(lbmol \cdot ^\circ F)$ .

Equation 1, heat capacity =  $C1 + C2 \times T + C3 \times T^2 + C4 \times T^3 + C5 \times T^4$ , should be used except as otherwise specified.

Equation 2 is heat capacity =  $C1/t + C2 - (2 \times C1 \times C3)/t - (C1 \times C4)/t^2 - (C3^2)/t^3 - (C3 \times C4)/t^4 - (C4^2)/t^5$ ,  $t = (1 - T_r)$  and  $T_r$  is the reduced temperature,  $T/T_c$ .

<sup>1</sup> Coefficients are for the monomer and are hypothetical above 473 K.

<sup>2</sup> For the saturated heat capacity.

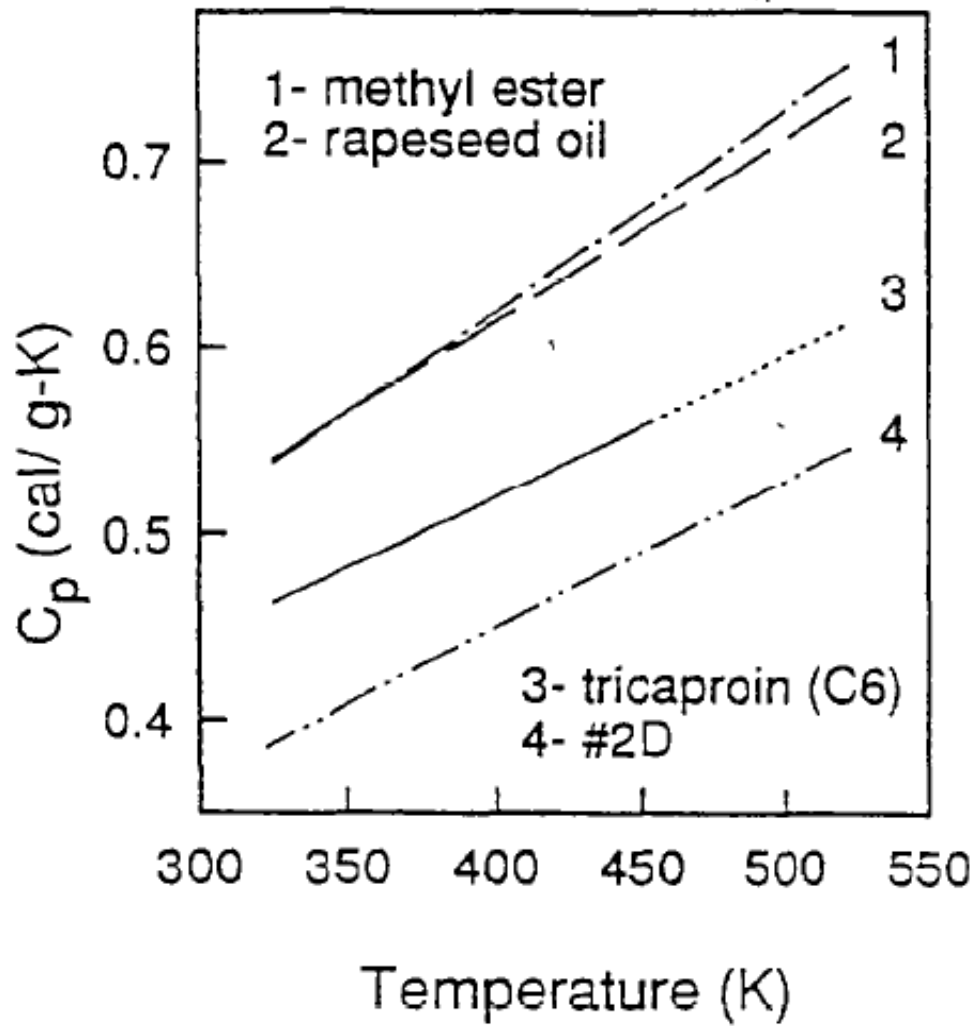
<sup>3</sup> Coefficients are hypothetical; compound decomposes violently on heating.

<sup>4</sup> Coefficients are hypothetical and are based on predicted data.

<sup>5</sup> Coefficients are hypothetical.

<sup>6</sup> Exhibits superfluid properties below 2.2 K.

### 14. Capacidades caloríficas del biodiesel (Ester metílico)



## 15. Capacidad calorífica de la glicerina.

| $C_{p,liquid}$<br>(J/mol*K) | Temperature (K) | Reference   | Comment   |
|-----------------------------|-----------------|---|---|
|                             | 298.15          | <a href="#">Bastos, Nilsson, et al., 1988</a>     | <i>DH</i>   |
| 229.3                       | 313.15          | <a href="#">Chen and Ge, 1982</a>                 | T = 20 to 60 K. Cp given as 2.49 kJ/kg*K at 40°C. Cp at 25°C estimated from graph to be ca. 2.43 kJ/kg*K or 223 J/mol*K.; <i>DH</i>         |
| 219.2                       | 293.15          | <a href="#">Atalla, El-Sharkawy, et al., 1981</a> | <i>DH</i>   |
| 221.9                       | 298.15          | <a href="#">Murthy and Subrahmanyam, 1977</a>     | <i>DH</i>   |
| 221.7                       | 301.2           | <a href="#">Paz Andrade, Paz, et al., 1970</a>    | T = 28, 40°C.; <i>DH</i>  |
| 221.18                      | 293.15          | <a href="#">Omel'chenko, 1962</a>                 | T = 273 to 523 K. A reexamination of the literature. $C_p(liq) = 32.9 + 0.0761T - 0.0000269T^2$ (T in K) cal/mol*K (0 to 250°C).; <i>DH</i> |
| 218.5                       | 298.            | <a href="#">Rabinovich and Nikolaev, 1962</a>     | T = 10 to 55°C.; <i>DH</i>  |
| 213.8                       | 298.            | <a href="#">Ernst, Watkins, et al., 1936</a>      | <i>DH</i>   |
| 207.9                       | 298.1           | <a href="#">Parks, Kelley, et al., 1929</a>       | Extrapolation below 90 K, 41.4 J/mol*K.; <i>DH</i>  |
| 223.4                       | 299.4           | <a href="#">Gibson and Giauque, 1923</a>          | T = 70.2 to 299.4 K. Value is unsmoothed experimental datum. Cp also measured for glass.; <i>DH</i>   |
| 225.9                       | 289.7           | <a href="#">Simon, 1922</a>                       | T = 19 to 294 K. Value is unsmoothed experimental datum. Cp also measured for glass.; <i>DH</i>   |

**TABLE 2-206 Glycerol**

| Mole % C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3</sub> | Specific heat, cal/g °C |       |
|--|-------------------------|-------|
|  | 15°C                    | 32°C  |
| 2.12   | 0.961                   | 0.960 |
| 4.66   | .929                    | .924  |
| 11.5   | .851                    | .841  |
| 22.7   | .765                    | .758  |
| 43.9   | .67                     | .672  |
| 100.0  | .555                    | .576  |



## 16. Densidad del agua

TABLE 2-28 Density (kg/m<sup>3</sup>) of Water from 0 to 100°C\*

| t, °C | ρ, kg/m <sup>3</sup> |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|       | 0.0                  | 0.1     | 0.2     | 0.3     | 0.4     | 0.5     | 0.6     | 0.7     | 0.8     | 0.9     |
| 0     | 999.839              | 999.846 | 999.852 | 999.859 | 999.865 | 999.871 | 999.877 | 999.882 | 999.888 | 999.893 |
| 1     | 999.898              | 999.903 | 999.908 | 999.913 | 999.917 | 999.921 | 999.925 | 999.929 | 999.933 | 999.936 |
| 2     | 999.940              | 999.943 | 999.946 | 999.949 | 999.952 | 999.954 | 999.956 | 999.959 | 999.961 | 999.962 |
| 3     | 999.964              | 999.966 | 999.967 | 999.968 | 999.969 | 999.970 | 999.971 | 999.971 | 999.972 | 999.972 |
| 4     | 999.972              | 999.972 | 999.972 | 999.971 | 999.971 | 999.970 | 999.969 | 999.968 | 999.967 | 999.965 |
| 5     | 999.964              | 999.962 | 999.960 | 999.958 | 999.956 | 999.954 | 999.951 | 999.949 | 999.946 | 999.943 |
| 6     | 999.940              | 999.937 | 999.934 | 999.930 | 999.926 | 999.923 | 999.919 | 999.915 | 999.910 | 999.906 |
| 7     | 999.901              | 999.897 | 999.892 | 999.887 | 999.882 | 999.877 | 999.871 | 999.866 | 999.860 | 999.854 |
| 8     | 999.848              | 999.842 | 999.836 | 999.829 | 999.823 | 999.816 | 999.809 | 999.802 | 999.795 | 999.788 |
| 9     | 999.781              | 999.773 | 999.765 | 999.758 | 999.750 | 999.742 | 999.734 | 999.725 | 999.717 | 999.708 |
| 10    | 999.699              | 999.691 | 999.682 | 999.672 | 999.663 | 999.654 | 999.644 | 999.635 | 999.625 | 999.615 |
| 11    | 999.605              | 999.595 | 999.584 | 999.574 | 999.563 | 999.553 | 999.542 | 999.531 | 999.520 | 999.509 |
| 12    | 999.497              | 999.486 | 999.474 | 999.462 | 999.451 | 999.439 | 999.426 | 999.414 | 999.402 | 999.389 |
| 13    | 999.377              | 999.364 | 999.351 | 999.338 | 999.325 | 999.312 | 999.299 | 999.285 | 999.272 | 999.258 |
| 14    | 999.244              | 999.230 | 999.216 | 999.202 | 999.188 | 999.173 | 999.159 | 999.144 | 999.129 | 999.114 |
| 15    | 999.099              | 999.084 | 999.069 | 999.054 | 999.038 | 999.022 | 999.007 | 998.991 | 998.975 | 998.958 |
| 16    | 998.943              | 998.926 | 998.910 | 998.894 | 998.877 | 998.860 | 998.843 | 998.826 | 998.809 | 998.792 |
| 17    | 998.775              | 998.757 | 998.740 | 998.722 | 998.704 | 998.686 | 998.668 | 998.650 | 998.632 | 998.614 |
| 18    | 998.595              | 998.577 | 998.558 | 998.539 | 998.520 | 998.502 | 998.482 | 998.463 | 998.444 | 998.425 |
| 19    | 998.405              | 998.385 | 998.366 | 998.346 | 998.326 | 998.306 | 998.286 | 998.265 | 998.245 | 998.224 |
| 20    | 998.204              | 998.183 | 998.162 | 998.141 | 998.120 | 998.099 | 998.078 | 998.057 | 998.035 | 998.014 |
| 21    | 997.992              | 997.971 | 997.949 | 997.927 | 997.905 | 997.883 | 997.860 | 997.838 | 997.816 | 997.793 |
| 22    | 997.770              | 997.747 | 997.725 | 997.702 | 997.679 | 997.656 | 997.632 | 997.609 | 997.585 | 997.562 |
| 23    | 997.538              | 997.515 | 997.491 | 997.467 | 997.443 | 997.419 | 997.394 | 997.370 | 997.345 | 997.321 |
| 24    | 997.296              | 997.272 | 997.247 | 997.222 | 997.197 | 997.172 | 997.146 | 997.121 | 997.096 | 997.070 |
| 25    | 997.045              | 997.019 | 996.993 | 996.967 | 996.941 | 996.915 | 996.889 | 996.863 | 996.836 | 996.810 |
| 26    | 996.783              | 996.757 | 996.730 | 996.703 | 996.676 | 996.649 | 996.622 | 996.595 | 996.568 | 996.540 |
| 27    | 996.513              | 996.485 | 996.458 | 996.430 | 996.402 | 996.374 | 996.346 | 996.318 | 996.290 | 996.262 |
| 28    | 996.233              | 996.205 | 996.176 | 996.148 | 996.119 | 996.090 | 996.061 | 996.032 | 996.003 | 995.974 |
| 29    | 995.945              | 995.915 | 995.886 | 995.856 | 995.827 | 995.797 | 995.767 | 995.737 | 995.707 | 995.677 |
| 30    | 995.647              | 995.617 | 995.586 | 995.556 | 995.526 | 995.495 | 995.464 | 995.433 | 995.403 | 995.372 |
| 31    | 995.341              | 995.310 | 995.278 | 995.247 | 995.216 | 995.184 | 995.153 | 995.121 | 995.090 | 995.058 |
| 32    | 995.026              | 994.997 | 994.962 | 994.930 | 994.898 | 994.865 | 994.833 | 994.801 | 994.768 | 994.735 |
| 33    | 994.703              | 994.670 | 994.637 | 994.604 | 994.571 | 994.538 | 994.505 | 994.472 | 994.438 | 994.405 |
| 34    | 994.371              | 994.338 | 994.304 | 994.270 | 994.236 | 994.202 | 994.168 | 994.134 | 994.100 | 994.066 |
| 35    | 994.032              | 993.997 | 993.963 | 993.928 | 993.893 | 993.859 | 993.824 | 993.789 | 993.754 | 993.719 |
| 36    | 993.684              | 993.648 | 993.613 | 993.578 | 993.543 | 993.507 | 993.471 | 993.436 | 993.400 | 993.364 |
| 37    | 993.328              | 993.292 | 993.256 | 993.220 | 993.184 | 993.148 | 993.111 | 993.075 | 993.038 | 993.002 |
| 38    | 992.965              | 992.928 | 992.891 | 992.855 | 992.818 | 992.780 | 992.743 | 992.706 | 992.669 | 992.631 |
| 39    | 992.594              | 992.557 | 992.519 | 992.481 | 992.444 | 992.406 | 992.368 | 992.330 | 992.292 | 992.254 |
| 40    | 992.215              | 992.177 | 992.139 | 992.100 | 992.062 | 992.023 | 991.985 | 991.946 | 991.907 | 992.868 |
| 41    | 991.830              | 991.791 | 991.751 | 991.712 | 992.673 | 991.634 | 991.594 | 991.555 | 991.515 | 991.476 |
| 42    | 991.436              | 991.396 | 991.357 | 991.317 | 991.277 | 991.237 | 991.197 | 991.157 | 991.116 | 991.076 |
| 43    | 991.036              | 990.995 | 990.955 | 990.914 | 990.873 | 990.833 | 990.792 | 990.751 | 990.710 | 990.669 |
| 44    | 990.628              | 990.587 | 990.546 | 990.504 | 990.463 | 990.421 | 990.380 | 990.338 | 990.297 | 990.255 |
| 45    | 990.213              | 990.171 | 990.129 | 990.087 | 990.045 | 990.003 | 989.961 | 989.919 | 989.876 | 989.834 |
| 46    | 989.792              | 989.749 | 989.706 | 989.664 | 989.621 | 989.578 | 989.535 | 989.492 | 989.449 | 989.406 |
| 47    | 989.363              | 989.320 | 989.276 | 989.233 | 989.190 | 989.146 | 989.103 | 989.059 | 989.015 | 988.971 |
| 48    | 988.928              | 988.884 | 988.840 | 988.796 | 988.752 | 988.707 | 988.663 | 988.619 | 988.574 | 988.530 |
| 49    | 988.485              | 988.441 | 988.396 | 988.352 | 988.307 | 988.262 | 988.217 | 988.172 | 988.127 | 988.082 |

\*From "Water: Density at Atmospheric Pressure and Temperatures from 0 to 100°C," *Tables of Standard Handbook Data*, Standartov, Moscow, 1978. To conserve space, only a few tables of density values are given. The reader is reminded that density values may be found as the reciprocal of the specific volume values tabulated in the "Thermodynamic Properties: Tables" subsection.

DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO.

TABLE 2-28 Density (kg/m<sup>3</sup>) of Water from 0 to 100°C (Concluded)

| t, °C | ρ, kg/m <sup>3</sup> |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|       | 0.0                  | 0.1     | 0.2     | 0.3     | 0.4     | 0.5     | 0.6     | 0.7     | 0.8     | 0.9     |
| 50    | 988.037              | 987.992 | 987.946 | 987.901 | 987.844 | 987.810 | 987.764 | 987.719 | 987.673 | 987.627 |
| 51    | 987.581              | 987.536 | 987.490 | 987.444 | 987.398 | 987.351 | 987.305 | 987.259 | 987.213 | 987.166 |
| 52    | 987.120              | 987.073 | 987.027 | 986.980 | 986.933 | 986.886 | 986.840 | 986.793 | 986.746 | 986.699 |
| 53    | 986.652              | 986.604 | 986.557 | 986.510 | 986.463 | 986.415 | 986.368 | 986.320 | 986.272 | 986.225 |
| 54    | 986.177              | 986.129 | 986.081 | 986.033 | 985.985 | 985.937 | 985.889 | 985.841 | 985.793 | 985.745 |
| 55    | 985.696              | 985.648 | 985.599 | 985.551 | 985.502 | 985.454 | 985.405 | 985.356 | 985.307 | 985.258 |
| 56    | 985.219              | 985.160 | 985.111 | 985.062 | 985.013 | 984.963 | 984.914 | 984.865 | 984.815 | 984.766 |
| 57    | 984.716              | 984.666 | 984.617 | 984.567 | 984.517 | 984.467 | 984.417 | 984.367 | 984.317 | 984.267 |
| 58    | 984.217              | 984.167 | 984.116 | 984.066 | 984.016 | 983.965 | 983.914 | 983.864 | 983.813 | 983.762 |
| 59    | 983.712              | 983.661 | 983.610 | 983.559 | 983.508 | 983.457 | 983.406 | 983.354 | 983.303 | 983.252 |
| 60    | 983.200              | 983.149 | 983.097 | 983.046 | 982.994 | 982.943 | 982.891 | 982.839 | 982.787 | 982.735 |
| 61    | 982.683              | 982.631 | 982.579 | 982.527 | 982.475 | 982.422 | 982.370 | 982.318 | 982.265 | 982.213 |
| 62    | 982.160              | 982.108 | 982.055 | 982.002 | 981.949 | 981.897 | 981.844 | 981.791 | 981.738 | 981.685 |
| 63    | 981.631              | 981.578 | 981.525 | 981.472 | 981.418 | 981.365 | 981.311 | 981.258 | 981.204 | 981.151 |
| 64    | 981.097              | 981.043 | 980.989 | 980.935 | 980.881 | 980.827 | 980.773 | 980.719 | 980.665 | 980.611 |
| 65    | 980.557              | 980.502 | 980.443 | 980.393 | 980.339 | 980.284 | 980.230 | 980.175 | 980.120 | 980.065 |
| 66    | 980.011              | 979.956 | 979.901 | 979.846 | 979.791 | 979.736 | 979.680 | 979.625 | 979.570 | 979.515 |
| 67    | 979.459              | 979.403 | 979.348 | 979.293 | 979.237 | 979.181 | 979.126 | 979.070 | 979.014 | 978.958 |
| 68    | 978.902              | 978.846 | 978.790 | 978.734 | 978.678 | 978.621 | 978.565 | 978.509 | 978.452 | 978.396 |
| 69    | 978.339              | 978.283 | 978.226 | 978.170 | 978.113 | 978.056 | 977.999 | 977.942 | 977.885 | 977.828 |
| 70    | 977.771              | 977.714 | 977.657 | 977.600 | 977.543 | 977.485 | 977.428 | 977.370 | 977.313 | 977.255 |
| 71    | 977.198              | 977.140 | 977.082 | 977.025 | 976.967 | 976.909 | 976.851 | 976.793 | 976.735 | 976.677 |
| 72    | 976.619              | 976.561 | 976.503 | 976.444 | 976.386 | 976.327 | 976.269 | 976.211 | 976.152 | 976.093 |
| 73    | 976.035              | 975.976 | 975.917 | 975.858 | 975.800 | 975.741 | 975.682 | 975.623 | 975.564 | 975.504 |
| 74    | 975.445              | 975.386 | 975.327 | 975.267 | 975.208 | 975.148 | 975.089 | 975.029 | 974.970 | 974.910 |
| 75    | 974.850              | 974.791 | 974.731 | 974.671 | 974.611 | 974.551 | 974.491 | 974.431 | 974.371 | 974.311 |
| 76    | 974.250              | 974.190 | 974.130 | 974.069 | 974.009 | 973.948 | 973.888 | 973.827 | 973.767 | 973.706 |
| 77    | 973.645              | 973.584 | 973.524 | 973.463 | 973.402 | 973.341 | 973.280 | 973.218 | 973.157 | 973.096 |
| 78    | 973.025              | 972.974 | 972.912 | 972.851 | 972.789 | 972.728 | 972.666 | 972.605 | 972.543 | 972.481 |
| 79    | 972.419              | 972.358 | 972.296 | 972.234 | 972.172 | 972.110 | 972.048 | 971.986 | 971.923 | 971.861 |
| 80    | 971.799              | 971.737 | 971.674 | 971.612 | 971.549 | 971.487 | 971.424 | 971.361 | 971.299 | 971.236 |
| 81    | 971.173              | 971.110 | 971.048 | 970.985 | 970.922 | 970.859 | 970.796 | 970.732 | 970.669 | 970.606 |
| 82    | 970.543              | 970.479 | 970.416 | 970.353 | 970.289 | 970.226 | 970.162 | 970.098 | 970.035 | 969.971 |
| 83    | 969.907              | 969.843 | 969.772 | 969.715 | 969.652 | 969.587 | 969.523 | 969.459 | 969.395 | 969.331 |
| 84    | 969.267              | 969.202 | 969.138 | 969.073 | 969.009 | 968.944 | 968.880 | 968.815 | 968.751 | 968.686 |
| 85    | 968.621              | 968.556 | 968.491 | 968.427 | 968.362 | 968.297 | 968.232 | 968.166 | 968.101 | 968.036 |
| 86    | 967.971              | 967.906 | 967.840 | 967.775 | 967.709 | 967.641 | 967.578 | 967.513 | 967.447 | 967.381 |
| 87    | 967.316              | 967.250 | 967.184 | 967.118 | 967.052 | 966.986 | 966.920 | 966.854 | 966.788 | 966.722 |
| 88    | 966.656              | 966.589 | 966.523 | 966.457 | 966.390 | 966.324 | 966.257 | 966.191 | 966.124 | 966.057 |
| 89    | 965.991              | 965.924 | 965.857 | 965.790 | 965.723 | 965.656 | 965.589 | 965.522 | 965.455 | 965.388 |
| 90    | 965.321              | 965.254 | 965.187 | 965.119 | 965.052 | 964.984 | 964.917 | 964.849 | 964.782 | 964.714 |
| 91    | 964.647              | 964.579 | 964.511 | 964.443 | 964.376 | 964.308 | 964.240 | 964.172 | 964.104 | 964.036 |
| 92    | 963.967              | 963.899 | 963.831 | 963.763 | 963.694 | 963.626 | 963.558 | 963.489 | 963.421 | 963.352 |
| 93    | 963.284              | 963.215 | 963.146 | 963.077 | 963.009 | 962.940 | 962.871 | 962.802 | 962.733 | 962.664 |
| 94    | 962.595              | 962.526 | 962.457 | 962.387 | 962.318 | 962.249 | 962.180 | 962.110 | 962.041 | 961.971 |
| 95    | 961.902              | 961.832 | 961.762 | 961.693 | 961.693 | 961.553 | 961.483 | 961.414 | 961.344 | 961.274 |
| 96    | 961.204              | 961.134 | 961.064 | 960.993 | 960.923 | 960.853 | 960.783 | 960.712 | 960.642 | 960.572 |
| 97    | 960.501              | 960.431 | 960.360 | 960.289 | 960.219 | 960.148 | 960.077 | 960.006 | 959.936 | 959.865 |
| 98    | 959.794              | 959.723 | 959.652 | 959.581 | 959.510 | 959.438 | 959.367 | 959.296 | 959.225 | 959.153 |
| 99    | 959.082              | 959.010 | 958.939 | 958.867 | 958.796 | 958.724 | 958.653 | 958.581 | 958.509 | 958.431 |
| 100   | 958.365              |         |         |         |         |         |         |         |         |         |

## 17. Capacidades caloríficas del agua.

**TABLE 2-196 Heat Capacities of Inorganic and Organic Liquids (Concluded)**

| Cmpd. no. | Name                      | Formula                                       | CAS no.   | Mol wt  | C1          | C2          | C3          | C4          | C5          | $T_{min}$ , K | $C_p$ at $T_{min}$ × 1E-05 | $T_{max}$ , K | $C_p$ at $T_{max}$ × 1E-05 |
|-----------|---------------------------|---|-----------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| 198       | 1-Chloropropane           | C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> Cl              | 540545    | 78.541  | 9.6344E+04  | 1.1752E+02  | 0           | 0           | 0           | 230           | 1.2337                     | 319.67        | 1.3391                     |
| 199       | 2-Chloropropane           | C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> Cl              | 75296     | 78.541  | 6.9362E+04  | 2.1501E+02  | 0           | 0           | 0           | 200           | 1.1236                     | 308.85        | 1.3577                     |
| 200       | 1,1-Dichloropropane       | C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>2</sub> | 78999     | 112.986 | 7.0010E+04  | 2.6660E+02  | 0           | 0           | 0           | 280           | 1.4466                     | 420           | 1.8198                     |
| 201       | 1,2-Dichloropropane       | C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>2</sub> | 78875     | 112.986 | 1.1094E+05  | 8.3496E+00  | 4.7218E-01  | 0           | 0           | 286           | 1.5195                     | 429           | 2.0142                     |
| 202       | Vinyl chloride            | C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl              | 75014     | 62.499  | -1.0320E+04 | 3.2280E+02  | 0           | 0           | 0           | 200           | 0.5424                     | 400           | 1.1880                     |
| 203       | Fluorobenzene             | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> F               | 462066    | 96.104  | -9.9120E+05 | 1.1734E+04  | -4.0669E+01 | 4.7333E-02  | 0           | 239.99        | 1.3675                     | 319.99        | 1.5018                     |
| 204       | Chlorobenzene             | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl              | 108907    | 112.558 | -1.3075E+06 | 1.5338E+04  | -5.3974E+01 | 6.3483E-02  | 0           | 227.95        | 1.3617                     | 360           | 1.8101                     |
| 205       | Bromobenzene              | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Br              | 108861    | 157.010 | 1.2160E+05  | -9.4500E+00 | 3.5800E-01  | 0           | 0           | 293.15        | 1.4960                     | 495.08        | 2.0467                     |
| 206       | Air                       |   | 132259100 | 28.951  | -2.1446E+05 | 9.1851E+03  | -1.0612E+02 | 4.1616E-01  | 0           | 75            | 0.5307                     | 115           | 0.7132                     |
| 207       | Hydrogen (eqn. 2)         | H <sub>2</sub>                                | 1333740   | 2.016   | 6.6653E+01  | 6.7659E+03  | -1.2363E+02 | 4.7827E+02  | 0           | 13.95         | 0.1262                     | 32            | 1.3122                     |
| 208       | Helium-4 <sup>6</sup>     | He  | 7440597   | 4.003   | 3.8722E+05  | -4.6557E+05 | 2.1180E+05  | -4.2494E+04 | 3.2129E+03  | 2.2           | 0.1087                     | 4.6           | 0.2965                     |
| 209       | Neon                      | Ne  | 7440019   | 20.180  | 1.0341E+06  | -1.3877E+05 | 7.1540E+03  | -1.6255E+02 | 1.3841E+00  | 24.56         | 0.3666                     | 40            | 0.6980                     |
| 210       | Argon                     | Ar  | 7440371   | 39.948  | 1.3439E+05  | -1.9894E+03 | 1.1043E+01  | 0           | 0           | 83.78         | 0.4523                     | 135           | 0.6708                     |
| 211       | Fluorine                  | F <sub>2</sub>                                | 7782414   | 37.997  | -9.4585E+04 | 7.5299E+03  | -1.3960E+02 | 1.1301E+00  | -3.3241E-03 | 58            | 0.5541                     | 98            | 0.5966                     |
| 212       | Chlorine                  | Cl <sub>2</sub>                               | 7782505   | 70.905  | 6.3936E+04  | 4.6350E+01  | -1.6230E-01 | 0           | 0           | 172.12        | 0.6711                     | 239.12        | 0.6574                     |
| 213       | Bromine                   | Br <sub>2</sub>                               | 7726956   | 159.808 | 3.7570E+04  | 3.2850E+02  | -6.7000E-01 | 0           | 0           | 265.9         | 0.7755                     | 305.37        | 0.7541                     |
| 214       | Oxygen                    | O <sub>2</sub>                                | 7782447   | 31.999  | 1.7543E+05  | -6.1523E+03 | 1.1392E+02  | -9.2382E-01 | 2.7963E-03  | 54.36         | 0.5365                     | 142           | 0.9066                     |
| 215       | Nitrogen                  | N <sub>2</sub>                                | 7727379   | 28.014  | 2.8197E+05  | -1.2281E+04 | 2.4800E+02  | -2.2182E+00 | 7.4902E-03  | 63.15         | 0.5593                     | 112           | 0.7960                     |
| 216       | Ammonia (eqn. 2)          | NH <sub>3</sub>                               | 7664417   | 17.031  | 6.1289E+01  | 8.0925E+04  | 7.9940E+02  | -2.6510E+03 | 0           | 203.15        | 0.7575                     | 401.15        | 4.1847                     |
| 217       | Hydrazine                 | N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                 | 302012    | 32.045  | 7.9815E+04  | 5.0929E+01  | 4.3379E-02  | 0           | 0           | 274.69        | 0.9708                     | 653.15        | 1.3158                     |
| 218       | Nitrous oxide             | N <sub>2</sub> O                              | 10024972  | 44.013  | 6.7556E+04  | 5.4373E+01  | 0           | 0           | 0           | 182.3         | 0.7747                     | 200           | 0.7843                     |
| 219       | Nitric oxide              | NO  | 10102439  | 30.006  | -2.9796E+06 | 7.6602E+04  | -6.5259E+02 | 1.8879E+00  | 0           | 109.5         | 0.6229                     | 150           | 1.9909                     |
| 220       | Cyanogen                  | C <sub>2</sub> N <sub>2</sub>                 | 460195    | 52.036  | 3.1322E+06  | -2.4320E+04 | 4.8844E+01  | 0           | 0           | 245.25        | 1.0557                     | 300           | 2.3216                     |
| 221       | Carbon monoxide (eqn. 2)  | CO  | 630080    | 28.010  | 6.5429E+01  | 2.8723E+04  | -8.4739E+02 | 1.9596E+03  | 0           | 68.15         | 0.5912                     | 132           | 6.4799                     |
| 222       | Carbon dioxide            | CO <sub>2</sub>                               | 124389    | 44.010  | -8.3043E+06 | 1.0437E+05  | -4.3333E+02 | 6.0052E-01  | 0           | 220           | 0.7827                     | 290           | 1.6603                     |
| 223       | Carbon disulfide          | CS <sub>2</sub>                               | 75150     | 76.143  | 8.5600E+04  | -1.2200E+02 | 5.6050E-01  | -1.4520E-03 | 2.0080E-06  | 161.11        | 0.7577                     | 552           | 1.3125                     |
| 224       | Hydrogen fluoride         | HF  | 7664393   | 20.006  | 6.2520E+04  | -2.2302E+02 | 6.2970E-01  | 0           | 0           | 189.79        | 0.4288                     | 292.67        | 0.5119                     |
| 225       | Hydrogen chloride         | HCl   | 7647010   | 36.461  | 4.7300E+04  | 9.0000E+01  | 0           | 0           | 0           | 165           | 0.6215                     | 185           | 0.6395                     |
| 226       | Hydrogen bromide          | HBr   | 10035106  | 80.912  | 5.7720E+04  | 9.9000E+00  | 0           | 0           | 0           | 185.15        | 0.5955                     | 206.45        | 0.5976                     |
| 227       | Hydrogen cyanide          | HCN   | 74908     | 27.026  | 9.5398E+04  | -1.9752E+02 | 3.8830E-01  | 0           | 0           | 259.83        | 0.7029                     | 298.85        | 0.7105                     |
| 228       | Hydrogen sulfide (eqn. 2) | H <sub>2</sub> S                              | 7783064   | 34.082  | 6.4666E+01  | 4.9354E+04  | 2.2493E+01  | -1.6230E+03 | 0           | 187.68        | 0.6733                     | 370           | 4.9183                     |
| 229       | Sulfur dioxide            | SO <sub>2</sub>                               | 7446095   | 64.065  | 8.5743E+04  | 5.7443E+00  | 0           | 0           | 0           | 197.67        | 0.8688                     | 350           | 0.8775                     |
| 230       | Sulfur trioxide           | SO <sub>3</sub>                               | 7446119   | 80.064  | 2.5809E+05  | 0.0000E+00  | 0           | 0           | 0           | 303.15        | 2.5809                     | 303.15        | 2.5809                     |
| 231       | Water                     | H <sub>2</sub> O                              | 7732185   | 18.015  | 2.7637E+05  | -2.0901E+03 | 8.1250E+00  | -1.4116E-02 | 9.3701E-06  | 273.16        | 0.7615                     | 533.15        | 0.8939                     |

All substances are listed in alphabetical order in Table 2-6a.

Compiled from Daubert, T. E., R. P. Danner, H. M. Sibul, and C. C. Stebbins, DIPPR Data Compilation of Pure Compound Properties, Project 801 Sponsor Release, July, 1993, Design Institute for Physical Property Data, AIChE, New York, NY; and from Thermodynamics Research Center, "Selected Values of Properties of Hydrocarbons and Related Compounds," Thermodynamics Research Center Hydrocarbon Project, Texas A&M University, College Station, Texas (extant 1994).

Temperatures are expressed in kelvins; liquid heat capacities are in J/kmol-K.

J/(kmol-K) × 2.390E-04 = cal/(gmol.°C); J/(kmol-K) × 2.390059E-04 = Btu/(lbmol.°F).

Equation 1, heat capacity = C1 + C2 × T + C3 × T<sup>2</sup> + C4 × T<sup>3</sup> + C5 × T<sup>4</sup>, should be used except as otherwise specified.

Equation 2 is heat capacity = C1<sup>2</sup>/t + C2 - (2 × C1 × C3)/t - (C1 × C4)/t<sup>2</sup> - (C3<sup>2</sup>)/t<sup>3</sup> - (C3 × C4/2)/t<sup>4</sup> - (C4<sup>2</sup>)/t<sup>5</sup>, t = (1 - T<sub>r</sub>) and T<sub>r</sub> is the reduced temperature, T/T<sub>c</sub>.

<sup>1</sup> Coefficients are for the monomer and are hypothetical above 473 K.

<sup>2</sup> For the saturated heat capacity.

<sup>3</sup> Coefficients are hypothetical; compound decomposes violently on heating.

<sup>4</sup> Coefficients are hypothetical and are based on predicted data.

<sup>5</sup> Coefficients are hypothetical.

<sup>6</sup> Exhibits superfluid properties below 2.2 K.



## 18. Coeficiente global de transferencia de calor.

| Tipo de intercambiador de calor  | $U$ , $W/m^2 K$     |
|--|---------------------|
| Gas a gas  | 10-30               |
| Agua a gas (es decir, enfriador de gas, caldera de gas)                      | 10-50               |
| Vapor en condensación-aire (es decir, radiador de vapor, calentador de aire) | 5-50                |
| Vapor a aceite combustible pesado  | 50-180              |
| Agua a agua  | 800-2500            |
| Agua a otros líquidos  | 200-1000            |
| Agua a aceite lubricante   | 100-350             |
| Compuestos orgánicos ligeros a compuestos orgánicos ligeros                  | 200-450             |
| Compuestos orgánicos pesados a compuestos orgánicos pesados                  | 50-200              |
| Condensadores enfriados por aire   | 50-200              |
| Condensadores de vapor enfriados por agua                                    | 1000-4000           |
| Condensadores de amoníaco enfriados por agua                                 | 800-1400            |
| Condensadores de vapor orgánico enfriados por agua                           | 300-1000            |
| Calderas de vapor  | 10 - 40 + radiación |
| Evaporadores de refrigerador   | 300-1000            |
| Evaporadores de vapor-agua   | 1500-6000           |
| Tanques agitados con chaqueta  | 150-1000            |
| Serpentín de calefacción en un recipiente, agua a agua                       |                     |
| Sin agitar   | 50-250              |
| Agitada  | 500-2000            |

## 19.. Densidad del metanol

TABLE 2-30 Densities of Inorganic and Organic Liquids

| Cmpd. no. | Name                                | Formula                         | CAS no. | Mol. wt. | C1      | C2      | C3     | C4      | T <sub>sat</sub> , K | Density at T <sub>sat</sub> | T <sub>sat</sub> , K | Density at T <sub>sat</sub> |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------------|---------|----------|---------|---------|--------|---------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1         | Methane                             | CH <sub>4</sub>                 | 74828   | 16.043   | 2.9214  | 0.28976 | 190.56 | 0.28851 | 90.69                | 26.18                       | 190.56               | 10.082                      |
| 2         | Ethane                              | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>   | 74840   | 30.070   | 1.9122  | 0.27937 | 305.32 | 0.29187 | 90.35                | 21.64                       | 305.32               | 6.845                       |
| 3         | Propane                             | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>   | 74986   | 44.097   | 1.3757  | 0.27453 | 369.83 | 0.29359 | 85.47                | 16.583                      | 369.83               | 5.011                       |
| 4         | n-Butane                            | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>  | 106978  | 58.123   | 1.0677  | 0.27188 | 425.12 | 0.28658 | 134.86               | 12.62                       | 425.12               | 3.927                       |
| 5         | n-Pentane                           | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>  | 109660  | 72.150   | 0.84947 | 0.26736 | 469.7  | 0.27789 | 143.42               | 10.474                      | 469.7                | 3.178                       |
| 6         | n-Hexane                            | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | 110543  | 86.177   | 0.70824 | 0.26411 | 507.6  | 0.27537 | 177.53               | 8.747                       | 507.6                | 2.682                       |
| 7         | n-Heptane                           | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 142825  | 100.204  | 0.61259 | 0.26211 | 540.2  | 0.28141 | 182.57               | 7.6998                      | 540.2                | 2.337                       |
| 8         | n-Octane                            | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 111689  | 114.231  | 0.53731 | 0.26115 | 568.7  | 0.28034 | 216.38               | 6.6558                      | 568.7                | 2.058                       |
| 9         | n-Nonane                            | C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>  | 111842  | 128.258  | 0.48387 | 0.26147 | 594.6  | 0.28281 | 219.66               | 6.007                       | 594.6                | 1.851                       |
| 10        | n-Decane                            | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 124185  | 142.285  | 0.43831 | 0.25745 | 617.7  | 0.28912 | 243.51               | 5.3811                      | 617.7                | 1.664                       |
| 11        | n-Undecane                          | C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> | 1120214 | 156.312  | 0.39    | 0.25678 | 639    | 0.2913  | 247.57               | 4.9362                      | 639                  | 1.519                       |
| 12        | n-Dodecane                          | C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> | 112403  | 170.338  | 0.35541 | 0.25511 | 658    | 0.29368 | 263.57               | 4.5132                      | 658                  | 1.393                       |
| 13        | n-Tridecane                         | C <sub>13</sub> H <sub>28</sub> | 629505  | 184.365  | 0.3216  | 0.2504  | 675    | 0.3071  | 267.76               | 4.3035                      | 675                  | 1.284                       |
| 14        | n-Tetradecane                       | C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> | 629594  | 198.392  | 0.30545 | 0.2535  | 693    | 0.30538 | 279.01               | 3.8924                      | 693                  | 1.205                       |
| 15        | n-Pentadecane                       | C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> | 629629  | 212.419  | 0.28445 | 0.25269 | 708    | 0.30786 | 283.07               | 3.6471                      | 708                  | 1.126                       |
| 16        | n-Hexadecane                        | C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> | 544783  | 226.446  | 0.26807 | 0.25287 | 723    | 0.31143 | 291.31               | 3.4187                      | 723                  | 1.060                       |
| 17        | n-Heptadecane                       | C <sub>17</sub> H <sub>36</sub> | 629787  | 240.473  | 0.2545  | 0.254   | 736    | 0.31072 | 295.13               | 3.2241                      | 736                  | 1.002                       |
| 18        | n-Octadecane                        | C <sub>18</sub> H <sub>38</sub> | 593453  | 254.500  | 0.23864 | 0.25272 | 747    | 0.31104 | 301.31               | 3.0466                      | 747                  | 0.944                       |
| 19        | n-Nonadecane                        | C <sub>19</sub> H <sub>40</sub> | 629825  | 268.527  | 0.22451 | 0.25133 | 758    | 0.3133  | 305.04               | 2.8933                      | 758                  | 0.893                       |
| 20        | n-Eicosane                          | C <sub>20</sub> H <sub>42</sub> | 112958  | 282.553  | 0.21624 | 0.25287 | 768    | 0.31613 | 309.58               | 2.7496                      | 768                  | 0.855                       |
| 21        | 2-Methylpropane                     | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>  | 75285   | 58.123   | 1.0463  | 0.27294 | 408.14 | 0.27301 | 113.54               | 12.575                      | 408.14               | 3.833                       |
| 22        | 2-Methylbutane                      | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>  | 78784   | 72.150   | 0.9079  | 0.2761  | 460.43 | 0.28673 | 113.25               | 10.776                      | 460.43               | 3.288                       |
| 23        | 2,3-Dimethylbutane                  | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | 79298   | 86.177   | 0.76929 | 0.27524 | 499.98 | 0.27691 | 145.19               | 9.0343                      | 499.98               | 2.795                       |
| 24        | 2-Methylpentane                     | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | 107835  | 86.177   | 0.73335 | 0.2687  | 497.5  | 0.28361 | 119.55               | 9.3041                      | 497.5                | 2.729                       |
| 25        | 2,3-Dimethylpentane                 | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 565593  | 100.204  | 0.7229  | 0.28614 | 537.35 | 0.2713  | 160.00               | 7.8746                      | 537.35               | 2.526                       |
| 26        | 2,3,3-Trimethylpentane              | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 560214  | 114.231  | 0.6038  | 0.27446 | 573.5  | 0.2741  | 172.32               | 7.0934                      | 573.5                | 2.196                       |
| 27        | 2,2,4-Trimethylpentane              | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 540641  | 114.231  | 0.5886  | 0.27373 | 543.96 | 0.2846  | 165.78               | 6.9163                      | 543.96               | 2.150                       |
| 28        | Ethylene                            | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>   | 74851   | 28.054   | 2.0961  | 0.27657 | 282.34 | 0.29147 | 104.00               | 23.326                      | 282.34               | 7.579                       |
| 29        | Propylene                           | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>   | 115071  | 42.081   | 1.4094  | 0.26465 | 365.57 | 0.295   | 87.89                | 18.143                      | 365.57               | 5.326                       |
| 30        | 1-Butene                            | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>   | 106989  | 56.108   | 1.0972  | 0.2649  | 419.98 | 0.29043 | 87.80                | 14.326                      | 419.98               | 4.142                       |
| 31        | cis-2-Butene                        | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>   | 590181  | 56.108   | 1.1609  | 0.27104 | 435.58 | 0.2816  | 134.36               | 13.895                      | 435.58               | 4.283                       |
| 32        | trans-2-Butene                      | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>   | 624646  | 56.108   | 1.1426  | 0.27085 | 428.63 | 0.2884  | 167.62               | 13.1                        | 428.63               | 4.217                       |
| 33        | 1-Pentene                           | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>  | 109671  | 70.134   | 0.9038  | 0.26648 | 464.78 | 0.2905  | 107.93               | 11.543                      | 464.78               | 3.392                       |
| 34        | 1-Hexene                            | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>  | 592416  | 84.161   | 0.7389  | 0.26147 | 504.03 | 0.2902  | 133.39               | 9.6388                      | 504.03               | 2.826                       |
| 35        | 1-Heptene                           | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>  | 592767  | 98.188   | 0.63734 | 0.26319 | 537.29 | 0.27375 | 154.27               | 8.1759                      | 537.29               | 2.422                       |
| 36        | 1-Octene                            | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>  | 111660  | 112.215  | 0.5871  | 0.27005 | 566.65 | 0.27187 | 171.45               | 7.1247                      | 566.65               | 2.174                       |
| 37        | 1-Nonene                            | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>  | 124118  | 126.242  | 0.4945  | 0.26108 | 593.25 | 0.27319 | 191.78               | 6.333                       | 593.25               | 1.894                       |
| 38        | 1-Decene                            | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> | 872089  | 140.269  | 0.44244 | 0.25838 | 616.4  | 0.28411 | 206.89               | 5.7131                      | 616.4                | 1.712                       |
| 39        | 2-Methylpropene                     | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>   | 115117  | 56.108   | 1.1454  | 0.2725  | 417.9  | 0.28186 | 132.81               | 13.506                      | 417.9                | 4.203                       |
| 40        | 2-Methyl-1-butene                   | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>  | 563462  | 70.134   | 0.91619 | 0.26752 | 465    | 0.28164 | 135.28               | 11.332                      | 465                  | 3.425                       |
| 41        | 2-Methyl-2-butene                   | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>  | 513389  | 70.134   | 0.93322 | 0.27251 | 471    | 0.29031 | 139.39               | 11.218                      | 471                  | 3.425                       |
| 42        | 1,3-Butadiene                       | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>   | 590192  | 54.092   | 1.187   | 0.26114 | 452    | 0.3065  | 136.85               | 15.123                      | 452                  | 4.546                       |
| 43        | 1,3-Butadiene                       | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>   | 106990  | 54.092   | 1.2384  | 0.2725  | 425.17 | 0.28813 | 164.25               | 14.061                      | 425.17               | 4.545                       |
| 44        | 2-Methyl-1,3-butadiene <sup>1</sup> | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>   | 78795   | 68.119   | 0.96673 | 0.26488 | 484    | 0.28571 | 127.27               | 12.205                      | 484                  | 3.612                       |
| 45        | Acetylene                           | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>   | 74862   | 26.038   | 2.4091  | 0.27223 | 308.32 | 0.28477 | 182.40               | 23.692                      | 308.32               | 8.850                       |
| 46        | Methylacetylene                     | C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>   | 74997   | 40.065   | 1.6086  | 0.26448 | 402.39 | 0.279   | 170.45               | 19.027                      | 402.39               | 6.082                       |
| 47        | Dimethylacetylene                   | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>   | 503173  | 54.092   | 1.1717  | 0.25885 | 473.2  | 0.27399 | 240.81               | 13.767                      | 473.2                | 4.525                       |
| 48        | 3-Methyl-1-butyne                   | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>   | 598232  | 68.119   | 0.94575 | 0.26008 | 463.2  | 0.30807 | 183.45               | 11.519                      | 463.2                | 3.636                       |
| 49        | 1-Pentyne                           | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>   | 627190  | 68.119   | 0.8491  | 0.2352  | 461.2  | 0.333   | 167.45               | 12.532                      | 461.2                | 3.610                       |
| 50        | 2-Pentyne                           | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>   | 627214  | 68.119   | 0.93099 | 0.25419 | 519    | 0.31077 | 163.83               | 12.24                       | 519                  | 3.623                       |
| 51        | 1-Hexyne                            | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>  | 693027  | 82.145   | 0.84427 | 0.27185 | 516.2  | 0.2771  | 141.25               | 10.23                       | 516.2                | 3.106                       |
| 52        | 2-Hexyne                            | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>  | 764352  | 82.145   | 0.76277 | 0.25248 | 549    | 0.31611 | 183.65               | 10.133                      | 549                  | 3.021                       |
| 53        | 3-Hexyne <sup>1</sup>               | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>  | 928494  | 82.145   | 0.79045 | 0.26065 | 544    | 0.28571 | 170.05               | 10.021                      | 544                  | 2.994                       |

DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO.

|     |                                    |  |         |         |         |         |        |         |        |        |        |       |
|-----|------------------------------------|--|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|
| 54  | 1-Heptyne                          | C <sub>7</sub> H <sub>12</sub>               | 628717  | 96.172  | 0.67366 | 0.26003 | 559    | 0.29804 | 192.22 | 8.4987 | 559    | 2.591 |
| 55  | 1-Octyne                           | C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>               | 629050  | 110.199 | 0.59229 | 0.26118 | 585    | 0.29357 | 193.55 | 7.478  | 585    | 2.268 |
| 56  | Vinylacetylene <sup>2</sup>        | C <sub>4</sub> H <sub>4</sub>                | 689974  | 52.076  | 1.2703  | 0.26041 | 454    | 0.297   | 173.15 | 15.664 | 454    | 4.578 |
| 57  | Cyclopentane                       | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>               | 287923  | 70.134  | 1.124   | 0.28859 | 511.76 | 0.2506  | 179.28 | 11.883 | 511.76 | 3.895 |
| 58  | Methylcyclopentane                 | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>               | 96377   | 84.161  | 0.84798 | 0.27042 | 532.79 | 0.28276 | 130.73 | 10.492 | 532.79 | 3.136 |
| 59  | Ethylcyclopentane                  | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>               | 1640897 | 98.188  | 0.7193  | 0.26936 | 569.52 | 0.2777  | 134.71 | 9.018  | 569.52 | 2.670 |
| 60  | Cyclohexane                        | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>               | 110827  | 84.161  | 0.8908  | 0.27396 | 553.58 | 0.2851  | 279.69 | 9.3797 | 553.58 | 3.252 |
| 61  | Methylcyclohexane                  | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>               | 108872  | 98.188  | 0.735   | 0.27041 | 572.19 | 0.2927  | 146.58 | 9.018  | 572.19 | 2.718 |
| 62  | 1,1-Dimethylcyclohexane            | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>               | 590669  | 112.215 | 0.55873 | 0.25143 | 591.15 | 0.27758 | 239.66 | 7.3417 | 591.15 | 2.222 |
| 63  | Ethylcyclohexane                   | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>               | 1678917 | 112.215 | 0.61587 | 0.26477 | 609.15 | 0.28054 | 161.84 | 7.8679 | 609.15 | 2.326 |
| 64  | Cyclopentene                       | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>                | 142290  | 68.119  | 1.1035  | 0.27035 | 507    | 0.28699 | 138.13 | 13.47  | 507    | 4.082 |
| 65  | 1-Methylcyclopentene               | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>               | 693890  | 82.145  | 0.88824 | 0.26914 | 542    | 0.27874 | 146.62 | 10.98  | 542    | 3.300 |
| 66  | Cyclohexene                        | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>               | 110838  | 82.145  | 0.92997 | 0.27056 | 560.4  | 0.28943 | 169.67 | 11.16  | 560.4  | 3.437 |
| 67  | Benzene                            | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                | 71432   | 78.114  | 1.0162  | 0.2655  | 562.16 | 0.28212 | 278.68 | 11.421 | 562.16 | 3.828 |
| 68  | Toluene                            | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>                | 108883  | 92.141  | 0.8488  | 0.26655 | 591.8  | 0.2878  | 178.18 | 10.495 | 591.8  | 3.184 |
| 69  | <i>o</i> -Xylene                   | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>               | 95476   | 106.167 | 0.69883 | 0.26113 | 630.33 | 0.27429 | 247.98 | 8.6285 | 630.33 | 2.676 |
| 70  | <i>m</i> -Xylene                   | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>               | 108383  | 106.167 | 0.69555 | 0.26204 | 617.05 | 0.27602 | 225.30 | 8.6505 | 617.05 | 2.654 |
| 71  | <i>p</i> -Xylene                   | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>               | 106423  | 106.167 | 0.6816  | 0.25963 | 616.23 | 0.2768  | 256.41 | 8.1616 | 616.23 | 2.625 |
| 72  | Ethylbenzene                       | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>               | 100414  | 106.167 | 0.6952  | 0.26037 | 617.2  | 0.2844  | 178.15 | 9.0568 | 617.2  | 2.670 |
| 73  | Propylbenzene                      | C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>               | 103651  | 120.194 | 0.57695 | 0.25395 | 638.32 | 0.283   | 183.15 | 7.8942 | 638.32 | 2.272 |
| 74  | 1,2,4-Trimethylbenzene             | C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>               | 95636   | 120.194 | 0.60394 | 0.25955 | 649.13 | 0.27716 | 229.33 | 7.6895 | 649.13 | 2.327 |
| 75  | Isopropylbenzene                   | C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>               | 98828   | 120.194 | 0.604   | 0.25912 | 631.1  | 0.2914  | 177.14 | 7.9496 | 631.1  | 2.331 |
| 76  | 1,3,5-Trimethylbenzene             | C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>               | 108678  | 120.194 | 0.59879 | 0.25916 | 637.36 | 0.27968 | 228.42 | 7.6154 | 637.36 | 2.311 |
| 77  | <i>p</i> -Isopropyltoluene         | C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>              | 99876   | 134.221 | 0.51036 | 0.25383 | 653.15 | 0.28816 | 205.25 | 6.8779 | 653.15 | 2.011 |
| 78  | Naphthalene <sup>6</sup>           | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>               | 91203   | 128.174 | 0.61674 | 0.25473 | 748.35 | 0.27355 | 333.15 | 7.7543 | 748.35 | 2.421 |
| 79  | Biphenyl                           | C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>              | 92524   | 154.211 | 0.5039  | 0.25273 | 789.26 | 0.281   | 342.20 | 6.4395 | 789.26 | 1.994 |
| 80  | Styrene                            | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>                | 100425  | 104.152 | 0.7397  | 0.2603  | 636    | 0.3009  | 242.54 | 9.1088 | 636    | 2.842 |
| 81  | <i>m</i> -Terphenyl                | C <sub>18</sub> H <sub>14</sub>              | 92068   | 230.309 | 0.30826 | 0.23669 | 924.85 | 0.29678 | 360.00 | 4.5223 | 924.85 | 1.302 |
| 82  | Methanol                           | CH <sub>3</sub> O                            | 67561   | 32.042  | 2.288   | 0.2685  | 512.64 | 0.2453  | 175.47 | 27.912 | 512.64 | 8.521 |
| 83  | Ethanol                            | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O              | 64175   | 46.069  | 1.648   | 0.27627 | 513.92 | 0.2331  | 159.05 | 19.413 | 513.92 | 5.965 |
| 84  | 1-Propanol                         | C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> O              | 71238   | 60.096  | 1.235   | 0.27136 | 536.78 | 0.24    | 146.95 | 15.231 | 536.78 | 4.551 |
| 85  | 1-Butanol                          | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O              | 71363   | 74.123  | 0.965   | 0.2666  | 563.05 | 0.24419 | 184.51 | 12.016 | 563.05 | 3.620 |
| 86  | 2-Butanol                          | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O              | 78922   | 74.123  | 0.966   | 0.26064 | 536.05 | 0.2746  | 158.45 | 12.57  | 536.05 | 3.706 |
| 87  | 2-Propanol                         | C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> O              | 67630   | 60.096  | 1.24    | 0.27342 | 508.3  | 0.2353  | 185.28 | 14.547 | 508.3  | 4.535 |
| 88  | 2-Methyl-2-propanol                | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O              | 75650   | 74.123  | 0.9212  | 0.2544  | 506.21 | 0.276   | 298.97 | 10.555 | 506.21 | 3.621 |
| 89  | 1-Pentanol                         | C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> O             | 71410   | 88.150  | 0.8164  | 0.2673  | 586.15 | 0.2506  | 195.56 | 10.057 | 586.15 | 3.054 |
| 90  | 2-Methyl-1-butanol                 | C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> O             | 137326  | 88.150  | 0.82046 | 0.26829 | 565    | 0.2322  | 203.00 | 10.017 | 565    | 3.058 |
| 91  | 3-Methyl-1-butanol                 | C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> O             | 123513  | 88.150  | 0.837   | 0.27375 | 577.2  | 0.22951 | 155.95 | 10.204 | 577.2  | 3.085 |
| 92  | 1-Hexanol                          | C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> O             | 111273  | 102.177 | 0.70617 | 0.26901 | 611.35 | 0.2479  | 228.55 | 8.4506 | 611.35 | 2.625 |
| 93  | 1-Heptanol                         | C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> O             | 111706  | 116.203 | 0.60481 | 0.2632  | 631.9  | 0.273   | 239.15 | 7.421  | 631.9  | 2.298 |
| 94  | Cyclohexanol                       | C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O             | 108330  | 100.161 | 0.8243  | 0.26546 | 650    | 0.2848  | 296.60 | 9.4693 | 650    | 3.105 |
| 95  | Ethylene glycol                    | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 107211  | 62.068  | 1.3151  | 0.25125 | 719.7  | 0.2187  | 260.15 | 18.31  | 719.7  | 5.234 |
| 96  | 1,2-Propylene glycol               | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> | 57556   | 76.095  | 1.0923  | 0.26106 | 626    | 0.20459 | 213.15 | 14.363 | 626    | 4.184 |
| 97  | Phenol                             | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O              | 108952  | 94.113  | 1.3798  | 0.31598 | 694.25 | 0.32768 | 314.06 | 11.244 | 694.25 | 4.367 |
| 98  | <i>o</i> -Cresol                   | C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> O              | 95487   | 108.140 | 1.0861  | 0.30624 | 697.55 | 0.30587 | 304.19 | 9.5751 | 697.55 | 3.547 |
| 99  | <i>m</i> -Cresol                   | C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> O              | 108394  | 108.140 | 0.9061  | 0.28268 | 705.85 | 0.2707  | 285.39 | 9.6115 | 705.85 | 3.205 |
| 100 | <i>p</i> -Cresol                   | C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> O              | 106445  | 108.140 | 1.1503  | 0.31861 | 704.65 | 0.30104 | 307.93 | 9.4494 | 704.65 | 3.610 |
| 101 | Dimethyl ether                     | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O              | 115106  | 46.069  | 1.5693  | 0.2679  | 400.1  | 0.2882  | 131.65 | 18.95  | 400.1  | 5.588 |
| 102 | Methyl ethyl ether                 | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O              | 540670  | 60.096  | 1.2635  | 0.27878 | 437.8  | 0.2744  | 160.00 | 13.995 | 437.8  | 4.532 |
| 103 | Methyl- <i>n</i> -propyl ether     | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O             | 557175  | 74.123  | 1.0124  | 0.27942 | 476.3  | 0.2555  | 133.97 | 11.696 | 476.3  | 3.623 |
| 104 | Methyl isopropyl ether             | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O             | 598538  | 74.123  | 1.0318  | 0.28478 | 464.5  | 0.2444  | 127.93 | 11.568 | 464.5  | 3.623 |
| 105 | Methyl- <i>n</i> -butyl ether      | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O             | 628284  | 88.150  | 0.8281  | 0.27245 | 510    | 0.2827  | 157.48 | 9.8068 | 510    | 3.040 |
| 106 | Methyl isobutyl ether <sup>1</sup> | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O             | 625445  | 88.150  | 0.8252  | 0.27282 | 497    | 0.2857  | 150.00 | 9.7673 | 497    | 3.025 |
| 107 | Methyl tert-butyl ether            | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O             | 1634044 | 88.150  | 0.82157 | 0.27032 | 497.1  | 0.2829  | 164.55 | 9.7682 | 497.1  | 3.039 |
| 108 | Diethyl ether                      | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O             | 60297   | 74.123  | 0.9554  | 0.26847 | 466.7  | 0.2814  | 156.85 | 11.487 | 466.7  | 3.559 |

All substances are listed in alphabetical order in Table 2-6a. Compiled from Daubert, T. E., R. P. Danner, H. M. Sibul, and C. C. Stebbins, DIPPR Data Compilation of Pure Compound Properties, Project 801 Sponsor Release, July, 1993, Design Institute for Physical Property Data, AIChE, New York, NY; and from Thermodynamics Research Center, "Selected Values of Properties of Hydrocarbons and Related Compounds," Thermodynamics Research Center Hydrocarbon Project, Texas A&M University, College Station, Texas (extant 1994).

Temperatures are in kelvins. Liquid densities are in kmol/m<sup>3</sup>. Density formulas: kmol/m<sup>3</sup> × (mol. wt./1E+03) = g/cm<sup>3</sup>; kmol/m<sup>3</sup> × (mol. wt./1.601846E+01) = lb/ft<sup>3</sup>.

The liquid density equation is  $C_1/C_2^{(1+1-\tau/C_3)^{C_4}}$  unless otherwise noted.

<sup>1</sup> The modified Rackett equation, density =  $(P_c/RT_c)/ZRA^{1+(1-\tau/T_c)^{1/27}}$ , was used. See Spencer, C. F., and R. P. Danner, "Improved Equation for Prediction of Saturated Liquid Density," *J. Chem. Eng. Data* 17, 326 (1972).

<sup>2</sup> Decomposes violently on heating. Forms explosive peroxides with air or oxygen. Polymerizes under pressure and heat.

<sup>3</sup> For the hypothetical pure liquid.

<sup>4</sup> Exhibits superfluid properties below 2.2 K.

<sup>5</sup> Coefficients are hypothetical above the decomposition temperature.

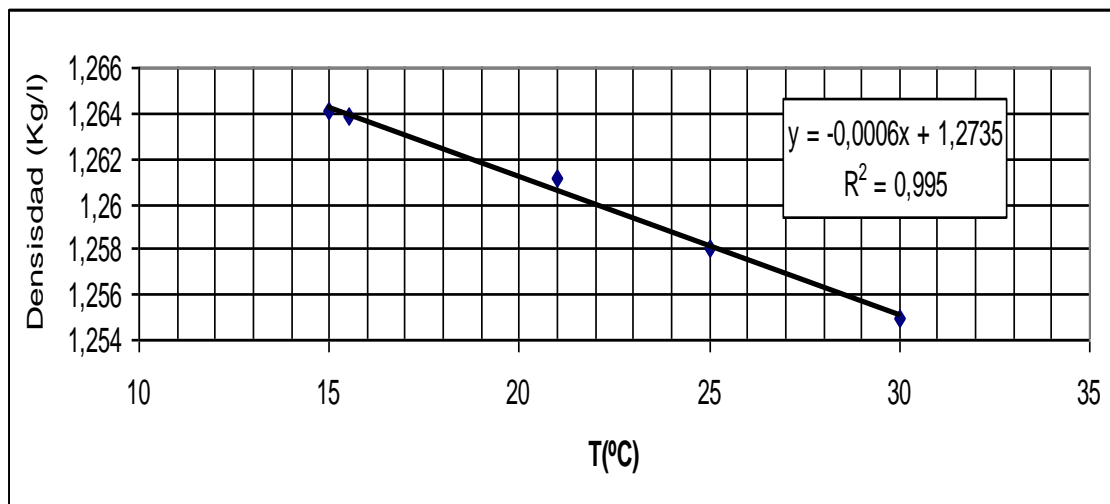
<sup>6</sup> Lower limit is for the undercooled liquid.

<sup>7</sup> For the temperature range 333.15 to 403.15 K, use the coefficients: C<sub>1</sub> = 4.9669E+00, C<sub>2</sub> = 2.7788E-01, C<sub>3</sub> = 6.4713E+02, C<sub>4</sub> = 1.8740E-01. For the temperature range 403.15 to 647.13 K, use C<sub>1</sub> = 4.3910E+00, C<sub>2</sub> = 2.4870E-01, C<sub>3</sub> = 6.4713E+02, C<sub>4</sub> = 2.5340E-01.



## 20. Densidad de la Glicerina

| Glycerol, % | Density |         |         |         |         | Glycerol, % | Density |         |         |         |         | Glycerol, % | Density |         |         |         |         |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|             | 15°C    | 15.5°C  | 20°C    | 25°C    | 30°C    |             | 15°C    | 15.5°C  | 20°C    | 25°C    | 30°C    |             | 15°C    | 15.5°C  | 20°C    | 25°C    | 30°C    |
| 100         | 1.26415 | 1.26381 | 1.26108 | 1.15802 | 1.25495 | 65          | 1.17030 | 1.17000 | 1.16750 | 1.16475 | 1.16195 | 30          | 1.07455 | 1.07435 | 1.07270 | 1.07070 | 1.06855 |
| 99          | 1.26160 | 1.26125 | 1.25850 | 1.25545 | 1.25235 | 64          | 1.16755 | 1.16725 | 1.16475 | 1.16200 | 1.15925 | 29          | 1.07195 | 1.07175 | 1.07010 | 1.06815 | 1.06605 |
| 98          | 1.25900 | 1.25865 | 1.25590 | 1.25290 | 1.24975 | 63          | 1.16480 | 1.16445 | 1.16205 | 1.15925 | 1.15650 | 28          | 1.06935 | 1.06915 | 1.06755 | 1.06560 | 1.06355 |
| 97          | 1.25645 | 1.25610 | 1.25335 | 1.25030 | 1.24710 | 62          | 1.16200 | 1.16170 | 1.15930 | 1.15655 | 1.15375 | 27          | 1.06670 | 1.06655 | 1.06495 | 1.06305 | 1.06105 |
| 96          | 1.25385 | 1.25350 | 1.25080 | 1.24770 | 1.24450 | 61          | 1.15925 | 1.15895 | 1.15655 | 1.15380 | 1.15100 | 26          | 1.06410 | 1.06390 | 1.06240 | 1.06055 | 1.05855 |
| 95          | 1.25130 | 1.25095 | 1.24825 | 1.24515 | 1.24190 | 60          | 1.15650 | 1.15615 | 1.15380 | 1.15105 | 1.14830 | 25          | 1.06150 | 1.06130 | 1.05980 | 1.05800 | 1.05605 |
| 94          | 1.24865 | 1.24830 | 1.24560 | 1.24250 | 1.23930 | 59          | 1.15370 | 1.15340 | 1.15105 | 1.14835 | 1.14555 | 24          | 1.05885 | 1.05870 | 1.05720 | 1.05545 | 1.05350 |
| 93          | 1.24600 | 1.24565 | 1.24300 | 1.23985 | 1.23670 | 58          | 1.15095 | 1.15065 | 1.14830 | 1.14560 | 1.14285 | 23          | 1.05625 | 1.05610 | 1.05465 | 1.05290 | 1.05100 |
| 92          | 1.24340 | 1.24305 | 1.24035 | 1.23725 | 1.23410 | 57          | 1.14815 | 1.14785 | 1.14555 | 1.14285 | 1.14010 | 22          | 1.05365 | 1.05350 | 1.05205 | 1.05035 | 1.04850 |
| 91          | 1.24075 | 1.24040 | 1.23770 | 1.23460 | 1.23150 | 56          | 1.14535 | 1.14510 | 1.14280 | 1.14015 | 1.13740 | 21          | 1.05100 | 1.05090 | 1.04950 | 1.04780 | 1.04600 |
| 90          | 1.23810 | 1.23775 | 1.23510 | 1.23200 | 1.22890 | 55          | 1.14260 | 1.14230 | 1.14005 | 1.13740 | 1.13470 | 20          | 1.04840 | 1.04825 | 1.04690 | 1.04525 | 1.04350 |
| 89          | 1.23545 | 1.23510 | 1.23245 | 1.22935 | 1.22625 | 54          | 1.13980 | 1.13955 | 1.13730 | 1.13465 | 1.13195 | 19          | 1.04590 | 1.04575 | 1.04440 | 1.04280 | 1.04105 |
| 88          | 1.23280 | 1.23245 | 1.22975 | 1.22665 | 1.22360 | 53          | 1.13705 | 1.13680 | 1.13455 | 1.13195 | 1.12925 | 18          | 1.04335 | 1.04325 | 1.04195 | 1.04035 | 1.03860 |
| 87          | 1.23015 | 1.22980 | 1.22710 | 1.22400 | 1.22095 | 52          | 1.13425 | 1.13400 | 1.13180 | 1.12920 | 1.12650 | 17          | 1.04085 | 1.04075 | 1.03945 | 1.03790 | 1.03615 |
| 86          | 1.22750 | 1.22710 | 1.22445 | 1.22135 | 1.21830 | 51          | 1.13150 | 1.13125 | 1.12905 | 1.12650 | 1.12380 | 16          | 1.03835 | 1.03825 | 1.03695 | 1.03545 | 1.03370 |
| 85          | 1.22485 | 1.22445 | 1.22180 | 1.21870 | 1.21565 | 50          | 1.12870 | 1.12845 | 1.12630 | 1.12375 | 1.12110 | 15          | 1.03580 | 1.03570 | 1.03450 | 1.03300 | 1.03130 |
| 84          | 1.22220 | 1.22180 | 1.21915 | 1.21605 | 1.21300 | 49          | 1.12600 | 1.12575 | 1.12360 | 1.12110 | 1.11845 | 14          | 1.03330 | 1.03320 | 1.03200 | 1.03055 | 1.02885 |
| 83          | 1.21955 | 1.21915 | 1.21650 | 1.21340 | 1.21035 | 48          | 1.12325 | 1.12305 | 1.12090 | 1.11840 | 1.11580 | 13          | 1.03080 | 1.03070 | 1.02955 | 1.02805 | 1.02640 |
| 82          | 1.21690 | 1.21650 | 1.21380 | 1.21075 | 1.20770 | 47          | 1.12055 | 1.12030 | 1.11820 | 1.11575 | 1.11320 | 12          | 1.02830 | 1.02820 | 1.02705 | 1.02560 | 1.02395 |
| 81          | 1.21425 | 1.21385 | 1.21115 | 1.20810 | 1.20505 | 46          | 1.11780 | 1.11760 | 1.11550 | 1.11310 | 1.11055 | 11          | 1.02575 | 1.02565 | 1.02455 | 1.02315 | 1.02150 |
| 80          | 1.21160 | 1.21120 | 1.20850 | 1.20545 | 1.20240 | 45          | 1.11510 | 1.11490 | 1.11280 | 1.11040 | 1.10795 | 10          | 1.02325 | 1.02315 | 1.02210 | 1.02070 | 1.01905 |
| 79          | 1.20885 | 1.20845 | 1.20575 | 1.20275 | 1.19970 | 44          | 1.11235 | 1.11215 | 1.11010 | 1.10775 | 1.10530 | 9           | 1.02085 | 1.02075 | 1.01970 | 1.01835 | 1.01670 |
| 78          | 1.20610 | 1.20570 | 1.20305 | 1.20005 | 1.19705 | 43          | 1.10960 | 1.10945 | 1.10740 | 1.10510 | 1.10265 | 8           | 1.01840 | 1.01835 | 1.01730 | 1.01600 | 1.01440 |
| 77          | 1.20335 | 1.20300 | 1.20030 | 1.19735 | 1.19435 | 42          | 1.10690 | 1.10670 | 1.10470 | 1.10240 | 1.10005 | 7           | 1.01600 | 1.01590 | 1.01495 | 1.01360 | 1.01205 |
| 76          | 1.20060 | 1.20025 | 1.19760 | 1.19465 | 1.19170 | 41          | 1.10415 | 1.10400 | 1.10200 | 1.09975 | 1.09740 | 6           | 1.01360 | 1.01350 | 1.01255 | 1.01125 | 1.00970 |
| 75          | 1.19785 | 1.19750 | 1.19485 | 1.19195 | 1.18900 | 40          | 1.10145 | 1.10130 | 1.09930 | 1.09710 | 1.09475 | 5           | 1.01120 | 1.01110 | 1.01015 | 1.00890 | 1.00735 |
| 74          | 1.19510 | 1.19480 | 1.19215 | 1.18925 | 1.18635 | 39          | 1.09875 | 1.09860 | 1.09665 | 1.09445 | 1.09215 | 4           | 1.00875 | 1.00870 | 1.00780 | 1.00655 | 1.00505 |
| 73          | 1.19235 | 1.19205 | 1.18940 | 1.18650 | 1.18365 | 38          | 1.09605 | 1.09590 | 1.09400 | 1.09180 | 1.08955 | 3           | 1.00635 | 1.00630 | 1.00540 | 1.00415 | 1.00270 |
| 72          | 1.18965 | 1.18930 | 1.18670 | 1.18380 | 1.18100 | 37          | 1.09340 | 1.09320 | 1.09135 | 1.08915 | 1.08690 | 2           | 1.00395 | 1.00385 | 1.00300 | 1.00180 | 1.00035 |
| 71          | 1.18690 | 1.18655 | 1.18395 | 1.18110 | 1.17830 | 36          | 1.09070 | 1.09050 | 1.08865 | 1.08655 | 1.08430 | 1           | 1.00155 | 1.00145 | 1.00060 | 0.99945 | 0.99800 |
| 70          | 1.18415 | 1.18385 | 1.18125 | 1.17840 | 1.17565 | 35          | 1.08800 | 1.08780 | 1.08600 | 1.08390 | 1.08165 | 0           | 0.99913 | 0.99905 | 0.99823 | 0.99708 | 0.99568 |
| 69          | 1.18135 | 1.18105 | 1.17850 | 1.17565 | 1.17290 | 34          | 1.08530 | 1.08515 | 1.08335 | 1.08125 | 1.07905 |             |         |         |         |         |         |
| 68          | 1.17860 | 1.17830 | 1.17575 | 1.17295 | 1.17020 | 33          | 1.08265 | 1.08245 | 1.08070 | 1.07860 | 1.07645 |             |         |         |         |         |         |
| 67          | 1.17585 | 1.17555 | 1.17300 | 1.17020 | 1.16745 | 32          | 1.07995 | 1.07975 | 1.07800 | 1.07600 | 1.07380 |             |         |         |         |         |         |
| 66          | 1.17305 | 1.17275 | 1.17025 | 1.16745 | 1.16470 | 31          | 1.07725 | 1.07705 | 1.07535 | 1.07335 | 1.07120 |             |         |         |         |         |         |



### 21. Densidad del Biodiesel.

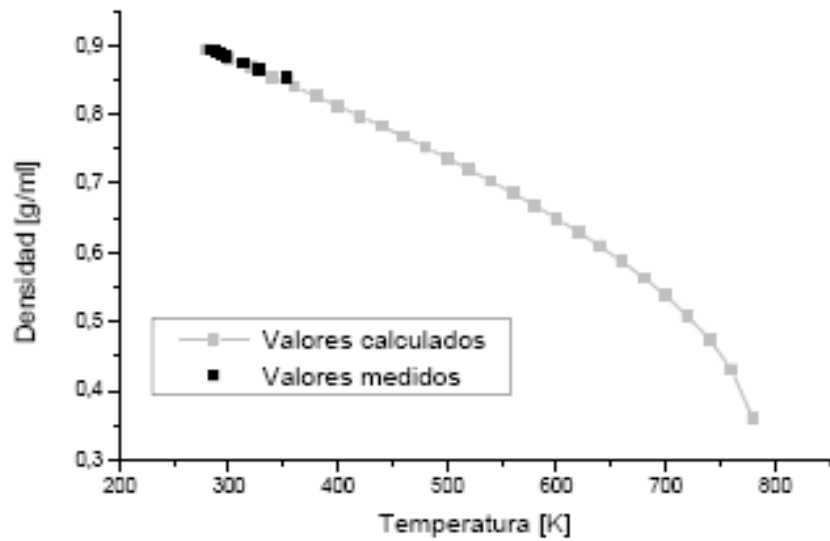
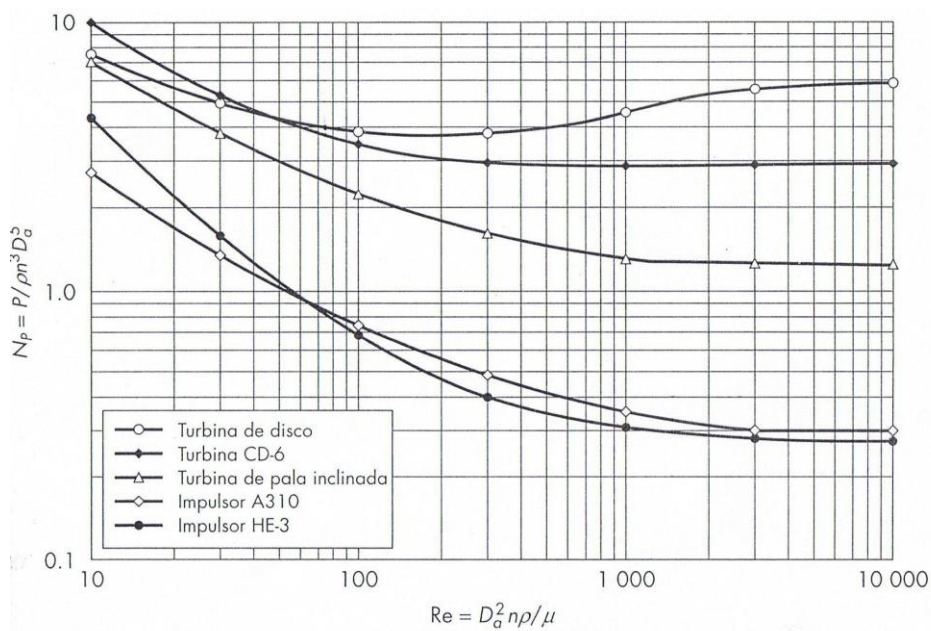


TABLA 1

| Temperatura [K] | Densidad medida [g/ml] | Densidad calculada [g/ml] | Error absoluto [g/ml] | Error relativo (%) |
|-----------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|
| 283,15          | 0,890                  | 0,891                     | 0,001                 | 0,21               |
| 288,15          | 0,890                  | 0,888                     | 0,002                 | 0,35               |
| 293,15          | 0,890                  | 0,885                     | 0,005                 | 0,21               |
| 298,15          | 0,880                  | 0,881                     | 0,001                 | 0,30               |
| 313,15          | 0,870                  | 0,871                     | 0,001                 | 0,29               |
| 328,15          | 0,860                  | 0,861                     | 0,001                 | 0,24               |
| 353,15          | 0,850                  | 0,844                     | 0,006                 | 1,00               |

### 22. Número de potencia en función del número de Reynolds.





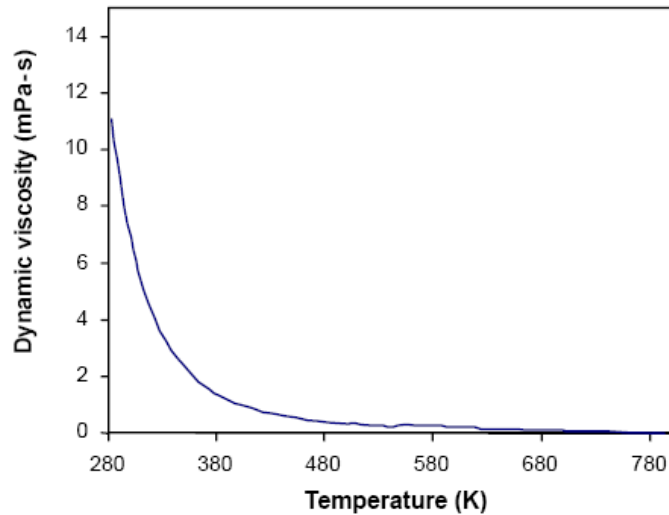
### 23. Propiedades fisicoquímicas del agua.

TABLE 2-353 Saturated Liquid Water—Miscellaneous Properties

| Temperature, °C | $10^4 \beta$ | $10^4 k_f$ /bar | $10^4 k_g$ /bar | $c_p$ , m/s | $\mu_p \cdot 10^{-6}$ Pa·s | $c_p$ , kJ/kg·K | $k$ , W/m·K | Pr, bar | $\sigma$ , N/m |
|-----------------|--------------|-----------------|-----------------|-------------|----------------------------|-----------------|-------------|---------|----------------|
| 0               | -0.681       | 0.50885         | 0.50855         | 1402.4      | 1.793                      | 4.2176          | 0.567       | 13.32   | 0.07565        |
| 1               | -0.501       | 0.50609         | 0.50493         | 1407.4      | 1.732                      | 4.2140          | 0.569       | 12.83   | 0.07551        |
| 2               | -0.327       | 0.50151         | 0.50143         | 1412.2      | 1.675                      | 4.2107          | 0.570       | 12.37   | 0.07537        |
| 3               | -0.160       | 0.49808         | 0.49805         | 1417.0      | 1.621                      | 4.2077          | 0.572       | 11.93   | 0.07522        |
| 4               | 0.003        | 0.49481         | 0.49481         | 1421.6      | 1.569                      | 4.2048          | 0.573       | 11.51   | 0.07508        |
| 5               | 0.160        | 0.49169         | 0.49167         | 1426.2      | 1.520                      | 4.2022          | 0.575       | 11.11   | 0.07494        |
| 6               | 0.312        | 0.48871         | 0.48865         | 1430.6      | 1.474                      | 4.1999          | 0.577       | 10.73   | 0.07480        |
| 7               | 0.460        | 0.48587         | 0.48573         | 1434.9      | 1.429                      | 4.1977          | 0.578       | 10.38   | 0.07465        |
| 8               | 0.604        | 0.48315         | 0.48291         | 1439.1      | 1.387                      | 4.1956          | 0.580       | 10.04   | 0.07451        |
| 9               | 0.744        | 0.48056         | 0.48019         | 1443.3      | 1.346                      | 4.1938          | 0.581       | 9.72    | 0.07436        |
| 10              | 0.880        | 0.47809         | 0.47757         | 1447.3      | 1.308                      | 4.1921          | 0.5828      | 9.41    | 0.07422        |
| 11              | 1.012        | 0.47573         | 0.47504         | 1451.2      | 1.271                      | 4.1906          | 0.5844      | 9.11    | 0.07407        |
| 12              | 1.141        | 0.47347         | 0.47290         | 1455.0      | 1.236                      | 4.1892          | 0.5859      | 8.84    | 0.07393        |
| 13              | 1.267        | 0.47133         | 0.47024         | 1458.7      | 1.202                      | 4.1879          | 0.5875      | 8.57    | 0.07378        |
| 14              | 1.389        | 0.46928         | 0.46797         | 1462.4      | 1.170                      | 4.1867          | 0.5891      | 8.32    | 0.07364        |
| 15              | 1.509        | 0.46733         | 0.46578         | 1465.9      | 1.139                      | 4.1856          | 0.5906      | 8.07    | 0.07349        |
| 16              | 1.626        | 0.46548         | 0.46366         | 1469.4      | 1.110                      | 4.1847          | 0.5922      | 7.84    | 0.07334        |
| 17              | 1.740        | 0.46371         | 0.46162         | 1472.7      | 1.081                      | 4.1838          | 0.5937      | 7.62    | 0.07319        |
| 18              | 1.852        | 0.46203         | 0.45966         | 1476.0      | 1.054                      | 4.1830          | 0.5953      | 7.41    | 0.07304        |
| 19              | 1.961        | 0.46043         | 0.45776         | 1479.2      | 1.028                      | 4.1823          | 0.5968      | 7.20    | 0.07289        |
| 20              | 2.068        | 0.45892         | 0.45593         | 1482.3      | 1.003                      | 4.1817          | 0.5983      | 7.01    | 0.07274        |
| 21              | 2.173        | 0.45748         | 0.45417         | 1485.3      | 0.979                      | 4.1812          | 0.5999      | 6.82    | 0.07259        |
| 22              | 2.275        | 0.45612         | 0.45248         | 1488.3      | 0.955                      | 4.1807          | 0.6014      | 6.64    | 0.07244        |
| 23              | 2.376        | 0.45484         | 0.45084         | 1491.2      | 0.933                      | 4.1802          | 0.6029      | 6.47    | 0.07228        |
| 24              | 2.475        | 0.45362         | 0.44927         | 1493.9      | 0.911                      | 4.1798          | 0.6044      | 6.30    | 0.07213        |
| 25              | 2.572        | 0.45247         | 0.44776         | 1496.7      | 0.891                      | 4.1795          | 0.6059      | 6.15    | 0.07198        |
| 26              | 2.667        | 0.45139         | 0.44630         | 1499.3      | 0.871                      | 4.1792          | 0.6074      | 5.99    | 0.07182        |
| 27              | 2.761        | 0.45038         | 0.44490         | 1501.9      | 0.852                      | 4.1790          | 0.6089      | 5.85    | 0.07167        |
| 28              | 2.852        | 0.44943         | 0.44355         | 1504.3      | 0.833                      | 4.1788          | 0.6104      | 5.70    | 0.07151        |
| 30              | 3.032        | 0.44771         | 0.44102         | 1509.1      | 0.798                      | 4.1785          | 0.6133      | 5.44    | 0.07120        |
| 32              | 3.206        | 0.44622         | 0.43869         | 1513.6      | 0.765                      | 4.1783          | 0.6162      | 5.19    | 0.07089        |
| 34              | 3.375        | 0.44496         | 0.43655         | 1517.8      | 0.734                      | 4.1782          | 0.6190      | 4.95    | 0.07058        |
| 36              | 3.539        | 0.44390         | 0.43459         | 1521.7      | 0.705                      | 4.1783          | 0.6218      | 4.74    | 0.07025        |
| 38              | 3.698        | 0.44305         | 0.43280         | 1525.4      | 0.679                      | 4.1784          | 0.6246      | 4.54    | 0.06992        |
| 40              | 3.853        | 0.44239         | 0.43118         | 1528.9      | 0.653                      | 4.1786          | 0.6273      | 4.35    | 0.06960        |
| 42              | 4.004        | 0.44192         | 0.42972         | 1532.1      | 0.629                      | 4.1789          | 0.6299      | 4.17    | 0.06927        |
| 44              | 4.152        | 0.44162         | 0.42842         | 1535.0      | 0.607                      | 4.1792          | 0.6315      | 4.02    | 0.06894        |
| 46              | 4.296        | 0.44149         | 0.42736         | 1537.7      | 0.586                      | 4.1797          | 0.6351      | 3.86    | 0.06861        |
| 48              | 4.438        | 0.44153         | 0.42624         | 1540.3      | 0.566                      | 4.1801          | 0.6375      | 3.71    | 0.06828        |
| 50              | 4.576        | 0.44173         | 0.42535         | 1542.6      | 0.547                      | 4.1807          | 0.6400      | 3.57    | 0.06795        |
| 55              | 4.910        | 0.44290         | 0.42370         | 1547.4      | 0.5043                     | 4.1824          | 0.6457      | 3.267   | 0.06710        |
| 60              | 5.231        | 0.44496         | 0.42281         | 1551.0      | 0.4668                     | 4.1844          | 0.6511      | 3.000   | 0.06624        |
| 65              | 5.539        | 0.44788         | 0.42262         | 1553.4      | 0.4338                     | 4.1869          | 0.6561      | 2.768   | 0.06537        |
| 70              | 5.837        | 0.45162         | 0.42309         | 1554.8      | 0.4045                     | 4.1897          | 0.6607      | 2.565   | 0.06449        |
| 75              | 6.128        | 0.45614         | 0.42418         | 1555.1      | 0.3784                     | 4.1929          | 0.6649      | 2.386   | 0.06359        |
| 80              | 6.411        | 0.46143         | 0.42587         | 1554.4      | 0.3550                     | 4.1965          | 0.6686      | 2.228   | 0.06268        |
| 85              | 6.689        | 0.46748         | 0.42812         | 1552.9      | 0.3340                     | 4.2005          | 0.6721      | 2.088   | 0.06176        |
| 90              | 6.962        | 0.47429         | 0.43093         | 1550.5      | 0.3150                     | 4.2050          | 0.6753      | 1.962   | 0.06083        |
| 95              | 7.233        | 0.48185         | 0.43429         | 1547.2      | 0.2979                     | 4.2102          | 0.6779      | 1.850   | 0.05988        |
| 100             | 7.501        | 0.49019         | 0.43819         | 1543.1      | 0.2823                     | 4.2164          | 0.6800      | 1.756   | 0.05892        |

Values mostly from Aleksandrov, A. A. and M. S. Trakhtenbertz, *Thermophysical Properties of Water at Atmospheric Pressure*, Standartiz, Moscow, 1977 (99 pp.).

## 24. Viscosidad del biodiesel.



| Temperature<br>(°C) | Dynamic Viscosity<br>(mPa·s) |                         | Absolute<br>Error <sup>[b]</sup><br>(mPa·s) | Relative<br>Error <sup>[c]</sup><br>(%) |
|---------------------|------------------------------|-------------------------|---|---|
|                     | Predicted                    | Measured <sup>[a]</sup> |   |   |
| 0                   | 14.98                        | 12.07                   | 2.91  | 24.14                                   |
| 10                  | 11.10                        | 8.61                    | 2.49  | 28.91                                   |
| 20                  | 8.40                         | 6.40                    | 2.00  | 31.27                                   |
| 30                  | 6.47                         | 4.92                    | 1.55  | 31.56                                   |
| 40                  | 5.07                         | 3.89                    | 1.17  | 30.16                                   |
| 50                  | 4.03                         | 3.16                    | 0.87  | 27.41                                   |
| 60                  | 3.25                         | 2.63                    | 0.62  | 23.66                                   |
| 70                  | 2.65                         | 2.23                    | 0.43  | 19.19                                   |
| 80                  | 2.19                         | 1.92                    | 0.27  | 14.24                                   |
| 90                  | 1.83                         | 1.68                    | 0.15  | 9.01                                    |
| 100                 | 1.54                         | 1.49                    | 0.06  | 3.78                                    |

## 25. Viscosidad de la glicerina.

$$\mu_{(Pa.s)} = a \cdot EXP \left( \frac{b}{T_{(K)}} \right) \quad \begin{array}{l} a = 4,289 \cdot 10^{-12} \\ b = 77861 \end{array}$$

**26. Valores de las constantes  $K_L$  Y  $K_T$  para tanques que tiene cuatro deflectores en la pared del tanque.**

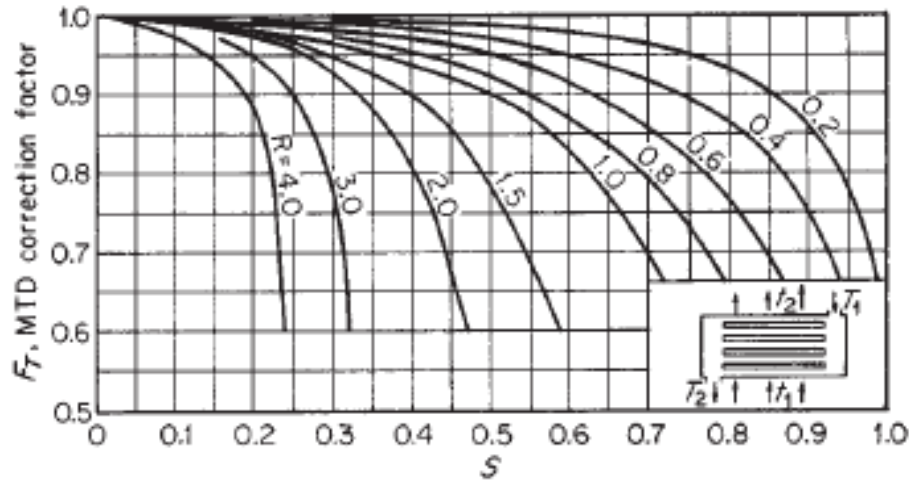
| Tipo de impulsor   | $K_L$ | $K_T$ |
|--|-------|-------|
| Impulsor hélice, tres palas  |       |       |
| Paso 1.0 <sup>43</sup>   | 41    | 0.32  |
| Paso 1.5 <sup>37</sup>   | 48    | 0.87  |
| Turbina  |       |       |
| Disco de seis palas <sup>37</sup> ( $S_3 = 0.25$ , $S_4 = 0.2$ )   | 65    | 5.75  |
| Seis palas inclinadas <sup>42</sup> ( $45^\circ$ , $S_4 = 0.2$ )   | —     | 1.63  |
| Cuatro palas inclinadas <sup>37</sup> ( $45^\circ$ , $S_4 = 0.2$ ) | 44.5  | 1.27  |
| Paleta plana, dos palas <sup>43</sup> ( $S_4 = 0.2$ )              | 36.5  | 1.70  |
| Impulsor HE-3  | 43    | 0.28  |
| Cinta helicoidal   | 52    | —     |
| Ancla <sup>37</sup>  | 300   | 0.35  |

## 27. Entalpía del agua saturada

TABLE 2-352 Saturated Water Substance—Temperature (SI units)

| Temp.,<br>K | Pressure,<br>bar* | Volume, m <sup>3</sup> /kg |        | Enthalpy, kJ/kg |       | Entropy, kJ/(kg·K) |       | Specific heat,<br>C <sub>p</sub> , kJ/(kg·K) |       | Viscosity, Ns/m <sup>2</sup> |         | Thermal conductivity,<br>W/(m·K) |        | Prandtl no. |       | Surface<br>tension,<br>N/m | Temp.,<br>K |
|-------------|-------------------|----------------------------|--------|-----------------|-------|--------------------|-------|--|-------|------------------------------|---------|----------------------------------|--------|-------------|-------|----------------------------|-------------|
|             |                   | Condensed†                 | Vapor  | Condensed†      | Vapor | Condensed†         | Vapor | Condensed†                                   | Vapor | Condensed†                   | Vapor   | Condensed†                       | Vapor  | Condensed†  | Vapor |                            |             |
| 150         | 6.30–11           | 1.073–3                    | 9.55+9 | -539.6          | 2273  | -2.187             | 16.54 | 1.155  |       |                              |         | 3.73                             |        |             |       |                            | 150         |
| 160         | 7.72–10           | 1.074–3                    | 9.62+8 | -525.7          | 2291  | -2.106             | 15.49 | 1.233  |       |                              |         | 3.52                             |        |             |       |                            | 160         |
| 170         | 7.29–9            | 1.076–3                    | 1.08+8 | -511.7          | 2310  | -2.026             | 14.57 | 1.311  |       |                              |         | 3.34                             |        |             |       |                            | 170         |
| 180         | 5.38–8            | 1.077–3                    | 1.55+7 | -497.8          | 2328  | -1.947             | 13.76 | 1.389  |       |                              |         | 3.18                             |        |             |       |                            | 180         |
| 190         | 3.23–7            | 1.078–3                    | 2.72+6 | -483.8          | 2347  | -1.868             | 13.03 | 1.467  |       |                              |         | 3.04                             |        |             |       |                            | 190         |
| 200         | 1.62–6            | 1.079–3                    | 5.69+5 | -467.5          | 2366  | -1.789             | 12.38 | 1.545  |       |                              |         | 2.91                             |        |             |       |                            | 200         |
| 210         | 7.01–6            | 1.081–3                    | 1.39+5 | -451.2          | 2384  | -1.711             | 11.79 | 1.623  |       |                              |         | 2.79                             |        |             |       |                            | 210         |
| 220         | 2.65–5            | 1.082–3                    | 3.83+4 | -435.0          | 2403  | -1.633             | 11.20 | 1.701  |       |                              |         | 2.69                             |        |             |       |                            | 220         |
| 230         | 8.91–5            | 1.084–3                    | 1.18+4 | -416.3          | 2421  | -1.555             | 10.79 | 1.779  |       |                              |         | 2.59                             |        |             |       |                            | 230         |
| 240         | 3.72–4            | 1.085–3                    | 4.07+3 | -400.1          | 2440  | -1.478             | 10.35 | 1.857  |       |                              |         | 2.50                             |        |             |       |                            | 240         |
| 250         | 7.59–4            | 1.087–3                    | 1.52+3 | -381.5          | 2459  | -1.400             | 9.954 | 1.935  |       |                              |         | 2.42                             |        |             |       |                            | 250         |
| 255         | 1.23–3            | 1.087–3                    | 956.4  | -369.8          | 2468  | -1.361             | 9.768 | 1.974  |       |                              |         | 2.38                             |        |             |       |                            | 255         |
| 260         | 1.96–3            | 1.088–3                    | 612.2  | -360.5          | 2477  | -1.323             | 9.590 | 2.013  |       |                              |         | 2.35                             |        |             |       |                            | 260         |
| 265         | 3.06–3            | 1.089–3                    | 400.4  | -351.2          | 2486  | -1.281             | 9.461 | 2.052  |       |                              |         | 2.31                             |        |             |       |                            | 265         |
| 270         | 4.69–3            | 1.090–3                    | 265.4  | -339.6          | 2496  | -1.236             | 9.255 | 2.091  |       |                              |         | 2.27                             |        |             |       |                            | 270         |
| 273.15      | 6.11–3            | 1.091–3                    | 206.3  | -333.5          | 2502  | -1.221             | 9.158 | 2.116  |       |                              |         | 2.26                             |        |             |       |                            | 273.15      |
| 273.15      | 0.00611           | 1.000–3                    | 206.3  | 0.0             | 2502  | 0.000              | 9.158 | 4.217  | 1.854 | 1750–6                       | 8.02–6  | 0.569                            | 0.0182 | 12.99       | 0.815 | 0.0755                     | 273.15      |
| 275         | 0.00697           | 1.000–3                    | 181.7  | 7.8             | 2505  | 0.028              | 9.109 | 4.211  | 1.855 | 1652–6                       | 8.09–6  | 0.574                            | 0.0183 | 12.22       | 0.817 | 0.0753                     | 275         |
| 280         | 0.00990           | 1.000–3                    | 130.4  | 28.8            | 2514  | 0.104              | 8.980 | 4.198  | 1.858 | 1422–6                       | 8.29–6  | 0.582                            | 0.0186 | 10.26       | 0.825 | 0.0748                     | 280         |
| 285         | 0.01387           | 1.000–3                    | 99.4   | 49.8            | 2523  | 0.178              | 8.857 | 4.189  | 1.861 | 1225–6                       | 8.49–6  | 0.590                            | 0.0189 | 8.81        | 0.833 | 0.0743                     | 285         |
| 290         | 0.01917           | 1.001–3                    | 69.7   | 70.7            | 2532  | 0.251              | 8.740 | 4.184  | 1.864 | 1080–6                       | 8.69–6  | 0.598                            | 0.0193 | 7.56        | 0.841 | 0.0737                     | 290         |
| 295         | 0.02617           | 1.002–3                    | 51.94  | 91.6            | 2541  | 0.323              | 8.627 | 4.181  | 1.868 | 959–6                        | 8.89–6  | 0.606                            | 0.0195 | 6.62        | 0.849 | 0.0727                     | 295         |
| 300         | 0.03531           | 1.003–3                    | 39.13  | 112.5           | 2550  | 0.393              | 8.520 | 4.179  | 1.872 | 855–6                        | 9.09–6  | 0.613                            | 0.0196 | 5.83        | 0.857 | 0.0717                     | 300         |
| 305         | 0.04712           | 1.005–3                    | 27.90  | 133.4           | 2559  | 0.462              | 8.417 | 4.178  | 1.877 | 769–6                        | 9.29–6  | 0.620                            | 0.0201 | 5.20        | 0.865 | 0.0709                     | 305         |
| 310         | 0.06221           | 1.007–3                    | 22.93  | 154.3           | 2568  | 0.530              | 8.318 | 4.178  | 1.882 | 695–6                        | 9.49–6  | 0.628                            | 0.0204 | 4.62        | 0.873 | 0.0700                     | 310         |
| 315         | 0.08132           | 1.009–3                    | 17.82  | 175.2           | 2577  | 0.597              | 8.224 | 4.179  | 1.888 | 631–6                        | 9.69–6  | 0.634                            | 0.0207 | 4.16        | 0.883 | 0.0692                     | 315         |
| 320         | 0.1053            | 1.011–3                    | 13.98  | 196.1           | 2586  | 0.649              | 8.151 | 4.180  | 1.895 | 577–6                        | 9.89–6  | 0.640                            | 0.0210 | 3.77        | 0.894 | 0.0683                     | 320         |
| 325         | 0.1351            | 1.013–3                    | 11.06  | 217.0           | 2595  | 0.727              | 8.046 | 4.182  | 1.903 | 528–6                        | 10.09–6 | 0.645                            | 0.0213 | 3.42        | 0.901 | 0.0675                     | 325         |
| 330         | 0.1719            | 1.016–3                    | 8.82   | 237.9           | 2604  | 0.791              | 7.962 | 4.184  | 1.911 | 489–6                        | 10.29–6 | 0.650                            | 0.0217 | 3.15        | 0.908 | 0.0666                     | 330         |
| 335         | 0.2167            | 1.018–3                    | 7.09   | 258.8           | 2613  | 0.854              | 7.881 | 4.186  | 1.920 | 453–6                        | 10.49–6 | 0.655                            | 0.0220 | 2.88        | 0.916 | 0.0658                     | 335         |
| 340         | 0.2713            | 1.021–3                    | 5.74   | 279.8           | 2622  | 0.916              | 7.804 | 4.188  | 1.930 | 420–6                        | 10.69–6 | 0.660                            | 0.0223 | 2.66        | 0.925 | 0.0649                     | 340         |
| 345         | 0.3372            | 1.024–3                    | 4.683  | 300.7           | 2630  | 0.977              | 7.729 | 4.191  | 1.941 | 389–6                        | 10.89–6 | 0.665                            | 0.0226 | 2.45        | 0.933 | 0.0641                     | 345         |
| 350         | 0.4163            | 1.027–3                    | 3.846  | 321.7           | 2639  | 1.038              | 7.657 | 4.195  | 1.954 | 365–6                        | 11.09–6 | 0.668                            | 0.0230 | 2.29        | 0.942 | 0.0632                     | 350         |
| 355         | 0.5100            | 1.030–3                    | 3.180  | 342.7           | 2647  | 1.097              | 7.588 | 4.199  | 1.968 | 343–6                        | 11.29–6 | 0.671                            | 0.0233 | 2.14        | 0.951 | 0.0623                     | 355         |
| 360         | 0.6209            | 1.034–3                    | 2.645  | 363.7           | 2655  | 1.156              | 7.521 | 4.203  | 1.983 | 324–6                        | 11.49–6 | 0.674                            | 0.0237 | 2.02        | 0.960 | 0.0614                     | 360         |
| 365         | 0.7514            | 1.038–3                    | 2.212  | 384.7           | 2663  | 1.214              | 7.456 | 4.209  | 1.999 | 306–6                        | 11.69–6 | 0.677                            | 0.0241 | 1.91        | 0.969 | 0.0605                     | 365         |
| 370         | 0.9040            | 1.041–3                    | 1.861  | 405.8           | 2671  | 1.271              | 7.394 | 4.214  | 2.017 | 289–6                        | 11.89–6 | 0.679                            | 0.0245 | 1.80        | 0.978 | 0.0595                     | 370         |
| 373.15      | 1.0133            | 1.044–3                    | 1.679  | 419.1           | 2676  | 1.307              | 7.356 | 4.217  | 2.029 | 279–6                        | 12.02–6 | 0.680                            | 0.0248 | 1.76        | 0.984 | 0.0589                     | 373.15      |
| 375         | 1.0815            | 1.045–3                    | 1.574  | 426.8           | 2679  | 1.328              | 7.333 | 4.220  | 2.036 | 274–6                        | 12.09–6 | 0.681                            | 0.0249 | 1.70        | 0.987 | 0.0586                     | 375         |
| 380         | 1.2869            | 1.049–3                    | 1.337  | 448.0           | 2687  | 1.384              | 7.275 | 4.226  | 2.057 | 260–6                        | 12.29–6 | 0.683                            | 0.0254 | 1.61        | 0.995 | 0.0576                     | 380         |
| 385         | 1.5233            | 1.053–3                    | 1.142  | 469.2           | 2694  | 1.439              | 7.218 | 4.232  | 2.090 | 248–6                        | 12.49–6 | 0.685                            | 0.0258 | 1.53        | 1.004 | 0.0566                     | 385         |
| 390         | 1.794             | 1.058–3                    | 0.980  | 490.4           | 2702  | 1.494              | 7.163 | 4.239  | 2.104 | 237–6                        | 12.69–6 | 0.686                            | 0.0263 | 1.47        | 1.013 | 0.0556                     | 390         |
| 400         | 2.455             | 1.067–3                    | 0.731  | 532.9           | 2716  | 1.605              | 7.058 | 4.256  | 2.158 | 217–6                        | 13.05–6 | 0.688                            | 0.0272 | 1.34        | 1.033 | 0.0536                     | 400         |
| 410         | 3.302             | 1.077–3                    | 0.553  | 575.6           | 2729  | 1.708              | 6.959 | 4.278  | 2.221 | 200–6                        | 13.42–6 | 0.688                            | 0.0282 | 1.24        | 1.054 | 0.0515                     | 410         |
| 420         | 4.370             | 1.088–3                    | 0.425  | 618.6           | 2742  | 1.810              | 6.865 | 4.302  | 2.291 | 185–6                        | 13.79–6 | 0.688                            | 0.0293 | 1.16        | 1.075 | 0.0494                     | 420         |
| 430         | 5.699             | 1.099–3                    | 0.331  | 661.8           | 2753  | 1.911              | 6.775 | 4.331  | 2.369 | 173–6                        | 14.14–6 | 0.685                            | 0.0304 | 1.09        | 1.10  | 0.0472                     | 430         |

**28. Factor de corrección para flujo transversal o cruzado con un paso de cubierta y una o mas hileras de tubos de un solo paso.**



**29. Propiedades termodinámicas del metanol saturado.**

**TABLE 2-283 Thermophysical Properties of Saturated Methanol**

| Pressure, bar        | Temp., K | $v_f$ , m <sup>3</sup> /kg | $v_g$ , m <sup>3</sup> /kg | $h_f$ , kJ/kg | $h_g$ , kJ/kg | $s_f$ , kJ/(kg·K) | $s_g$ , kJ/(kg·K) | $c_{pg}$ , kJ/(kg·K) | $\mu_f$ , 10 <sup>-6</sup> Pa·s | $k_f$ , W/(m·K) | $Pr_f$ |
|----------------------|----------|----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------|--------|
| $4 \times 10^{-5}^t$ | 175.6    | 0.001 057                  | 1700000                    | 0.0           | 1303.1        | 2.8114            | 10.2328           |                      |                                 |                 |        |
| 0.1                  | 288.4    | 0.001 257                  | 7.300                      | 261.0         | 1440.3        | 3.9383            | 8.0281            | 2.531                | 625                             | 0.204           | 7.75   |
| 0.2                  | 301.7    | 0.001 276                  | 3.801                      | 293.9         | 1455.4        | 4.0493            | 7.9032            | 2.554                | 525                             | 0.196           | 6.84   |
| 0.5                  | 320.7    | 0.001 307                  | 1.590                      | 345.0         | 1476.2        | 4.2117            | 7.7386            | 2.669                | 401                             | 0.193           | 5.55   |
| 1.013                | 337.7    | 0.001 336                  | 0.819                      | 391.7         | 1492.1        | 4.3516            | 7.6104            | 2.777                | 329                             | 0.189           | 4.83   |
| 1.5                  | 348.0    | 0.001 356                  | 0.5632                     | 421.0         | 1500.3        | 4.4361            | 7.5379            | 2.845                | 288                             | 0.186           | 4.41   |
| 2.0                  | 356.0    | 0.001 371                  | 0.4276                     | 444.2         | 1505.8        | 4.5014            | 7.4836            | 2.894                | 268                             | 0.184           | 4.22   |
| 2.5                  | 362.5    | 0.001 385                  | 0.3443                     | 463.6         | 1509.8        | 4.5536            | 7.4398            | 2.946                | 242                             | 0.182           | 3.92   |
| 3.0                  | 368.0    | 0.001 396                  | 0.2893                     | 479.8         | 1512.4        | 4.5992            | 7.4051            | 2.984                | 227                             | 0.181           | 3.74   |
| 4.0                  | 377.1    | 0.001 417                  | 0.2188                     | 507.8         | 1515.9        | 4.6728            | 7.3474            | 3.050                | 204                             | 0.179           | 3.48   |
| 5                    | 384.5    | 0.001 434                  | 0.17569                    | 529.7         | 1517.4        | 4.7307            | 7.2992            | 3.117                | 187                             | 0.178           | 3.27   |
| 6                    | 390.8    | 0.001 450                  | 0.14683                    | 549.6         | 1518.4        | 4.7836            | 7.2624            | 3.176                | 174                             | 0.177           | 3.12   |
| 8                    | 401.3    | 0.001 479                  | 0.11015                    | 582.7         | 1518.0        | 4.8678            | 7.1988            | 3.265                | 156                             | 0.175           | 2.91   |
| 10                   | 409.8    | 0.001 504                  | 0.08783                    | 610.3         | 1516.1        | 4.9366            | 7.1471            | 3.349                | 141                             | 0.173           | 2.73   |
| 15                   | 426.3    | 0.001 560                  | 0.05761                    | 665.8         | 1507.9        | 5.0708            | 7.0461            | 3.540                | 117                             | 0.171           | 2.42   |
| 20                   | 438.9    | 0.001 611                  | 0.04224                    | 710.5         | 1553.8        | 5.1744            | 6.9677            | 3.72                 | 102                             | 0.169           | 2.25   |
| 25                   | 449.3    | 0.001 666                  | 0.03290                    | 749.0         | 1486.4        | 5.2605            | 6.9017            | 3.91                 | 92                              | 0.167           | 2.15   |
| 30                   | 458.2    | 0.001 710                  | 0.02661                    | 783.8         | 1474.7        | 5.3355            | 6.8435            | 4.12                 | 84                              | 0.165           | 2.10   |
| 40                   | 472.9    | 0.001 814                  | 0.01863                    | 846.7         | 1450.1        | 5.4650            | 6.7409            | 4.67                 | 72                              | 0.160           | 2.10   |
| 50                   | 484.9    | 0.001 934                  | 0.01373                    | 905.2         | 1423.2        | 5.5793            | 6.6475            | 5.55                 | 63                              | 0.154           | 2.27   |
| 60                   | 495.1    | 0.002 086                  | 0.01032                    | 963.3         | 1391.8        | 5.6889            | 6.5543            |                      |                                 |                 |        |
| 80                   | 508.1    | 0.002 507                  | 0.00642                    | 1065.3        | 1318.7        | 5.8803            | 6.3791            |                      |                                 |                 |        |
| 80.95 <sup>c</sup>   | 512.6    | 0.003 715                  | 0.00372                    | 1186.8        | 1186.8        | 6.0979            | 6.0979            |                      |                                 |                 |        |

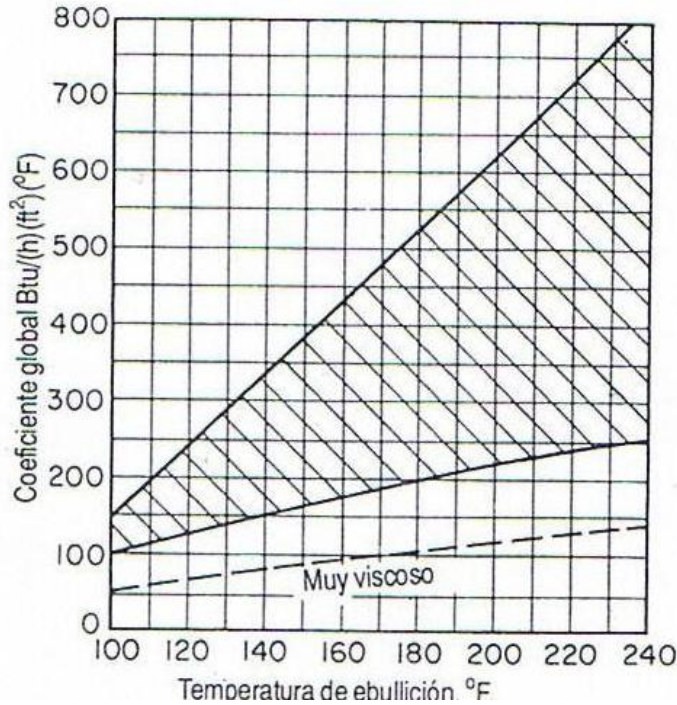
<sup>t</sup> = triple point; <sup>c</sup> = critical point.  $v$ ,  $h$ ,  $s$ , and  $c_p$  interpolated and converted from Goodwin, R. D., *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 16, 4 (1987): 799–801.

### 30. Capacidades caloríficas del metanol gaseoso.

| $C_{p,gas}$<br>(J/mol*K) | Temperature<br>(K) | Reference  | Comment  |
|--------------------------|--------------------|--|--|
| 34.00                    | 50.                | <a href="#">Thermodynamics Research Center, 1997</a> | . Recommended entropies and heat capacities are in good agreement with other statistically calculated values [ Ivash E.V., 1955, Zhuravlev E.Z., 1959, Chen S.S., 1977, Chao J., 1986, Gurvich, Veyts, et al., 1989]. Please also see Chao J., 1986, 2.; <i>GT</i> |
| 36.95                    | 100.               |  |  |
| 38.64                    | 150.               |  |  |
| 39.71                    | 200.               |  |  |
| 42.59                    | 273.15             |  |  |
| 44.06 ± 0.03             | 298.15             |  |  |
| 44.17                    | 300.               |  |  |
| 51.63                    | 400.               |  |  |
| 59.70                    | 500.               |  |  |
| 67.19                    | 600.               |  |  |
| 73.86                    | 700.               |  |  |
| 79.76                    | 800.               |  |  |
| 84.95                    | 900.               |  |  |
| 89.54                    | 1000.              |  |  |
| 93.57                    | 1100.              |  |  |
| 97.12                    | 1200.              |  |  |
| 100.24                   | 1300.              |  |  |
| 102.98                   | 1400.              |  |  |
| 105.40                   | 1500.              |  |  |
| 110.2                    | 1750.              |  |  |
| 113.8                    | 2000.              |  |  |
| 116.5                    | 2250.              |  |  |
| 118.6                    | 2500.              |  |  |
| 120.                     | 2750.              |  |  |
| 121.                     | 3000               |  |  |



**31. Intervalo general de coeficientes del evaporador LTV.**



**32. Tabla de velocidades típicas de líquidos y gases en tuberías.**

- Para líquidos.

|   | $D \leq 2''$ | $3'' < D < 10''$ | $10'' < D < 20''$ |
|---|--------------|------------------|-------------------|
| <i>Agua</i>                                       |              |                  |                   |
| Succión bomba . . . . .                           | 0,3-0,6      | 0,6-1,2          | 1 -2              |
| Descarga bomba . . . . .                          | 0,5-1        | 1 -1,5           | 1,2-2             |
| Alimentación caldera . . .                        | 1,2-3        | 1,5-3,5          | 2,5-4,2           |
| Desagües . . . . .                                | 1 -1,2       | 1 -1,5           | —                 |
| <i>Hidrocarburos líquidos (viscosidad normal)</i> |              |                  |                   |
| Succión bomba . . . . .                           | 0,5-0,75     | 0,6-1,2          | 1 -2              |
| Desagües . . . . .                                | 1 -1,2       | 1 -1,5           | —                 |
| <i>Aceites viscosos</i>                           |              |                  |                   |
| Succión bomba:                                    |              |                  |                   |
| — Viscosidad media . . . .                        | —            | 0,5-1            | 0,75-1,5          |
| — Alquitrán y fuel-oil . . .                      | —            | 0,1-0,2          | 0,15-0,30         |
| Descarga . . . . .                                | —            | 1 -1,5           | 1,2-1,8           |
| Desagües . . . . .                                | 0,3          | 0,5-1            | —                 |

- *Para gases.*

| <i>Diámetro nominal<br/>(pulgadas)</i> | <i>Vapor saturado<br/>(baja presión)</i> | <i>Vapor sobrecalentado, o gas<br/>(media presión)                      (alta presión)</i> |       |
|--|--|--|-------|
| ≤2                                     | 13-30                                    | 12-24  | 9-18  |
| 3-4                                    | 15-33                                    | 13-27  | 10-20 |
| 6                                      | 18-36                                    | 15-36  | 13-27 |
| 8-10                                   | 20-38                                    | 24-48  | 20-38 |
| 12-14                                  | 21-39                                    | 30-57  | 24-43 |
| 16-18                                  | 23-40                                    | 33-63  | 27-48 |
| 20                                     | 24-42                                    | 26-66  | 30-50 |



### 33. Viscosidad del metanol y de la glicerina saturada

TABLE 2-370 Thermophysical Properties of Miscellaneous Saturated Liquids (Concluded)

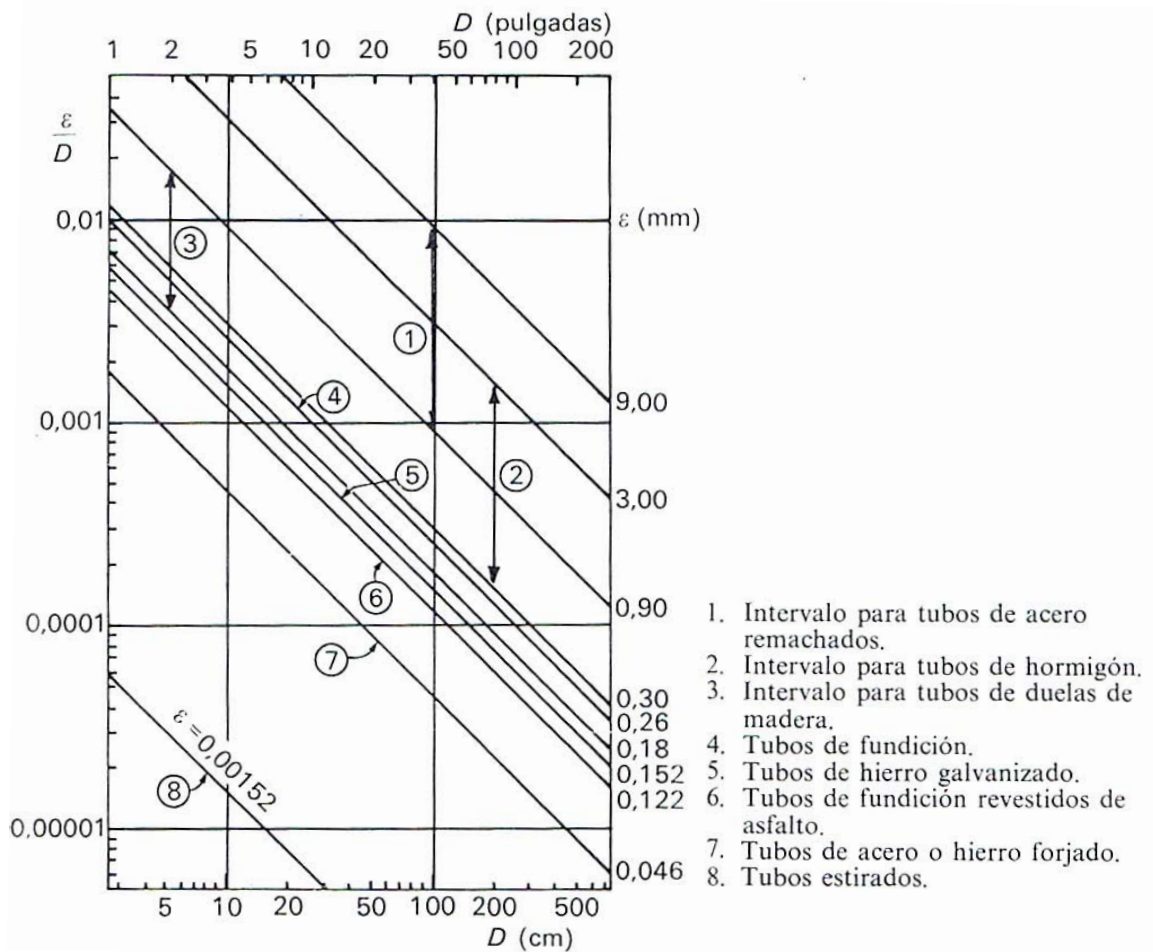
| Substance      | Property                      | Temperature, °C |        |       |       |       |        |           |         |         |         |         |        |        |       |       |       |
|----------------|-------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|--------|-----------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|
|                |                               | -50             | -40    | -30   | -20   | -10   | 0      | 10        | 20      | 30      | 40      | 50      | 60     | 70     | 80    | 90    | 100   |
| Gasoline       | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   |                 |        |       | 784   | 775   | 767    | 759       | 751     | 743     | 735     | 721     | 717    | 708    | 699   | 690   | 681   |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               |                 |        |       | 1.88  | 1.92  | 1.97   | 2.02      | 2.06    | 2.11    | 2.15    | 2.20    | 2.25   | 2.30   | 2.35  | 2.41  | 2.46  |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) | 1710            | 1400   | 1170  | 990   | 850   | 735    | 645       | 530     | 464     | 410     | 367     | 330    | 298    | 270   | 246   | 225   |
|                | $k$ (W/m·K)                   | 0.131           | 0.128  | 0.125 | 0.123 | 0.121 | 0.120  | 0.118     | 0.116   | 0.114   | 0.112   | 0.110   | 0.108  | 0.106  | 0.104 | 0.102 | 0.100 |
|                | $Pr$                          |                 |        |       | 15.1  | 13.5  | 12.1   | 11.0      | 9.41    | 8.59    | 7.87    | 7.34    | 6.88   | 6.47   | 6.10  | 5.81  | 5.54  |
| Glycerol       | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   | —               | —      | —     | —     | —     | 1276   | 1270      | 1260    | 1254    | 1248    | 1242    |        |        |       |       |       |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               |                 |        |       |       |       |        |           | 2.393   | 2.406   | 2.457   | 2.504   | 2.548  | 2.588  | 2.625 | 2.657 | 2.686 |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) |                 |        |       |       |       | 1.2+7  | 4.0+6     | 1.5+6   |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $k$ (W/m·K)                   |                 |        |       |       |       |        |           | 0.284   | 0.285   | 0.287   | 0.288   | 0.289  | 0.291  | 0.293 | 0.294 | 0.295 |
|                | $Pr$                          |                 |        |       |       |       |        |           | 12650   |         |         |         |        |        |       |       |       |
| Kerosine       | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   |                 |        |       |       |       | 781    | 774       | 767     | 760     | 754     | 748     | 742    |        |       |       |       |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               |                 |        |       |       |       | 1.91   | 1.96      | 2.02    | 2.07    | 2.13    | 2.18    | 2.23   | 2.28   | 2.32  | 2.35  | 2.38  |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) | 1150            | 725    | 500   | 360   | 275   | 215    | 173       | 149     | 126     | 108     | 95      | 83     | 73     | 66    | 60    | 55    |
|                | $k$ (W/m·K)                   |                 |        |       |       |       | 0.140  | 0.139     | 0.139   | 0.138   | 0.138   | 0.137   | 0.137  | 0.137  |       |       |       |
|                | $Pr$                          |                 |        |       |       |       | 2.93   | 2.44      | 2.17    | 1.89    | 1.67    | 1.51    | 1.35   |        |       |       |       |
| Methanol       | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   |                 |        |       |       |       |        |           |         | 783     | 774     | 766     | 756    | 746    | 736   | 725   | 711   |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               | 2.30            | 2.32   | 2.35  | 2.37  | 2.40  | 2.42   | 2.45      | 2.47    | 2.49    | 2.52    | 2.55    | 2.65   | 2.78   | 2.94  | 3.13  | 3.30  |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) | 2305            | 1800   | 1410  | 1170  | 975   | 820    | 692       | 590     | 510     | 455     | 400     | 355    | 315    | 271   | 240   | 218   |
|                | $k$ (W/m·K)                   | 0.225           | 0.222  | 0.219 | 0.216 | 0.212 | 0.209  | 0.206     | 0.203   | 0.199   | 0.195   | 0.192   | 0.189  | 0.187  | 0.184 | 0.182 | 0.180 |
|                | $Pr$                          | 23.6            | 18.8   | 15.1  | 12.9  | 11.0  | 9.53   | 8.23      | 7.18    | 6.38    | 5.88    | 5.31    | 4.98   | 4.68   | 4.34  | 4.13  | 3.99  |
| Methyl formate | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   | 1069            | 1056   | 1043  | 1030  | 1017  | 1003   | 989       | 975     | 960     | 944     | 929     | 913    | 897    | 880   | 863   | 845   |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               | 1.84            | 1.86   | 1.88  | 1.90  | 1.92  | 1.95   | 1.99      | 2.03    | 2.08    |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) | 830             | 711    | 618   | 544   | 481   | 430    | 380       | 345     | 315     |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $k$ (W/m·K)                   | 0.217           | 0.213  | 0.209 | 0.205 | 0.200 | 0.195  | 0.191     | 0.186   | 0.180   |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $Pr$                          | 7.04            | 6.21   | 5.56  | 5.04  | 4.62  | 4.30   | 3.96      | 3.77    | 3.64    |         |         |        |        |       |       |       |
| Oil, castor    | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   |                 |        |       |       |       |        |           |         |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               |                 |        |       |       |       |        |           |         |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) |                 |        |       |       |       |        | 2,420,000 | 986,000 | 451,000 | 231,000 | 125,000 | 74,000 | 43,000 |       |       |       |
|                | $k$ (W/m·K)                   |                 |        |       |       |       |        | 0.182     | 0.181   | 0.180   | 0.179   | 0.178   | 0.177  | 0.176  | 0.175 | 0.174 | 0.17  |
|                | $Pr$                          |                 |        |       |       |       |        |           |         |         |         |         |        |        |       |       |       |
| Oil, olive     | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   |                 |        |       |       |       |        |           | 914     |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               |                 |        |       |       |       |        |           | 1.633   |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) |                 |        |       |       |       |        | 138,000   | 84,000  | 52,000  | 36,300  | 24,500  | 17,000 | 12,400 |       |       |       |
|                | $k$ (W/m·K)                   |                 |        |       |       |       |        | 0.170     | 0.169   | 0.168   | 0.167   | 0.166   | 0.166  | 0.165  | 0.165 | 0.164 | 0.164 |
|                | $Pr$                          |                 |        |       |       |       |        |           | 810     |         |         |         |        |        |       |       |       |
| Pentane        | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   | 693             | 684    | 674   | 665   | 656   | 646    | 636       | 626     | 616     | 606     | 596     | 585    | 574    | 562   | 550   | 538   |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               | 2.060           | 2.084  | 2.110 | 2.137 | 2.167 | 2.206  | 2.239     | 2.273   |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) | 489             | 428    | 379   | 339   | 307   | 279    | 254       | 234     | 209     | 190     | 175     | 161    | 148    | 137   | 124   | 113   |
|                | $k$ (W/m·K)                   | 0.142           | 0.139  | 0.136 | 0.132 | 0.128 | 0.125  | 0.122     | 0.119   | 0.115   | 0.112   | 0.108   | 0.105  | 0.101  | 0.098 | 0.095 | 0.091 |
|                | $Pr$                          | 7.14            | 6.42   | 5.88  | 5.49  | 5.20  | 4.92   | 4.66      | 4.47    |         |         |         |        |        |       |       |       |
| Propanol       | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   | 849             |        |       |       |       | 819    | 811       | 814     | 796     | 788     | 779     | 770    | 761    | 752   | 747   | 743   |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               | 1.955           |        |       |       |       | 2.219  |           |         |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) | 20,200          | 13,500 | 9500  | 6900  | 5110  | 3900   | 2900      | 2245    | 1720    | 1400    | 1130    | 921    | 760    | 630   | 508   | 447   |
|                | $k$ (W/m·K)                   | 0.167           | 0.166  | 0.165 |       |       |        |           |         | 0.171   | 0.169   | 0.168   | 0.167  | 0.165  | 0.164 | 0.163 | 0.162 |
|                | $Pr$                          | 236             |        |       |       |       |        |           |         |         |         |         |        |        |       |       |       |
| Sulfuric acid  | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   |                 |        |       |       |       |        |           | 1834    |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               |                 |        |       |       |       |        |           | 1.382   |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) |                 |        |       |       |       | 48,400 | 35,200    | 25,400  | 15,700  | 11,500  | 8820    | 7220   | 6090   | 5190  |       |       |
|                | $k$ (W/m·K)                   |                 |        |       |       |       | 0.314  |           |         |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $Pr$                          |                 |        |       |       |       |        |           |         |         |         |         |        |        |       |       |       |
| Toluene        | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   | 932             | 923    | 913   | 904   | 895   | 886    | 876       | 867     | 858     | 848     | 839     | 829    | 820    | 810   | 800   | 790   |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               | 1.514           | 1.535  | 1.556 | 1.579 | 1.602 | 1.633  | 1.652     | 1.675   | 1.701   | 1.73    | 1.76    | 1.80   | 1.83   | 1.87  | 1.92  | 1.97  |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) | 2120            | 1670   | 1345  | 1100  | 915   | 770    | 670       | 590     | 520     | 470     | 420     | 380    | 355    | 325   | 295   | 270   |
|                | $k$ (W/m·K)                   | 0.152           | 0.149  | 0.147 | 0.144 | 0.142 | 0.139  | 0.137     | 0.134   | 0.132   | 0.129   | 0.126   | 0.124  | 0.122  | 0.119 | 0.117 | 0.114 |
|                | $Pr$                          | 21.1            | 17.8   | 14.2  | 12.1  | 10.3  | 9.0    | 8.1       | 7.4     | 6.7     | 6.3     | 5.9     | 5.5    | 5.3    | 5.1   | 4.8   | 4.7   |
| Turpentine     | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )   |                 |        |       |       |       |        |           |         |         |         |         |        |        |       |       |       |
|                | $c_p$ (kJ/kg·K)               |                 |        |       |       |       | 1.72   | 1.76      | 1.80    |         |         | 1.93    |        |        |       |       |       |
|                | $\mu$ (10 <sup>-6</sup> Pa·s) |                 |        |       |       |       | 2250   | 1780      | 1490    | 1270    | 1070    | 925     | 820    | 730    | 675   |       |       |
|                | $k$ (W/m·K)                   |                 |        |       |       |       | 0.130  | 0.129     | 0.128   | 0.127   | 0.126   | 0.125   |        |        |       |       |       |
|                | $Pr$                          |                 |        |       |       |       | 29.8   | 24.3      | 20.9    | 18.4    | 16.1    | 14.3    |        |        |       |       |       |

### 34. La viscosidad del aceite de colza.

Conocida por la bibliografía la viscosidad del aceite de colza a 100°C 210 cSt y a 4,4 °C 36 cSt se hizo una interpolación para 25 °C obteniéndose 0,06 Pa.s.

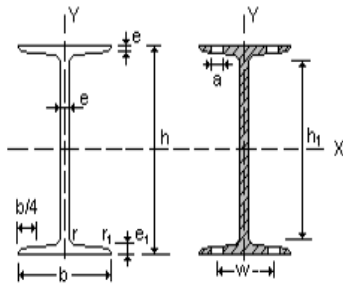
Para la viscosidad del aceite a 45MPa y 25°C se aumento en un 2 % la viscosidad a 1 bar y a 25°C obteniéndose un valor de viscosidad de 0,09 Pa.s

### 35. Rugosidades relativas equivalentes de varios tubos comerciales.



### 36. Perfiles IPN

**Tabla 2.A1.1.- Perfiles IPN**



A = Área de la sección  
 $S_x$  = Momento estático de media sección, respecto a X.  
 $I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X.  
 $W_x = 2I_x : h$  : Módulo resistente de la sección, respecto a X.  
 $i_x = (I_x : A)^{1/2}$  . Radio de giro de la sección, respecto a X.  
 $I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.  
 $W_y = 2I_y : b$  . Módulo resistente de la sección, respecto a Y.  
 $i_y = (I_y : A)^{1/2}$  . Radio de giro de la sección, respecto a Y

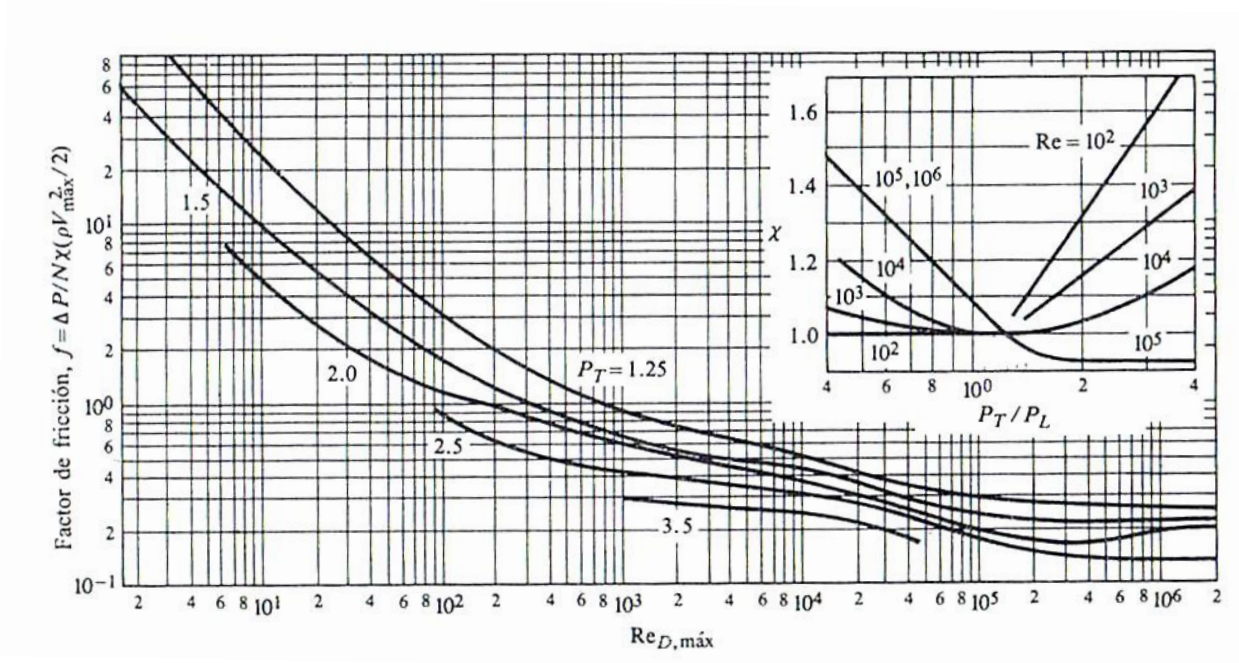
$I_t$  = Módulo de torsión de la sección.  
 $I_a$  = Módulo de alabeo de la sección.  
 u = Perímetro de la sección.  
 a = Diámetro del agujero del roblón normal.  
 w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.  
 $h_1$  = Altura de la parte plana del alma.  
 $e_2$  = Espesor del ala en el eje del agujero.  
 p = Peso por metro.

| Perfil  | Dimensiones |        |               |                     |                     |                     |         | Términos de sección  |                                   |                                   |                                   |                      |                                   |                                   |                      |                                   |                                   | Agujeros |        |                      | Peso p<br>kp/m |
|---------|-------------|--------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|--------|----------------------|----------------|
|         | h<br>m      | b<br>m | e =<br>r<br>m | e <sub>1</sub><br>m | r <sub>1</sub><br>m | h <sub>1</sub><br>m | u<br>mm | A<br>cm <sup>2</sup> | S <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>y</sub><br>cm | I <sub>t</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>a</sub><br>cm <sup>6</sup> | w<br>m   | a<br>m | e <sub>2</sub><br>mm |                |
| IPN 80  | 80          | 42     | 3,9           | 5,9                 | 2,3                 | 59                  | 304     | 7,58                 | 11,4                              | 77,8                              | 19,5                              | 3,20                 | 6,29                              | 3,00                              | 0,91                 | 0,93                              | 87,5                              | 22       | -      | 4,43                 | 5,95           |
| IPN 100 | 100         | 50     | 4,5           | 6,8                 | 2,7                 | 75                  | 370     | 10,6                 | 19,9                              | 171                               | 34,2                              | 4,01                 | 12,2                              | 4,88                              | 1,07                 | 1,72                              | 268                               | 28       | -      | 5,05                 | 8,32           |
| IPN 120 | 120         | 58     | 5,1           | 7,7                 | 3,1                 | 92                  | 439     | 14,2                 | 31,8                              | 328                               | 54,7                              | 4,81                 | 21,5                              | 7,41                              | 1,23                 | 2,92                              | 685                               | 32       | -      | 5,67                 | 11,2           |
| IPN 140 | 140         | 66     | 5,7           | 8,6                 | 3,4                 | 109                 | 502     | 18,3                 | 47,7                              | 573                               | 81,9                              | 5,61                 | 35,2                              | 10,7                              | 1,40                 | 4,66                              | 1540                              | 34       | 11     | 6,29                 | 14,4           |
| IPN 160 | 160         | 74     | 6,3           | 9,5                 | 3,8                 | 125                 | 575     | 22,8                 | 68,0                              | 935                               | 117                               | 6,40                 | 54,7                              | 14,8                              | 1,55                 | 7,08                              | 3138                              | 40       | 11     | 6,91                 | 17,9           |
| IPN 180 | 180         | 82     | 6,9           | 10,4                | 4,1                 | 142                 | 640     | 27,9                 | 93,4                              | 1450                              | 161                               | 7,20                 | 81,3                              | 19,8                              | 1,71                 | 10,3                              | 5924                              | 44       | 13     | 7,53                 | 21,9           |
| IPN 200 | 200         | 90     | 7,5           | 11,3                | 4,5                 | 159                 | 709     | 33,5                 | 125                               | 2140                              | 214                               | 8,00                 | 117                               | 26,0                              | 1,87                 | 14,6                              | 10520                             | 48       | 13     | 8,15                 | 26,3           |
| IPN 220 | 220         | 98     | 8,1           | 12,2                | 4,9                 | 175                 | 775     | 39,6                 | 162                               | 3060                              | 278                               | 8,80                 | 162                               | 33,1                              | 2,02                 | 20,1                              | 17760                             | 52       | 13     | 8,77                 | 31,1           |
| IPN 240 | 240         | 106    | 8,7           | 13,1                | 5,2                 | 192                 | 844     | 46,1                 | 206                               | 4250                              | 354                               | 9,59                 | 221                               | 41,7                              | 2,20                 | 27,0                              | 28730                             | 56       | 17     | 9,39                 | 36,2           |
| IPN 260 | 260         | 113    | 9,4           | 14,1                | 5,6                 | 208                 | 906     | 53,4                 | 257                               | 5740                              | 442                               | 10,4                 | 288                               | 51,0                              | 2,32                 | 36,1                              | 44070                             | 60       | 17     | 10,15                | 41,9           |
| IPN 280 | 280         | 119    | 10,1          | 15,2                | 6,1                 | 225                 | 966     | 61,1                 | 316                               | 7590                              | 542                               | 11,1                 | 364                               | 61,2                              | 2,45                 | 47,8                              | 64580                             | 62       | 17     | 11,04                | 48,0           |
| IPN 300 | 300         | 125    | 10,8          | 16,2                | 6,5                 | 241                 | 1030    | 69,1                 | 381                               | 9800                              | 653                               | 11,9                 | 451                               | 72,2                              | 2,56                 | 61,2                              | 91850                             | 64       | 21     | 11,83                | 54,2           |
| IPN 320 | 320         | 131    | 11,5          | 17,3                | 6,9                 | 257                 | 1090    | 77,8                 | 457                               | 12510                             | 782                               | 12,7                 | 555                               | 84,7                              | 2,67                 | 78,2                              | 128800                            | 70       | 21     | 12,72                | 61,1           |
| IPN 340 | 340         | 137    | 12,2          | 18,3                | 7,3                 | 274                 | 1150    | 86,8                 | 540                               | 15700                             | 923                               | 13,5                 | 674                               | 98,4                              | 2,80                 | 97,5                              | 176300                            | 74       | 21     | 13,51                | 68,1           |
| IPN 360 | 360         | 143    | 13,0          | 19,5                | 7,8                 | 290                 | 1210    | 97,1                 | 638                               | 19610                             | 1090                              | 14,2                 | 818                               | 114                               | 2,90                 | 123                               | 240100                            | 76       | 23     | 14,50                | 76,2           |
| IPN 380 | 380         | 149    | 13,7          | 20,5                | 8,2                 | 306                 | 1270    | 107                  | 741                               | 24010                             | 1260                              | 15,0                 | 975                               | 131                               | 3,02                 | 150                               | 318700                            | 82       | 23     | 15,29                | 84,0           |
| IPN 400 | 400         | 155    | 14,4          | 21,6                | 8,6                 | 323                 | 1330    | 118                  | 857                               | 29210                             | 1460                              | 15,7                 | 1160                              | 149                               | 3,13                 | 183                               | 419600                            | 86       | 23     | 16,18                | 92,6           |
| IPN 450 | 450         | 170    | 16,2          | 24,3                | 9,7                 | 363                 | 1478    | 147                  | 1200                              | 45850                             | 2040                              | 17,7                 | 1730                              | 203                               | 3,43                 | 288                               | 791100                            | 94       | 25     | 18,35                | 115            |
| IPN 500 | 500         | 185    | 18,0          | 27                  | 10,8                | 404                 | 1626    | 180                  | 1620                              | 68740                             | 2750                              | 19,6                 | 2480                              | 268                               | 3,72                 | 449                               | 1403000                           | 100      | 28     | 20,53                | 141            |
| IPN 550 | 550         | 200    | 19,0          | 30                  | 11,9                | 445                 | 1787    | 213                  | 2120                              | 99180                             | 3610                              | 21,6                 | 3490                              | 349                               | 4,02                 | 618                               | 2389000                           | 110      | 28     | 23,0                 | 167            |
| IPN 600 | 600         | 215    | 21,6          | 32,4                | 13                  | 485                 | 1924    | 254                  | 2730                              | 139000                            | 4630                              | 23,4                 | 4670                              | 443                               | 4,30                 | 875                               | 3821000                           | 120      | 28     | 24,88                | 199            |

**37. Coeficiente de pandeo del acero, en función de la esbeltez.**

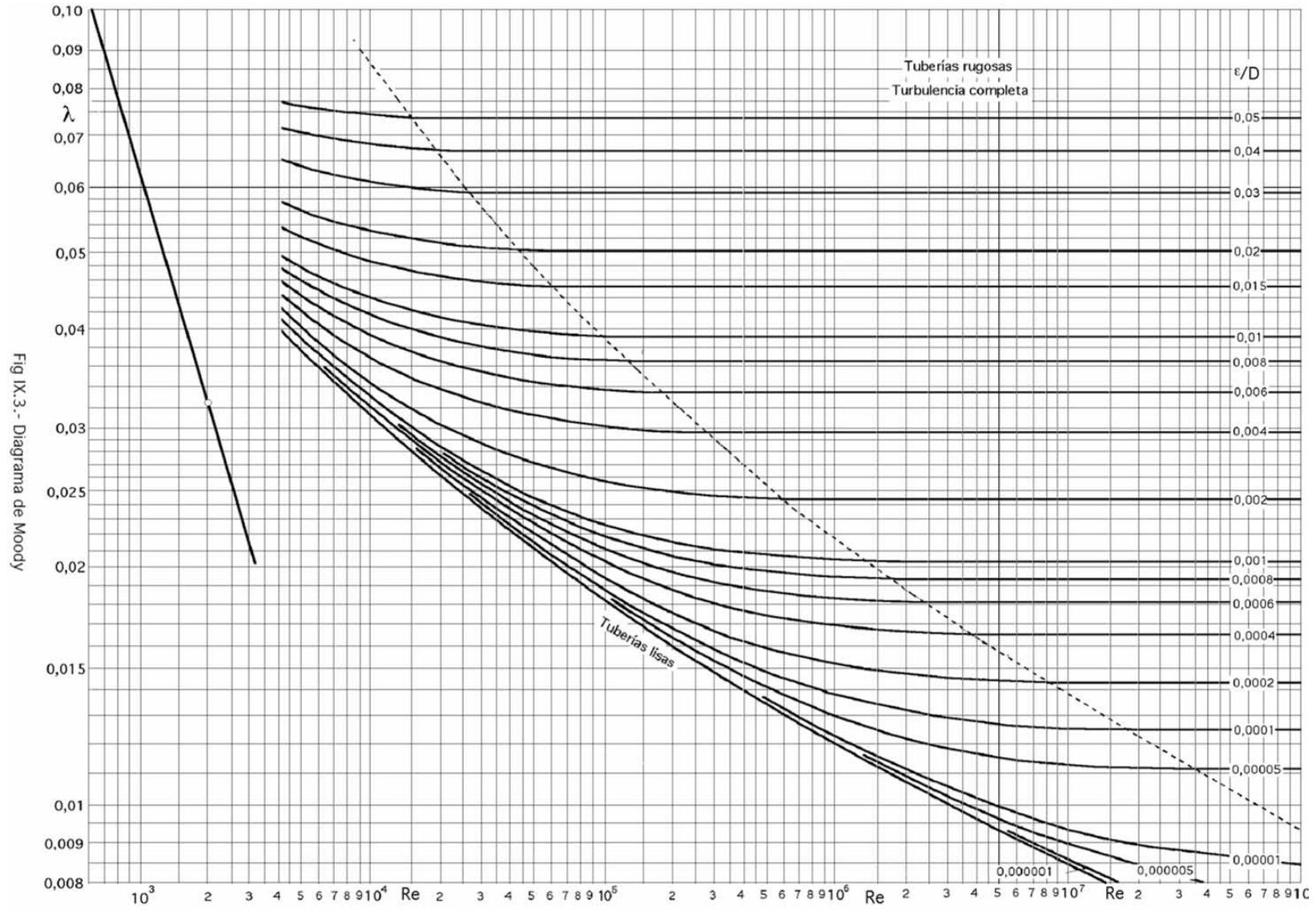
| Tipo de acero | TABLA 3.10<br>COEFICIENTE DE PANDEO DEL ACERO |   |      |      |      |       |       |       |       |       |      |
|---------------|---|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|               | $\lambda$                                     | Coeficiente $\omega$ de pandeo función de la esbeltez $\lambda$ |      |      |      |       |       |       |       |       |      |
|               |   | 0   | 1    | 2    | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    |
| A42           | 20  | 1,02  | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02  | 1,03  | 1,03  | 1,03  | 1,03  | 1,04 |
|               | 30  | 1,04  | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,05  | 1,05  | 1,06  | 1,06  | 1,07  | 1,07 |
|               | 40  | 1,07  | 1,08 | 1,08 | 1,09 | 1,09  | 1,10  | 1,10  | 1,11  | 1,12  | 1,12 |
|               | 50  | 1,13  | 1,14 | 1,14 | 1,15 | 1,16  | 1,17  | 1,18  | 1,19  | 1,20  | 1,21 |
|               | 60  | 1,22  | 1,23 | 1,24 | 1,25 | 1,26  | 1,27  | 1,29  | 1,30  | 1,31  | 1,33 |
|               | 70  | 1,34  | 1,36 | 1,37 | 1,39 | 1,40  | 1,42  | 1,44  | 1,46  | 1,47  | 1,49 |
|               | 80  | 1,51  | 1,53 | 1,55 | 1,57 | 1,60  | 1,62  | 1,64  | 1,66  | 1,69  | 1,71 |
|               | 90  | 1,74  | 1,76 | 1,79 | 1,81 | 1,84  | 1,86  | 1,89  | 1,92  | 1,95  | 1,98 |
|               | 100   | 2,01  | 2,03 | 2,06 | 2,09 | 2,13  | 2,16  | 2,19  | 2,22  | 2,25  | 2,29 |
|               | 110   | 2,32  | 2,35 | 2,39 | 2,42 | 2,46  | 2,49  | 2,53  | 2,56  | 2,60  | 2,64 |
|               | 120   | 2,67  | 2,71 | 2,75 | 2,79 | 2,82  | 2,86  | 2,90  | 2,94  | 2,98  | 3,02 |
|               | 130   | 3,06  | 3,11 | 3,15 | 3,19 | 3,23  | 3,27  | 3,32  | 3,36  | 3,40  | 3,45 |
|               | 140   | 3,49  | 3,54 | 3,58 | 3,63 | 3,67  | 3,72  | 3,77  | 3,81  | 3,86  | 3,91 |
|               | 150   | 3,96  | 4,00 | 4,05 | 4,10 | 4,15  | 4,20  | 4,25  | 4,30  | 4,35  | 4,40 |
|               | 160   | 4,45  | 4,51 | 4,56 | 4,61 | 4,66  | 4,72  | 4,77  | 4,82  | 4,88  | 4,93 |
|               | 170   | 4,99  | 5,04 | 5,10 | 5,15 | 5,21  | 5,26  | 5,32  | 5,38  | 5,44  | 5,49 |
|               | 180   | 5,55  | 5,61 | 5,67 | 5,73 | 5,79  | 5,85  | 5,91  | 5,97  | 6,03  | 6,09 |
|               | 190   | 6,15  | 6,21 | 6,27 | 6,34 | 6,40  | 6,46  | 6,53  | 6,59  | 6,65  | 6,72 |
|               | 200   | 6,78  | 6,85 | 6,91 | 6,98 | 7,05  | 7,11  | 7,18  | 7,25  | 7,31  | 7,38 |
|               | 210   | 7,45  | 7,52 | 7,59 | 7,66 | 7,72  | 7,79  | 7,86  | 7,93  | 8,01  | 8,08 |
| 220           | 8,15  | 8,22  | 8,29 | 8,36 | 8,44 | 8,51  | 8,58  | 8,66  | 8,73  | 8,80  |      |
| 230           | 8,88  | 8,95  | 9,03 | 9,11 | 9,18 | 9,26  | 9,33  | 9,41  | 9,49  | 9,57  |      |
| 240           | 9,64  | 9,72  | 9,80 | 9,88 | 9,96 | 10,04 | 10,12 | 10,20 | 10,28 | 10,36 |      |
| 250           | 10,44   |   |      |      |      |       |       |       |       |       |      |

**38. Factor de fricción y factor de corrección para un haz de tubos alternados.**





### 39. Diagrama de Moody.



40. Dimensiones de los codos.

| Nom. Pipe Size | Pipe O.D. | Weld ELL |        |       |        |        | CAPS*  |                | STUB ENDS        |               |       | Nom. Pipe Size |
|----------------|-----------|----------|--------|-------|--------|--------|--------|----------------|------------------|---------------|-------|----------------|
|                |           | A        | B      | D     | K      | V      | E      | F<br>ANSI Std. | G<br>O.D. of Lap | Corner Radius |       |                |
| 1/2            | .840      | 1 1/2    | 5/8    | -     | 1 1/2  | -      | 1      | 3              | 1 1/2            | 1/2           | 1/2   |                |
| 3/4            | 1.050     | 1 1/2    | 7/8    | -     | 1 1/2  | -      | 1      | 3              | 1 1/2            | 1/2           | 3/4   |                |
| 1              | 1.315     | 1 1/2    | 1      | 1     | 2 1/4  | 1 1/2  | 1 1/2  | 4              | 2                | 1/2           | 1     |                |
| 1 1/4          | 1.660     | 2 1/4    | 1      | 1 1/4 | 2 1/4  | 2 1/4  | 1 1/2  | 4              | 2 1/2            | 3/4           | 1 1/4 |                |
| 1 1/2          | 1.900     | 2 1/4    | 1 1/8  | 1 1/2 | 3 1/4  | 2 7/8  | 1 1/2  | 4              | 2 3/4            | 3/4           | 1 1/2 |                |
| 2              | 2.375     | 3        | 1 1/8  | 2     | 4 1/4  | 3 3/4  | 1 1/2  | 6              | 3 3/4            | 3/4           | 2     |                |
| 2 1/2          | 2.875     | 3 3/4    | 1 1/4  | 2 1/2 | 5 1/4  | 3 11/8 | 1 1/2  | 6              | 4                | 3/4           | 2 1/2 |                |
| 3              | 3.500     | 4 1/2    | 2      | 3     | 6 1/4  | 4 1/4  | 2      | 6              | 5                | 3/4           | 3     |                |
| 3 1/2          | 4.000     | 5 1/4    | 2 1/4  | 3 1/2 | 7 1/4  | 5 1/2  | 2 1/2  | 6              | 5 1/2            | 3/4           | 3 1/2 |                |
| 4              | 4.500     | 6        | 2 1/2  | 4     | 8 1/4  | 6 1/4  | 2 1/2  | 6              | 6 1/4            | 3/4           | 4     |                |
| 5              | 5.563     | 7 1/2    | 3 1/4  | 5     | 10 1/4 | 7 3/4  | 3      | 8              | 7 1/4            | 3/4           | 5     |                |
| 6              | 6.625     | 9        | 3 3/4  | 6     | 12 1/4 | 9 1/4  | 3 1/2  | 8              | 8 1/2            | 3/4           | 6     |                |
| 8              | 8.625     | 12       | 5      | 8     | 16 1/4 | 12 1/4 | 4      | 8              | 10 1/4           | 1/2           | 8     |                |
| 10             | 10.750    | 15       | 6 1/4  | 10    | 20 1/4 | 15 1/4 | 5      | 10             | 12 1/4           | 1/2           | 10    |                |
| 12             | 12.750    | 18       | 7 1/2  | 12    | 24 1/4 | 18 1/4 | 6      | 10             | 15               | 1/2           | 12    |                |
| 14             | 14.000    | 21       | 8 1/4  | 14    | 28     | 21     | 6 1/2  | 12             | 16 1/4           | 1/2           | 14    |                |
| 16             | 16.000    | 24       | 10     | 16    | 32     | 24     | 7      | 12             | 18 1/2           | 1/2           | 16    |                |
| 18             | 18.000    | 27       | 11 1/4 | 18    | 36     | 27     | 8      | 12             | 21               | 1/2           | 18    |                |
| 20             | 20.000    | 30       | 12 1/2 | 20    | 40     | 30     | 9      | 12             | 23               | 1/2           | 20    |                |
| 24             | 24.000    | 36       | 15     | 24    | 48     | 26     | 10 1/2 | 12             | 27 1/2           | 1/2           | 24    |                |
| 30             | 30.000    | 45       | 18 1/2 | 30    | 60     | 45     | 10 1/2 | -              | -                | -             | 30    |                |
| 36             | 36.000    | 54       | 22 1/4 | 36    | -      | -      | 12     | -              | -                | -             | 36    |                |
| 42             | 42.000    | 63       | 26     | 42    | -      | -      | 12     | -              | -                | -             | 42    |                |
| 48             | 48.000    | 72       | 29 1/4 | 48    | -      | -      | 13 1/2 | -              | -                | -             | 48    |                |

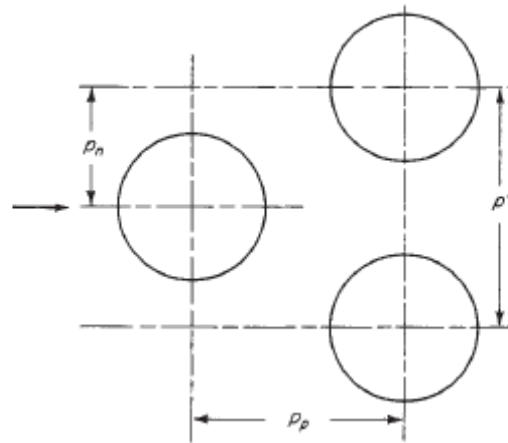
  

| STRAIGHT TEE   |        |       |       | REDUCING TEE |                |        |       | CONCENTRIC REDUCER |       |                |        | ECCENTRIC REDUCER |        |        |                |        |        |         |        |    |
|----------------|--------|-------|-------|--------------|----------------|--------|-------|--------------------|-------|----------------|--------|-------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|---------|--------|----|
| Nom. Pipe Size | Outlet | C     | M     | H            | Nom. Pipe Size | Outlet | C     | M                  | H     | Nom. Pipe Size | Outlet | C                 | M      | H      | Nom. Pipe Size | Outlet | C      | M       | H      |    |
| 3/4            | 3/4    | 1 1/4 | 1 1/4 | 1 1/4        | 3 1/2          | 3 1/2  | 3 3/4 | 3 3/4              | 4     | 10             | 10     | 8 1/2             | 8      | 7      | 20             | 20     | 15     | 14 1/2  | 14     | 20 |
| 1              | 1      | 1 1/2 | 1 1/2 | 2            |                | 2 1/2  | 3 3/4 | 3 3/4              | 4     |                | 4      | 8                 | 8 1/2  | 8      |                | 7      | 7      | 16 & 14 | 15     | 14 |
| 1 1/4          | 1 1/4  | 1 3/4 | 1 3/4 | 2            | 4              | 4      | 4 1/4 | 4 1/4              | 4     | 12             | 12     | 10                | 9 1/2  | 8      | 24             | 24     | 17     | 16 1/2  | 16     | 20 |
|                | 1      | 1 1/2 | 1 1/2 | 2            |                | 3 1/2  | 4 1/4 | 4 1/4              | 4     |                | 4      | 10                | 10     | 9      |                | 8      | 8      | 16 & 14 | 17     | 16 |
| 1 1/2          | 1 1/2  | 2 1/4 | 2 1/4 | 2 1/2        | 5              | 2      | 4 1/4 | 4 1/4              | 4     | 14             | 6      | 10                | 8 1/2  | 8      | 30             | 12     | 17     | 15 1/2  | 15 1/2 | 20 |
|                | 1 1/4  | 1 3/4 | 1 3/4 | 2            |                | 4      | 4 1/4 | 4 1/4              | 4     |                | 4      | 12                | 11     | 10 1/2 |                | 13     | 13     | 30      | 24     | 22 |
| 2              | 2      | 2 1/2 | 2 1/2 | 3            | 6              | 3      | 4 1/4 | 4 1/4              | 5     | 18             | 14     | 11                | 10 1/2 | 13     | 36             | 18     | 22     | 19 1/2  | 19 1/2 | 24 |
|                | 1 1/2  | 2 1/4 | 2 1/4 | 3            |                | 2 1/2  | 4 1/4 | 4 1/4              | 5     |                | 5      | 10                | 11     | 10 1/2 |                | 13     | 13     | 16 & 14 | 22     | 19 |
| 2 1/2          | 2 1/2  | 3     | 2 3/4 | 3 1/2        | 8              | 5      | 5 1/4 | 5 1/4              | 5 1/2 | 18             | 16     | 12                | 11 1/2 | 14     | 42             | 36     | 26 1/2 | 25      | 24     | 24 |
|                | 2      | 2 3/4 | 2 3/4 | 3 1/2        |                | 4      | 5 1/4 | 5 1/4              | 5 1/2 |                | 5 1/2  | 12                | 12     | 11 1/2 |                | 14     | 14     | 30      | 26 1/2 | 24 |
| 3              | 3      | 3 3/4 | 3 3/4 | 4            | 8              | 3 1/2  | 5 1/4 | 5 1/4              | 5 1/2 | 18             | 10     | 12                | 10 1/2 | 14     | 48             | 18     | 26 1/2 | 22 1/2  | 22 1/2 | 24 |
|                | 2 1/2  | 3 1/4 | 3 1/4 | 4            |                | 2 1/2  | 5 1/4 | 5 1/4              | 5 1/2 |                | 5 1/2  | 12                | 12     | 10 1/2 |                | 14     | 14     | 36 & 30 | 30     | 28 |

\* See M dimensions for branch height of 42" or 48" full branch tee. All dimensions are in inches. See ANSI B16.9 for cap lengths when wall thicknesses are greater than x-stg.

Courtesy of Taylor Forge

**41. Valores de espaciamiento de tubos para configuraciones comunes de tubos.**



| Tube O.D.<br>$D_o$ , in. | Tube pitch<br>$p'$ , in. | Layout | $p_p$ , in. | $p_n$ , in. |
|--------------------------|--------------------------|--------|-------------|-------------|
| 0.625                    | 0.812                    |        | 0.704       | 0.406       |
| 0.750                    | 0.938                    |        | 0.814       | 0.469       |
| 0.750                    | 1                        |        | 1.000       | 1.000       |
| 0.750                    | 1                        |        | 0.707       | 0.707       |
| 0.750                    | 1                        |        | 0.866       | 0.500       |
| 1.000                    | 1.250                    |        | 1.250       | 1.250       |
| 1.000                    | 1.250                    |        | 0.884       | 0.884       |
| 1.000                    | 1.250                    |        | 1.082       | 0.625       |



## 42. Correlaciones de transferencia de calor

| Correlación  |         | Geometría                                | Condiciones  |
|--|---------|--|--|
| $\delta = 5x Re_x^{-1/2}$ (7.19)   |         | Placa plana                              | Laminar, $T_f$   |
| $C_{f,x} = 0.664 Re_x^{-1/2}$ (7.20)   |         | Placa plana                              | Laminar, local, $T_f$  |
| $Nu_x = 0.332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$ (7.23)  |         | Placa plana                              | Laminar, local, $T_f$ , $0.6 \leq Pr \leq 50$  |
| $\delta_i = \delta Pr^{-1/3}$ (7.24)   |         | Placa plana                              | Laminar, $T_f$   |
| $\bar{C}_{f,x} = 1.328 Re_x^{-1/2}$ (7.30)   |         | Placa plana                              | Laminar, promedio, $T_f$   |
| $Nu_x = 0.664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$ (7.31)  |         | Placa plana                              | Laminar, promedio, $T_f$ , $0.6 \leq Pr \leq 50$   |
| $Nu_x = 0.565 Pe_x^{1/2}$ (7.33)   |         | Placa plana                              | Laminar, local, $T_f$ , $Pr \leq 0.05$   |
| $C_{f,x} = 0.0592 Re_x^{-1/5}$ (7.35)  |         | Placa plana                              | Turbulento, local, $T_f$ , $Re_x \leq 10^8$  |
| $\delta = 0.37x Re_x^{-1/5}$ (7.36)  |         | Placa plana                              | Turbulento, local, $T_f$ , $Re_x \leq 10^8$  |
| $Nu_x = 0.0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3}$ (7.37)   |         | Placa plana                              | Turbulento, local, $T_f$ , $Re_x \leq 10^8$ , $0.6 \leq Pr \leq 60$                              |
| $Nu_L = (0.037 Re_L^{4/5} - 871) Pr^{1/3}$ (7.41)  |         | Placa plana                              | Mezclado, promedio, $T_f$ , $Re_{x,c} = 5 \times 10^5$ , $Re_L \leq 10^8$ , $0.6 < Pr < 60$      |
| $\bar{C}_{f,L} = 0.074 Re_L^{-1/5} - 1742 Re_L^{-1}$ (7.43)  |         | Placa plana                              | Mezclado, promedio, $T_f$ , $Re_{x,c} = 5 \times 10^5$ , $Re_L \leq 10^8$                        |
| $Nu_D = C Re_D^m Pr^{1/3}$ (Tabla 7.2)   | (7.55b) | Cilindro                                 | Promedio, $T_f$ , $0.4 < Re_D < 4 \times 10^4$ , $Pr \geq 0.7$                                   |
| $Nu_D = C Re_D^m Pr^n (Pr/Pr_s)^{1/4}$ (Tabla 7.4)   | (7.56)  | Cilindro                                 | Promedio, $T_w$ , $1 < Re_D < 10^6$ , $0.7 < Pr < 500$   |
| $Nu_D = 0.3 + [0.62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3} \times [1 + (0.4/Pr)^{1/4}] \times [1 + (Re_D/282,000)^{5/8}]^{1/4}]$ (7.57) |         | Cilindro                                 | Promedio, $T_w$ , $Re_D Pr > 0.2$  |
| $Nu_D = 2 + (0.4 Re_D^{1/2} + 0.06 Re_D^{2/3}) Pr^{1/4} \times (\mu/\mu_s)^{1/4}$ (7.59)                             |         | Esfera                                   | Promedio, $T_w$ , $3.5 < Re_D < 7.6 \times 10^4$ , $0.71 < Pr < 380$ , $1.0 < (\mu/\mu_s) < 3.2$ |
| $Nu_D = 2 + 0.6 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}$ (7.60)  |         | Gota que cae                             | Promedio, $T_w$  |
| $Nu_D = 1.13 C_1 Re_{D,m}^{0.6} Pr^{1/3}$ (Tablas 7.5, 7.6)  | (7.63)  | Banco de tubos <sup>c</sup>              | Promedio, $T_f$ , $2000 < Re_{D,m} < 4 \times 10^4$ , $Pr \geq 0.7$                              |
| $Nu_D = C Re_{D,m}^{0.6} Pr^{1/3} (Pr/Pr_s)^{1/4}$ (Tablas 7.7, 7.8)   | (7.67)  | Banco de tubos <sup>c</sup>              | Promedio, $T_f$ , $1000 < Re_D < 2 \times 10^6$ , $0.7 < Pr < 500$                               |
| Boquilla redonda única (7.79)  |         | Chorro de choque                         | Promedio, $T_f$ , $2000 < Re < 4 \times 10^5$ , $2 < (H/D) < 12$ , $2.5 < (r/D) < 7.5$           |
| Boquilla de ranura única (7.82)  |         | Chorro de choque                         | Promedio, $T_f$ , $3000 < Re < 9 \times 10^4$ , $2 < (H/W) < 10$ , $4 < (x/W) < 20$              |
| Arreglo de boquillas redondas (7.84)   |         | Chorro de choque                         | Promedio, $T_f$ , $2000 < Re < 10^5$ , $2 < (H/D) < 12$ , $0.004 < A_r < 0.04$                   |
| Arreglo de boquillas de ranura (7.87)  |         | Chorro de choque                         | Promedio, $T_f$ , $1500 < Re < 4 \times 10^4$ , $2 < (H/W) < 80$ , $0.008 < A_r < 2.5 A_{r,o}$   |
| $\bar{e}_H = \bar{e}_e = 2.06 Re_D^{-0.575}$ (7.91)  |         | Lecho compactado de esferas <sup>c</sup> | Promedio, $T_f$ , $90 \leq Re_D \leq 4000$ , $Pr \approx 0.7$                                    |








<sup>a</sup>Las correlaciones de esta tabla pertenecen a superficies isotérmicas; para casos especiales que implican una longitud de inicio no calentada o un flujo de calor superficial uniforme véase la sección 7.2.4.  
<sup>b</sup>Cuando se aplica la analogía de transferencia de calor y masa, las correlaciones correspondientes de transferencia de masa se obtienen reemplazando  $Nu$  y  $Pr$  por  $Sh$  y  $Sc$ , respectivamente.  
<sup>c</sup>Para bancos de tubos y lechos compactados, las propiedades se evalúan a la temperatura promedio del fluido,  $\bar{T} = (T_f + T_w)/2$  o la temperatura promedio de la capa.

**43. Constantes la ecuación 7.67 para el banco de tubos en flujo cruzado.**

| Tipo de impulsor   | $K_L$ | $K_T$ |
|--|-------|-------|
| Impulsor hélice, tres palas  |       |       |
| Paso 1.0 <sup>43</sup>   | 41    | 0.32  |
| Paso 1.5 <sup>37</sup>   | 48    | 0.87  |
| Turbina  |       |       |
| Disco de seis palas <sup>37</sup> ( $S_3 = 0.25$ , $S_4 = 0.2$ )   | 65    | 5.75  |
| Seis palas inclinadas <sup>42</sup> ( $45^\circ$ , $S_4 = 0.2$ )   | —     | 1.63  |
| Cuatro palas inclinadas <sup>37</sup> ( $45^\circ$ , $S_4 = 0.2$ ) | 44.5  | 1.27  |
| Paleta plana, dos palas <sup>43</sup> ( $S_4 = 0.2$ )              | 36.5  | 1.70  |
| Impulsor HE-3  | 43    | 0.28  |
| Cinta helicoidal   | 52    | —     |
| Ancla <sup>37</sup>  | 300   | 0.35  |

#### 44. Eficiencia de Soldadura

LONGITUDINAL WELD JOINT EFFICIENCY FACTORS

| No. | Type of Joint  | Type of Seam                             | Examination   | Factor <i>E</i>            |
|-----|--|--|---|----------------------------|
| 1   | Furnace butt weld, continuous weld<br>  | Straight                                 | As required by listed specification                                   | 0.60<br>[Note (1)]         |
| 2   | Electric resistance weld<br>  | Straight or spiral                       | As required by listed specification                                   | 0.85<br>[Note (1)]         |
| 3   | Electric fusion weld   |  |   |                            |
|     | (a) Single butt weld (without filler metal)<br>   | Straight or spiral                       | As required by listed specification<br>Additionally 100% radiographed | 0.85<br>1.00<br>[Note (2)] |
|     | (b) Single butt weld (with filler metal)<br>  | Straight or spiral                       | As required by listed specification<br>Additionally 100% radiographed | 0.80<br>1.00<br>[Note (2)] |
|     | (c) Double butt weld (without filler metal)<br>  | Straight or spiral                       | As required by listed specification<br>Additionally 100% radiographed | 0.90<br>1.00<br>[Note (2)] |
|     | (d) Double butt weld (with filler metal)<br>  | Straight or spiral                       | As required by listed specification<br>Additionally 100% radiographed | 0.90<br>1.00<br>[Note (2)] |
| 4   | API 5L<br>Submerged arc weld (SAW)<br>Gas metal arc weld (GMAW)<br>Combined GMAW, SAW<br> | Straight with one or two seams<br>Spiral | As required by specification<br>Additionally 100% radiographed        | 0.90<br>1.00<br>[Note (2)] |

NOTES:

- (1) It is not permitted to increase the longitudinal weld joint efficiency factor by additional examination for joint 1 or 2.  
 (2) Radiography shall be in accordance with the requirements of para. 136.4.5 or the material specification as applicable.

#### 44.1 Valores del coeficiente y.

| Temperature,<br>°F                               | 900<br>and<br>Below | 950 | 1000 | 1050 | 1100 | 1150 | 1200 | 1250<br>and<br>Above |
|--|---------------------|-----|------|------|------|------|------|----------------------|
| Temperature,<br>°C                               | 482<br>and<br>Below | 510 | 538  | 566  | 593  | 621  | 649  | 677<br>and<br>Above  |
| Ferritic steels                                  | 0.4                 | 0.5 | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7                  |
| Austenitic steels                                | 0.4                 | 0.4 | 0.4  | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 0.7  | 0.7                  |
| Nickel Alloys UNS Nos. N08800,<br>N08810, N08825 | 0.4                 | 0.4 | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.5  | 0.7                  |

### 45. Temperatura y presión nominales para bridas, accesorios con bridas y válvulas con bridas de materiales típicos. (SS 304, SS316)

**TABLE 10-45 Pressure-Temperature Ratings for Flanges, Flanged Fittings, and Flanged Valves of Typical Materials,<sup>4</sup> lbf/in<sup>2</sup>**

| Material group            | 1.1    | 1.5    | 1.9          | 1.10      | 1.13     | 2.1      | 2.2      | 2.3                    | 2.6      | 2.7      |
|---------------------------|--------|--------|--------------|-----------|----------|----------|----------|------------------------|----------|----------|
| Materials temperature, °F | Carbon |        | 1, 1¼Cr, ½Mo | 2¼Cr, 1Mo | 5Cr, ½Mo | Type 304 | Type 316 | Type 304L<br>Type 316L | Type 309 | Type 310 |
|                           | Normal | C, ½Mo |              |           |          |          |          |                        |          |          |
| 150-lb class              |        |        |              |           |          |          |          |                        |          |          |
| -20 to 100                | 285    | 265    | 290          |           |          | 275      | 275      | 230                    |          | 260      |
| 200                       | 260    |        | 260          |           |          | 235      | 240      | 195                    |          | 230      |
| 300                       | 230    |        | 230          |           |          | 205      | 215      | 175                    |          | 220      |
| 400                       |        |        | 200          |           |          | 180      | 195      | 160                    |          | 200      |
| 500                       |        |        | 170          |           |          |          | 170      | 145                    |          | 170      |
| 600                       |        |        | 140          |           |          |          | 140      | 140                    |          | 140      |
| 650                       |        |        | 125          |           |          |          | 125      | 125                    |          | 125      |
| 700                       |        |        | 110          |           |          |          | 110      | 110                    |          | 110      |
| 750                       |        |        | 95           |           |          |          | 95       | 95                     |          | 95       |
| 800                       |        |        | 80           |           |          |          | 80       | 80                     |          | 80       |
| 850                       |        |        | 65           |           |          |          | 65       | 65                     |          | 65       |
| 900                       |        |        | 50           |           |          |          | 50       |                        |          | 50       |
| 950                       |        |        | 35           |           |          |          | 35       |                        |          | 35       |
| 1000                      |        |        | 20           |           |          |          | 20       |                        |          | 20       |
| 900-lb class*             |        |        |              |           |          |          |          |                        |          |          |
| -20 to 100                | 2220   | 2065   | 2250         | 2250      | 2250     | 2160     | 2160     | 1800                   |          | 2015     |
| 200                       | 2025   | 2035   | 2135         | 2150      | 2250     | 1900     | 1860     | 1520                   |          | 1815     |
| 300                       | 1970   | 1955   | 2020         | 2030      | 2185     | 1585     | 1680     | 1360                   |          | 1705     |
| 400                       | 1900   | 1920   | 1975         | 1945      | 2115     | 1410     | 1540     | 1240                   |          | 1600     |
| 500                       | 1795   | 1865   | 1925         | 1920      | 1995     | 1310     | 1435     | 1145                   |          | 1510     |
| 600                       | 1640   |        | 1515         | 1920      | 1995     | 1245     | 1355     | 1060                   |          | 1435     |
| 650                       | 1610   |        | 1765         |           |          | 1225     | 1330     | 1050                   |          | 1385     |
| 700                       | 1600   |        | 1705         |           |          | 1210     | 1285     | 1030                   |          | 1370     |
| 750                       | 1510   |        | 1595         |           |          | 1195     | 1270     | 1010                   |          | 1340     |
| 800                       | 1235   |        | 1525         |           | 1490     | 1190     | 1245     | 965                    |          | 1305     |
| 850                       | 805    |        | 1460         |           | 1315     | 1165     | 1215     | 965                    |          | 1275     |
| 900                       | 515    |        | 1350         |           | 1060     | 1150     | 1180     |                        |          | 1245     |
| 950                       | 310    | 845    | 1130         |           | 790      | 1125     | 1160     |                        |          | 1160     |
| 1000                      | 155    | 495    | 670          | 605       | 575      | 965      | 1090     |                        | 1010     | 1050     |
| 1050                      |        |        | 410          | 595       | 420      | 925      | 1080     |                        | 875      | 1000     |
| 1100                      |        |        | 290          | 340       | 310      | 770      | 965      |                        | 670      | 875      |
| 1150                      |        |        | 155          | 310       | 205      | 595      | 825      |                        | 515      | 740      |
| 1200                      |        |        | 105          | 165       | 135      | 465      | 620      |                        | 390      | 620      |
| 1250                      |        |        |              |           |          | 330      | 545      |                        | 300      | 465      |
| 1300                      |        |        |              |           |          | 245      | 410      |                        | 235      | 360      |
| 1350                      |        |        |              |           |          | 195      | 310      |                        | 175      | 235      |
| 1400                      |        |        |              |           |          | 145      | 225      |                        | 135      | 165      |
| 1450                      |        |        |              |           |          | 105      | 175      |                        | 95       | 115      |
| 1500                      |        |        |              |           |          | 70       | 125      |                        | 70       | 70       |

### 46. Temperatura y presión nominales para bridas, accesorios con bridas y válvulas con bridas del INCONEL 625 (NO6625)

**TABLE 2-3.8 RATINGS FOR GROUP 3.8 MATERIALS**

| Nominal Designation   | Forgings                   | Castings | Plates                  |
|-----------------------|----------------------------|----------|-------------------------|
| 54Ni-16Mo-15Cr        | B 564 Gr. N10276 (1)(4)    |          | B 575 Gr. N10276 (1)(4) |
| 60Ni-22Cr-9Mo-3.5Cb   | B 564 Gr. N06625 (3)(5)    |          | B 443 Gr. N06625 (3)(5) |
| 62Ni-28Mo-5Fe         | B 335 Gr. N10001 (1)(2)(6) |          | B 333 Gr. N10001 (1)(6) |
| 70Ni-16Mo-7Cr-5Fe     | B 573 Gr. N10003 (2)(3)    |          | B 434 Gr. N10003 (3)    |
| 61Ni-16Mo-16Cr        | B 574 Gr. N06455 (1)(2)(6) |          | B 575 Gr. N06455 (1)(6) |
| 42Ni-21.5Fe-3Cr-2.3Cu | B 564 Gr. N08825 (3)(7)    |          | B 424 Gr. N08825 (3)(7) |

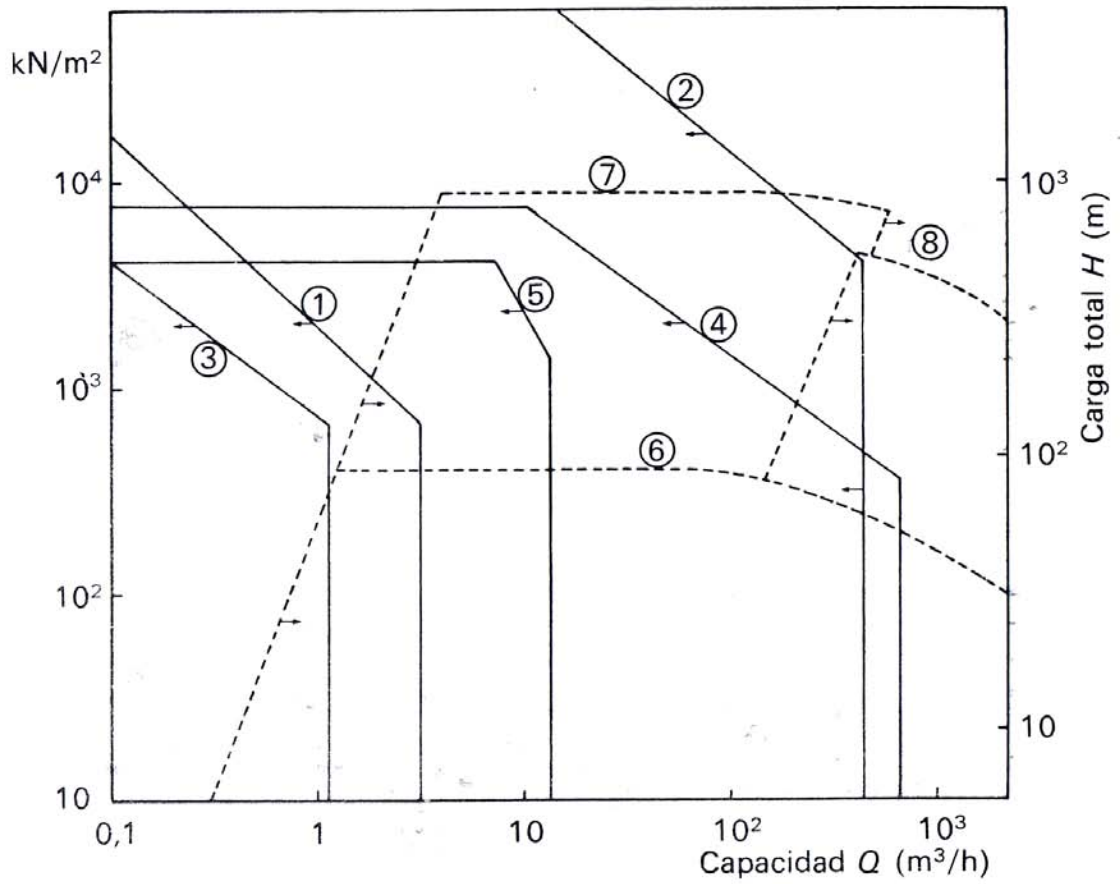
**NOTES:**

- (1) Use solution annealed material only.
- (2) The chemical composition, mechanical properties, heat treating requirements, and grain size requirements shall conform to the applicable ASTM specification. The manufacturing procedures, tolerances, tests, certification, and markings shall be in accordance with ASTM B 564.
- (3) Use annealed material only.
- (4) Not to be used over 1250°F.
- (5) Not to be used over 1200°F. Alloy N06625 in the annealed condition is subject to severe loss of impact strength at room temperatures after exposure in the range of 1000°F to 1400°F.
- (6) Not to be used over 800°F.
- (7) Not to be used over 1000°F.

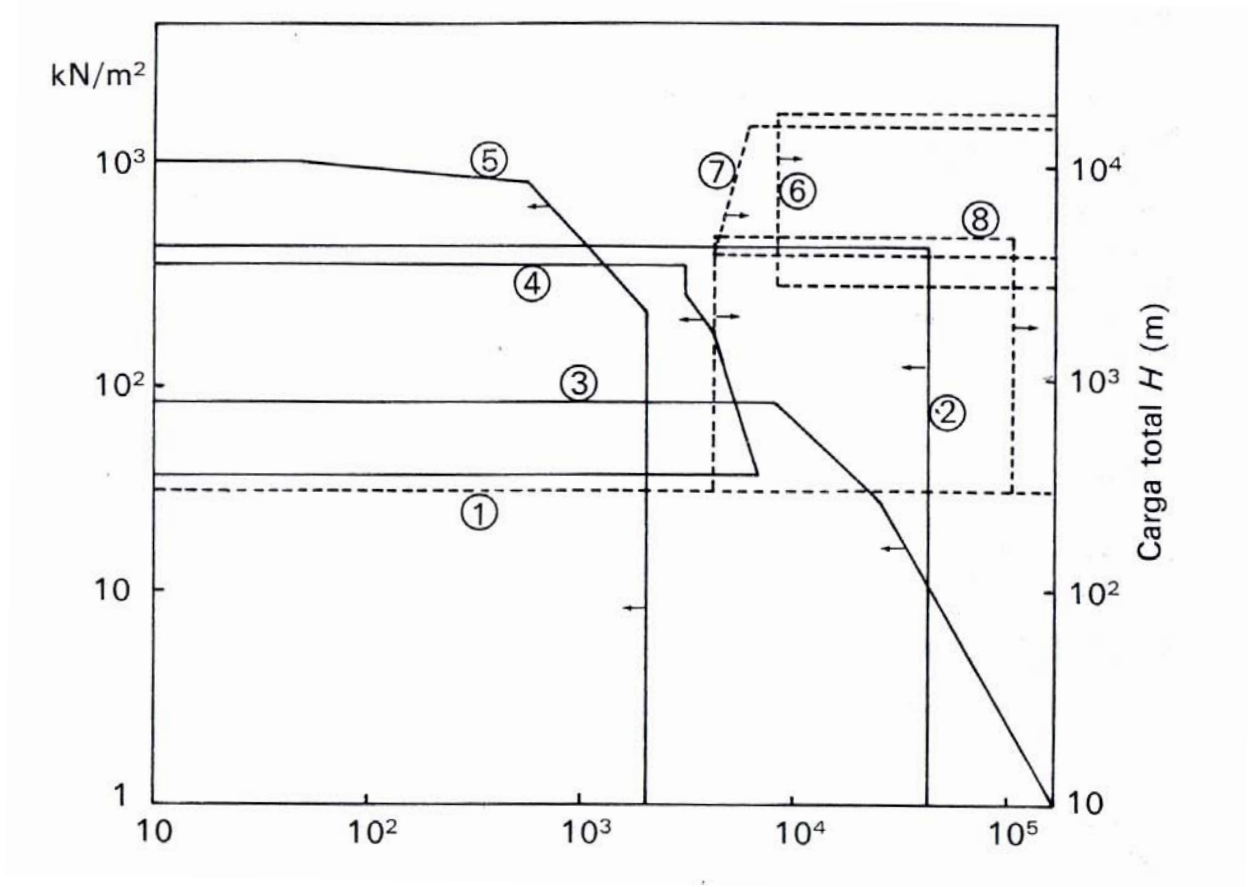
**WORKING PRESSURES BY CLASSES, psig**

| Class Temp., °F | 150 | 300 | 400  | 600  | 900  | 1500 | 2500 |
|-----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| -20 to 100      | 290 | 750 | 1000 | 1500 | 2250 | 3750 | 6250 |
| 200             | 260 | 750 | 1000 | 1500 | 2250 | 3750 | 6250 |
| 300             | 230 | 730 | 970  | 1455 | 2185 | 3640 | 6070 |
| 400             | 200 | 705 | 940  | 1410 | 2115 | 3530 | 5880 |
| 500             | 170 | 665 | 885  | 1330 | 1995 | 3325 | 5540 |
| 600             | 140 | 605 | 805  | 1210 | 1815 | 3025 | 5040 |
| 650             | 125 | 590 | 785  | 1175 | 1765 | 2940 | 4905 |
| 700             | 110 | 570 | 755  | 1135 | 1705 | 2840 | 4730 |
| 750             | 95  | 530 | 710  | 1065 | 1595 | 2660 | 4430 |
| 800             | 80  | 510 | 675  | 1015 | 1525 | 2540 | 4230 |
| 850             | 65  | 485 | 650  | 975  | 1460 | 2435 | 4060 |
| 900             | 50  | 450 | 600  | 900  | 1350 | 2245 | 3745 |
| 950             | 35  | 385 | 515  | 775  | 1160 | 1930 | 3220 |
| 1000            | 20  | 365 | 485  | 725  | 1090 | 1820 | 3030 |
| 1050            | ... | 360 | 480  | 720  | 1080 | 1800 | 3000 |
| 1100            | ... | 325 | 430  | 645  | 965  | 1610 | 2685 |
| 1150            | ... | 275 | 365  | 550  | 825  | 1370 | 2285 |
| 1200            | ... | 185 | 245  | 370  | 555  | 925  | 1545 |
| 1250            | ... | 145 | 195  | 295  | 440  | 735  | 1220 |
| 1300            | ... | 110 | 145  | 215  | 325  | 540  | 900  |

**47. Gráfica comparativa de los diversos tipos de bombas.**



**48. Gráfica comparativa de los diversos tipos de ventiladores, soplantes y compresores**





## 49. Resistencias de juntas soldadas.

**TABLE 10-47 Strength of Solder Joints\***

Maximum recommended pressure-temperature ratings for solder joints made with copper tubing and wrought-copper and -bronze or cast-bronze solder-joint pressure fittings and using representative commercial solders

| Joining material used in joints | Working temperatures, °F | Maximum working pressure, lbf/in <sup>2</sup> |                         |                           |                       |
|---------------------------------|--------------------------|---|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
|                                 |                          | 1/8 to 1 in, inclusive†                       | 1/4 to 2 in, inclusive† | 2 1/2 to 4 in, inclusive† | 5 to 8 in, inclusive† |
| 50-50 tin-lead solder‡          | 100                      | 200   | 175                     | 150                       | 135                   |
|                                 | 150                      | 150   | 125                     | 100                       | 90                    |
|                                 | 200                      | 100   | 90                      | 75                        | 70                    |
|                                 | 250                      | 85  | 75                      | 50                        | 45                    |
| 95-5 tin-antimony solder        | 100                      | 500   | 400                     | 300                       | 270                   |
|                                 | 150                      | 400   | 350                     | 275                       | 250                   |
|                                 | 200                      | 300   | 250                     | 200                       | 180                   |
|                                 | 250                      | 200   | 175                     | 150                       | 135                   |

NOTE: For extremely low working temperatures (in the 0 to -200°F range) it is recommended that a joining material melting at or above 1100°F be used. (Joining materials with melting points in excess of 800°F are defined as "brazing" alloys by the American Welding Society.) See Table 10-48.

\*Extracted from ANSI B16.22—1973 with permission of the publisher, the American Society of Mechanical Engineers, New York. (°F - 32) 5/9 = °C; to convert inches to millimeters, multiply by 25.4; to convert pounds-force per square inch to megapascals, multiply by 0.006895.

†Standard water-tubing sizes.

‡ASTM B32.66T Alloy Grade 50A.

**TABLE 10-48 Strength of Silver-Brazed Joints\***

Maximum recommended pressure-temperature ratings for brazed joints made with copper tubing and copper or copper-alloy fittings and using representative commercial brazing alloys

| Outside-diameter size, in | lbf/in <sup>2</sup>                   |                                       |                                       |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|                           | 150°F (S = 5100 lbf/in <sup>2</sup> ) | 250°F (S = 4700 lbf/in <sup>2</sup> ) | 350°F (S = 4000 lbf/in <sup>2</sup> ) | 400°F (S = 3000 lbf/in <sup>2</sup> ) |
| 1/8                       | 1790                                  | 1650                                  | 1400                                  | 1050                                  |
| 3/16                      | 1190                                  | 1100                                  | 940                                   | 700                                   |
| 1/4                       | 890                                   | 825                                   | 700                                   | 525                                   |
| 5/16                      | 840                                   | 780                                   | 660                                   | 500                                   |
| 3/8                       | 780                                   | 720                                   | 615                                   | 460                                   |
| 1/2                       | 680                                   | 625                                   | 530                                   | 400                                   |
| 5/8                       | 615                                   | 565                                   | 480                                   | 360                                   |
| 3/4                       | 535                                   | 495                                   | 420                                   | 315                                   |
| 7/8                       | 490                                   | 450                                   | 385                                   | 290                                   |
| 1 1/8                     | 420                                   | 390                                   | 330                                   | 250                                   |
| 1 3/8                     | 380                                   | 350                                   | 295                                   | 220                                   |
| 1 5/8                     | 350                                   | 320                                   | 275                                   | 205                                   |
| 2 1/8                     | 310                                   | 285                                   | 245                                   | 180                                   |
| 2 3/8                     | 286                                   | 265                                   | 225                                   | 170                                   |
| 3 1/8                     | 270                                   | 250                                   | 190                                   | 140                                   |
| 3 3/8                     | 260                                   | 240                                   | 200                                   | 150                                   |
| 4 1/8                     | 250                                   | 230                                   | 195                                   | 145                                   |
| 5 1/8                     | 225                                   | 210                                   | 180                                   | 135                                   |
| 6 1/8                     | 215                                   | 195                                   | 165                                   | 125                                   |

\*Extracted from ANSI B16.41—January 1977 draft, with permission of the publisher, the American Society of Mechanical Engineers, New York. (°F - 32) 5/9 = °C; to convert inches to millimeters, multiply by 25.4; to convert pounds-force per square inch to megapascals, multiply by 0.006895.

## 50. Dimensiones de las bridas

**TABLE 10-19 Dimensions of Class 150-lb Flanges for Use with Steel Pipe\***  
All dimensions in inches

| Nominal pipe size | Outside diameter of flange | Thickness of flange, minimum | Diameter of bolt circle | Diameter of bolts | No. of bolts | Length through hub              |           |              | ANSI B16.1, screwed (125-lb) |
|-------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------|---------------------------------|-----------|--------------|------------------------------|
|                   |                            |                              |                         |                   |              | Threaded slip-on socket welding | Lap joint | Welding neck |                              |
| ½                 | 3.50                       | 0.44                         | 2.38                    | ½                 | 4            | 0.62                            | 0.62      | 1.88         |                              |
| ¾                 | 3.88                       | 0.50                         | 2.75                    | ½                 | 4            | 0.62                            | 0.62      | 2.06         |                              |
| 1                 | 4.25                       | 0.56                         | 3.12                    | ½                 | 4            | 0.69                            | 0.69      | 2.19         | 0.69                         |
| 1¼                | 4.62                       | 0.62                         | 3.50                    | ½                 | 4            | 0.81                            | 0.81      | 2.25         | 0.81                         |
| 1½                | 5.00                       | 0.69                         | 3.88                    | ½                 | 4            | 0.88                            | 0.88      | 2.44         | 0.88                         |
| 2                 | 6.00                       | 0.75                         | 4.75                    | ¾                 | 4            | 1.00                            | 1.00      | 2.50         | 1.00                         |
| 2½                | 7.00                       | 0.88                         | 5.50                    | ¾                 | 4            | 1.12                            | 1.12      | 2.75         | 1.12                         |
| 3                 | 7.50                       | 0.94                         | 6.00                    | ¾                 | 4            | 1.19                            | 1.19      | 2.75         | 1.19                         |
| 3½                | 8.50                       | 0.94                         | 7.00                    | ¾                 | 8            | 1.25                            | 1.25      | 2.81         | 1.25                         |
| 4                 | 9.00                       | 0.94                         | 7.50                    | ¾                 | 8            | 1.31                            | 1.31      | 3.00         | 1.31                         |
| 5                 | 10.00                      | 0.94                         | 8.50                    | ¾                 | 8            | 1.44                            | 1.44      | 3.50         | 1.44                         |
| 6                 | 11.00                      | 1.00                         | 9.50                    | ¾                 | 8            | 1.56                            | 1.56      | 3.50         | 1.56                         |
| 8                 | 13.50                      | 1.12                         | 11.75                   | ¾                 | 8            | 1.75                            | 1.75      | 4.00         | 1.75                         |
| 10                | 16.00                      | 1.19                         | 14.25                   | ¾                 | 12           | 1.94                            | 1.94      | 4.00         | 1.94                         |
| 12                | 19.00                      | 1.25                         | 17.00                   | ¾                 | 12           | 2.19                            | 2.19      | 4.50         | 2.19                         |
| 14                | 21.00                      | 1.38                         | 18.75                   | 1                 | 12           | 2.25                            | 3.12      | 5.00         | 2.25                         |
| 16                | 23.50                      | 1.44                         | 21.25                   | 1                 | 16           | 2.50                            | 3.44      | 5.00         | 2.50                         |
| 18                | 25.00                      | 1.56                         | 22.75                   | 1¼                | 16           | 2.69                            | 3.81      | 5.50         | 2.69                         |
| 20                | 27.50                      | 1.69                         | 25.00                   | 1¼                | 20           | 2.88                            | 4.06      | 5.69         | 2.88                         |
| 24                | 32.00                      | 1.88                         | 29.50                   | 1¼                | 20           | 3.25                            | 4.38      | 6.00         | 3.25                         |

\*Dimensions from ANSI B16.5—1977, unless otherwise noted. To convert inches to millimeters, multiply by 25.4.

**TABLE 10-23 Dimensions of Class 900 Steel Flanges\***  
All dimensions in inches

| Nominal pipe size | Outside diameter of flange | Thickness of flange, minimum | Diameter of bolt circle | Diameter of bolts | No. of bolts | Length through hub              |           |              |
|-------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------|---------------------------------|-----------|--------------|
|                   |                            |                              |                         |                   |              | Threaded slip-on socket welding | Lap joint | Welding neck |
| ½                 |                            |                              |                         |                   |              |                                 |           |              |
| ¾                 |                            |                              |                         |                   |              |                                 |           |              |
| 1                 |                            |                              |                         |                   |              |                                 |           |              |
| 1¼                |                            |                              |                         |                   |              |                                 |           |              |
| 1½                |                            |                              |                         |                   |              |                                 |           |              |
| 2                 |                            |                              |                         |                   |              |                                 |           |              |
| 2½                |                            |                              |                         |                   |              |                                 |           |              |
| 3                 | 9.50                       | 1.50                         | 7.50                    | ¾                 | 8            | 2.12                            | 2.12      | 4.00         |
| 4                 | 11.50                      | 1.75                         | 9.25                    | 1¼                | 8            | 2.75                            | 2.75      | 4.50         |
| 5                 | 13.75                      | 2.00                         | 11.00                   | 1¼                | 8            | 3.12                            | 3.12      | 5.00         |
| 6                 | 15.00                      | 2.19                         | 12.50                   | 1¼                | 12           | 3.38                            | 3.38      | 5.50         |
| 8                 | 18.50                      | 2.50                         | 15.50                   | 1¾                | 12           | 4.00                            | 4.50      | 6.38         |
| 10                | 21.50                      | 2.75                         | 18.50                   | 1¾                | 16           | 4.25                            | 5.00      | 7.25         |
| 12                | 24.00                      | 3.12                         | 21.00                   | 1¾                | 20           | 4.62                            | 5.62      | 7.88         |
| 14                | 25.25                      | 3.38                         | 22.00                   | 1½                | 20           | 5.12                            | 6.12      | 8.38         |
| 16                | 27.75                      | 3.50                         | 24.25                   | 1¾                | 20           | 5.25                            | 6.50      | 8.50         |
| 18                | 31.00                      | 4.00                         | 27.00                   | 1¾                | 20           | 6.00                            | 7.50      | 9.00         |
| 20                | 33.75                      | 4.25                         | 29.50                   | 2                 | 20           | 6.25                            | 8.25      | 9.75         |
| 24                | 41.00                      | 5.50                         | 35.50                   | 2½                | 20           | 8.00                            | 10.50     | 11.50        |

\*Dimensions from ANSI B16.5—1977. To convert inches to millimeters, multiply by 25.4.

**TABLE 10-24 Dimensions of Class 1500 Steel Flanges\***

All dimensions in inches

| Nominal pipe size | Outside diameter of flange | Thickness of flange, minimum | Diameter of bolt circle | Diameter of bolts | No. of bolts | Length through hub              |           |              |
|-------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------|---------------------------------|-----------|--------------|
|                   |                            |                              |                         |                   |              | Threaded slip-on socket welding | Lap joint | Welding neck |
| 1/2               | 4.75                       | 0.88                         | 3.25                    | 3/4               | 4            | 1.25                            | 1.25      | 2.38         |
| 3/4               | 5.12                       | 1.00                         | 3.50                    | 3/4               | 4            | 1.38                            | 1.38      | 2.75         |
| 1                 | 5.88                       | 1.12                         | 4.00                    | 7/8               | 4            | 1.62                            | 1.62      | 2.88         |
| 1 1/4             | 6.25                       | 1.12                         | 4.38                    | 7/8               | 4            | 1.62                            | 1.62      | 2.88         |
| 1 1/2             | 7.00                       | 1.25                         | 4.88                    | 1                 | 4            | 1.75                            | 1.75      | 3.25         |
| 2                 | 8.50                       | 1.50                         | 6.50                    | 7/8               | 8            | 2.25                            | 2.25      | 4.00         |
| 2 1/2             | 9.62                       | 1.62                         | 7.50                    | 1                 | 8            | 2.50                            | 2.50      | 4.12         |
| 3                 | 10.50                      | 1.88                         | 8.00                    | 1 1/8             | 8            | 2.88                            | 2.88      | 4.62         |
| 4                 | 12.25                      | 2.12                         | 9.50                    | 1 1/4             | 8            | 3.56                            | 3.56      | 4.88         |
| 5                 | 14.75                      | 2.88                         | 11.50                   | 1 1/2             | 8            | 4.12                            | 4.12      | 6.12         |
| 6                 | 15.50                      | 3.25                         | 12.50                   | 1 3/8             | 12           | 4.69                            | 4.69      | 6.75         |
| 8                 | 19.00                      | 3.62                         | 15.50                   | 1 3/8             | 12           | 5.62                            | 5.62      | 8.38         |
| 10                | 23.00                      | 4.25                         | 19.00                   | 1 7/8             | 12           | 6.25                            | 7.00      | 10.00        |
| 12                | 26.50                      | 4.88                         | 22.50                   | 2                 | 16           | 7.12                            | 8.62      | 11.12        |
| 14                | 29.50                      | 5.25                         | 25.00                   | 2 1/4             | 16           |                                 | 9.50      | 11.75        |
| 16                | 32.50                      | 5.75                         | 27.75                   | 2 1/2             | 16           |                                 | 10.25     | 12.25        |
| 18                | 36.00                      | 6.38                         | 30.50                   | 2 3/4             | 16           |                                 | 10.88     | 12.88        |
| 20                | 38.75                      | 7.00                         | 32.75                   | 3                 | 16           |                                 | 11.50     | 14.00        |
| 24                | 46.00                      | 8.00                         | 39.00                   | 3 1/2             | 16           |                                 | 13.00     | 16.00        |

\*Dimensions from ANSI B15.5—1977. To convert inches to millimeters, multiply by 25.4.

**TABLE 10-25 Dimensions of Class 2500 Steel Flanges\***

All dimensions in inches

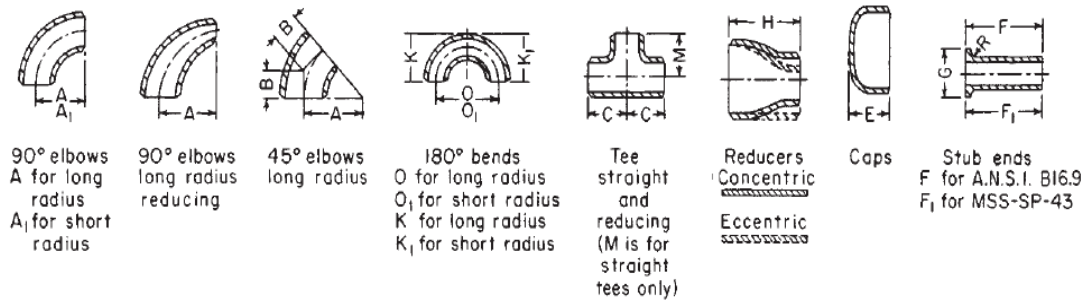
| Nominal pipe size | Outside diameter of flange | Thickness of flange, minimum | Diameter of bolt circle | Diameter of bolts | No. of bolts | Length through hub |           |              |
|-------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------|--------------------|-----------|--------------|
|                   |                            |                              |                         |                   |              | Threaded           | Lap joint | Welding neck |
| 1/2               | 5.25                       | 1.19                         | 3.50                    | 3/4               | 4            | 1.56               | 1.56      | 2.88         |
| 3/4               | 5.50                       | 1.25                         | 3.75                    | 3/4               | 4            | 1.69               | 1.69      | 3.12         |
| 1                 | 6.25                       | 1.38                         | 4.25                    | 7/8               | 4            | 1.88               | 1.88      | 3.50         |
| 1 1/4             | 7.25                       | 1.50                         | 5.12                    | 1                 | 4            | 2.06               | 2.06      | 3.75         |
| 1 1/2             | 8.00                       | 1.75                         | 5.75                    | 1 1/8             | 4            | 2.38               | 2.38      | 4.38         |
| 2                 | 9.25                       | 2.00                         | 6.75                    | 1                 | 8            | 2.75               | 2.75      | 5.00         |
| 2 1/2             | 10.50                      | 2.25                         | 7.75                    | 1 1/8             | 8            | 3.12               | 3.12      | 5.62         |
| 3                 | 12.00                      | 2.62                         | 9.00                    | 1 1/4             | 8            | 3.62               | 3.62      | 6.62         |
| 4                 | 14.00                      | 3.00                         | 10.75                   | 1 1/2             | 8            | 4.25               | 4.25      | 7.50         |
| 5                 | 16.50                      | 3.62                         | 12.75                   | 1 3/4             | 8            | 5.12               | 5.12      | 9.00         |
| 6                 | 19.00                      | 4.25                         | 14.50                   | 2                 | 8            | 6.00               | 6.00      | 10.75        |
| 8                 | 21.75                      | 5.00                         | 17.25                   | 2                 | 12           | 7.00               | 7.00      | 12.50        |
| 10                | 26.50                      | 6.50                         | 21.25                   | 2 1/2             | 12           | 9.00               | 9.00      | 16.50        |
| 12                | 30.00                      | 7.25                         | 24.38                   | 2 3/4             | 12           | 10.00              | 10.00     | 18.25        |

\*Dimensions from ANSI B16.5—1977. To convert inches to millimeters, multiply by 25.4.

## 51. Dimensiones de los accesorios unidos por soldadura

TABLE 10-27 Butt-Welding Fittings\*

All dimensions in inches



| Pipe size | A     | K     | A <sub>1</sub> | K <sub>1</sub> | B     | O     | O <sub>1</sub> | M, C  | H     | E†    | G     | F     | F <sub>1</sub> | R‡   |
|-----------|-------|-------|----------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|------|
| ½         | 1.50  | 1.88  |                |                | 0.62  | 3.00  |                | 1.00  |       | 1.00  | 1.38  | 3.00  | 2.00           | 0.12 |
| ¾ (1)     | 1.12  | 1.69  |                |                | 0.44  | 2.25  |                | 1.12  | 1.50  | 1.00  | 1.69  | 3.00  | 2.00           | 0.12 |
| 1         | 1.50  | 2.19  | 1.00           | 1.62           | 0.88  | 3.00  | 2.00           | 1.50  | 2.00  | 1.50  | 2.00  | 4.00  | 2.00           | 0.12 |
| 1¼        | 1.88  | 2.75  | 1.25           | 2.06           | 1.00  | 3.75  | 2.50           | 1.88  | 2.00  | 1.50  | 2.50  | 4.00  | 2.00           | 0.19 |
| 1½        | 2.25  | 3.25  | 1.50           | 2.44           | 1.12  | 4.50  | 3.00           | 2.25  | 2.50  | 1.50  | 2.88  | 4.00  | 2.00           | 0.25 |
| 2         | 3.00  | 4.19  | 2.00           | 3.19           | 1.38  | 6.00  | 4.00           | 2.50  | 3.00  | 1.50  | 3.62  | 6.00  | 2.50           | 0.31 |
| 2½        | 3.75  | 5.19  | 2.50           | 3.94           | 1.75  | 7.50  | 5.00           | 3.00  | 3.50  | 1.50  | 4.12  | 6.00  | 2.50           | 0.31 |
| 3         | 4.50  | 6.25  | 3.00           | 4.75           | 2.00  | 9.00  | 6.00           | 3.38  | 3.50  | 2.00  | 5.00  | 6.00  | 2.50           | 0.38 |
| 3½        | 5.25  | 7.25  | 3.50           | 5.50           | 2.25  | 10.50 | 7.00           | 3.75  | 4.00  | 2.50  | 5.50  | 6.00  | 3.00           | 0.38 |
| 4         | 6.00  | 8.25  | 4.00           | 6.25           | 2.50  | 12.00 | 8.00           | 4.12  | 4.00  | 2.50  | 6.19  | 6.00  | 3.00           | 0.44 |
| 5         | 7.50  | 10.31 | 5.00           | 7.75           | 3.12  | 15.00 | 10.00          | 4.88  | 5.00  | 3.00  | 7.31  | 8.00  | 3.00           | 0.44 |
| 6         | 9.00  | 12.31 | 6.00           | 9.31           | 3.75  | 18.00 | 12.00          | 5.62  | 5.50  | 3.50  | 8.50  | 8.00  | 3.50           | 0.50 |
| 8         | 12.00 | 16.31 | 8.00           | 12.31          | 5.00  | 24.00 | 16.00          | 7.00  | 6.00  | 4.00  | 10.62 | 8.00  | 4.00           | 0.50 |
| 10        | 15.00 | 20.38 | 10.00          | 15.38          | 6.25  | 30.00 | 20.00          | 8.50  | 7.00  | 5.00  | 12.75 | 10.00 | 5.00           | 0.50 |
| 12        | 18.00 | 24.38 | 12.00          | 18.38          | 7.50  | 36.00 | 24.00          | 10.00 | 8.00  | 6.00  | 15.00 | 10.00 | 6.00           | 0.50 |
| 14        | 21.00 | 28.00 | 14.00          | 21.00          | 8.75  | 42.00 | 28.00          | 11.00 | 13.00 | 6.50  | 16.25 | 12.00 | 6.00           | 0.50 |
| 16        | 24.00 | 32.00 | 16.00          | 24.00          | 10.00 | 48.00 | 32.00          | 12.00 | 14.00 | 7.00  | 18.50 | 12.00 | 6.00           | 0.50 |
| 18        | 27.00 | 36.00 | 18.00          | 27.00          | 11.25 | 54.00 | 36.00          | 13.50 | 15.00 | 8.00  | 21.00 | 12.00 | 6.00           | 0.50 |
| 20        | 30.00 | 40.00 | 20.00          | 30.00          | 12.50 | 60.00 | 40.00          | 15.00 | 20.00 | 9.00  | 23.00 | 12.00 | 6.00           | 0.50 |
| 24        | 36.00 | 48.00 | 24.00          | 36.00          | 15.00 | 72.00 | 48.00          | 17.00 | 20.00 | 10.50 | 27.25 | 12.00 | 6.00           | 0.50 |

\*Extracted from Wrought-Steel Butt-Welding Fittings, ANSI B16.9—1978, and from Wrought-Steel Butt-Welding Short-Radius Elbows and Returns, ANSI B16.28—1978, with permission of the publisher, the American Society of Mechanical Engineers, New York. A and B dimensions of 1.50 and 0.75 in respectively may be furnished for NPS ¾ at the manufacturer's option. O and K dimensions may likewise be furnished in 2.00 in and 3.00 in respectively.

†For wall thicknesses greater than extra heavy, E is greater than shown here for sizes 2 in and larger.

‡For MSS SP-43 type B stub ends, which are designed to be backed up by slip-on flanges, R = ½ in for 4 in and smaller and ¼ in for 6 through 12 in. To convert inches to millimeters multiply by 25.4.

52. Niveles de vacío que pueden alcanzar con varios tipos de equipos.

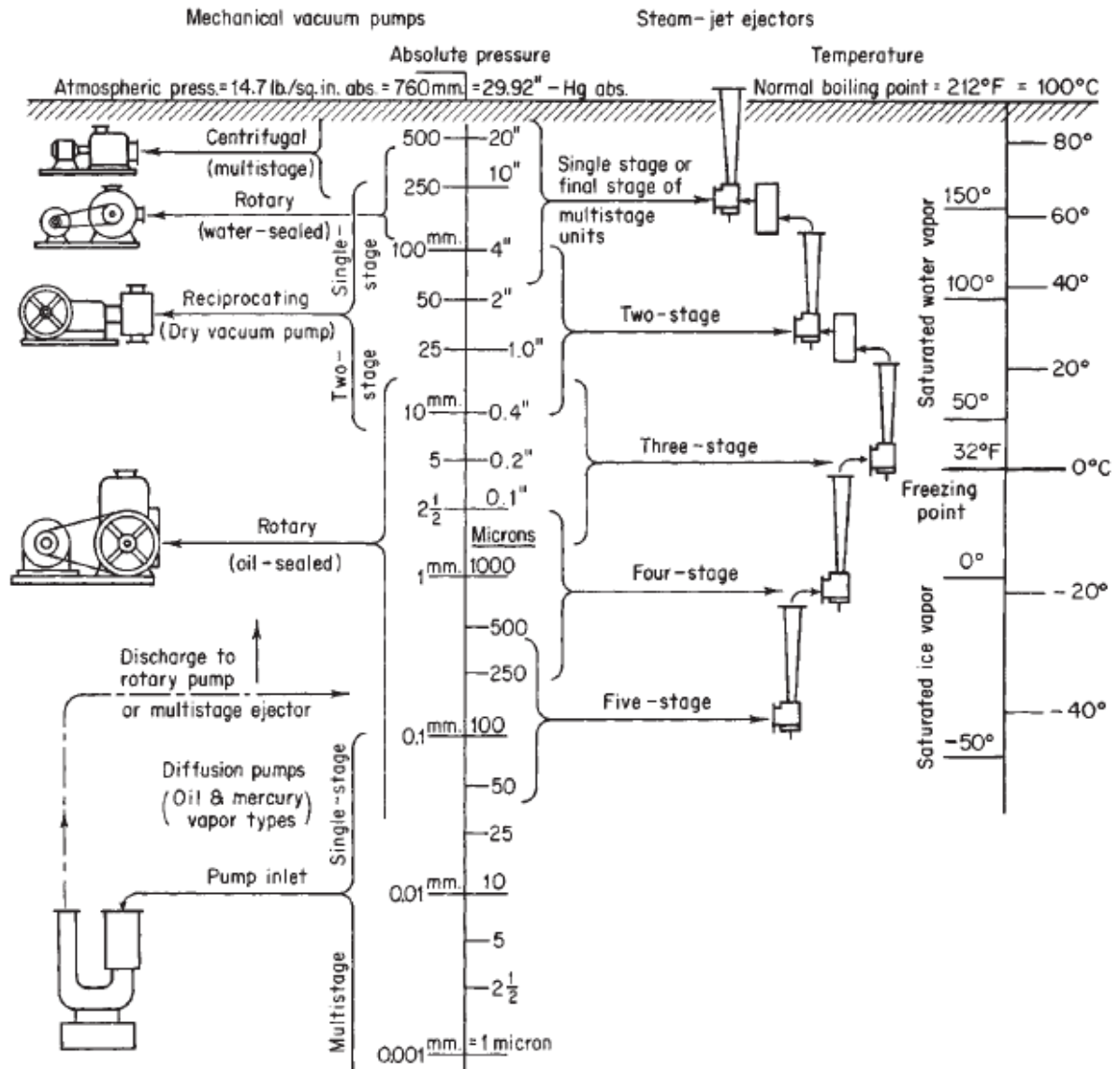
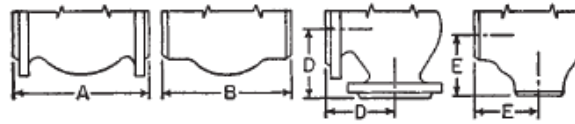


FIG. 10-105 Vacuum levels attainable with various types of equipment. (Courtesy of Compressed Air magazine.)

### 53. Dimensiones de válvulas

TABLE 10-28 Dimensions of Valves\*

All dimensions in inches



| Nominal valve size | Class 125 cast iron |               |                        |                        |               | Class 150 steel, MSS-SP-42 through 12-in size |                               |                              |                              |                     | Class 250 cast iron           |                                      |                        |
|--------------------|---------------------|---------------|------------------------|------------------------|---------------|---|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
|                    | Flanged end         |               |                        |                        |               | Flanged end                                   | Welding end                   | Flanged end and welding end  |                              |                     | Flanged end                   |                                      |                        |
|                    | Gate                |               | Globe and lift check A | Angle and lift check D | Swing check A | Gate  | Gate                          | Globe and lift check A and B | Angle and lift check D and E | Swing check A and B | Gate                          | Globe, lift check, and swing check A | Angle and lift check D |
|                    | Solid wedge A       | Double disk A |                        |                        |               | Solid wedge and double disk A                 | Solid wedge and double disk B |                              |                              |                     | Solid wedge and double disk A |                                      |                        |
| 1/4                |                     |               |                        |                        | 4             | 4   | 4                             | 2                            | 4                            |                     |                               |                                      |                        |
| 3/8                |                     |               |                        |                        | 4             | 4   | 4                             | 2                            | 4                            |                     |                               |                                      |                        |
| 1/2                |                     |               |                        |                        | 4 1/4         | 4 1/4   | 4 1/4                         | 2 1/4                        | 4 1/4                        |                     |                               |                                      |                        |
| 3/4                |                     |               |                        |                        | 4 3/4         | 4 3/4   | 4 3/4                         | 2 1/2                        | 4 3/4                        |                     |                               |                                      |                        |
| 1                  |                     |               |                        |                        | 5             | 5   | 5                             | 2 3/4                        | 5                            |                     |                               |                                      |                        |
| 1 1/4              |                     |               |                        |                        | 5 1/2         | 5 1/2   | 5 1/2                         | 3                            | 5 1/2                        |                     |                               |                                      |                        |
| 1 1/2              |                     |               |                        |                        | 6 1/4         | 6 1/4   | 6 1/4                         | 3 1/4                        | 6 1/4                        |                     |                               |                                      |                        |
| 2                  | 7                   | 7             | 8                      | 4                      | 8             | 7   | 8 1/2                         | 8                            | 4                            | 8                   | 8 1/2                         | 10 1/2                               | 5 1/4                  |
| 2 1/2              | 7 1/2               | 7 1/2         | 8 1/2                  | 4 1/4                  | 8 1/2         | 7 1/2   | 9 1/4                         | 8 1/2                        | 4 1/4                        | 8 1/2               | 9 1/2                         | 11 1/2                               | 5 3/4                  |
| 3                  | 8                   | 8             | 9 1/2                  | 4 3/4                  | 9 1/2         | 8   | 11 1/4                        | 9 1/2                        | 4 3/4                        | 9 1/2               | 11 1/4                        | 12 1/2                               | 6 1/4                  |
| 3 1/2              | 8 1/2               | 8 1/2         |                        |                        |               | †   |                               |                              |                              |                     | 12                            | 14                                   | 7                      |
| 4                  | 9                   | 9             | 11 1/2                 | 5 1/4                  | 11 1/2        | 9   | 12                            | 11 1/2                       | 5 1/4                        | 11 1/2              | 15                            | 15 3/4                               | 7 1/2                  |
| 5                  | 10                  | 10            | 13                     | 6 1/4                  | 13            | 10  | 15                            | 14                           | 7                            | 13                  | 15 1/2                        | 17 1/4                               | 8 1/4                  |
| 6                  | 10 1/2              | 10 1/2        | 14                     | 7                      | 14            | 10 1/2  | 15 1/2                        | 16                           | 8                            | 14                  | 16 1/2                        | 21                                   | 10 1/2                 |
| 8                  | 11 1/2              | 11 1/2        | 19 1/2                 | 9 3/4                  | 19 1/2        | 11 1/2  | 16 1/4                        | 19 1/4                       | 9 3/4                        | 19 1/4              | 18                            | 24 1/4                               | 12 1/4                 |
| 10                 | 13                  | 13            | 24 1/2                 | 12 1/4                 | 24 1/2        | 13  | 18                            | 24 1/2                       | 12 1/4                       | 24 1/2              | 19 1/4                        | 28                                   | 14                     |
| 12                 | 14                  | 14            | 27 1/2                 | 13 3/4                 | 27 1/2        | 14  | 19 1/4                        | 27 1/2                       | 13 3/4                       | 27 1/2              | 22 1/2                        | †                                    |                        |
| 14                 | 15                  | †             | 31                     | 15 1/2                 | 31            | 15  | 22 1/2                        | 31                           | 15 1/2                       | 31                  | 24                            | †                                    |                        |
| 16                 | 16                  | †             | 36                     | 18                     | †             | 16  | 24                            | 36                           | 18                           | †                   | 26                            | †                                    |                        |
| 18                 | 17                  | †             |                        |                        | †             | 17  | 26                            |                              |                              | †                   | 28                            |                                      |                        |
| 20                 | 18                  | †             |                        |                        | †             | 18  | 28                            |                              |                              | †                   |                               |                                      |                        |
| 24                 | 20                  | †             |                        |                        | †             | 20  | 32                            |                              |                              | †                   | 31                            |                                      |                        |

| Nominal valve size | Class 300 steel                     |        |                              |                              | Class 400 steel             |                     |                     |  | Class 600 steel              |                     |                     |                  |  |  |                      |                 |
|--------------------|-------------------------------------|--------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|--|------------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--|--|----------------------|-----------------|
|                    | Flanged end and welding end         |        |                              |                              | Flanged end and welding end |                     |                     |  | Flanged end and welding end  |                     |                     |                  |  |  |                      |                 |
|                    | Gate                                |        | Globe and lift check A and B | Angle and lift check D and E | Swing check A and B         | Gate                |                     | Globe, lift check, and swing check A and B | Angle and lift check D and E | Gate                |                     |                  | Regular globe, regular lift check, swing check A and B | Short pattern† globe, short pattern lift check B | Angle and lift check |                 |
|                    | Solid wedge and double disk A and B |        |                              |                              |                             | Solid wedge A and B | Double disk A and B |  |                              | Solid wedge A and B | Double disk A and B | Short pattern† B |  |  | Regular D and E      | Short pattern E |
| 1/4                | 5 1/2                               | 6      | 3                            |                              | 6 1/2                       |                     | 6 1/2               | 3 1/4                                      | 6 1/2                        |                     |                     | 6 1/2            |  |  | 3 1/4                |                 |
| 3/8                | 6                                   | 7      | 3 1/2                        |                              | 7 1/4                       |                     | 7 1/4               | 3 3/4                                      | 7 1/4                        |                     |                     | 7 1/4            |  |  | 3 3/4                |                 |
| 1                  | 6 1/2                               | 8      | 4                            | 8 1/2                        | 8 1/2                       | 8 1/2               | 8 1/2               | 4 1/4                                      | 8 1/2                        | 8 1/2               | 5 1/4               | 8 1/2            | 5 1/4  | 4 1/4  |                      |                 |
| 1 1/4              | 7 1/4                               | 8 1/2  | 4 1/4                        | 9                            | 9                           | 9                   | 9                   | 4 1/2                                      | 9                            | 9                   | 5 3/4               | 9                | 5 3/4  | 4 1/2  |                      |                 |
| 1 1/2              | 7 1/2                               | 9      | 4 1/2                        | 9 1/2                        | 9 1/2                       | 9 1/2               | 9 1/2               | 4 3/4                                      | 9 1/2                        | 9 1/2               | 6                   | 9 1/2            | 6  | 4 3/4  |                      |                 |
| 2                  | 8 1/2                               | 10 1/2 | 5 1/4                        | 10 1/2                       | 11 1/2                      | 11 1/2              | 11 1/2              | 5 1/4                                      | 11 1/2                       | 11 1/2              | 7                   | 11 1/2           | 7  | 5 1/4  | 4 1/4                |                 |
| 2 1/2              | 9 1/2                               | 11 1/2 | 5 3/4                        | 11 1/2                       | 13                          | 13                  | 13                  | 6 1/4                                      | 13                           | 13                  | 8 1/2               | 13               | 8 1/2  | 6 1/4  | 5                    |                 |
| 3                  | 11 1/2                              | 12 1/2 | 6 1/4                        | 12 1/2                       | 14                          | 14                  | 14                  | 7  | 14                           | 14                  | 10                  | 14               | 10   | 7  | 6                    |                 |
| 4                  | 12                                  | 14     | 7                            | 14                           | 16                          | 16                  | 16                  | 8  | 17                           | 17                  | 12                  | 17               | 12   | 8 1/4  | 7                    |                 |
| 5                  | 15                                  | 15 1/4 | 7 1/2                        | 15 1/4                       | 18                          | 18                  | 18                  | 9  | 20                           | 20                  | 15                  | 20               | 15   | 10   | 8 1/2                |                 |
| 6                  | 15 1/2                              | 17 1/2 | 8 1/4                        | 17 1/2                       | 19 1/2                      | 19 1/2              | 19 1/2              | 9 3/4                                      | 22                           | 22                  | 18                  | 22               | 18   | 11   | 10                   |                 |
| 8                  | 16 1/2                              | 22     | 11                           | 21                           | 23 1/2                      | 23 1/2              | 23 1/2              | 11 3/4                                     | 26                           | 26                  | 23                  | 26               | 23   | 13   |                      |                 |
| 10                 | 18                                  | 24 1/2 | 12 1/4                       | 24 1/2                       | 26 1/2                      | 26 1/2              | 26 1/2              | 13 1/4                                     | 31                           | 31                  | 28                  | 31               | 28   | 15 1/2   |                      |                 |
| 12                 | 19 1/4                              | 28     | 14                           | 28                           | 30                          | 30                  | 30                  | 15   | 33                           | 33                  | 32                  | 33               | 32   | 16 1/2   |                      |                 |
| 14                 | 30                                  |        | †                            | †                            | 32 1/2                      | 30 1/4              | †                   |  | 35                           | 35                  | 35                  | †                |  |  |                      |                 |
| 16                 | 33                                  |        | †                            | †                            | 35 1/2                      | 35 1/2              | †                   |  | 39                           | 39                  | 39                  | †                |  |  |                      |                 |
| 18                 | 36                                  |        | †                            | †                            | 38 1/2                      | 38 1/2              | †                   |  | 43                           | 43                  | 43                  | †                |  |  |                      |                 |
| 20                 | 39                                  |        | †                            | †                            | 41 1/2                      | 41 1/2              | †                   |  | 47                           | 47                  | 47                  | †                |  |  |                      |                 |
| 22                 | 43                                  |        | †                            | †                            | 45                          | 45                  | †                   |  | 51                           | 51                  | †                   | †                |  |  |                      |                 |
| 24                 | 45                                  |        | †                            | †                            | 48 1/2                      | 48 1/2              | †                   |  | 55                           | 55                  | 55                  | †                |  |  |                      |                 |

DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO.

**TABLE 10-28 Dimensions of Valves (Concluded)**

| Nominal valve size | Class 900 steel             |                     |                  |   |  |                      |                 | Class 1500 steel            |                     |                  |  |                              |     |
|--------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|---|--|----------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------|------------------|--|------------------------------|-----|
|                    | Flanged end and welding end |                     |                  |   |  |                      |                 | Flanged end and welding end |                     |                  |  |                              |     |
|                    | Gate                        |                     |                  | Regular globe regular lift check, swing check A and B | Short pattern‡ globe, short pattern lift check B | Angle and lift check |                 | Gate                        |                     |                  | Globe, lift check, swing check A and B | Angle and lift check D and E |     |
|                    | Solid wedge A and B         | Double disk A and B | Short pattern‡ B |   |  | Regular D and E      | Short pattern E | Solid wedge A and B         | Double disk A and B | Short pattern‡ B |  |                              |     |
| ¾                  |                             |                     | 9                |   |  | 4½                   |                 |                             |                     | 9                |  | 4½                           |     |
| 1                  | 10                          |                     | 10               |   |  | 5                    |                 |                             | 10                  | 5½               | 10                                     | 5                            |     |
| 1¼                 | 11                          |                     | 11               |   |  | 5½                   |                 |                             | 11                  | 6½               | 11                                     | 5½                           |     |
| 1½                 | 12                          |                     | 12               |   |  | 6                    |                 |                             | 12                  | 7                | 12                                     | 6                            |     |
| 2                  | 14½                         | 14½                 | 8½               | 14½   |  | 7½                   |                 |                             | 14½                 | 14½              | 8½                                     | 14½                          | 7½  |
| 2½                 | 16½                         | 16½                 | 10               | 16½   |  | 8¼                   |                 |                             | 16½                 | 16½              | 10                                     | 16½                          | 8¼  |
| 3                  | 15                          | 15                  | 12               | 15  | 12   | 7½                   | 6               |                             | 18½                 | 18½              | 12                                     | 18½                          | 9¼  |
| 4                  | 18                          | 18                  | 14               | 18  | 14   | 9                    | 7               |                             | 21¼                 | 21¼              | 16                                     | 21¼                          | 10¾ |
| 5                  | 22                          | 22                  | 17               | 22  | 17   | 11                   | 8½              |                             | 26¼                 | 26¼              | 19                                     | 26¼                          | 13¼ |
| 6                  | 24                          | 24                  | 20               | 24  | 20   | 12                   | 10              |                             | 27¾                 | 27¾              | 22                                     | 27¾                          | 13¾ |
| 8                  | 29                          | 29                  | 26               | 29  | 26   | 14½                  | 13              |                             | 32¾                 | 32¾              | 28                                     | 32¾                          | 16¾ |
| 10                 | 33                          | 33                  | 31               | 33  | 31   | 16½                  | 15½             |                             | 39                  | 39               | 34                                     | 39                           | 19½ |
| 12                 | 38                          | 38                  | 36               | 38  | 36   | 19                   | 18              |                             | 44¼                 | 44¼              | 39                                     | 44¼                          | 22¼ |
| 14                 | 40¼                         | 40¼                 | 39               | 40¼   | 39   | 20¼                  | 19¼             |                             | 49¼                 | 49¼              | 42                                     | 49¼                          | 24¾ |
| 16                 | 44¼                         | 44¼                 | 43               |   |  |                      |                 |                             | 54¼                 | 54¼              | 47                                     |                              |     |
| 18                 | 48                          | 48                  | †                |   |  |                      |                 |                             | 60¼                 | 60¼              | 53                                     |                              |     |
| 20                 | 52                          | 52                  | †                |   |  |                      |                 |                             | 65¼                 | 65¼              | 58                                     |                              |     |
| 24                 | 61                          | 61                  | †                |   |  |                      |                 |                             | 76¼                 | 76¼              |  |                              |     |

| Nominal valve size | Class 2500 steel            |                     |                  |  |                        |
|--------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|--|------------------------|
|                    | Flanged end and welding end |                     |                  |  |                        |
|                    | Gate                        |                     |                  | Globe, lift check, swing check A and B | Angle and lift check B |
|                    | Solid wedge A and B         | Double disk A and B | Short pattern‡ B |  |                        |
| ½                  | 10¾                         |                     |                  | 10¾                                    | 5¾ <sub>16</sub>       |
| ¾                  | 10¾                         |                     |                  | 10¾                                    | 5¾                     |
| 1                  | 12¾                         |                     | 7¾ <sub>16</sub> | 12¾                                    | 6¼ <sub>16</sub>       |
| 1¼                 | 13¾                         |                     | 9¼               | 13¾                                    | 6¾                     |
| 1½                 | 15¾                         |                     | 9¾               | 15¾                                    | 7¾ <sub>16</sub>       |
| 2                  | 17¾                         | 17¾                 | 11               | 17¾                                    | 8¾                     |
| 2½                 | 20                          | 20                  | 13               | 20                                     | 10                     |
| 3                  | 22¾                         | 22¾                 | 14½              | 22¾                                    | 11¾                    |
| 4                  | 26½                         | 26½                 | 18               | 26½                                    | 13¼                    |
| 5                  | 31¼                         | 31¼                 | 21               | 31¼                                    | 15¾                    |
| 6                  | 36                          | 36                  | 24               | 36                                     | 18                     |
| 8                  | 40¼                         | 40¼                 | 30               | 40¼                                    | 20¼                    |
| 10                 | 50                          | 50                  | 36               | 50                                     | 25                     |
| 12                 | 56                          | 56                  | 41               | 56                                     | 28                     |
| 14                 |                             |                     | 44               |  |                        |
| 16                 |                             |                     | 49               |  |                        |
| 18                 |                             |                     | 55               |  |                        |

NOTE: Outline drawings for flanged valves shown ¼-in raised face machined onto flange, as for 400-lb cast-steel valves; 150- and 300-lb cast-steel valves and 250-lb cast-iron valves have ½-in raised faces; 125-lb cast-iron and 150-lb corrosion-resistant valves covered by MSS-SP-42 have no raised faces.

\*Extracted from Face-to-Face and End-to-End Dimensions of Ferrous Valves, ANSI B16.10—1973, with permission of the publisher, the American Society of Mechanical Engineers, New York. To convert inches to millimeters, multiply by 25.4.

†Not shown in ANSI B16.10 but commercially available.

‡These dimensions apply to pressure-seal or flangeless bonnet valves only.

§Solid wedge only.



# FICHAS TÉCNICAS



**(1). Bombas de Vacío (B-13, B-14)**





### Bombas de vacío trabajando en seco para la industria química, farmacéutica y otros procesos industriales

Las bombas de vacío secas se usan cada vez más para aplicaciones en la industria química, farmacéutica y otros procesos industriales. Estas bombas de vacío son una parte integrante de estos procesos y deben satisfacer una serie de requerimientos demandados. Esto incluye:

- generar una presión de trabajo baja
- minimizar los costos de disponibilidad de cualquier líquido de servicio
- proveer un vacío sin contaminar, libre de lubricantes y líquido de servicio
- ofrecer la flexibilidad requerida para operar en procesos discontinuos
- bajo costo de su ciclo de vida.

**SIHI<sup>dry</sup>** cumple con lo necesario para ser una simple, robusta y fiable bomba de vacío que puede bombear líquidos y sólidos así como variar de forma rápida las condiciones de trabajo

#### Aplicaciones

- secado
- carga de reactores
- destilación bajo vacío
- tratamiento de gases inertes
- trasvase de productos
- procesos generales bajo vacío
- vacío centralizado
- y muchas más

#### Posibilidades

- gases y vapores corrosivos
- gases tóxicos y malolientes
- gases y vapores explosivos
- líquido y polvo adicionales
- y muchas más



Industria química

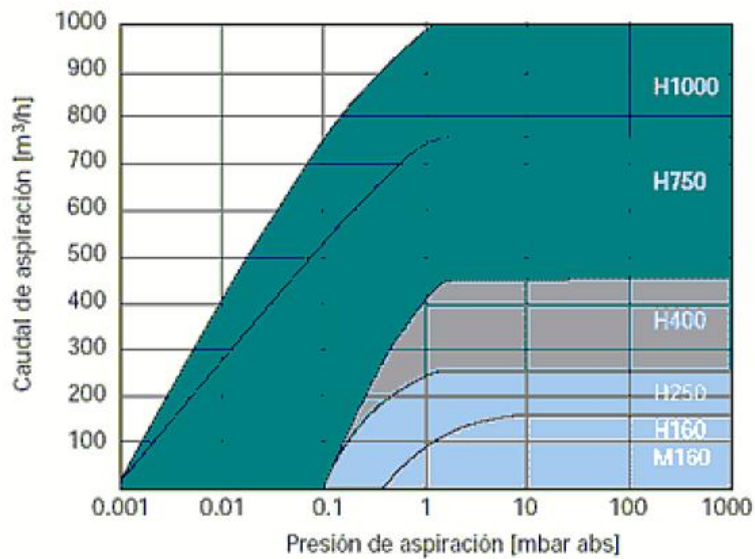


Industria farmacéutica





## Campo de aplicación

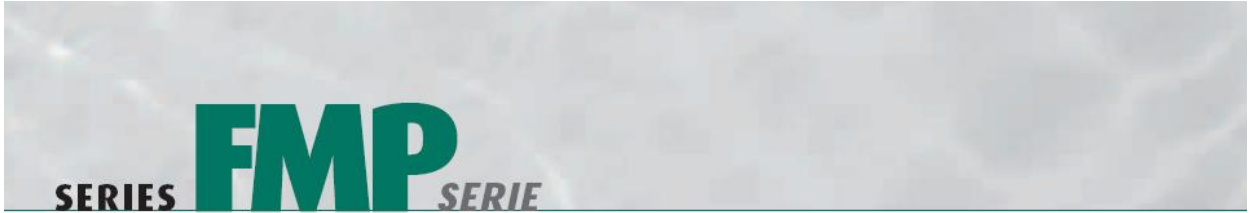


## Datos Técnicos

| Tipo                                       | SIHI <sup>dry</sup> |       |       |       |        |        |
|--|---------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
|  | M160                | H160  | H250  | H400  | H750   | H1000  |
| Tamaño                                     |                     |       |       |       |        |        |
| Caudal de aspiración (m³/h)                | 160                 | 180   | 280   | 430   | 750    | 1000   |
| Presión final (mbar)                       | < 1                 | < 0.5 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.01 | < 0.01 |
| Potencia absorbida a la presión final (kW) | 3.5                 | 5.0   | 6.0   | 8.0   | 19.0   | 19.0   |
| Nivel sonoro según DIN [dB(A)]             | < 60                | 63    | 63    | 64    | 70     | 70     |



**(2). Bombas de desplazamiento positivo o peristáltica. B-08, B-10<sub>2</sub>,BA-03**



**DRIVERS • ACCIONAMENTOS**

- Gear-motor  
*Moto-reductor*
- Motor variator with gear reducer  
*Moto-variador mecánico con reductor*
- Gear motor with integrated inverter  
*Moto-reductor con convertidor de frecuencia integrado*

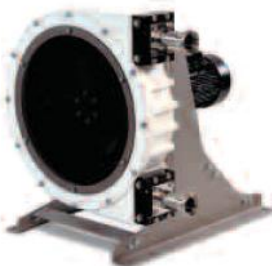
**ACCESORIES • ACCESORIOS**

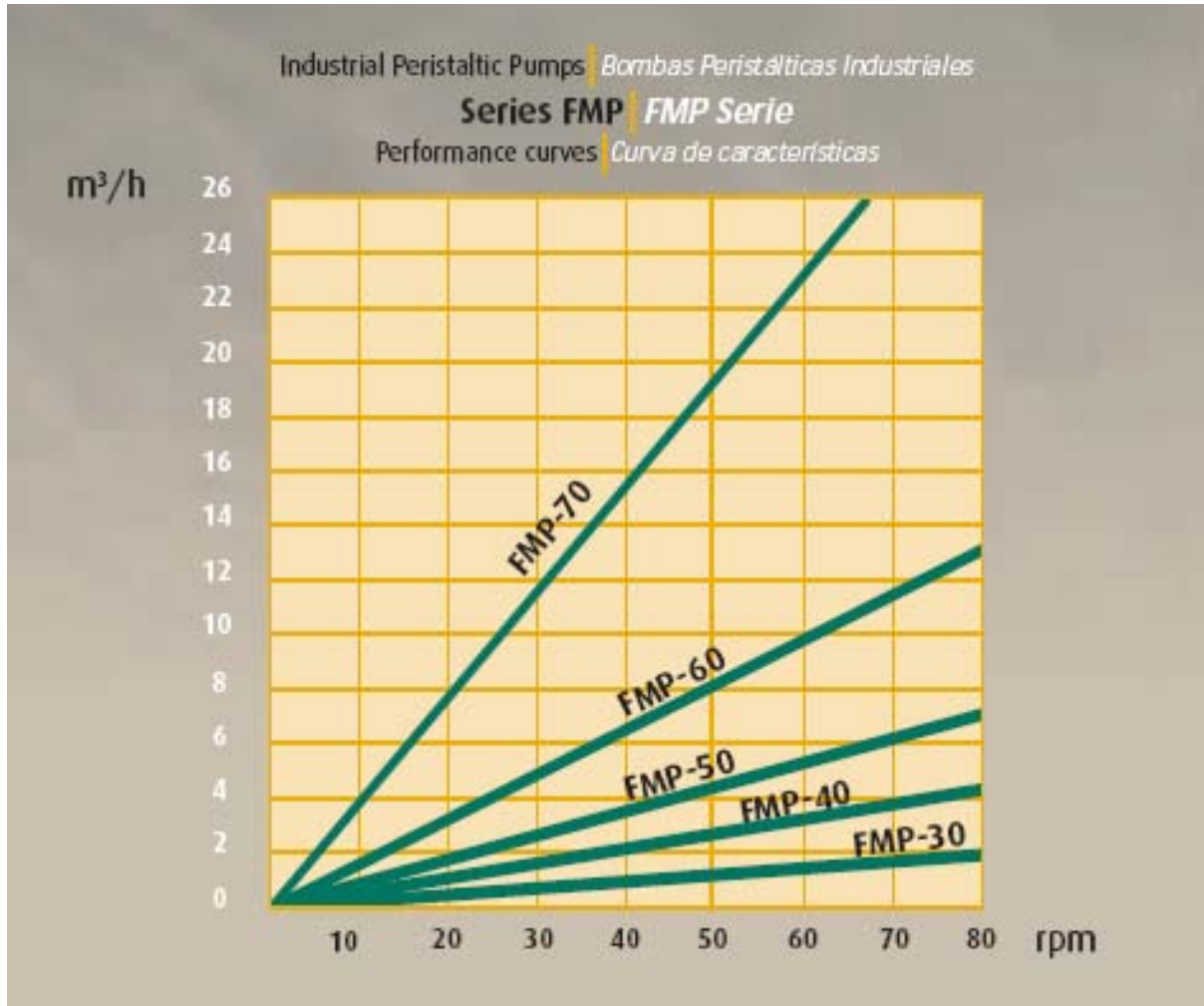
- Tube leakage detector  
*Detector de rotura del tubo*
- Pulsation dampener  
*Pulmón amortiguador de pulsaciones*
- TRICLAMP, DIN 11851, SMS, NPT, PP, HALAR connections  
*Conexiones TRI-CLAMP, DIN 11851, SMS, NPT, PP, HALAR*
- Vacuum equipment in pump casing  
*Equipo para crear el vacío en el cuerpo de bomba*
- Feed screw for heterogeneous product  
*Tolva con vis-sinfin para alimentación de productos heterogéneos*



**MODELS • MODELOS**

|  | FMP-30  | FMP-40  | FMP-50  | FMP-60  | FMP-70  |
|--|---|---|---|---|---|
| Capacity<br><i>Capacidad</i>                               | 0,433 l/rev                                   | 0,75 l/rev                                    | 1,34 l/rev                                    | 3,161 l/rev                                   | 6,72 l/rev                                    |
| Connections<br><i>Conexiones</i>                           | 1 1/4"  | 1 1/2"  | 1 1/2"  | 2"  | 2 1/2"  |
| Maximum pressure<br><i>Presión máxima</i>                  | 8 bar   | 8 bar   | 8 bar   | 8 bar   | 8 bar   |
| Pressing tube system<br><i>Sistema de apriete de tubos</i> | Rollers<br><i>Rodillos</i>                    | Rollers<br><i>Rodillos</i>                    | Rollers<br><i>Rodillos</i>                    | Rollers<br><i>Rodillos</i>                    | Rollers<br><i>Rodillos</i>                    |
| Available tubes<br><i>Tubos disponibles</i>                | NR<br>NBR<br>EPDM<br>HYPALON<br>NR-A<br>NBR-A | NR<br>NBR<br>EPDM<br>HYPALON<br>NR-A<br>NBR-A | NR<br>NBR<br>EPDM<br>HYPALON<br>NR-A<br>NBR-A | NR<br>NBR<br>EPDM<br>HYPALON<br>NR-A<br>NBR-A | NR<br>NBR<br>EPDM<br>HYPALON<br>NR-A<br>NBR-A |





### (3). Bomba de presión e impulsión del metanol (B-01)

## PF3000 SERIES



#### PUMP DESCRIPTION

Fixed displacement checkball pumps, with bi-directional shaft rotation, provide constant direction of output flow regardless of the direction of drive shaft rotation.

#### Mounting

S.A.E. C 4-bolt pattern with 0.25 inch (6,4 mm) pilot engagement.

#### Shaft Options

Standard keyed shaft, 1.250 inch (31,75 mm) diameter;

Optional spline shaft, 1.248/1.247 inch diameter standard S.A.E. 14 tooth, 12/24 D.P. 30° involute spline.

#### Outlet Port Options

Standard pressure models have S.A.E. ports. The high pressure "H" option requires the use of outlet port option "A" (Autodave Medium Pressure, Butech M/P or equivalent fittings), or outlet port option "B" (British Standard Pipe fittings).

#### Inlet Conditions

Pumps may require pressurized inlet conditions at higher speeds. Failure to meet minimum inlet requirements will result in slight flow reduction. Refer to the table.

#### Seal Options

Standard seals are Buna-N (Nitrile). Options include Fluorocarbon (Viton® or Fluorel®), or EPR for use with some phosphate ester fluids.

#### Weight (Mass)

62 lb (28 kg)

#### Specifications

| Pump Models | Output Flow at 1500 rpm <sup>①</sup> |       | Output Flow at 1800 rpm <sup>①</sup> |       | Rated Pressure |     | Maximum Intermittent Pressure |     | Rated Speed rpm <sup>②</sup> | Maximum Speed rpm <sup>②</sup> |
|-------------|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|----------------|-----|-------------------------------|-----|------------------------------|--------------------------------|
|             | U.S. gpm                             | L/min | U.S. gpm                             | L/min | psi            | bar | psi                           | bar |                              |                                |
| PF3011-10   | 6.7                                  | 25,5  | 8.1                                  | 30,7  | 6000           | 420 | 8000                          | 560 | 1800                         | 2800                           |
| PF3015-10   | 8.3                                  | 31,5  | 10.0                                 | 37,8  | 6000           | 420 | 8000                          | 560 | 1800                         | 2500                           |
| PF3017-10   | 10.0                                 | 37,8  | 12.0                                 | 45,4  | 6000           | 420 | 8000                          | 560 | 1800                         | 2200                           |
| PF3021-10   | 12.0                                 | 45,4  | 14.4                                 | 54,5  | 4000           | 280 | 6000                          | 420 | 1800                         | 2500                           |
| PF3024-10   | 14.3                                 | 54,2  | 17.2                                 | 65,1  | 4000           | 280 | 6000                          | 420 | 1800                         | 2200                           |
| PF3011H-10  | 6.7                                  | 25,5  | 8.1                                  | 30,7  | 6000           | 420 | 10 000                        | 700 | 1800                         | 2800                           |
| PF3015H-10  | 8.3                                  | 31,5  | 10.0                                 | 37,8  | 6000           | 420 | 10 000                        | 700 | 1800                         | 2500                           |

<sup>①</sup> Output flow based on typical performance at rated pressure with pressurized inlet where required, as shown in the table below.

<sup>②</sup> Contact the sales department for applications requiring operation above rated speed. High speed operation may require a pressurized inlet. Refer to "Inlet Conditions".

#### Minimum Inlet Pressure<sup>①</sup>

| Pump Models | Operating Speed |     |          |     |          |     |                 |                  |                 |                  |
|-------------|-----------------|-----|----------|-----|----------|-----|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
|             | 1500 rpm        |     | 1800 rpm |     | 2200 rpm |     | 2500 rpm        |                  | 2800 rpm        |                  |
|             | psi             | bar | psi      | bar | psi      | bar | psi             | bar              | psi             | bar              |
| PF3011      | 0               | 0   | 0        | 0   | 5        | 0,4 | 7               | 0,5              | 10 <sup>②</sup> | 0,7 <sup>②</sup> |
| PF3015      | 0               | 0   | 3        | 0,2 | 7        | 0,5 | 10 <sup>②</sup> | 0,7 <sup>②</sup> | –               | –                |
| PF3017      | 0               | 0   | 5        | 0,4 | 10       | 0,7 | –               | –                | –               | –                |
| PF3021      | 0               | 0   | 3        | 0,2 | 7        | 0,5 | 10 <sup>②</sup> | 0,7 <sup>②</sup> | –               | –                |
| PF3024      | 0               | 0   | 5        | 0,4 | 10       | 0,7 | –               | –                | –               | –                |

<sup>①</sup> Values shown are based on fluid viscosity of 100 SUS (20 cSt).

<sup>②</sup> Inlet pressures higher than 10 psig (0,7 bar) require a high-pressure shaft seal. Refer to "Typical Model Code" on page 4 for seal options.

#### PUMP SELECTION

The table shows specifications for standard pressure and high pressure "H" option models.

Ordering a PF3000 Series, 10 Design, pump requires a complete model code specifying shaft, seal and outlet port options. Refer to "Typical Model Code" on page 4.

#### Maximum Pressure

Checkball pumps are especially suited for applications susceptible to excessive pressure spikes.

The intermittent pressures listed are the maximum pressures a pump can sustain for occasional, short periods of operation without appreciably reducing life expectancy.

#### Fluid Guidelines

See page 5 for "Fluid Recommendations".

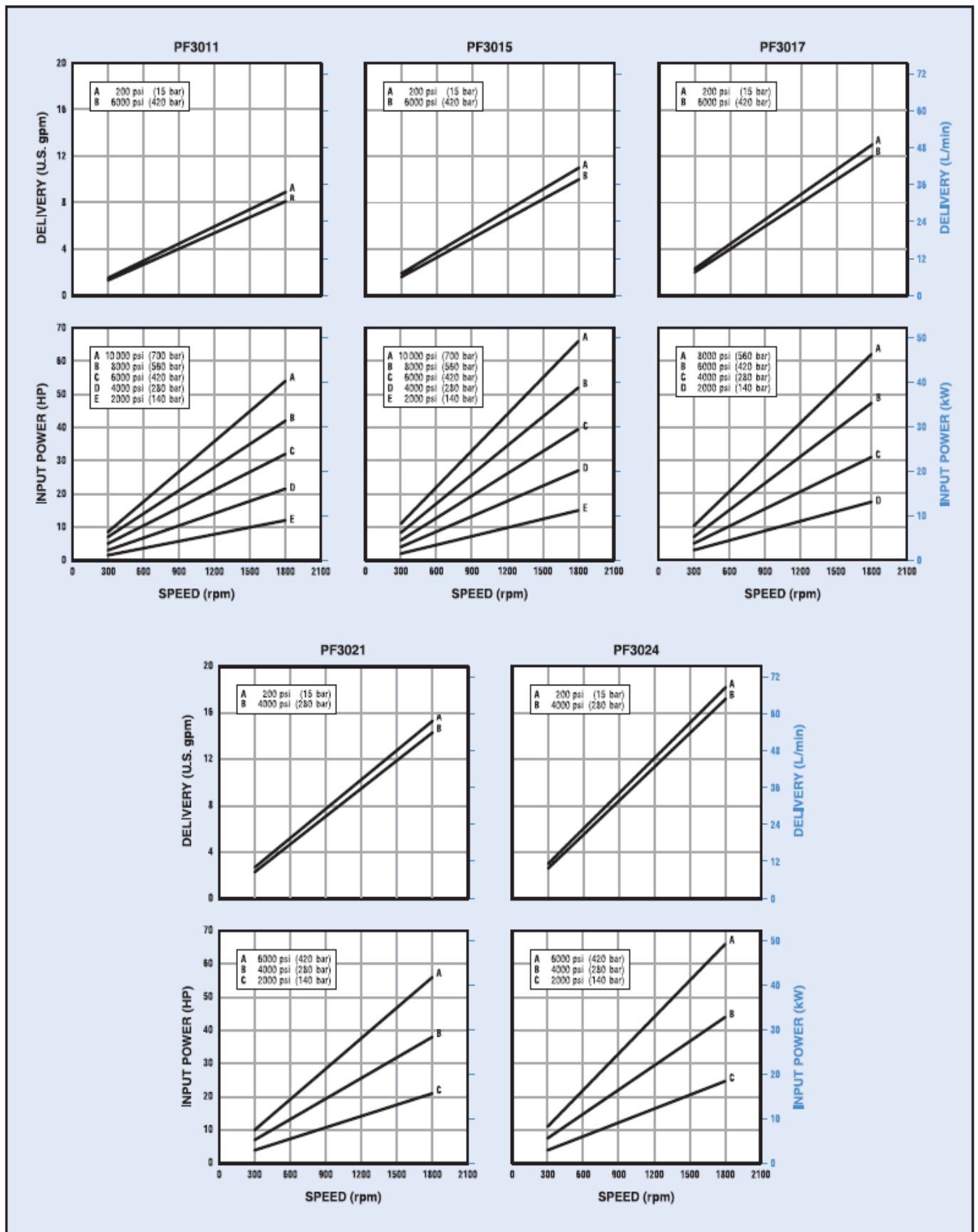
Some pump models may require reduced operating pressures when using low-lubricity fluids.

Because of the wide range of fluid characteristics, contact the sales department for a review of any application using non-petroleum based fluids.

#### Split-Flow<sup>®</sup> Provides Multiple Outlets

PF3000 models with split-flow covers efficiently supply flows for multiple function circuits. Piston outputs are grouped together in the cover, with various piston flow splits available in this eight-piston pump. Refer to "Typical Model Code" on page 4 and contact the sales department for availability.

Typical Performance Curves





#### (4). Bomba de presión e impulsión del aceite de colza (B-02)



### Checkball Piston Pumps For Water-Based Fluids

Fixed displacement checkball pumps are compatible with a variety of water-based and other low-lubricity fluids. Bi-directional shaft rotation provides constant direction of output flow regardless of drive shaft rotation.

#### MAINTENANCE-FREE DESIGN

The single-fluid checkball design uses the pumped fluid for internal bearing lubrication. This eliminates the potential for fluid cross-contamination, possible in other designs with isolated lubrication. It also avoids the cost of a lubrication circuit.

#### RELIABLE HIGH PRESSURE

Individual piston check valves provide long service life and greater volumetric efficiency, especially at high pressures and with low-lubricity fluids.

The check valves take the place of a valveplate in other pump designs. With no rotating sealing surface, checkball pumps are resistant to wearing and scoring.

#### TYPICAL APPLICATIONS

These pumps are ideal for use in wellhead safety control systems and other subsea applications, providing long life operating at high pressures with water-based fluids.

They are also used on hydroform presses, and other applications requiring environmentally-friendly or fire-resistant fluids.

#### PUMP SELECTION

The table shows specifications for standard pressure models, and for high pressure "H" option models for maximum pressures to 15000 psi (1040 bar). The "H" option requires high pressure coned and threaded or B.S.P. outlet ports.

Refer to "Typical Model Code" to specify shaft, seal and outlet port options.

**PF4300 SERIES**  
2.2 to 8.2 gpm (8,3 to 31,0 L/min) at 1800 rpm  
8000 to 15 000 psi (560 to 1040 bar)



#### Specifications

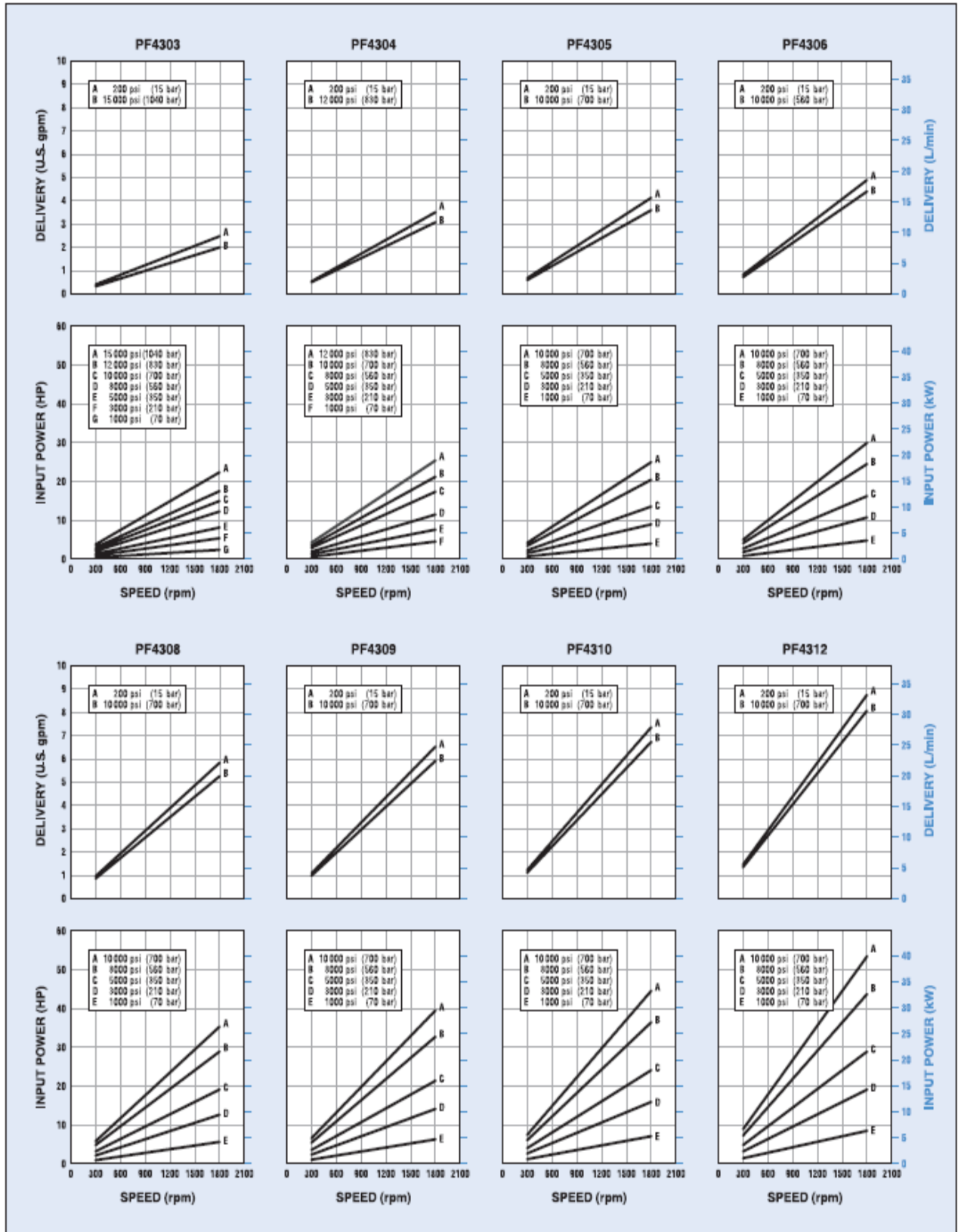
| Pump Models | Output Flow at 1200 rpm <sup>①</sup> |       | Output Flow at 1500 rpm <sup>①②</sup> |       | Output Flow at 1800 rpm <sup>①②</sup> |       | Maximum Pressure |      | Rated Speed rpm <sup>②</sup> | Maximum Speed rpm <sup>②</sup> |
|-------------|--------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|------------------|------|------------------------------|--------------------------------|
|             | U.S. gpm                             | L/min | U.S. gpm                              | L/min | U.S. gpm                              | L/min | psi              | bar  |                              |                                |
| PF4303-11   | 1.5                                  | 5,6   | 1.8                                   | 6,9   | 2.2                                   | 8,3   | 8000             | 560  | 1200                         | 1800                           |
| PF4304-11   | 2.1                                  | 8,1   | 2.7                                   | 10,1  | 3.2                                   | 12,1  | 8000             | 560  | 1200                         | 1800                           |
| PF4305-11   | 2.5                                  | 9,3   | 3.1                                   | 11,7  | 3.7                                   | 14,0  | 8000             | 560  | 1200                         | 1800                           |
| PF4306-11   | 3.1                                  | 11,6  | 3.8                                   | 14,5  | 4.6                                   | 17,4  | 8000             | 560  | 1200                         | 1800                           |
| PF4308-11   | 3.8                                  | 13,6  | 4.5                                   | 17,0  | 5.4                                   | 20,4  | 8000             | 560  | 1200                         | 1800                           |
| PF4309-11   | 4.0                                  | 15,1  | 5.0                                   | 18,9  | 6.0                                   | 22,7  | 8000             | 560  | 1200                         | 1800                           |
| PF4310-11   | 4.5                                  | 17,1  | 5.7                                   | 21,4  | 6.8                                   | 25,7  | 8000             | 560  | 1200                         | 1800                           |
| PF4312-11   | 5.5                                  | 20,7  | 6.8                                   | 25,9  | 8.2                                   | 31,0  | 8000             | 560  | 1200                         | 1800                           |
| PF4303H-11  | 1.3                                  | 4,8   | 1.6                                   | 6,2   | 2.0                                   | 7,5   | 15 000           | 1040 | 1200                         | 1800                           |
| PF4304H-11  | 2.0                                  | 7,6   | 2.5                                   | 9,5   | 3.1                                   | 11,7  | 12 000           | 830  | 1200                         | 1800                           |
| PF4305H-11  | 2.3                                  | 8,9   | 2.9                                   | 11,0  | 3.6                                   | 13,6  | 10 000           | 700  | 1200                         | 1800                           |
| PF4306H-11  | 2.9                                  | 11,1  | 3.7                                   | 13,9  | 4.4                                   | 16,6  | 10 000           | 700  | 1200                         | 1800                           |
| PF4308H-11  | 3.5                                  | 13,2  | 4.3                                   | 16,5  | 5.3                                   | 19,9  | 10 000           | 700  | 1200                         | 1800                           |
| PF4309H-11  | 3.9                                  | 14,7  | 4.8                                   | 18,2  | 5.9                                   | 22,3  | 10 000           | 700  | 1200                         | 1800                           |
| PF4310H-11  | 4.4                                  | 16,7  | 5.5                                   | 21,0  | 6.7                                   | 25,3  | 10 000           | 700  | 1200                         | 1800                           |
| PF4312H-11  | 5.4                                  | 20,4  | 6.7                                   | 25,6  | 8.1                                   | 30,7  | 10 000           | 700  | 1200                         | 1800                           |

① Output flow based on typical performance using 33 SUS (1,9 cSt) water glycol fluid at maximum pressure with pressurized inlet where required. Refer to the "Minimum Inlet Pressure" table on page 2.


② Contact the sales department for operation above the rated speed of 1200 rpm.



Typical Performance Curves

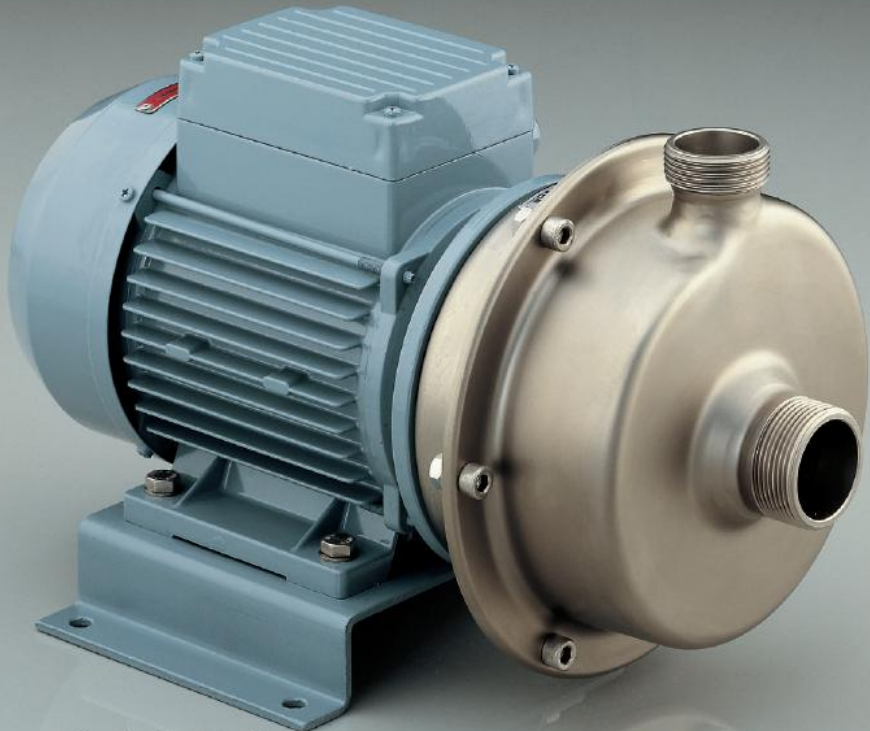


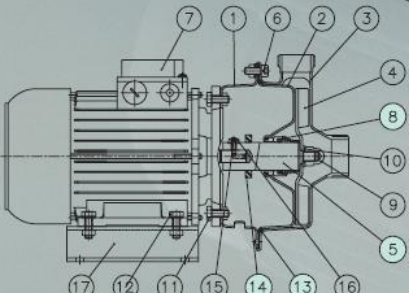
**(5) Bomba centrífuga Simplex M para B-04, B-09, B-10, B-12, BA-01**



Bomba centrífuga simplificada  
*Simplified centrifugal pump*

SIMPLEX-M





**NOMENCLATURA**

|                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| 1 - Brida           | 10 - Arandela     |
| 2 - Tapa            | 11 - Tornillo     |
| 3 - Cuerpo          | 12 - Tornillo     |
| 4 - Turbina         | 13 - Junta tórica |
| 5 - Eje             | 14 - Paragolpes   |
| 6 - Tornillo        | 15 - Prisionero   |
| 7 - Motor           | 16 - Tuerca       |
| 8 - Cierre mecánico | 17 - Bancada      |
| 9 - Tuerca ciega    |                   |

**NOMENCLATURE**

|                     |                        |
|---------------------|------------------------|
| 1 - Flange          | 10 - Washer            |
| 2 - Cover           | 11 - Screw             |
| 3 - Body            | 12 - Screw             |
| 4 - Impeller        | 13 - O-ring            |
| 5 - Shaft           | 14 - Splash protection |
| 6 - Screw           | 15 - Capscrew          |
| 7 - Motor           | 16 - Nut               |
| 8 - Mechanical seal | 17 - Base              |
| 9 - Cap nut         |                        |

NOTA: Las piezas de recambio recomendadas están coloreadas. / NOTE: The recommended spare parts are coloured in.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Caudal..... Q = 1 a 30 m<sup>3</sup>/h  
 Altura manométrica..... H = 5 a 35 mca  
 Motores..... P = 0.5 a 4 hp  
 (0.37 a 3 kW)  
 Temperatura..... T = 80°C  
 (cierres esp. 120 °C)  
 Material..... AISI-316L

**DESCRIPCIÓN**

Bomba centrífuga para líquidos en carga.

**PATENTADA:**  
**Modelo Utilidad N° 9101925**  
**Modelo Utilidad N° 286465**

La bomba SIMPLEX-M es el resultado de la experiencia de 25 años fabricando bombas estampadas en acero inoxidable, y mejor de la anterior SIMPLEX.

Es una bomba totalmente estampada según patente N°9101925, ya que Cuerpo, Tapa y Turbina son piezas efectuadas mediante deformación en frío.

A esto hemos añadido la brida estampada también en inoxidable, remitiéndonos a nuestra patente N°286465 que recoge el principio de la separación de la bomba en tres piezas estampadas: Cuerpo, Tapa y Brida, y su posterior unión.

Se caracteriza por su gran simplicidad y al ser de turbina abierta, permite el trasiego

de líquidos conteniendo partículas en suspensión. Acabado pulido mate.

-Cuerpo bomba en acero inoxidable, embutido en frío, espesor 2 mm mínimo, con salida central i difusor incluido (Pat) que aumenta considerablemente el rendimiento de la bomba.

-Tapa bomba de acero inoxidable, embutida en frío, espesor 2 mm, con alojamiento de gran dimensión para una buena refrigeración del cierre mecánico.

-Turbina de acero inoxidable, de tipo abierto, totalmente embutida en frío, sin soldaduras, espesor 3 mm, con alojamiento especial que se acopla directamente en el eje (Pat).

-Brida de acero inoxidable, embutida en frío, espesor 2mm, con autocentraje.

-Eje intercambiable, independiente del motor.

-Cierre mecánico simple interior, tipo ROTEN-3 (opcional: viton, widia, etc).

-Bancada estampada de hierro, pintada.

-Motor IEC IP-55.

**APLICACIONES**

Aguas, vino, salmueras, zumos, etc.

**TECHNICAL SPECIFICATIONS**

Flow rate..... Q = 1 to 30 m<sup>3</sup>/h  
 Total head..... H = 5 to 35 mwc  
 Motors..... P = 0.5 to 4 hp  
 (0.37 to 3 kW)  
 Temperature..... T = 80°C  
 (Special seal 120°C)  
 Material..... AISI-316L

**DESCRIPTION**

Centrifugal pump for transferring liquids.

**PATENTED:**  
**Utility Model No 9101925**  
**Utility Model No 286465**

The SIMPLEX-M pump is the result of 25 years experience manufacturing pumps from pressed stainless steel and is an improvement over the previous SIMPLEX model.

It is a completely pressed pump in accordance with patent No 9101925, since the body, cover and impeller are made by cold pressing.

To this we have added a stamped stainless steel flange, in accordance with our patent No 286465, which contains the principle of separating the pump into three pressed parts. The body, cover and flange, together with their external fastening.

It is characterised by its simplicity and since

it is an open impeller, it allows the pumping of liquids containing suspended particles. Matt burnished finish.

-Stainless steel, cold pressed pump body, 2 mm minimum thickness, with central outlet and diffuser (patented), which considerably improves pump performance.

-Pump cover in cold pressed stainless steel, 2 mm thick, with large-size housing for efficient cooling of mechanical seal.

-Open type stainless steel impeller, completely cold pressed, without any welds, 3 mm thick, with special housing that couples directly to the shaft (patented).

-Cold pressed, stainless steel flange, 2 mm thick, self aligning..

-Replaceable shaft, independent of the motor.

-Single internal mechanical seal, type ROTEN-3 (optional: viton, tungsten carbide etc).

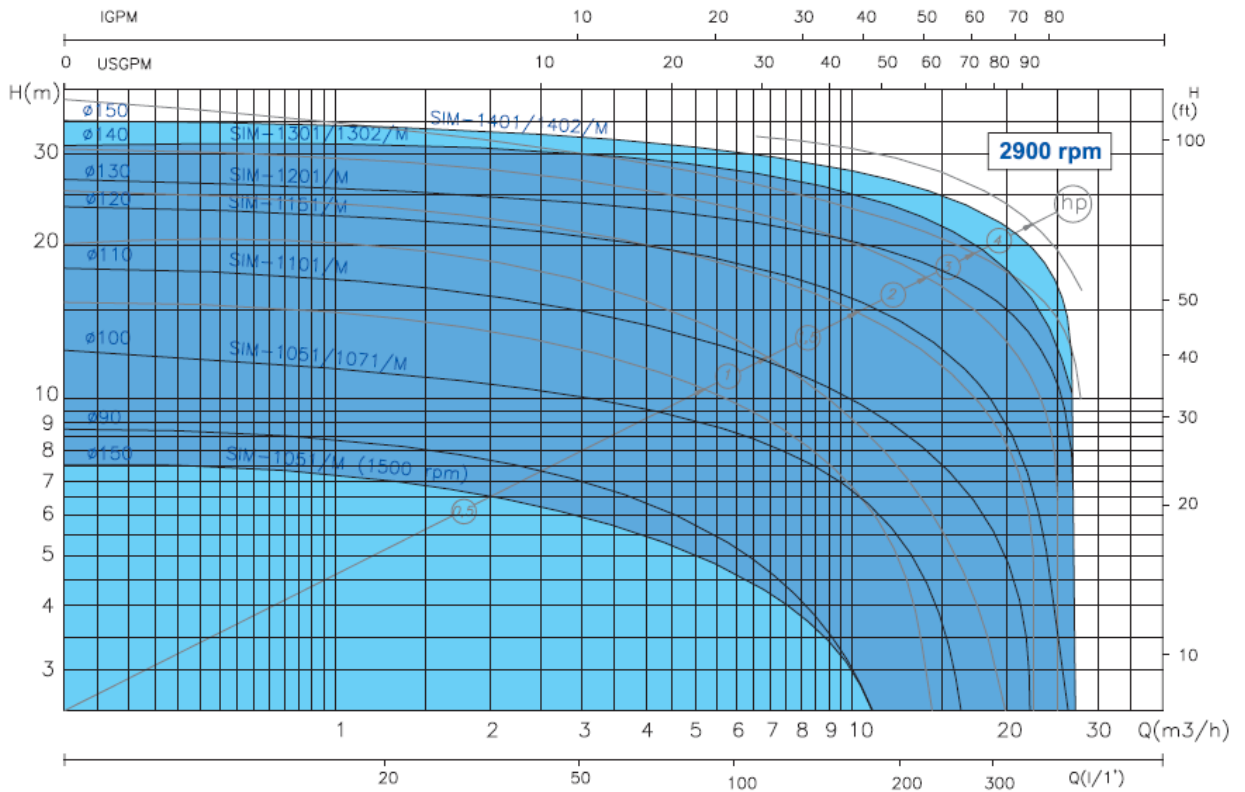
-Cold pressed steel base, painted.

-Motor IEC IP-55.

**APPLICATIONS**

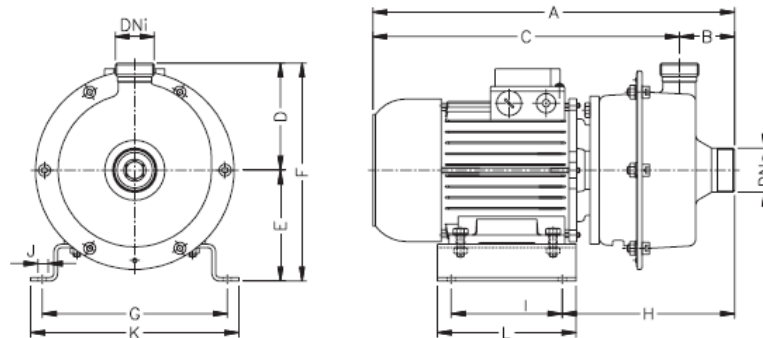
Water, wine, brine and juices etc.

**■ CURVAS CARACTERÍSTICAS / CHARACTERISTIC CURVES**



NOTA: Estas curvas se entienden para líquido no viscoso de densidad 1 cST. / NOTE: The curves are understood to be for non-viscous liquids with a density of 1 cST.

**■ DIMENSIONES / DIMENSIONS**



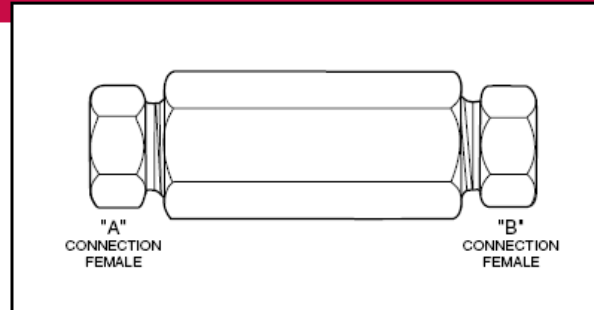
| TIPO / TYPE | MOTOR / MOTOR |      |      |      | DIMENSIONES / DIMENSIONS (mm) |    |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |            | PESO / WEIGHT (kg) |      |
|-------------|---------------|------|------|------|-------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|------------|--------------------|------|
|             | TAMANO / SIZE | hp   | kW   | rpm  | A                             | B  | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J  | K   | L   | DNa        |                    | DNi  |
| SIM-1051    | 71            | 0,5  | 0,37 | 1500 | 362                           | 60 | 302 | 116 | 111 | 227 | 180 | 189 | 95  | 9  | 205 | 125 | GAS 1 1/2" | GAS 1 1/4"         | 11,5 |
| SIM-1051    | 71            | 0,5  | 0,37 | 3000 | 362                           | 60 | 302 | 116 | 111 | 227 | 180 | 189 | 95  | 9  | 205 | 125 | GAS 1 1/2" | GAS 1 1/4"         | 11,5 |
| SIM-1071    |               | 0,75 | 0,55 |      |                               |    |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |            |                    |      |
| SIM-1101    | 80            | 1    | 0,75 | 3000 | 392                           | 60 | 332 | 116 | 120 | 236 | 200 | 187 | 120 | 9  | 225 | 150 | GAS 1 1/2" | GAS 1 1/4"         | 15,5 |
| SIM-1151    |               | 1,5  | 1    |      |                               |    |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |            |                    |      |
| SIM-1201    | 90            | 2    | 1,5  | 3000 | 427                           | 60 | 367 | 116 | 130 | 246 | 225 | 198 | 135 | 11 | 255 | 170 | GAS 1 1/2" | GAS 1 1/4"         | 17,5 |
| SIM-1301    |               | 3    | 2,2  |      |                               |    |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |            |                    |      |
| SIM-1401    | 90LC          | 4    | 3    | 3000 | 427                           | 60 | 367 | 116 | 130 | 246 | 225 | 198 | 135 | 11 | 255 | 170 | GAS 1 1/2" | GAS 1 1/4"         | 25,5 |
| SIM-1302    | 90            | 3    | 2,2  | 3000 | 422                           | 55 | 367 | 116 | 130 | 246 | 225 | 193 | 135 | 11 | 255 | 170 | GAS 2"     | GAS 1 1/4"         | 21,5 |
| SIM-1402    | 90LC          | 4    | 3    | 3000 | 422                           | 55 | 367 | 116 | 130 | 246 | 225 | 193 | 135 | 11 | 255 | 170 | GAS 2"     | GAS 1 1/4"         | 25,5 |

## (6). Uniones roscadas, para la línea de alta presión

### Adapters/Couplings - Couplings

The couplings shown here permit the joining of any combination of standard size tubing or tubing and standard pipe with female-to-female couplings. Other couplings available on special order.

**Pressure Rating** - The pressure rating of Autoclave couplings is based on the lower rated connection used.



Note: Special material couplings may be supplied with four flats in place of standard hex.

#### How to use the Ordering Chart below:

1. Locate "A" connection in the vertical column.
2. Locate the desired "B" connection across the top of the chart.
3. The catalog number of the required coupling is located at the intersection of the two columns.

| "A" Connection             |                | "B" Connection      |               |            |            |                 |               |               |                |               |              |              |             |             |              |                 |           |
|----------------------------|----------------|---------------------|---------------|------------|------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|-----------|
|                            |                | SpeedBite           |               |            |            | Medium Pressure |               |               |                | High Pressure |              |              |             |             |              |                 |           |
| Tube Outside in (mm)       | Connector Type | Pressure psi (bar)* | 1/8 W 125     | 1/4 SW 250 | 3/8 SW 375 | 1/2** SW 500    | 1/4 SF 250 CX | 3/8 SF 375 CX | 9/16 SF 562 CX | 3/4 SF 750 CX | 1 SF 1000 CX | 1 F 1000 C43 | 1/4 F 250 C | 3/8 F 375 C | 9/16 F 562 C | 5/16 F 312 C150 |           |
| SpeedBite                  | 1/8 (3.18)     | W125                | 15,000 (1034) | 15F 2211   | 6F 2412    | 6F 2612         | 4F 2812       | 15F 2416      | 15F 2616       | 15F 2916      | 15F 21616    |              | 15F 2413    | 15F 2613    | 15F 2913     |                 |           |
|                            | 1/4 (6.35)     | SW250               | 15,000 (1034) |            | 6F 4422    | 6F 4622         | 4F 4822       | 6F 4426       | 6F 4626        | 6F 4926       |              |              | 6F 4423     | 6F 4623     | 6F 4923      |                 |           |
|                            | 3/8 (9.52)     | SW375               | 15,000 (1034) |            |            | 6F 6622         | 4F 6822       | 6F 6426       | 6F 6626        | 6F 6926       | 6F 61226     | 6F 61626     | 6F 6423     | 6F 6623     | 6F 6923      |                 |           |
|                            | 1/2 (12.70)    | SW500               | 10,000 (690)  |            |            |                 | 4F 8822       | 4F 8426       | 4F 8626        | 4F 8926       | 4F 81226     | 4F 81626     | 4F 8423     | 4F 8623     | 4F 8923      |                 |           |
| Medium Pressure            | 1/4 (6.35)     | SF250 CX            | 20,000 (1379) |            |            |                 |               | 20FX 4466     | 20F 4666       | 20F 4966      | 20F 41266    | 20F 41666    | 43F 41663   | 20F 4463    | 20F 4663     | 20F 4963        | 20F 4663  |
|                            | 3/8 (9.52)     | SF375 CX            | 20,000 (1379) |            |            |                 |               |               | 20FX 6666      | 20F 6966      | 20F 61266    | 20F 61666    | 43F 61663   | 20F 6463    | 20F 6663     | 20F 6963        | 20F 6663  |
|                            | 9/16 (14.27)   | SF562 CX            | 20,000 (1379) |            |            |                 |               |               |                | 20FX 9966     | 20F 91266    | 20F 91666    |             | 20F 9463    | 20F 9663     | 20F 9963        | 20F 9663  |
|                            | 3/4 (19.05)    | SF750 CX            | 20,000 (1379) |            |            |                 |               |               |                |               | 20FX 12      | 20F 121666   |             | 20F 12463   | 20F 12663    | 20F 12963       | 20F 12563 |
|                            | 1 (25.40)      | SF1000 CX           | 20,000 (1379) |            |            |                 |               |               |                |               |              | 20FX 16      |             | 20F 16463   | 20F 16663    | 20F 16963       | 20F 16563 |
| High Pressure              | 1 (25.40)      | F1000 C43           | 43,000 (2965) |            |            |                 |               |               |                |               |              |              | 43F 16      |             |              |                 |           |
|                            | 1/4 (6.35)     | F250 C              | 60,000 (4137) |            |            |                 |               |               |                |               |              |              | 43F 41633   | 60F 4433    | 60F 4633     | 60F 4933        | 60F 4533  |
|                            | 3/8 (9.52)     | F375 C              | 60,000 (4137) |            |            |                 |               |               |                |               |              |              | 43F 61633   |             | 60F 6633     | 60F 6933        | 60F 6533  |
|                            | 9/16 (14.27)   | F562 C              | 60,000 (4137) |            |            |                 |               |               |                |               |              |              | 43F 91633   |             |              | 60F 9933        | 60F 9533  |
|                            | 9/16 (14.27)   | F562 C40            | 40,000 (2760) |            |            |                 |               |               |                |               |              |              |             |             |              |                 | 40F 9933  |
|                            | 5/16 (7.92)    | F312 C150           | 15,000 (1034) |            |            |                 |               |               |                |               |              |              |             |             |              |                 |           |
| National Pipe Thread (NPT) | 1/8 (3.18)     | NPT                 | 15,000 (1034) | 15F 2281   | 15F 2482   | 15F 2682        | 15F 2882      | 15F 2486      | 15F 2686       | 15F 2986      | 15F 21286    |              |             | 15F 2483    | 15F 2683     | 15F 2983        | 15F 2583  |
|                            | 1/4 (6.35)     | NPT                 | 15,000 (1034) | 15F 4281   | 15F 4482   | 15F 4682        | 15F 4882      | 15F 4486      | 15F 4686       | 15F 4986      | 15F 41286    | 15F 41686    |             | 15F 4483    | 15F 4683     | 15F 4983        | 15F 4583  |
|                            | 3/8 (9.52)     | NPT                 | 15,000 (1034) | 15F 6281   | 15F 6482   | 15F 6682        | 15F 6882      | 15F 6486      | 15F 6686       | 15F 6986      | 15F 61286    | 15F 61686    |             | 15F 6483    | 15F 6683     | 15F 6983        | 15F 6583  |
|                            | 1/2 (12.70)    | NPT                 | 15,000 (1034) | 15F 8281   | 15F 8482   | 15F 8682        | 15F 8882      | 15F 8486      | 15F 8686       | 15F 8986      | 15F 81286    | 15F 81686    |             | 15F 8483    | 15F 8683     | 15F 8983        | 15F 8583  |
|                            | 3/4 (19.05)    | NPT                 | 10,000 (1034) |            |            |                 | 10F 12882     |               | 10F 12686      | 10F 12986     | 10F 121286   | 10F 121686   |             |             |              | 10F 12983       |           |
|                            | 1 (25.40)      | NPT                 | 10,000 (1034) |            |            |                 |               |               | 10F 16986      |               | 10F 161686   | 10F 161686   |             | 10F 16483   |              | 10F 16983       |           |

\*Maximum pressure rating is based on the lowest rating of any component.  
Actual working pressure may be determined by tubing pressure rating, if lower.  
\*\*1/2 low pressure rated to 10,000 psi.

All dimensions for reference only and subject to change.  
For prompt service, Autoclave stocks select products. Consult your local representative.  
CAUTION: See appropriate pressure section in reference to proper selection of tubing.



## (7) Compresor.



### Información del compresor - H5450

Modelo **H5450**  
Serie **Reavell**  
Descripción **Marine, Aire y gas industriales, Defensa**

Suministro de aire libre con presión nominal (m<sup>3</sup>/min) **3.733 a 21.5**  
Presión operativa máx. o nominal (Bar g) **50 a 350**  
Salida del motor (kW) **55 a 110**  
Longitud (mm) **2888**  
Anchura (mm) **1797**  
Altura (mm) **1696**  
Peso (Kg) **4000**  
Velocidad (rpm) **1101 a 929**  
Sistema de refrigeración **refrigerado por aire**  
Con presión operativa nominal: **50 Bar g**,  
Suministro de aire libre = **13.76 m<sup>3</sup>/min**  
Potencia (kW): **55**  
Velocidad (rpm): **929**  
Presión de entrada (Bar g): **15**

Con presión operativa nominal: **50 Bar g**,  
Suministro de aire libre = **11.21 m<sup>3</sup>/min**  
Potencia (kW): **75**  
Velocidad (rpm): **1475**  
Presión de entrada (Bar g): **7**

Con presión operativa nominal: **50 Bar g**,  
Suministro de aire libre = **14.13 m<sup>3</sup>/min**  
Potencia (kW): **90**  
Velocidad (rpm): **1318**  
Presión de entrada (Bar g): **7**

Con presión operativa nominal: **50 Bar g**,  
Suministro de aire libre = **15.75 m<sup>3</sup>/min**  
Potencia (kW): **110**  
Velocidad (rpm): **1475**  
Presión de entrada (Bar g): **7**

Con presión operativa nominal: **50 Bar g**,  
Suministro de aire libre = **21.5 m<sup>3</sup>/min**  
Potencia (kW): **110**  
Velocidad (rpm): **1475**  
Presión de entrada (Bar g): **15**

Con presión operativa nominal: **50 Bar g**,  
Suministro de aire libre = **20.4 m<sup>3</sup>/min**  
Potencia (kW): **90**  
Velocidad (rpm): **1396**  
Presión de entrada (Bar g): **15**

Con presión operativa nominal: **50 Bar g**,  
Suministro de aire libre = **18.2 m<sup>3</sup>/min**  
Potencia (kW): **75**  
Velocidad (rpm): **1239**  
Presión de entrada (Bar g): **15**

Con presión operativa nominal: **50 Bar g**,  
Suministro de aire libre = **7.866 m<sup>3</sup>/min**  
Potencia (kW): **55**  
Velocidad (rpm): **1475**  
Presión de entrada (Bar g): **7**

Con presión operativa nominal: **350 Bar g**,  
Suministro de aire libre = **3.733 m<sup>3</sup>/min**  
Potencia (kW): **55**  
Velocidad (rpm): **1475**  
Presión de entrada (Bar g): **7**

Con presión operativa nominal: **350 Bar g**,  
Suministro de aire libre = **5.85 m<sup>3</sup>/min**  
Potencia (kW): **75**  
Velocidad (rpm): **1101**  
Presión de entrada (Bar g): **7**

Con presión operativa nominal: **350 Bar g**,

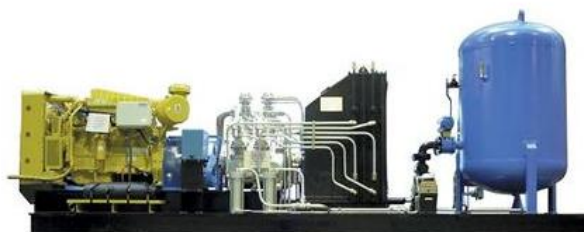


### Información adicional

#### Interior con cubierta



#### Versión diesel (sin cubierta)



Los compresores H5450 y H5470 tienen una gama de cilindros configurables que permiten un acercamiento muy estrecho a la duty necesaria. De este modo, las máquinas se pueden disponer con 1 a 5 etapas usando 3 a 6 cilindros.

El cárter del motor se puede presurizar hasta 15 bar g, lo cual permite aplicaciones booster de gas peligroso, y el cárter del motor se iguala a la presión de aspiración.

Para gases inertes, las unidades pueden usarse con una presión de aspiración máxima de 100 bar g, con el uso de un cárter del motor no presurizado.

#### Aplicaciones de gas

Estas máquinas trabajar con diferentes gases, dependiendo de la aplicación. Su vendedor estará complacido de asesorarle, pero los gases característicos incluyen: argón, biogás, monóxido de carbono, dióxido de carbono, etano, etileno, helio, hidrógeno, metano, gas natural, neón, nitrógeno, gas de fangos, hexafluoruro sulfúrico y xenón.

## (8) Indicador de temperatura

|                    | HI 150-00  | HI 150-10                       |
|--------------------|--|---------------------------------|
| RANGO              | -20.0 a 60.0°C   |                                 |
| RESOLUCIÓN         | 0.1°C  |                                 |
| PRECISION (@20 °C) | +/-0.5°C   |                                 |
| PUNTO DE CONSIGNA  | Seleccionable de 0.0 a 50.0°C  | Seleccionable de -20.0 a 20.0°C |
| ALARMA             | Relé y LED se activan si temp > set point<br>Relé y LED se activan si temp < set point |                                 |
| SONDA              | Directa en acero inox (fija)   |                                 |
| ALIMENTACIÓN       | Adaptador externo 12 VDC (incluido)  |                                 |
| COND. DE TRABAJO   | -20 a 60°C ; R.H. 100%   |                                 |
| DIMENSIONES        | 86 x 94 x 33mm   |                                 |
| PESO               | 150 gr   |                                 |



## (9) Indicador de presión

FICHA TÉCNICA Mod. C Ø100 REV.0 Edición 4/06



# MELVEN

# Modelo C

**MANOMETROS ROBUSTOS CON EXACTITUD  $\pm 1,0\%$**

### DESCRIPCION

Manómetros montados en caja de acero inoxidable AISI 304, órganos internos de aleación de cobre y aguja regulable.

### APLICACIONES

Especialmente indicado para el montaje de accesorios como agujas de máxima y contactos eléctricos.

Ø100



Página 1 de 2

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

FABRICADO SEGUN NORMA: EN 837-1

DIMENSION NOMINAL: Ø100

RANGOS DE MEDIDA STANDARD:

Vacuómetros. -1/0 bar / -76/0 cmHg.

Manómetros. 0,6 / 1 / 1,6 / 2,5 / 4 / 6 / 10 /

16 / 25 / 40 / 60 / 100 / 160 / 250 / 315 /

400 / 600 / 1000 (bar).

Manovacuómetros. -1 a +0,6 / -1 a +1,5 /

-1 a +3 / -1 a +5 / -1 a +9 / -1 a +15 /

-1 a +24 (bar).

CAJA Y ARO: Acero inoxidable AISI 304, aro tipo bayoneta.

RACOR: Aleación de cobre de 1/2" GAS (BSP).

ELEMENTO SENSIBLE: Aleación de cobre hasta 160 bar, de 250 a 1000 bar acero inoxidable AISI 316

TRANSMISION: Aleación de cobre.

ESFERA: De aluminio lacada de blanco, escala y números en color negro.

AGUJA: Regulable de aluminio lacada de negro, con el centro de aluminio.

TRANSPARENTE: Policarbonato.

CLASE DE EXACTITUD:  $\pm 1,0\%$  del valor final de la escala.

SOBREPRESION APLICADA AL INSTRUMENTO EN EL MOMENTO DE SU AJUSTE:

25% del valor final de la escala hasta 60 bar.

15% del valor final de la escala de 100 a 600 bar.

10% del valor final de la escala para 1000 bar.

PRESION DE TRABAJO:

Presión constante: 3/4 partes del valor final de la escala.

Presión variable: 2/3 partes del valor final de la escala.

Presión en periodos cortos: final de escala.

TEMPERATURA DE SERVICIO: max +65°C.

TEMPERATURA AMBIENTE: +5° a +60°C.

DERIVA POR TEMPERATURA: La variación en la exactitud del instrumento sera de  $\pm 0,4\%$  cada 10°C. (Temperatura de referencia 20°C  $\pm 2^\circ\text{C}$ )

GRADO DE PROTECCION: IP65.

### OPCIONES

Escala especiales (psi, KPa, MPa, TN, etc).

Logotipo cliente impreso en la esfera.

Roscas en 1/4" GAS, 3/8" GAS, 1/2" NPT.

Visor de cristal templado.

Con carga de glicerina.

Contactos eléctricos.

Separadores de fluidos.

Aguja de máxima.

### TIPOS DE CONEXION



10010C

10020C

10030C

10040C


10060C

P.T. 001 ANEXO A





## (10) Controlador de presión.

| <b>Medidor de presión PCE-932</b><br><b>medidor de presión con sensores externos para rangos de medición de hasta 500 bar, interfaz RS-232 y software opcional para la transmisión de datos al PC</b>  |  |
|--|--|
| <p>El medidor de presión en su robusta carcasa se emplea para medir la presión en rangos altos en la industria, en investigación y desarrollo. A este medidor de presión digital pueden conectarse tomas de presión de hasta un máximo de 400 bar (con un cable de conexión de 1,2 m). La interfaz integrada RS-232 se emplea fundamentalmente en los puestos de prueba y en el sector del desarrollo para transmitir directamente los datos a un PC (con el cable opcional para el PC y el software). El aparato se entrega calibrado, se puede obtener de manera opcional una calibración de laboratorio ISO con certificado incluido.</p>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mide presión de sistema de todos los medios.</li> <li>- Hasta un max. de 400 bar (dependiendo del sensor conectado).</li> <li>- No es necesaria una recalibración al cambiar el sensor.</li> <li>- Interfaz RS-232.</li> <li>- Software opcional para la transmisión de datos.</li> <li>- La pantalla muestra diferentes unidades en (bar, psi, mWs ...).</li> <li>- Función Data Hold.</li> <li>- Gran pantalla.</li> <li>- Indicador de estado de la batería.</li> <li>- Auto desconexión para proteger la batería (esta función puede ser desconectada).</li> <li>- Puesta a cero (Tara) en todo momento.</li> <li>- MAX / MIN Hold</li> </ul> |   |
| <b>Ámbitos de aplicación</b>   |  |
| <p>Las aplicaciones del medidor de presión son múltiples. Se puede emplear en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El sector hidráulico, con compresores e instalaciones de bombeo.</li> <li>- El sector químico para control de procesos, mediciones en tanques y silos, mediciones de blenda.</li> <li>- El sector de fabricación, en procesos de prensado, por ejemplo en la industria del plástico.</li> <li>- El sector de investigación y desarrollo.</li> <li>- En general para optimizar y comprobar los procesos.</li> </ul>   |  |
| <b>Especificaciones técnicas</b>   |  |
| Rango de medición  | 0 ... 400 bar (dependiendo del sensor / la toma)   |
| Selección de unidades  | bar, psi, kg/cm <sup>2</sup> , mm/Hg, inch/Hg, meter/H <sub>2</sub> O, inch/H <sub>2</sub> O, atmósferas   |
| Toma de presión a conectar   | opcional, tensión DC 5 V, salida máxima del sensor DC 100 mV (ver los rangos a continuación)   |
| Puesta a cero  | por medio del teclado  |
| Funciones  | medición de presión, mantenimiento de valores MIN y MAX, transmisión directa de los valores de medición al PC o laptop por medio de la interfaz RS-232 integrada |
| Auto desconexión   | para proteger la batería (se puede desconectar)  |

|  |  |               |                  |                 |
|--|--|---------------|------------------|-----------------|
| Cuota de medición  | aprox. cada 0,8 s  |               |                  |                 |
| Pantalla / Indicador   | gran pantalla LCD de 61 x 34 mm con cifras de 15 mm de altura                |               |                  |                 |
| Carcasa  | plástico ABS   |               |                  |                 |
| Estado de la batería   | aparece en la pantalla   |               |                  |                 |
| Alimentación   | batería de bloque de 9 V   |               |                  |                 |
| Dimensiones  | 180 x 72 x 32 mm   |               |                  |                 |
| Peso   | 345 g  |               |                  |                 |
| Rango de temperatura ambiental   | 0 ... 50 °C  |               |                  |                 |
| Rango de humedad ambiental   | 0 ... 80 % H.r.  |               |                  |                 |
| <b>Contenido del envío</b>   |  |               |                  |                 |
| 1 medidor de presión PCE-932, instrucciones de uso (los sensores o las tomas de presión se deben pedir por separado dentro de los componentes opcionales). |  |               |                  |                 |
| <b>Adicional</b>   |  |               |                  |                 |
| - Tomas de presión / Sensores de presión<br><br>                         | <b>Modelo</b>  | <b>Rango</b>  | <b>Precisión</b> | <b>Resoluc.</b> |
|  | PS-100-20  | 0 ... 20 bar  | ± 0,5 % F.S.     | 0,02 bar        |
|  | PS-100-50  | 0 ... 50 bar  | ± 0,5 % F.S.     | 0,05 bar        |
|  | PS-100-100   | 0 ... 100 bar | ± 0,5 % F.S.     | 0,1 bar         |
|  | PS-100-400   | 0 ... 400 bar | ± 0,5 % F.S.     | 0,5 bar         |
|  | Rosca:<br>1/4 " (para atornillar en llaves esféricas, tubos, orificios, ...) |               |                  |                 |
|  | Temperatura máxima:<br>+ 80 °C   |               |                  |                 |
|  | Dimensiones:<br>diámetro 30 mm x longitud 85 mm                              |               |                  |                 |
| Peso:<br>160 g   |  |               |                  |                 |
| con cable de conexión de 1,2 m   |  |               |                  |                 |
| - Software con cable RS-232 de conexión al PC<br>- Calibración ISO con certificado incluido<br>- Conversor USB (RS-232 a USB)                              |  |               |                  |                 |

## (11) Indicador de pH



### Electrodos con junta de Teflón

- La junta de teflón y el electrolito de referencia (gel de polímero) resistentes obstrucción
- Excelente para aplicaciones simples de agua de llave
- Bajo costo



junta de Teflón

Estos electrodos permanentemente encapsulados, de doble junta combinados con electrodos que tienen filamentos de  $\frac{3}{4}$ " NPT en ambos extremos. Instálelo en junta T o en una pipa de sumersión para montaje en tanque. Escoja el modelo WD-35807-35 con elemento interno ATC, el cual toma lecturas con compensación automática de temperatura.

Cuerpo: CPVC, cable de 3,0 m

ATC conector: extremos descubiertos (WD-35807-35 solo)

Rango: 0 a 12 pH                      Máx temp.: 80°C

Dimensiones: 17,1 cm x 2,5 cm OD      Peso: 0,2 kg

| Model. no.  | Tipo            | Elemento ATC        |
|-------------|-----------------|---------------------|
| WD-35807-30 | Electrodo de pH | —                   |
| WD-35807-35 | Electrodo de pH | 100 $\Omega$ Pt 100 |

WD-35801-54 Soporte para inmersión de PVC,  $\frac{3}{4}$ " NPT(F). 0,9 m de largo

Teflon—Reg TM E.I. Du Pont de Nemours & Co.

## (12) Controlador de nivel

| Especificaciones        | HI 7871   |
|-------------------------|---|
| TRANSMISION             | 300 mt (máx)  |
| CONEXIÓN                | Conector de 11 pines HI 7164 (no incluido)                              |
| AJUSTE DE NIVEL         | Alto y bajo   |
| INDICACION DE NIVEL     | Alto y bajo   |
| BARRAS SENSORAS         | Necesarias tres<br>(HI 731324 paquete de 5 unid. no incluido)           |
| TRANSMISOR              | HI 7874 (no incluido)   |
| CONTACTO DE SALIDA      | 1 relé 2A/220V para Dos relés 2A/220V<br>valor alto 1.000.000 maniobras |
| TENSION DE ALIMENTACION | 220/240V; 50/60 Hz  |
| COND. DE TRABAJO        | 0 a 50 °C ; HR 95%  |
| DIMENSIONES/PESO        | 79 x 49 x 95 / 130 grs  |



**(13) Codos y tes de acero inoxidable para presiones moderadas**

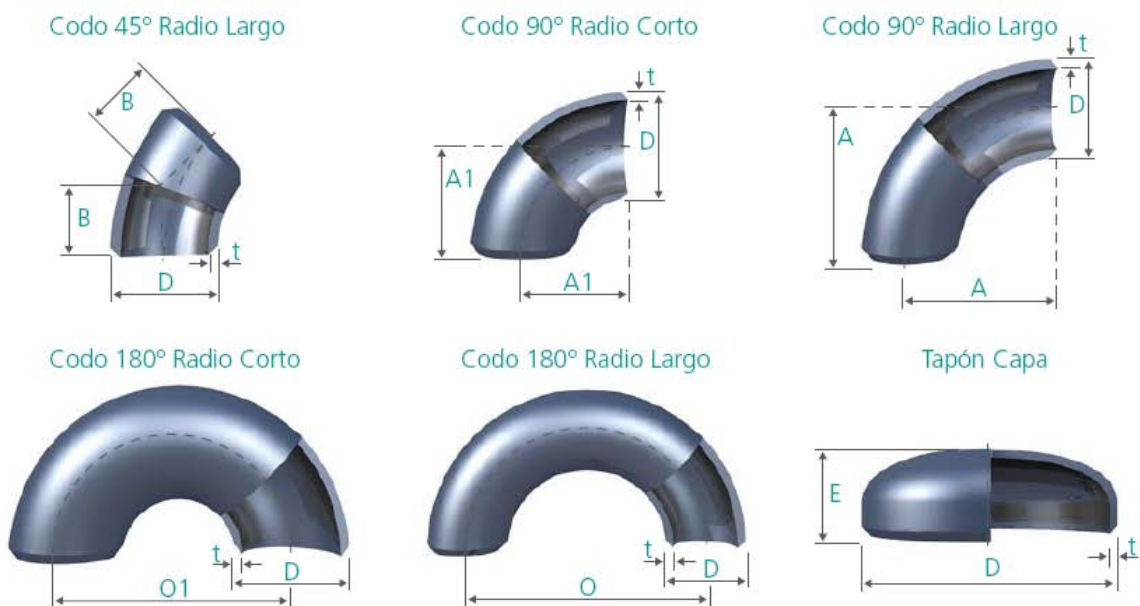
| CODOS, TES Y TAPONES CAPA |                  |               |               |                 |                 |               |             |        |                  |
|---------------------------|------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|--------|------------------|
| NPS                       | DIÁMETRO EXTERNO | CENTRO A CARA | CENTRO A CARA | CENTRO A CENTRO | CENTRO A CENTRO | CENTRO A CARA | LONGITUD E* |        | CENTRO A EXTREMO |
|                           | D                | A             | A1            | O               | O1              | B             | <=XS        | XS>    | C-M              |
| 1/2"                      | 21.34            | 38.00         | 19.00         | 76.00           | 36.00           | 16.00         | 25.00       | 25.00  | 25.00            |
| 3/4"                      | 26.67            | 38.00         | 18.00         | 76.00           | 36.00           | 11.00         | 25.00       | 25.00  | 29.00            |
| 1"                        | 33.40            | 38.00         | 25.00         | 76.00           | 51.00           | 22.00         | 38.00       | 38.00  | 38.00            |
| 1 1/4"                    | 42.16            | 48.00         | 32.00         | 95.00           | 64.00           | 25.00         | 38.00       | 38.00  | 48.00            |
| 1 1/2"                    | 48.26            | 57.00         | 38.00         | 114.00          | 76.00           | 29.00         | 38.00       | 38.00  | 57.00            |
| 2"                        | 60.32            | 76.00         | 51.00         | 152.00          | 102.00          | 35.00         | 38.00       | 44.00  | 64.00            |
| 2 1/2"                    | 73.02            | 95.00         | 64.00         | 191.00          | 127.00          | 44.00         | 38.00       | 51.00  | 76.00            |
| 3"                        | 88.90            | 114.00        | 76.00         | 229.00          | 152.00          | 51.00         | 51.00       | 64.00  | 86.00            |
| 3 1/2"                    | 101.60           | 133.00        | 89.00         | 267.00          | 178.00          | 57.00         | 64.00       | 16.00  | 95.00            |
| 4"                        | 114.30           | 152.00        | 102.00        | 305.00          | 203.00          | 64.00         | 64.00       | 76.00  | 105.00           |
| 5"                        | 141.30           | 190.00        | 127.00        | 381.00          | 254.00          | 79.00         | 76.00       | 89.00  | 124.00           |
| 6"                        | 168.27           | 229.00        | 152.00        | 457.00          | 305.00          | 95.00         | 89.00       | 102.00 | 143.00           |
| 8"                        | 219.07           | 305.00        | 203.00        | 610.00          | 406.00          | 127.00        | 102.00      | 127.00 | 178.00           |
| 10"                       | 273.05           | 381.00        | 254.00        | 762.00          | 508.00          | 159.00        | 127.00      | 152.00 | 216.00           |
| 12"                       | 323.85           | 475.00        | 305.00        | 914.00          | 610.00          | 190.00        | 152.00      | 178.00 | 254.00           |
| 14"                       | 355.60           | 533.00        | 356.00        | 1,067.00        | 711.00          | 222.00        | 165.00      | 191.00 | 279.00           |
| 16"                       | 406.40           | 610.00        | 406.00        | 1,219.00        | 813.00          | 254.00        | 178.00      | 203.00 | 305.00           |
| 18"                       | 457.20           | 686.00        | 457.00        | 1,372.00        | 914.00          | 286.00        | 203.00      | 229.00 | 343.00           |
| 20"                       | 508.00           | 762.00        | 508.00        | 1,524.00        | 1,016.00        | 318.00        | 229.00      | 254.00 | 381.00           |
| 22"                       | 558.80           | 838.00        | 559.00        | 1,676.00        | 1,118.00        | 343.00        | 254.00      | 254.00 | 419.00           |
| 24"                       | 609.60           | 914.00        | 610.00        | 1,829.00        | 1,219.00        | 381.00        | 267.00      | 305.00 | 432.00           |
| 26"                       | 660.40           | 991.00        | 660.00        |                 |                 | 406.00        | 267.00      | 267.00 | 495.00           |
| 28"                       | 711.20           | 1,067.00      | 711.00        |                 |                 |               | 267.00      | 267.00 | 521.00           |
| 30"                       | 762.00           | 1,143.00      | 762.00        |                 |                 | 470.00        | 267.00      | 267.00 | 559.00           |
| 32"                       | 812.80           | 1,219.00      | 813.00        |                 |                 |               | 267.00      | 267.00 | 597.00           |
| 34"                       | 863.60           | 1,295.00      | 864.00        |                 |                 | 533.00        | 267.00      | 267.00 | 635.00           |
| 36"                       | 914.40           | 1,372.00      | 914.00        |                 |                 | 565.00        | 267.00      | 267.00 | 673.00           |

Tabla 1

Todas las dimensiones se expresan en milímetros, excepto las de NPS que se expresan en pulgadas.

\* El dato indicado en la columna de la izquierda se refiere a tapones capa con espesor menor o igual a cédula XS. El dato indicado en la columna de la derecha se refiere a tapones capa con espesor mayor a cédula XS.

Dimensiones bajo las normas ASME B 16.9 y ASME B 16.28



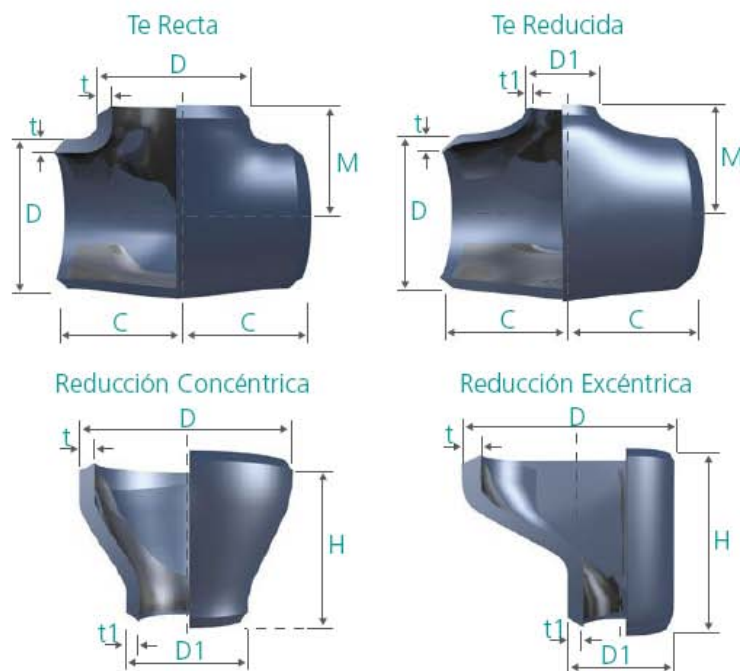


DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRTICO.

| ESPESOR DE PARED |                  |  |       |       |      |       |       |       |       |       |       |  |       |       |      |      |       |       |
|------------------|------------------|--|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|------|------|-------|-------|
| NPS              | DIÁMETRO EXTERNO | NORMA ASME B 36.10<br>ESPESOR DE PARED NOMINAL (t) |       |       |      |       |       |       |       |       |       | NORMA ASME B 36.19<br>ESPESOR DE PARED NOMINAL (t) |       |       |      |      |       |       |
|                  |                  | CÉDULA   |       |       |      |       |       |       |       |       |       | CÉDULA   |       |       |      |      |       |       |
|                  |                  | 10   | 20    | 30    | STD  | 40    | 60    | XS    | 80    | 100   | 120   | 140  | 160   | XXS   | 55   | 105  | 405   | 805   |
| 1/2"             | 21.34            |  |       |       | 2.77 | 2.77  | 3.73  | 3.73  |       |       |       | 4.78   | 7.47  | 1.65  | 2.11 | 2.77 | 3.73  |       |
| 3/4"             | 26.67            |  |       |       | 2.87 | 2.87  | 3.91  | 3.91  |       |       |       | 5.56   | 7.82  | 1.65  | 2.11 | 2.87 | 3.91  |       |
| 1"               | 33.40            |  |       |       | 3.38 | 3.38  | 4.55  | 4.55  |       |       |       | 6.35   | 9.09  | 1.65  | 2.77 | 3.38 | 4.55  |       |
| 1 1/4"           | 42.16            |  |       |       | 3.56 | 3.56  | 4.85  | 4.85  |       |       |       | 6.35   | 9.70  | 1.65  | 2.77 | 3.56 | 4.85  |       |
| 1 1/2"           | 48.26            |  |       |       | 3.68 | 3.68  | 5.08  | 5.08  |       |       |       | 7.14   | 10.16 | 1.65  | 2.77 | 3.68 | 5.08  |       |
| 2"               | 60.32            |  |       |       | 3.91 | 3.91  | 5.54  | 5.54  |       |       |       | 8.74   | 11.07 | 1.65  | 2.77 | 3.91 | 5.54  |       |
| 2 1/2"           | 73.02            |  |       |       | 5.16 | 5.16  | 7.01  | 7.01  |       |       |       | 9.52   | 14.02 | 2.11  | 3.05 | 5.16 | 7.01  |       |
| 3"               | 88.90            |  |       |       | 5.49 | 5.49  | 7.62  | 7.62  |       |       |       | 11.13  | 15.24 | 2.11  | 3.05 | 5.49 | 7.62  |       |
| 3 1/2"           | 101.60           |  |       |       | 5.74 | 5.74  | 8.08  | 8.08  |       |       |       |  |       | 2.11  | 3.05 | 5.74 | 8.08  |       |
| 4"               | 114.30           |  |       |       | 6.02 | 6.02  | 8.56  | 8.56  | 11.13 |       | 13.49 | 17.12  |       | 2.11  | 3.05 | 6.02 | 8.56  |       |
| 5"               | 141.30           |  |       |       | 6.55 | 6.55  | 9.52  | 9.52  | 12.70 |       | 15.88 | 19.05  |       | 2.77  | 3.40 | 6.55 | 9.52  |       |
| 6"               | 168.27           |  |       |       | 7.11 | 7.11  | 10.97 | 10.97 | 14.27 |       | 18.26 | 21.95  |       | 2.77  | 3.40 | 7.11 | 10.97 |       |
| 8"               | 219.07           |  | 6.35  | 7.04  | 8.18 | 8.18  | 10.31 | 12.70 | 12.70 | 15.09 | 18.26 | 20.62  | 23.01 | 22.22 | 2.77 | 3.76 | 8.18  | 12.70 |
| 10"              | 273.05           |  | 6.35  | 7.80  | 9.27 | 9.27  | 12.70 | 12.70 | 15.09 | 18.26 | 21.44 | 25.40  | 28.58 | 25.40 | 3.40 | 4.19 | 9.27  | 12.70 |
| 12"              | 323.85           |  | 6.35  | 8.38  | 9.52 | 10.31 | 14.27 | 12.70 | 17.48 | 21.44 | 25.40 | 28.58  | 33.32 | 25.40 | 3.96 | 4.57 | 9.52  | 12.70 |
| 14"              | 355.60           | 6.35   | 7.92  | 9.52  | 9.52 | 11.13 | 15.09 | 12.70 | 19.05 | 23.83 | 27.79 | 31.75  | 35.71 |       | 3.96 | 4.77 |       |       |
| 16"              | 406.40           | 6.35   | 7.92  | 9.52  | 9.52 | 12.70 | 16.66 | 12.70 | 21.44 | 26.19 | 30.96 | 36.53  | 40.49 |       | 4.19 | 4.77 |       |       |
| 18"              | 457.20           | 6.35   | 7.92  | 11.13 | 9.52 | 14.27 | 19.05 | 12.70 | 23.83 | 29.36 | 34.93 | 39.67  | 45.24 |       | 4.19 | 4.77 |       |       |
| 20"              | 508.00           | 6.35   | 9.52  | 12.70 | 9.52 | 15.09 | 20.62 | 12.70 | 26.19 | 32.54 | 38.10 | 44.45  | 50.01 |       | 4.77 | 5.54 |       |       |
| 22"              | 558.80           | 6.35   | 9.52  | 12.70 | 9.52 | 15.88 | 22.22 | 12.70 | 28.58 | 34.92 | 41.28 | 47.63  | 53.98 |       | 4.77 | 5.54 |       |       |
| 24"              | 609.60           | 6.35   | 9.52  | 14.27 | 9.52 | 17.48 | 24.61 | 12.70 | 30.96 | 38.89 | 46.02 | 52.37  | 59.54 |       | 5.54 | 6.35 |       |       |
| 26"              | 660.40           | 7.92   | 12.70 |       | 9.52 |       |       | 12.70 |       |       |       |  |       |       |      |      |       |       |
| 28"              | 711.20           | 7.92   | 12.70 | 15.88 | 9.52 |       |       | 12.70 |       |       |       |  |       | 6.35  | 7.92 |      |       |       |
| 30"              | 762.00           | 7.92   | 12.70 | 15.88 | 9.52 |       |       | 12.70 |       |       |       |  |       |       |      |      |       |       |
| 32"              | 812.80           | 7.92   | 12.70 | 15.88 | 9.52 | 17.48 |       | 12.70 |       |       |       |  |       |       |      |      |       |       |
| 34"              | 863.60           | 7.92   | 12.70 | 15.88 | 9.52 | 17.48 |       | 12.70 |       |       |       |  |       |       |      |      |       |       |
| 36"              | 914.40           | 7.92   | 12.70 | 15.88 | 9.52 | 19.05 |       | 12.70 |       |       |       |  |       |       |      |      |       |       |

Tabla 2

Todas las dimensiones se expresan en milímetros, excepto las de NPS que se expresan en pulgadas.



DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRTICO.

| REDUCCIONES     |                   |                   |                  |                  |          |
|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|----------|
| NPS             | DIMENSIONES       |                   |                  |                  |          |
|                 | DIÁMETRO EXTERIOR | DIÁMETRO EXTERIOR | CENTRO A EXTREMO | CENTRO A EXTREMO | LONGITUD |
|                 | D                 | D1                | C                | M                | H        |
| 3/4" x 3/8"     | 27.00             | 17.00             | 29.00            | 29.00            | 38.00    |
| 3/4" x 1/2"     | 27.00             | 21.00             | 29.00            | 29.00            | 38.00    |
| 1" x 1 1/2"     | 33.00             | 21.00             | 38.00            | 38.00            | 51.00    |
| 1" x 1 3/4"     | 33.00             | 27.00             | 38.00            | 38.00            | 51.00    |
| 1 1/4" x 1/2"   | 42.00             | 21.00             | 48.00            | 48.00            | 51.00    |
| 1 1/4" x 3/4"   | 42.00             | 27.00             | 48.00            | 48.00            | 51.00    |
| 1 1/4" x 1"     | 42.00             | 33.00             | 48.00            | 48.00            | 51.00    |
| 1 1/2" x 1/2"   | 48.00             | 21.00             | 57.00            | 57.00            | 63.00    |
| 1 1/2" x 3/4"   | 48.00             | 27.00             | 57.00            | 57.00            | 63.00    |
| 1 1/2" x 1"     | 48.00             | 33.00             | 57.00            | 57.00            | 63.00    |
| 1 1/2" x 1 1/4" | 48.00             | 42.00             | 57.00            | 57.00            | 63.00    |
| 2" x 3/4"       | 60.00             | 27.00             | 64.00            | 44.00            | 76.00    |
| 2" x 1"         | 60.00             | 33.00             | 64.00            | 51.00            | 76.00    |
| 2" x 1 1/4"     | 60.00             | 42.00             | 64.00            | 57.00            | 76.00    |
| 2" x 1 1/2"     | 60.00             | 48.00             | 64.00            | 60.00            | 76.00    |
| 2 1/2" x 1"     | 73.00             | 33.00             | 76.00            | 57.00            | 89.00    |
| 2 1/2" x 1 1/4" | 73.00             | 42.00             | 76.00            | 64.00            | 89.00    |
| 2 1/2" x 1 1/2" | 73.00             | 48.00             | 76.00            | 67.00            | 89.00    |
| 2 1/2" x 2"     | 73.00             | 60.00             | 76.00            | 70.00            | 89.00    |
| 3" x 1 3/4"     | 89.00             | 42.00             | 86.00            | 70.00            | 89.00    |
| 3" x 1 1/2"     | 89.00             | 48.00             | 86.00            | 73.00            | 89.00    |
| 3" x 2"         | 89.00             | 60.00             | 86.00            | 76.00            | 89.00    |
| 3" x 2 1/2"     | 89.00             | 73.00             | 86.00            | 83.00            | 89.00    |
| 3 1/2" x 1 1/2" | 102.00            | 48.00             | 95.00            | 79.00            | 102.00   |
| 3 1/2" x 2"     | 102.00            | 60.00             | 95.00            | 83.00            | 102.00   |
| 3 1/2" x 2 1/2" | 102.00            | 73.00             | 95.00            | 89.00            | 101.00   |
| 3 1/2" x 3"     | 102.00            | 89.00             | 95.00            | 92.00            | 101.00   |
| 4" x 1/2"       | 114.00            | 48.00             | 105.00           | 86.00            | 102.00   |
| 4" x 2"         | 114.00            | 60.00             | 105.00           | 89.00            | 102.00   |
| 4" x 2 1/2"     | 114.00            | 73.00             | 105.00           | 65.00            | 102.00   |
| 4" x 3"         | 114.00            | 89.00             | 105.00           | 98.00            | 102.00   |
| 4" x 3 1/2"     | 114.00            | 102.00            | 105.00           | 102.00           | 102.00   |
| 5" x 2"         | 141.00            | 60.00             | 124.00           | 105.00           | 127.00   |
| 5" x 2 1/2"     | 141.00            | 73.00             | 124.00           | 108.00           | 127.00   |
| 5" x 3"         | 141.00            | 89.00             | 124.00           | 111.00           | 127.00   |
| 5" x 3 1/2"     | 141.00            | 102.00            | 124.00           | 114.00           | 127.00   |
| 5" x 4"         | 141.00            | 114.00            | 124.00           | 117.00           | 127.00   |
| 6" x 2 1/2"     | 168.00            | 73.00             | 143.00           | 121.00           | 140.00   |
| 6" x 3"         | 168.00            | 89.00             | 143.00           | 124.00           | 140.00   |
| 6" x 3 1/2"     | 168.00            | 102.00            | 143.00           | 127.00           | 140.00   |
| 6" x 4"         | 168.00            | 114.00            | 143.00           | 130.00           | 140.00   |
| 6" x 5"         | 168.00            | 141.00            | 143.00           | 137.00           | 140.00   |
| 8" x 3 1/2"     | 219.00            | 102.00            | 178.00           | 152.00           | 152.00   |
| 8" x 4"         | 219.00            | 114.00            | 178.00           | 156.00           | 152.00   |
| 8" x 5"         | 219.00            | 141.00            | 178.00           | 162.00           | 152.00   |
| 8" x 6"         | 219.00            | 168.00            | 178.00           | 168.00           | 152.00   |
| 10" x 4"        | 273.00            | 114.00            | 216.00           | 184.00           | 178.00   |
| 10" x 5"        | 273.00            | 141.00            | 216.00           | 191.00           | 178.00   |
| 10" x 6"        | 273.00            | 168.00            | 216.00           | 164.00           | 178.00   |
| 10" x 8"        | 273.00            | 219.00            | 216.00           | 203.00           | 178.00   |
| 12" x 5"        | 324.00            | 141.00            | 254.00           | 216.00           | 203.00   |
| 12" x 6"        | 324.00            | 168.00            | 254.00           | 219.00           | 203.00   |
| 12" x 8"        | 324.00            | 219.00            | 254.00           | 229.00           | 203.00   |
| 12" x 10"       | 324.00            | 273.00            | 254.00           | 241.00           | 203.00   |
| 14" x 6"        | 356.00            | 168.00            | 279.00           | 238.00           | 330.00   |
| 14" x 8"        | 356.00            | 219.00            | 279.00           | 248.00           | 330.00   |
| 14" x 10"       | 356.00            | 273.00            | 279.00           | 257.00           | 330.00   |

| REDUCCIONES |                   |                   |                  |                  |          |
|-------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|----------|
| NPS         | DIMENSIONES       |                   |                  |                  |          |
|             | DIÁMETRO EXTERIOR | DIÁMETRO EXTERIOR | CENTRO A EXTREMO | CENTRO A EXTREMO | LONGITUD |
|             | D                 | D1                | C                | M                | H        |
| 16" x 6"    | 406.00            | 168.00            | 305.00           | 264.00           | 356.00   |
| 16" x 8"    | 406.00            | 219.00            | 305.00           | 273.00           | 356.00   |
| 16" x 10"   | 406.00            | 273.00            | 305.00           | 283.00           | 356.00   |
| 16" x 12"   | 406.00            | 324.00            | 305.00           | 295.00           | 356.00   |
| 16" x 14"   | 406.00            | 356.00            | 305.00           | 305.00           | 356.00   |
| 18" x 8"    | 457.00            | 219.00            | 343.00           | 298.00           | 381.00   |
| 18" x 10"   | 457.00            | 273.00            | 343.00           | 308.00           | 381.00   |
| 18" x 12"   | 457.00            | 324.00            | 343.00           | 321.00           | 381.00   |
| 18" x 14"   | 457.00            | 356.00            | 343.00           | 330.00           | 381.00   |
| 18" x 16"   | 457.00            | 406.00            | 343.00           | 330.00           | 381.00   |
| 20" x 8"    | 508.00            | 219.00            | 381.00           | 324.00           | 508.00   |
| 20" x 10"   | 508.00            | 273.00            | 381.00           | 333.00           | 508.00   |
| 20" x 12"   | 508.00            | 324.00            | 381.00           | 346.00           | 508.00   |
| 20" x 14"   | 508.00            | 356.00            | 381.00           | 356.00           | 508.00   |
| 20" x 16"   | 508.00            | 406.00            | 381.00           | 356.00           | 508.00   |
| 20" x 18"   | 508.00            | 457.00            | 381.00           | 368.00           | 508.00   |
| 22" x 10"   | 559.00            | 273.00            | 419.00           | 359.00           | 508.00   |
| 22" x 12"   | 559.00            | 324.00            | 419.00           | 371.00           | 508.00   |
| 22" x 14"   | 559.00            | 356.00            | 419.00           | 381.00           | 508.00   |
| 22" x 16"   | 559.00            | 406.00            | 419.00           | 381.00           | 508.00   |
| 22" x 18"   | 559.00            | 457.00            | 419.00           | 394.00           | 508.00   |
| 22" x 20"   | 559.00            | 508.00            | 419.00           | 406.00           | 508.00   |
| 24" x 10"   | 610.00            | 273.00            | 432.00           | 384.00           | 508.00   |
| 24" x 12"   | 610.00            | 324.00            | 432.00           | 397.00           | 508.00   |
| 24" x 14"   | 610.00            | 356.00            | 432.00           | 406.00           | 508.00   |
| 24" x 16"   | 610.00            | 406.00            | 432.00           | 406.00           | 508.00   |
| 24" x 18"   | 610.00            | 457.00            | 432.00           | 419.00           | 508.00   |
| 24" x 20"   | 610.00            | 508.00            | 432.00           | 432.00           | 508.00   |
| 24" x 22"   | 610.00            | 559.00            | 432.00           | 432.00           | 508.00   |
| 26" x 18"   | 660.00            | 457.00            | 495.00           | 444.00           | 610.00   |
| 26" x 20"   | 660.00            | 508.00            | 495.00           | 457.00           | 610.00   |
| 26" x 22"   | 660.00            | 559.00            | 495.00           | 470.00           | 610.00   |
| 26" x 24"   | 660.00            | 610.00            | 495.00           | 483.00           | 610.00   |
| 28" x 18"   | 711.00            | 457.00            | 521.00           | 470.00           | 610.00   |
| 28" x 20"   | 711.00            | 508.00            | 521.00           | 483.00           | 610.00   |
| 28" x 22"   | 711.00            | 559.00            | 521.00           | 495.00           | 610.00   |
| 28" x 24"   | 711.00            | 610.00            | 521.00           | 508.00           | 610.00   |
| 28" x 26"   | 711.00            | 660.00            | 521.00           | 521.00           | 610.00   |
| 30" x 18"   | 762.00            | 457.00            | 559.00           | 495.00           | 610.00   |
| 30" x 20"   | 762.00            | 508.00            | 559.00           | 508.00           | 610.00   |
| 30" x 22"   | 762.00            | 559.00            | 559.00           | 521.00           | 610.00   |
| 30" x 24"   | 762.00            | 610.00            | 559.00           | 533.00           | 610.00   |
| 30" x 26"   | 762.00            | 660.00            | 559.00           | 546.00           | 610.00   |
| 30" x 28"   | 762.00            | 711.00            | 559.00           | 546.00           | 610.00   |
| 32" x 20"   | 813.00            | 508.00            | 597.00           | 533.00           | 610.00   |
| 32" x 22"   | 813.00            | 559.00            | 597.00           | 546.00           | 610.00   |
| 32" x 24"   | 813.00            | 610.00            | 597.00           | 559.00           | 610.00   |
| 32" x 26"   | 813.00            | 660.00            | 597.00           | 572.00           | 610.00   |
| 32" x 28"   | 813.00            | 711.00            | 597.00           | 572.00           | 610.00   |
| 32" x 30"   | 813.00            | 762.00            | 597.00           | 584.00           | 610.00   |
| 34" x 20"   | 864.00            | 508.00            | 635.00           | 559.00           | 610.00   |
| 34" x 22"   | 864.00            | 559.00            | 635.00           | 572.00           | 610.00   |
| 34" x 24"   | 864.00            | 610.00            | 635.00           | 584.00           | 610.00   |
| 34" x 26"   | 864.00            | 660.00            | 635.00           | 597.00           | 610.00   |
| 34" x 28"   | 864.00            | 711.00            | 635.00           | 597.00           | 610.00   |
| 34" x 30"   | 864.00            | 762.00            | 635.00           | 610.00           | 610.00   |
| 34" x 32"   | 864.00            | 813.00            | 635.00           | 622.00           | 610.00   |

## (14) Válvulas de aguja

### Valve Series - 10V Series

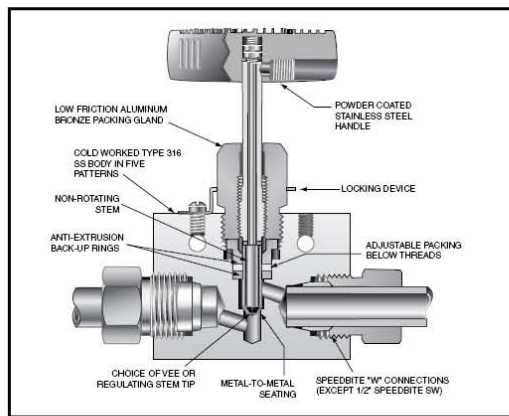
Pressures to 15,000 psi (1034 bar)

| Tube Outside Diameter Size Inches | Connection Type | Orifice Size Inches (mm) | Rated $C_V^*$ | Pres./Temp. Rating psi (bar) @ Room Temperature** |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------------|---------------|---|
| 1/8                               | W125            | 0.094 (2.39)             | 0.12          | 15,000 (1034)                                     |
| 1/4                               | W250            | 0.125 (3.18)             | 0.20          | 15,000 (1034)                                     |
| 3/8                               | W375            | 0.125 (3.18)             | 0.20          | 15,000 (1034)                                     |
| 1/2                               | SW500           | 0.250 (6.35)             | 0.86          | 10,000 (690)                                      |

**Notes:**

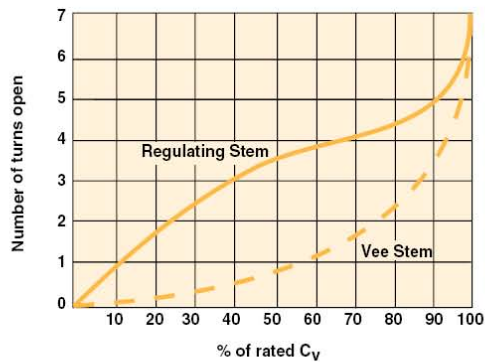
\*  $C_V$  values shown are for 2-way straight valve pattern. For 2-way angle patterns, increase  $C_V$  value 50%. (Based on water)

\*\* For complete temperature ratings see pressure/temperature rating guide in Technical Information section.



To ensure proper fit use Autoclave tubing

#### Generalized Flow Coefficient Curves ( $C_V$ )



### Ordering Procedure

For complete information on available stem types, optional connections and additional valve options, see Needle Valve Options section or contact your Sales Representative. 10V Series valves are furnished complete with connection components, unless otherwise specified.

Typical catalog number: **10V4071**

**10V**  
Valve Series

**4**  
Outside Diameter Tube Size  
2-1/8"  
4-1/4"  
6-3/8"  
8-1/2"

**07**  
Stem/Seat Type  
07 - non-rotating Vee stem (on-off service)  
08 - non-rotating regulating stem (tapered tip for regulating and shutoff)  
87 - Vee stem with replaceable seat  
88 - Regulating stem with replaceable seat

**1**  
Body Pattern  
1 - two-way straight  
2 - two-way angle  
3 - three-way, two on pressure  
4 - three-way, one on pressure  
5 - three-way, two stem manifold valve

**Options**  
Options  
For extreme temperature and other options, see Valve Options.

Note: Contact Sales for 1/16" tube size or see MVE Series.



## Valve Options

### Extreme Temperatures

Standard Autoclave valves with Teflon packing may be operated to 450°F (232°C). High temperature packing and/or extended stuffing box is available for service from 0°F (-17.8°C) to 650°F (343°C) by adding the following suffixes to catalog order number.†

**TG** standard valve with Teflon glass packing to 600°F (316°C).

**GY** standard valve with graphite braided yarn packing to 650°F (343°C).

† Autoclave Engineers does not recommend compression sleeve connections below 0°F (-17.8°C) or above 650°F (343°C). For additional valve options, contact your Sales Representative.

## Valve Maintenance

Repair Kits: add "R" to the front of valve catalog number for proper repair kit.  
(Example: **R10V4071**)

Valve Bodies: Valve bodies are available. Order using the eight (8) digit part number found on the valve drawing or contact your Sales Representative for information.

Consult your Autoclave representative for pricing on repair kits and valve bodies. Refer to the Tools, Installation, Operation and Maintenance section for proper maintenance procedures.

| Catalog Number | Stem Type | Outside Diameter Tube | Orifice Diameter | Dimensions - inches (mm) |   |   |   |                |   |   |   |                |    |   |   | Block Thickness | Valve Pattern |
|----------------|-----------|-----------------------|------------------|--------------------------|---|---|---|----------------|---|---|---|----------------|----|---|---|-----------------|---------------|
|                |           |                       |                  | A                        | B | C | D | D <sub>1</sub> | E | F | G | G <sub>1</sub> | H* | M | N |                 |               |

### 2-Way Straight

|         |     |         |        |         |         |         |         |         |         |         |         |        |          |         |        |         |              |
|---------|-----|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|---------|--------|---------|--------------|
| 10V2071 | VEE | 1/8**   | 0.094  | 1.50    | 0.75    | 0.31    | 1.06    | 0.81    | 1.38    | 3.00    | 0.62    | 0.17   | 3.75     | 0.56    | 0.31   | 0.62    | See Figure 1 |
| 10V2081 | REG | (3.18)  | (2.39) | (38.10) | (19.05) | (7.87)  | (26.92) | (20.57) | (35.05) | (76.20) | (15.75) | (4.32) | (95.25)  | (14.22) | (7.87) | (15.75) |              |
| 10V4071 | VEE | 1/4     | 0.125  | 2.00    | 1.00    | 0.56    | 1.19    |         | 1.69    | 3.00    | 0.97    | 0.22   | 4.44     | 0.69    | 0.38   | 1.00    |              |
| 10V4081 | REG | (6.35)  | (3.18) | (50.80) | (25.40) | (14.22) | (30.23) |         | (42.93) | (76.20) | (24.64) | (5.59) | (112.78) | (17.53) | (9.65) | (25.40) |              |
| 10V6071 | VEE | 3/8     | 0.125  | 2.00    | 1.00    | 0.62    | 1.19    |         | 1.69    | 3.00    | 0.97    | 0.22   | 4.31     | 0.69    | 0.38   | 1.00    |              |
| 10V6081 | REG | (9.53)  | (3.18) | (50.80) | (25.40) | (15.75) | (30.23) |         | (42.93) | (76.20) | (24.64) | (5.59) | (109.47) | (17.53) | (9.65) | (25.40) |              |
| 10V8071 | VEE | 1/2     | 0.250  | 2.50    | 1.25    | 0.53    | 1.25    |         | 1.81    | 3.00    | 0.97    | 0.22   | 4.44     | 0.69    | 0.38   | 1.00    |              |
| 10V8081 | REG | (12.70) | (6.35) | (63.50) | (31.75) | (13.46) | (31.75) |         | (45.97) | (76.20) | (24.64) | (5.59) | (112.78) | (17.53) | (9.65) | (25.40) |              |

### 2-Way Angle

|         |     |         |        |         |         |        |         |  |         |         |         |        |          |         |        |         |              |
|---------|-----|---------|--------|---------|---------|--------|---------|--|---------|---------|---------|--------|----------|---------|--------|---------|--------------|
| 10V2072 | VEE | 1/8     | 0.094  | 1.50    | 0.75    | 0.31   | 0.81    |  | 1.56    | 3.00    | 0.62    | 0.17   | 3.94     | 0.50    | 0.31   | 0.62    | See Figure 2 |
| 10V2082 | REG | (3.18)  | (2.39) | (38.1)  | (19.05) | (7.87) | (20.57) |  | (39.62) | (76.20) | (15.75) | (4.32) | (100.08) | (12.70) | (7.87) | (15.75) |              |
| 10V4072 | VEE | 1/4     | 0.125  | 2.00    | 1.00    | 0.56   | 1.19    |  | 2.19    | 3.00    | 0.97    | 0.22   | 4.81     | 0.69    | 0.31   | 1.00    |              |
| 10V4082 | REG | (6.35)  | (3.18) | (50.80) | (25.40) | (14.2) | (30.23) |  | (55.63) | (76.20) | (24.64) | (5.59) | (122.17) | (17.53) | (7.87) | (25.40) |              |
| 10V6072 | VEE | 3/8     | 0.125  | 2.00    | 1.00    | 0.62   | 1.19    |  | 2.19    | 3.00    | 0.97    | 0.22   | 4.81     | 0.69    | 0.31   | 1.00    |              |
| 10V6082 | REG | (9.53)  | (3.18) | (50.80) | (25.40) | (15.7) | (30.23) |  | (55.63) | (76.20) | (24.64) | (5.59) | (122.17) | (17.53) | (7.87) | (25.40) |              |
| 10V8072 | VEE | 1/2     | 0.250  | 2.50    | 1.25    | 0.53   | 1.25    |  | 2.50    | 3.00    | 0.97    | 0.22   | 5.06     | 0.69    | 0.38   | 1.00    |              |
| 10V8082 | REG | (12.70) | (6.35) | (63.50) | (31.75) | (13.5) | (31.75) |  | (63.50) | (76.20) | (24.64) | (5.59) | (128.52) | (17.53) | (9.65) | (25.40) |              |

### 3-Way / 2 on Pressure

|         |     |         |        |         |         |         |         |       |         |         |         |        |          |         |        |         |              |
|---------|-----|---------|--------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|--------|----------|---------|--------|---------|--------------|
| 10V2073 | VEE | 1/8**   | 0.094  | 1.50    | 0.75    | 0.31    | 1.06    | 0.81  | 1.69    | 3.00    | 0.62    | 0.17   | 4.06     | 0.50    | 0.31   | 0.62    | See Figure 3 |
| 10V2083 | REG | (3.18)  | (2.39) | (38.10) | (19.05) | (7.87)  | (26.92) | 20.57 | (42.93) | (76.20) | (15.75) | (4.32) | (103.12) | (12.70) | (7.87) | (15.75) |              |
| 10V4073 | VEE | 1/4     | 0.125  | 2.00    | 1.00    | 0.56    | 1.19    |       | 2.19    | 3.00    | 0.97    | 0.22   | 4.81     | 0.69    | 0.38   | 1.00    |              |
| 10V4083 | REG | (6.35)  | (3.18) | (50.80) | (25.40) | (14.22) | (30.23) |       | (55.63) | (76.20) | (24.64) | (5.59) | (122.17) | (17.53) | (9.65) | (25.40) |              |
| 10V6073 | VEE | 3/8     | 0.125  | 2.00    | 1.00    | 0.62    | 1.19    |       | 2.19    | 3.00    | 0.97    | 0.22   | 4.81     | 0.69    | 0.38   | 1.00    |              |
| 10V6083 | REG | (9.53)  | (3.18) | (50.80) | (25.40) | (15.75) | (30.23) |       | (55.63) | (76.20) | (24.64) | (5.59) | (122.17) | (17.53) | (9.65) | (25.40) |              |
| 10V8073 | VEE | 1/2     | 0.250  | 2.50    | 1.25    | 0.53    | 1.19    |       | 2.44    | 3.00    | 0.97    | 0.22   | 5.06     | 0.69    | 0.38   | 1.00    |              |
| 10V8083 | REG | (12.70) | (6.35) | (63.50) | (31.75) | (13.46) | (30.23) |       | (61.98) | (76.20) | (24.64) | (5.59) | (128.52) | (17.53) | (9.65) | (25.40) |              |

G - Packing gland mounting hole drill size

G<sub>1</sub> - Bracket mounting hole size

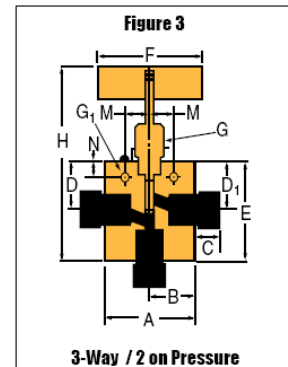
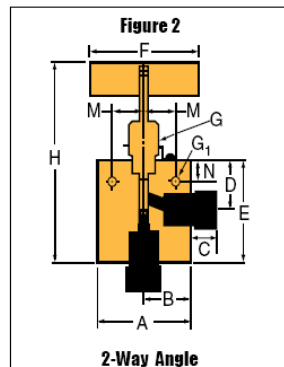
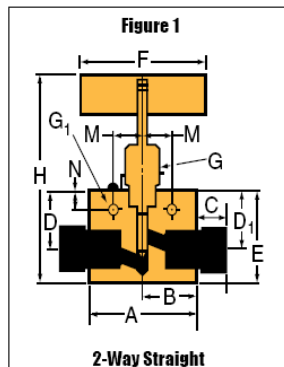
Panel mounting drill size: 0.22" all valves.

\* H Dimension is with stem in closed position.

\*\* 1/8" straight and 3-Way/2 on pressure valves have offset tube connections.

For prompt service, Autoclave stocks select products. Consult factory.

All dimensions for reference only and subject to change.



## (15) Válvula de compuerta L-01 y L-02

### SARACINESCA CLASSE 150 GATE VALVE CLASS 150



MIVAL

#### CARATTERISTICHE

#### FEATURES

#### ESECUZIONE STANDARD / STANDARD EXECUTION

1155

Corpo e cavalletto di acciaio al carbonio. Stelo, sedi di tenuta e cuneo fino al Ø 6" di acciaio inox. Guarnizioni esenti amianto. Flange d'attacco dimensionate e forate secondo le norme ANSI B16.5 classe 150.

Carbon steel body and yoke. Stainless steel stem, seats and wedge until Ø 6". Asbestos free gaskets. Connection flanges dressed and drilled according to ANSI B16.5 150RF.

#### A RICHIESTA / ON REQUEST

Diametri superiori  
Esecuzione di acciaio inox AISI 316 e WC6  
Volantino alveolato per comando a distanza tramite catena  
Attacchi a saldare BW  
Sedi e cuneo stellitati  
Microinterruttori di fine corsa  
Riduttore a volantino  
Lanterna per tenuta a vuoto

Bigger sizes  
AISI 316 e WC6 stainless steel  
Chain-wheel for remote manoeuvre  
BW connections  
Stellite overlay on seats and wedge  
Microswitches  
Gearbox  
Lantern

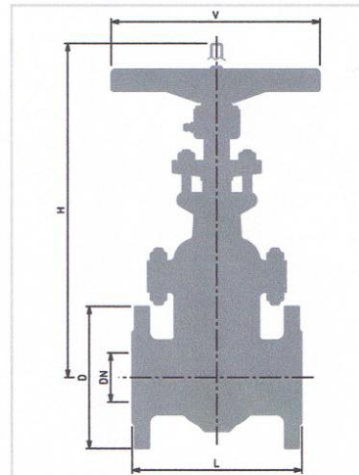


Verniciatura nitro ALLUMINIO SINTETICO  
Nitrocellulose painting SYNTHETIC ALUMINIUM

#### DIMENSIONI E PESI

#### DIMENSIONS AND WEIGHTS

| DN    | D   | L   | L (BW) | H    | V   | Kg  |
|-------|-----|-----|--------|------|-----|-----|
|       | mm  | mm  | mm     | mm   | mm  |     |
| 1"1/2 | 127 | 165 | 165    | 350  | 175 | 12  |
| 2"    | 152 | 178 | 216    | 380  | 200 | 16  |
| 2"1/2 | 178 | 191 | 241    | 445  | 200 | 24  |
| 3"    | 190 | 203 | 283    | 490  | 225 | 27  |
| 4"    | 229 | 229 | 305    | 580  | 250 | 44  |
| 5"    | 254 | 254 | 381    | 715  | 250 | 60  |
| 6"    | 279 | 267 | 403    | 810  | 350 | 75  |
| 8"    | 343 | 292 | 419    | 1010 | 400 | 140 |
| 10"   | 406 | 330 | 457    | 1330 | 450 | 190 |
| 12"   | 483 | 356 | 502    | 1510 | 450 | 284 |



#### CONDIZIONI DI ESERCIZIO

#### WORKING CONDITIONS

| DN<br>SIZE | Pressione ammissibile<br>Allowable pressure | Massima temperatura d'esercizio<br>al variare della pressione<br>Max working temperature<br>related to the pressure |
|------------|---|---|
| [inch]     | [bar]                                       |   |
| 1"1/2-12"  | 19.7  | -10°C / +38°C   |
| 1"1/2-12"  | 17.9  | +93°C   |
| 1"1/2-12"  | 11.7  | +260°C  |
| 1"1/2-12"  | 4.5   | +454°C  |

MIVAL S.R.L. reserves the right of technical amendments without any notice

**1155**  
ITEM 1155  
ACCIAIO / STEEL



(16) Válvula de compuerta para altas presiones V-01

**SARACINESCA PASSAGGIO TOTALE - CLASSE 800**  
**GATE VALVE FULL BORE - CLASS 800**



**CARATTERISTICHE**

*FEATURES*

**ESECUZIONE STANDARD / STANDARD EXECUTION**

1195

Corpo, cavalletto, volantino in acciaio al carbonio. Stelo, sedi di tenuta e cuneo di acciaio inox. Guarnizione di grafite + inox. Attacchi a manicotti filettati NPT.

Carbon steel body, yoke and handwheel. Stainless steel stem, seats and wedge. Graphite + stainless steel gasket. NPT threaded sleeve connections.

**VARIANTI / VARIATIONS**

1195/PR

Passaggio ridotto.

Reduced bore.

**A RICHIESTA / ON REQUEST**

Esecuzione di acciaio inox AISI 316  
 Attacchi a saldare SW o BW  
 Attacchi filettati GAS  
 Sedi e cuneo stellati  
 Connessione tra corpo e cappello saldata  
 Guarnizione Ring-Joint  
 Classe 1500 e classe 2500

AISI 316 stainless steel  
 SW or BW connections  
 GAS threaded connections  
 Stellite overlay on seats and wedge  
 Welded bonnet  
 Ring-Joint  
 Class 1500 and class 2500

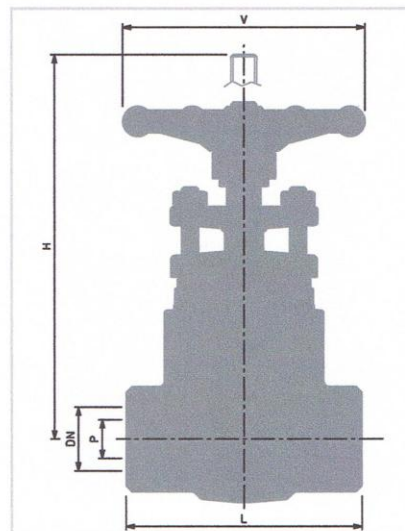


Verniciatura protettiva antiruggine  
 Anti-rust protective painting

**DIMENSIONI E PESI**

*DIMENSIONS AND WEIGHTS*

| DN     | PASSAGGIO TOTALE - full bore |     |      |     |     | PASSAGGIO RIDOTTO - reduced bore |     |      |     |     |
|--------|------------------------------|-----|------|-----|-----|----------------------------------|-----|------|-----|-----|
|        | L                            | H   | P    | V   | Kg  | L                                | H   | P    | V   | Kg  |
|        | mm                           | mm  | mm   | mm  |     | mm                               | mm  | mm   | mm  |     |
| 1/4"   | 80                           | 145 | 8    | 80  | 1.8 |                                  |     |      |     |     |
| 3/8"   | 80                           | 145 | 10   | 80  | 1.8 |                                  |     |      |     |     |
| 1/2"   | 90                           | 155 | 14   | 80  | 2.1 | 80                               | 145 | 10   | 80  | 1.8 |
| 3/4"   | 110                          | 185 | 18   | 100 | 3.6 | 90                               | 155 | 14   | 80  | 2.1 |
| 1"     | 127                          | 218 | 24   | 120 | 5.3 | 110                              | 185 | 18   | 100 | 3.6 |
| 1 1/4" | 127                          | 255 | 30   | 140 | 7.5 | 127                              | 218 | 24   | 120 | 5.3 |
| 1 1/2" | 130                          | 277 | 36.5 | 140 | 9.8 | 127                              | 255 | 30   | 140 | 7.5 |
| 2"     | 150                          | 327 | 48   | 170 | 15  | 130                              | 277 | 36.5 | 140 | 9.8 |



**CONDIZIONI DI ESERCIZIO**

*WORKING CONDITIONS*

| DN<br>SIZE | Pressione ammissibile<br>Allowable pressure | Massima temperatura d'esercizio<br>al variare della pressione<br>Max working temperature<br>related to the pressure |
|------------|---|---|
| [inch]     | [bar]                                       |   |
| 1/4"-2"    | 136.2                                       | -10°C / +38°C   |
| 1/4"-2"    | 124.1                                       | +93°C   |
| 1/4"-2"    | 110   | +260°C  |
| 1/4"-2"    | 49.3  | +454°C  |

**1195**  
 ITEM 1195

ACCIAIO / STEEL

MIVAL SRL reserves the right of technical amendments without any notice

(17) Codos de 90° y 45° y Tes



Pipeline Supplies

Putting the Power Into Your Hands

**FORGED STEEL HIGH PRESSURE FITTINGS 3000 lb & 6000 lb**

**SCREWED & SOCKET WELD**

These Fittings are designed for use with American Standard Linepipe.  
 3000lb Fittings are for use with SCH 80 Pipe.  
 6000lb Fittings are for use with XXS Linepipe (Threaded) or SCH 160 for Socketweld.  
 These fittings must be used within the Pressure / Temperature limitations of the associated Pipe.

**SPECIFICATIONS**

**DIMENSIONS**

Fittings – ASME B16.11 OR BS 3799  
 Unions – MSS-SP-83-1995

**MATERIAL**

Forgings ASTM A105  
 Equivalent Bar Stock

**FINISH**

Phosphate or self coloured

**THREADS**

Stocked in NPT – BSP available if required

**WORKING PRESSURES**

Possible Temperature Limitations

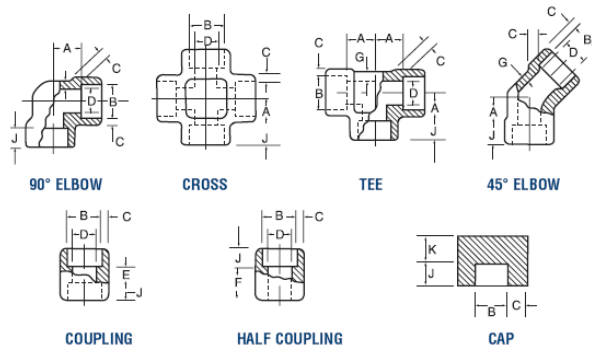
| Nominal Pressure Ratings | TEMPERATURE* |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|--------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
|                          | 38           | 66    | 93    | 121   | 149   | 177   | 204   | 232   | 260   | 288   | 316   | 343   | 371   | 399   | 427   | 427*  | 482*  | 510* | 538* |
| 2000lb                   | 13780        | 13573 | 13366 | 13194 | 13056 | 12918 | 12746 | 12470 | 11954 | 11299 | 10610 | 9852  | 8991  | 8130  | 6993  | 5718  | 4237  | 2928 | 1619 |
| 3000lb                   | 20670        | 20359 | 20084 | 19808 | 19602 | 19360 | 19119 | 18706 | 17948 | 16949 | 15915 | 14813 | 13504 | 12229 | 10507 | 8612  | 6373  | 4409 | 2445 |
| 6000lb                   | 41340        | 40754 | 40168 | 39617 | 39232 | 38756 | 38239 | 37412 | 37412 | 33933 | 31831 | 29627 | 27008 | 24459 | 21014 | 17225 | 12780 | 8853 | 4926 |

Non-shock Working Pressures tabulated in kPa

+ These pressures are in accordance with ANSI Code for Pressure Piping (ASME B31.1)

\* Suggest Alloy Steel above 482°C.

**SOCKET WELD**



**SOCKET WELD FITTINGS Dimensions in mm**

| SIZE | BORE B      | BORE D MAX/MIN CLASS |           | SOCKET WALL C MIN CLASS |      | BODY WALL G MIN CLASS |      | SOCKET DEPTH J MIN | CENTER TO BOTTOM OF SOCKET A  |       |                 |       | LAYING LENGTH |             | END WALL THICKNESS K MIN CLASS |      |
|------|-------------|----------------------|-----------|-------------------------|------|-----------------------|------|--------------------|-------------------------------|-------|-----------------|-------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
|      |             | 3000                 | 6000      | 3000                    | 6000 | 3000                  | 6000 |                    | 90 ELBOWS, TEES CROSSES CLASS |       | 45 ELBOWS CLASS |       | COUPLING E    | HALF COUP F | 3000                           | 6000 |
|      |             |                      |           |                         |      |                       |      |                    | 3000                          | 6000  | 3000            | 6000  |               |             |                                |      |
| 6    | 11.2/10.8   | 7.6/6.1              | 4.8/3.2   | 3.18                    | 3.43 | 2.41                  | 3.15 | 9.5                | 11.00                         | 11.00 | 8.00            | 8.00  | 6.5           | 16.0        | 4.8                            | 6.4  |
| 8    | 14.6/14.2   | 10.0/8.5             | 7.1/5.6   | 3.30                    | 4.01 | 3.02                  | 2.68 | 9.5                | 11.00                         | 13.50 | 8.00            | 8.00  | 6.5           | 16.0        | 4.8                            | 6.4  |
| 10   | 18.0/17.6   | 13.3/11.8            | 9.9/8.4   | 3.50                    | 4.37 | 3.20                  | 4.01 | 9.5                | 13.50                         | 15.50 | 8.00            | 11.00 | 6.5           | 17.5        | 4.8                            | 6.4  |
| 15   | 22.2/21.8   | 16.6/15.0            | 12.5/11.0 | 4.09                    | 5.18 | 3.73                  | 4.78 | 9.5                | 15.50                         | 19.00 | 11.00           | 12.50 | 9.5           | 22.5        | 6.4                            | 7.9  |
| 20   | 27.6/27.2   | 21.7/20.2            | 16.3/14.8 | 4.27                    | 6.04 | 3.91                  | 5.56 | 12.5               | 19.00                         | 22.50 | 13.00           | 14.00 | 9.5           | 24.0        | 6.4                            | 7.9  |
| 25   | 34.3/33.9   | 27.4/25.9            | 21.5/19.9 | 4.98                    | 6.93 | 4.55                  | 6.35 | 12.5               | 22.50                         | 27.00 | 14.00           | 17.00 | 12.5          | 28.5        | 9.6                            | 11.2 |
| 32   | 43.1/42.7   | 35.8/34.3            | 30.2/28.7 | 5.28                    | 6.93 | 4.85                  | 6.35 | 12.5               | 27.00                         | 32.00 | 17.50           | 20.50 | 12.5          | 30.0        | 9.6                            | 11.2 |
| 40   | 49.2/48.8   | 41.6/40.1            | 34.7/33.2 | 5.54                    | 7.80 | 5.08                  | 7.14 | 12.5               | 23.00                         | 38.00 | 20.50           | 25.50 | 12.5          | 32.0        | 11.2                           | 12.7 |
| 50   | 61.7/61.2   | 53.3/51.7            | 43.6/42.1 | 6.04                    | 9.50 | 5.54                  | 8.74 | 16.0               | 38.00                         | 41.00 | 25.50           | 28.50 | 19.0          | 41.0        | 12.7                           | 15.7 |
| 65   | 74.4/73.9   | 64.2/61.2            |           | 7.67                    |      | 7.01                  |      | 16.0               | 41.00                         |       | 28.50           |       | 19.0          | 43.0        | 15.7                           | 19.0 |
| 80   | 90.3/89.8   | 79.4/76.4            |           | 8.30                    |      | 7.62                  |      | 16.0               | 57.00                         |       | 32.00           |       | 19.0          | 44.5        | 19.0                           | 22.4 |
| 100  | 115.7/115.2 | 103.8/100.7          |           | 9.35                    |      | 8.56                  |      | 19.0               | 66.50                         |       | 41.00           |       | 19.0          | 48.0        | 22.4                           | 28.4 |

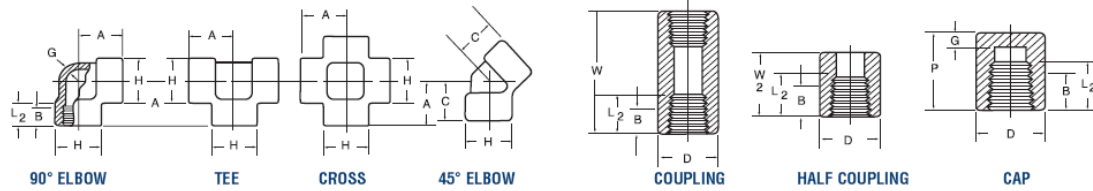


Pipeline Supplies

Putting the Power Into Your Hands

**FORGED STEEL HIGH PRESSURE FITTINGS 3000 lb & 6000 lb**

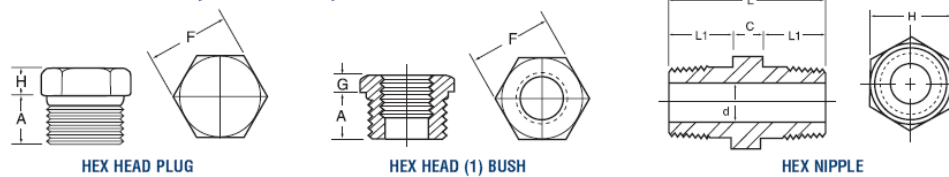
**SCREWED ELBOWS, TEES, CROSSES, CAPS & COUPLINGS**



**SCREWED NPT ELBOWS TEES CROSS CAP & COUPLING FITTINGS Dimensions in mm**

| SIZE | CENTRE TO END<br>A<br>90 ELBOW, TEE & CROSS<br>CLASS |      | CENTRE TO END<br>C<br>45 ELBOW<br>CLASS |      | OD OF BAND<br>H<br>CLASS |      | MIN WALL<br>THICKNESS<br>G<br>CLASS |       | THREAD LENGTH<br>MIN |      | END TO<br>END<br>W | END TO END<br>P<br>CAPS<br>CLASS |      | OUTSIDE DIAMETER<br>D<br>COUPLING, CAP**<br>CLASS |      | END THICKNESS<br>G MIN<br>CAP<br>CLASS |      |
|------|--|------|---|------|--------------------------|------|-------------------------------------|-------|----------------------|------|--------------------|----------------------------------|------|---|------|--|------|
|      | 3000   | 6000 | 3000                                    | 6000 | 3000                     | 6000 | 3000                                | 6000  | B                    | L2   | 3000 &<br>6000     | 3000                             | 6000 | 3000  | 6000 | 3000                                   | 6000 |
|      |  |      |   |      |                          |      |                                     |       |                      |      |                    |                                  |      |   |      |  |      |
| 6    | 21   | 25   | 17                                      | 19   | 22                       | 25   | 3.18                                | 6.35  | 6.4                  | 6.7  | 32                 | 19                               | 19   | 16  | 22   | 4.8                                    |      |
| 8    | 25   | 28   | 19                                      | 22   | 25                       | 33   | 3.30                                | 6.60  | 8.1                  | 10.2 | 35                 | 25                               | 27   | 19  | 25   | 4.8                                    | 6.4  |
| 10   | 28   | 33   | 22                                      | 25   | 33                       | 38   | 3.51                                | 6.98  | 9.1                  | 10.4 | 38                 | 25                               | 27   | 22  | 32   | 4.8                                    | 6.4  |
| 15   | 33   | 38   | 25                                      | 28   | 38                       | 46   | 4.09                                | 8.15  | 10.9                 | 13.6 | 48                 | 32                               | 33   | 28  | 38   | 6.4                                    | 7.9  |
| 20   | 38   | 44   | 28                                      | 33   | 46                       | 56   | 4.32                                | 8.53  | 12.7                 | 13.9 | 51                 | 37                               | 38   | 35  | 44   | 6.4                                    | 7.9  |
| 25   | 44   | 51   | 33                                      | 35   | 56                       | 62   | 4.98                                | 9.93  | 14.7                 | 17.3 | 60                 | 41                               | 43   | 44  | 57   | 9.7                                    | 11.2 |
| 32   | 51   | 60   | 35                                      | 43   | 62                       | 75   | 5.28                                | 10.59 | 17.0                 | 18.0 | 67                 | 44                               | 46   | 57  | 64   | 9.7                                    | 11.2 |
| 40   | 60   | 64   | 43                                      | 44   | 75                       | 84   | 5.56                                | 11.07 | 17.8                 | 18.4 | 79                 | 44                               | 48   | 64  | 76   | 11.2                                   | 12.7 |
| 50   | 64   | 83   | 44                                      | 52   | 84                       | 102  | 7.14                                | 12.09 | 19.0                 | 19.2 | 86                 | 48                               | 51   | 76  | 92   | 12.7                                   | 15.7 |
| 65   | 83   | 95   | 52                                      | 64   | 102                      | 121  | 7.65                                | 15.29 | 23.6                 | 28.9 | 92                 | 60                               | 64   | 92  | 108  | 15.7                                   | 19.0 |
| 80   | 95   | 106  | 64                                      | 79   | 121                      | 146  | 8.84                                | 16.64 | 25.9                 | 30.5 | 108                | 65                               | 68   | 108   | 127  | 19.0                                   | 22.4 |
| 100  | 114  | 114  | 79                                      | 79   | 152                      | 152  | 11.18                               | 18.67 | 27.7                 | 33.0 | 121                | 68                               | 75   | 140   | 159  | 22.4                                   | 28.4 |

**SCREWED FITTINGS, HEX PLUGS, BUSHES & NIPPLES**

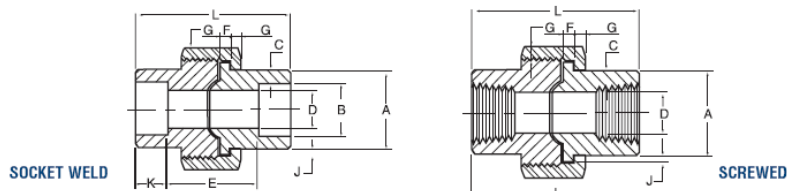


**SCREWED NPT HEX PLUGS, BUSHES & NIPPLES Dimensions mm**

| SIZE | MIN LENGTH<br>A | PLUGS & BUSHES |    |            |           | HEX NIPPLES |     |      |       |   |  |
|------|-----------------|----------------|----|------------|-----------|-------------|-----|------|-------|---|--|
|      |                 | WIDTH FLATS    |    | HEX HEIGHT |           | C           | L1  | L    | d     | H |  |
|      |                 | F              | G  | BUSH<br>G  | PLUG<br>H |             |     |      |       |   |  |
| 6    | 10              | 11             | 6  | 6          | 6.0       | 10          | 26  | 4.0  | 12.0  |   |  |
| 8    | 11              | 16             | 3  | 6          | 8.0       | 14          | 36  | 6.7  | 17.0  |   |  |
| 10   | 13              | 18             | 4  | 8          | 8.0       | 14          | 36  | 8.9  | 19.0  |   |  |
| 15   | 14              | 22             | 5  | 8          | 9.0       | 19          | 47  | 11.9 | 24.0  |   |  |
| 20   | 16              | 27             | 6  | 10         | 10.0      | 19          | 48  | 16.0 | 30.0  |   |  |
| 25   | 19              | 36             | 6  | 10         | 11.0      | 24          | 59  | 20.1 | 35.0  |   |  |
| 32   | 21              | 46             | 7  | 14         | 12.0      | 24          | 60  | 27.9 | 46.0  |   |  |
| 40   | 21              | 50             | 8  | 16         | 14.0      | 24          | 62  | 32.0 | 50.0  |   |  |
| 50   | 22              | 65             | 9  | 18         | 16.0      | 26          | 68  | 39.9 | 65.0  |   |  |
| 65   | 27              | 75             | 10 | 19         | 18.0      | 38          | 94  | 55.1 | 80.0  |   |  |
| 80   | 28              | 90             | 10 | 21         | 20.0      | 40          | 100 | 65.0 | 95.0  |   |  |
| 100  | 32              | 115            | 13 | 25         | 24.5      | 40          | 105 | 85.0 | 125.5 |   |  |

**APPROXIMATE WEIGHT 3000 LB FITTINGS Kg**

| SIZE | BUSH | PLUG<br>ELBOW | 90<br>ELBOW | 45   | TEE   | UNION<br>NIPPLE | HEX  | COUPLING |
|------|------|---------------|-------------|------|-------|-----------------|------|----------|
| 6    |      | 0.01          | 0.10        | 0.13 | 0.13  | 0.28            | 0.03 | 0.05     |
| 8    | 0.01 | 0.03          | 0.14        | 0.12 | 0.20  | 0.28            | 0.04 | 0.04     |
| 10   | 0.01 | 0.05          | 0.29        | 0.24 | 0.38  | 0.24            | 0.05 | 0.06     |
| 15   | 0.03 | 0.07          | 0.43        | 0.34 | 0.56  | 0.34            | 0.09 | 0.13     |
| 20   | 0.05 | 0.14          | 0.69        | 0.56 | 0.92  | 0.48            | 0.15 | 0.19     |
| 25   | 0.09 | 0.22          | 1.14        | 0.94 | 1.49  | 0.77            | 0.27 | 0.45     |
| 32   | 0.25 | 0.44          | 1.42        | 1.03 | 1.76  | 1.03            | 0.45 | 0.81     |
| 40   | 0.34 | 0.59          | 2.63        | 2.05 | 3.27  | 1.63            | 0.62 | 1.07     |
| 50   | 0.45 | 1.03          | 2.92        | 2.23 | 3.53  | 2.43            | 1.03 | 1.40     |
| 65   | 0.60 | 1.80          | 5.99        | 3.71 | 6.99  | 3.63            | 1.51 | 2.29     |
| 80   | 1.16 | 2.60          | 8.88        | 5.97 | 10.19 | 5.27            | 2.22 | 3.38     |
| 100  | 3.20 | 5.20          | 14.85       | 8.96 | 19.13 | 12.00           | 4.00 | 6.28     |



**UNIONS TO TO MSS-SP-83 1995 Dimensions mm**

| SIZE | COMMON DIMENSIONS      |                         |                 |                     |                   | SOCKET WELD DIMENSIONS |                  |                  |                     |                    | SCRD DIMENSIONS |                  |
|------|------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|------------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------|-----------------|------------------|
|      | BORE<br>D<br>MAX / MIN | MALE FLANGE<br>F<br>MIN | NUT<br>G<br>MIN | BEARING<br>J<br>MIN | LENGTH<br>L<br>MM | END<br>A<br>MIN        | BORE<br>B<br>MAX | WALL<br>C<br>MIN | LAY LEN<br>E<br>MAX | SOCKET<br>K<br>MIN | END<br>A<br>MIN | WALL<br>C<br>MIN |
|      |                        |                         |                 |                     |                   |                        |                  |                  |                     |                    |                 |                  |
| 6    | 6.83 / 6.43            | 3.17                    | 1.24            | 1.24                | 41.40             | 21.80                  | 10.92            | 22.40            | 9.60                | 14.70              | 2.41            |                  |
| 8    | 9.85 / 9.45            | 3.17                    | 1.24            | 1.24                | 41.40             | 21.80                  | 14.22            | 3.30             | 22.40               | 19.00              | 3.02            |                  |
| 10   | 13.92 / 13.51          | 3.43                    | 1.37            | 1.37                | 46.00             | 25.90                  | 17.78            | 3.48             | 26.90               | 22.90              | 3.20            |                  |
| 15   | 17.47 / 17.07          | 3.68                    | 1.50            | 1.50                | 49.00             | 31.20                  | 21.84            | 4.06             | 26.90               | 27.70              | 3.73            |                  |
| 20   | 21.79 / 21.39          | 4.06                    | 1.68            | 1.68                | 56.90             | 37.10                  | 27.18            | 4.27             | 31.80               | 33.50              | 3.91            |                  |
| 25   | 28.14 / 27.74          | 4.57                    | 1.85            | 1.85                | 62.00             | 45.50                  | 34.04            | 4.95             | 34.30               | 41.40              | 4.55            |                  |
| 32   | 35.76 / 35.36          | 5.33                    | 2.13            | 2.13                | 71.10             | 54.90                  | 42.67            | 5.28             | 40.60               | 50.50              | 4.85            |                  |
| 40   | 41.61 / 41.20          | 5.84                    | 2.31            | 2.31                | 76.50             | 61.50                  | 48.77            | 5.54             | 42.20               | 57.20              | 5.08            |                  |
| 50   | 52.53 / 52.12          | 6.60                    | 2.69            | 2.69                | 86.10             | 75.20                  | 61.47            | 6.05             | 45.50               | 70.10              | 5.54            |                  |
| 65   | 64.72 / 64.31          | 7.49                    | 3.07            | 3.07                | 102.40            | 91.70                  | 74.17            | 7.65             | 61.70               | 85.30              | 7.01            |                  |
| 80   | 77.67 / 77.27          | 8.25                    | 3.53            | 3.53                | 109.00            | 109.20                 | 90.17            | 8.31             | 63.80               | 102.40             | 7.62            |                  |

While every care has been taken to ensure the accuracy of this information, Smorgon Steel Pipeline Supplies does not accept any responsibility for errors, loss or damage as a result of this literature.

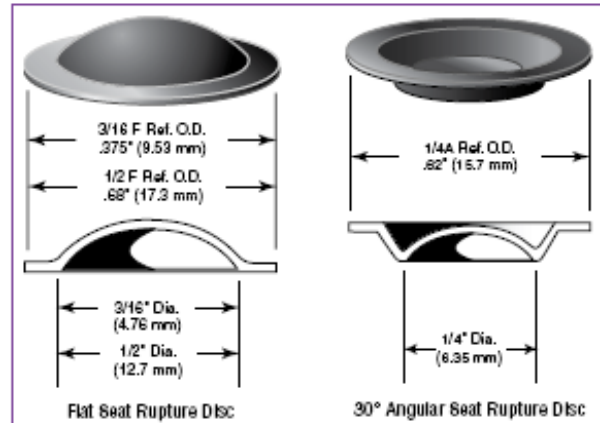


## (18) Discos de ruptura

### Accessories - Prebulged Rupture Discs

#### Ordering Information

- Specify quantity, disc size, type, material and temperature.
- Indicate desired rupture rating which should be at least 110% of operating pressure. Manufacturing tolerances are +6% to -3% of nominal rating and will burst at  $\pm 5\%$  of furnished rating. Discs are rated at 72°F (22°C).
- Optional burst tolerance ratings are available upon request. 1/4% and 0% options provide a much closer burst to the stated burst pressure. 0% burst discs have a 0% manufacturing tolerance and a  $\pm 2.5\%$  burst tolerance.
- Minimum order of 6 discs required for materials other than Inconel.
- See next page for standard part numbers.



| Disc Material            | Disc Size<br>Seat Type | Rupture Pressures Standard Available Range $\pm 5\%$ | Maximum Temperature Rating |
|--------------------------|------------------------|--|----------------------------|
|                          |                        | psi (bar)  | °F (°C)                    |
| Aluminum                 | 3/16 flat              | 220 to 1,750 (15.2 to 120.7)                         | 250 (121)                  |
|                          | 1/4 angle              | 160 to 2,000 (11.0 to 137.9)                         | 250 (121)                  |
|                          | 1/2 flat               | 90 to 1,000 (6.2 to 68.9)                            | 250 (121)                  |
| Silver                   | 3/16 flat              | 500 to 4,500 (34.5 to 310.3)                         | 250 (121)                  |
|                          | 1/4 angle              | 360 to 6,000 (24.8 to 413.7)                         | 250 (121)                  |
|                          | 1/2 flat               | 190 to 1,700 (13.1 to 117.2)                         | 250 (121)                  |
| Hastelloy C              | 3/16 flat              | 3,000 to 65,000 (206.8 to 4481.5)                    | 1,000 (538)                |
|                          | 1/4 angle              | 2,500 to 70,000 (172.4 to 4826.3)                    | 1,000 (538)                |
|                          | 1/2 flat               | 1,300 to 11,500 (89.6 to 792.9)                      | 1,000 (538)                |
| Nickel                   | 3/16 flat              | 770 to 20,000 (53.1 to 1378.9)                       | 750 (399)                  |
|                          | 1/4 angle              | 550 to 35,000 (37.9 to 2413.1)                       | 750 (399)                  |
|                          | 1/2 flat               | 300 to 7,500 (20.7 to 517.1)                         | 750 (399)                  |
| Monel                    | 3/16 flat              | 960 to 20,000 (66.2 to 1378.9)                       | 800 (427)                  |
|                          | 1/4 angle              | 690 to 40,000 (47.6 to 2757.9)                       | 800 (427)                  |
|                          | 1/2 flat               | 375 to 7,500 (25.9 to 517.1)                         | 800 (427)                  |
| Inconel 600 (Standard)   | 3/16 flat              | 1,250 to 20,000 (86.2 to 1378.9)                     | 900 (482)                  |
|                          | 1/4 angle              | 900 to 75,000 (62.1 to 5171.0)                       | 900 (482)                  |
|                          | 1/2 flat               | 500 to 10,000 (34.5 to 690.0)                        | 900 (482)                  |
| Type 316 Stainless Steel | 3/16 flat              | 1,750 to 20,000 (120.7 to 1378.9)                    | 900 (482)                  |
|                          | 1/4 angle              | 1,250 to 60,000 (86.2 to 4136.8)                     | 900 (482)                  |
|                          | 1/2 flat               | 700 to 10,000 (48.3 to 690.0)                        | 900 (482)                  |

Teflon coating available on one or both sides to increase minimum rupture rating.

All dimensions for reference only and subject to change.  
For prompt service, Autoclave stocks select products. Consult your local representative.

CAUTION: High pressure-to-rupture ratios, severe pressure or temperature cycling, corrosion and metal fatigue affect disc life and rupture pressure. Frequent disc replacement may be desirable to avoid premature rupture. Rupture disc manufacturers recommended a 140 to 170 percent margin on disc ratings for extended disc life.

**Rupture Disc Stock Part List - 1/2 Flat Disc**

| Part Number | Description | Material | Pressure Range (psi) | Pressure Range (bar) |
|-------------|-------------|----------|----------------------|----------------------|
| P-7601      | 1/2F DISC   | Inconel  | 485-530              | 33-37                |
| P-7603      | 1/2F DISC   | Inconel  | 679-742              | 47-51                |
| P-7605      | 1/2F DISC   | Inconel  | 727-795              | 50-55                |
| P-7607      | 1/2F DISC   | Inconel  | 873-954              | 60-73                |
| P-7609      | 1/2F DISC   | Inconel  | 970-1060             | 67-75                |
| P-7610      | 1/2F DISC   | Inconel  | 1006-1100            | 69-76                |
| P-7611      | 1/2F DISC   | Inconel  | 1164-1272            | 80-88                |
| P-7613      | 1/2F DISC   | Inconel  | 1213-1323            | 84-91                |
| P-7615      | 1/2F DISC   | Inconel  | 1358-1484            | 94-102               |
| P-7617      | 1/2F DISC   | Inconel  | 1455-1590            | 100-110              |
| P-7619      | 1/2F DISC   | Inconel  | 1552-1696            | 107-117              |
| P-7621      | 1/2F DISC   | Inconel  | 1697-1855            | 117-128              |
| P-7623      | 1/2F DISC   | Inconel  | 1746-1908            | 120-132              |
| P-7625      | 1/2F DISC   | Inconel  | 1940-2120            | 134-146              |
| P-7627      | 1/2F DISC   | Inconel  | 2183-2385            | 151-164              |
| P-7629      | 1/2F DISC   | Inconel  | 2271-2438            | 157-168              |
| P-7631      | 1/2F DISC   | Inconel  | 2425-2650            | 167-183              |
| P-7633      | 1/2F DISC   | Inconel  | 2619-2862            | 181-197              |
| P-7635      | 1/2F DISC   | Inconel  | 2716-2968            | 187-204              |
| P-7637      | 1/2F DISC   | Inconel  | 2910-3180            | 201-219              |
| P-7639      | 1/2F DISC   | Inconel  | 3104-3392            | 214-234              |
| P-7641      | 1/2F DISC   | Inconel  | 3395-3710            | 234-256              |
| P-7643      | 1/2F DISC   | Inconel  | 3589-3922            | 247-270              |
| P-7645      | 1/2F DISC   | Inconel  | 3637-3975            | 251-274              |
| P-7647      | 1/2F DISC   | Inconel  | 3880-4240            | 268-292              |
| P-7649      | 1/2F DISC   | Inconel  | 4365-4770            | 301-329              |
| P-7651      | 1/2F DISC   | Inconel  | 4462-4876            | 308-336              |
| P-7653      | 1/2F DISC   | Inconel  | 4850-5300            | 334-365              |
| P-7655      | 1/2F DISC   | Inconel  | 5335-5830            | 368-402              |
| P-7657      | 1/2F DISC   | Inconel  | 5626-6148            | 388-424              |
| P-7659      | 1/2F DISC   | Inconel  | 5820-6360            | 401-438              |
| P-7661      | 1/2F DISC   | Inconel  | 6305-6890            | 435-475              |
| P-7663      | 1/2F DISC   | Inconel  | 6790-7420            | 468-512              |
| P-7665      | 1/2F DISC   | Inconel  | 7275-7950            | 502-548              |
| P-7667      | 1/2F DISC   | Inconel  | 7760-8480            | 535-585              |
| P-7669      | 1/2F DISC   | Inconel  | 8245-9010            | 568-621              |
| P-7671      | 1/2F DISC   | Inconel  | 8730-9540            | 602-658              |
| P-7673      | 1/2F DISC   | Inconel  | 9700-10600           | 669-731              |

**(19) Válvula de seguridad para las línea de vapor Valv15, Valv16, Valv17, Valv18, Valv19**



***Safety and  
Relief Valves***



### Relief Valves For Air/Gas Service



**Models 230, 330, 330S and 333S** Lightweight aluminum construction, resistant to environmental and internal corrosion. Opening pressure is repetitively consistent, relief action is smooth, reseating is positive with minimum pressure drop. The full spring load is never imparted to synthetic disc insert. Seat tightness increases to a maximum as inlet pressure approaches the opening pressure.

#### Specifications

Size 1/4- through 1/2-inch [7 – 15 mm]

Pressure/Temperature Limits: 330 1000 psig [69 barg] minimum,  
6500 psig [448.3 barg] maximum/185°F [85°C]  
230 300 psig [20.7 barg] minimum,  
1500 psig [103.4 barg] maximum/185°F [85°C]

#### Applications

- Multi-stage high pressure compressors, intercoolers and after-coolers.
- High pressure receivers and storage bottles.
- Thermal expansion relief.
- Breathing air pac-re-charge compressors.
- Scuba-re-charge compressors.

Request KUKMC-0384-US

### Steel, Stainless Steel Safety/Relief Valves For Liquid, Air, Gas, Steam Service



**Models 264, 265, 266, and 267** Extra heavy rugged construction. Top guided design offers high capacity with 0.110 in<sup>2</sup> [ 0.2794 cm<sup>2</sup>] orifice area. Seats lapped to optical flatness. Ball bearing pivot between disc and spring corrects misalignment and compensates for spring side thrust.

#### Specifications

Sizes: 1/2-, 3/4- and 1-inch [15, 18, and 25 mm]

Pressure/Temperature Limits: 3300 psig [227.6 barg]/750°F [400°C]

#### Applications

- Protection of pumps, compressors, pressure vessels or systems handling corrosive liquids or vapors at high pressure and/or temperature.
- Sentinel (warning) on steam equipment.

Request KUKMC-0385-US

### Steel Safety Valves For Steam, Air, Non-Hazardous Gas Service



**Models 300 and 600** Heavy duty construction of high quality steel with stainless steel full-nozzle trim. Bolted bonnet design for easy maintenance. Steel yoke incorporates a cover-shield for guiding surfaces and provides for fully exposed spring. Seats lapped to optical flatness. Dual control rings offer easy adjustability for precision opening with minimum pre-open or simmer and exact blowdown control. Heavy duty lift lever assembly.

#### Specifications

Sizes: 1 1/4- through 6-inch [32 through 150 mm]

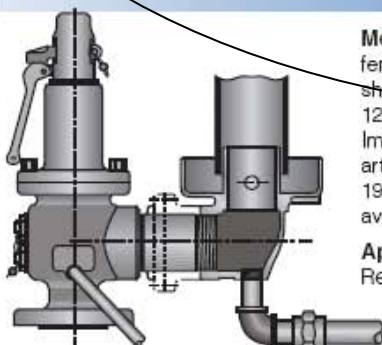
Pressure/Temperature Limits: 1000 psig [69 barg]/750°F [ 400°C]

#### Applications

- Steam boilers and generators.
- Pressure reducing stations.
- Air/gas compressors – reciprocating or rotary.
- Pressure Vessels – including tanks, receivers, intercoolers, oil-gas separators, lines.
- Gags available.

Request KUKMC-0387-US

### Drip Pan Elbow



**Model 299** illustration shows a discharge elbow and drip pan unit attached to a safety valve with female NPT outlet. For safety valves with flanged outlets – 2- to 4-inch – use companion flange, short nipple and drip pan elbow, all same size as valve outlet. 6- and 8-inch elbows have integral 125# ANSI B16.1 Flange.

Important - Length of discharge piping must be kept to a minimum. For design considerations see articles: "Steam Flow Through Safety Valve Vent Pipes" by H.E. Brandmaier and M.E. Knebel (Dec. 1975) and "Analysis of Power Plant Safety and Relief Valve Vent Stacks" by G.S. Liao (Nov. 1974) available through ASME Publications.

#### Applications

Recommended installation on outlet/discharge pipe for safety valves. Used on steam service.

Request KUKMC-0386-US

## Model Index

| Model     | Inlet Sizes  |               | NPT                      | Flange                   | Air/Gas                  | Steam                    | Hot Water                | Liquid                   |
|-----------|--------------|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|           | in           | [mm]          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
| 1 and 2   | 1/2, 3/4 - 1 | [15, 18 - 25] | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19        | 1/2 - 3      | [15 - 80]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20        | 1/2 - 3      | [15 - 80]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 200A/200H | 1/2 - 2      | [15 - 50]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 30        | 1/4          | [7]           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 40R       | 1/2 - 3/4    | [15 - 18]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 71S       | 1/2 - 2      | [15 - 50]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 171       | 1/2 - 2      | [15 - 50]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 171S      | 1/2 - 2      | [15 - 50]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 91        | 1 1/4 - 6    | [32 - 150]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 218       | 3 - 6        | [80 - 150]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 228       | 3 - 6        | [80 - 150]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 140       | 3/8 - 1/2    | [10 - 15]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 189       | 1/2 - 3/4    | [15 - 18]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 363       | 1/2 - 3/4    | [15 - 18]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 389       | 1/2 - 3/4    | [15 - 18]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 215V      | 2, 2 1/2, 3  | [50, 65, 80]  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 337       | 2, 2 1/2, 3  | [50, 65, 80]  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 338       | 2            | [50]          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 230/330   | 1/4          | [7]           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 333       | 1/4          | [7]           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 264/265   | 1/2, 3/4 - 1 | [15, 18 - 25] | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 266/267   | 1/2, 3/4 - 1 | [15, 18 - 25] | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 300/600   | 1 1/4 - 6    | [32 - 150]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 537       | 3/4 - 2      | [18 - 50]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 541, 542  | 1/4 - 1/2    | [7 - 15]      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 548       | 1/4 - 1/2    | [7 - 15]      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 803, 818  | 1/4 - 2      | [7 - 50]      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 910       | 1/2 - 2      | [15 - 50]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 911       | 1/2 - 2      | [15 - 50]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 912       | 1/2 - 2      | [15 - 50]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 913       | 1/2 - 2      | [15 - 50]     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| Model    | Inlet Sizes |              | NPT                      | Flange                   | Air/Gas                  | Steam                    | Hot Water                | Liquid                   |
|----------|-------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|          | in          | [mm]         |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
| 916      | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 917      | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 918      | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 919      | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 920, 921 | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 927      | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 930      | 2, 2 1/2, 3 | [50, 65, 80] | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6010     | 1/2 - 2 1/2 | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6021     | 1/2 - 2 1/2 | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6030     | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6182     | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6130     | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6186     | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6283     | 3/4 - 2     | [18 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6221     | 3/4 - 2     | [18 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6230     | 3/4 - 2     | [18 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6033     | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6034     | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6035     | 1/2 - 2     | [15 - 50]    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6252     | 1 1/2 - 6   | [40 - 150]   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6254     | 1 1/2 - 4   | [40 - 100]   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### Notes

\*Pressure and temperature limits may vary depending upon valve size, material, etc. Please consult appropriate product catalog for specific data.

1. Teflon® and Viton® are registered trademarks of the E.I. duPont de Nemours Company.
2. As improvements in design are continually being made, specifications are not to be regarded as binding in detail and dimensions/materials are subject to change without notice. Kunkle does not accept liability for damages which result from errors, omissions, misuse or misapplication of any information contained in this brochure.

## (20) Agitadores de turbinas para tanques W-01 y W-02



### TIPO VRP

#### Características generales

- Agitador con reductor de velocidad
- Eje inferior dotado de una turbina de 4 palas inclinadas
- Potencia desde 0,25 hasta 3 kW
- Convienen a depósitos de pequeño volumen

#### Volumen útil

- Desde 0,5 hasta 20m<sup>3</sup>

#### Condiciones de operación

- Presión atmosférica
- Temperatura hasta 90°C

#### Aplicaciones principales

- Homogeneización
- Disolución
- Preparación de reactivos
- Neutralización

#### Materiales de construcción

- Acero inoxidable 316L
- Pintura PU : RAL 1018 para el grupo de accionamiento
- (otros materiales, contactense)

#### Características eléctricas

- 230/400 voltios trifásico
- 50Hz
- IP 55
- (otras frecuencias y tensiones, contactense)

#### Opciones (según referencia)

- Motores especiales
- Revestimiento del conjunto eje y turbina
- Segunda turbina

#### Una construcción robusta

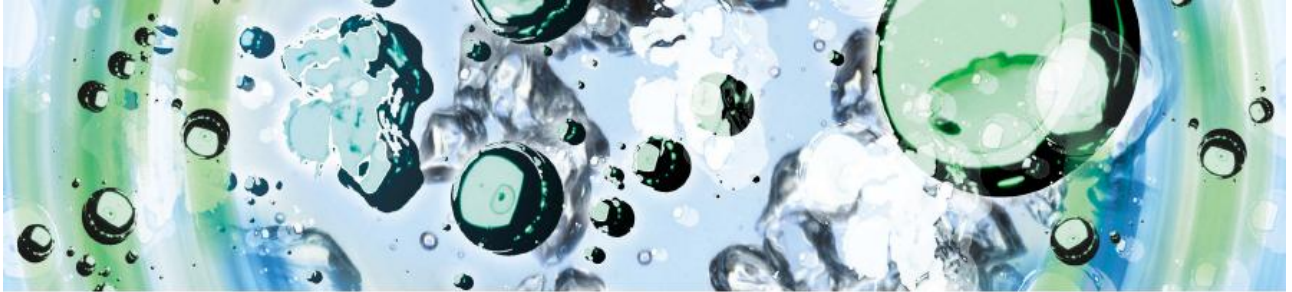
- Mínimo mantenimiento
- Posible el funcionamiento durante el vaciado del depósito

#### Límites de utilización

- Viscosidad máxima de 100mPas
- Densidad <= 1,1
- (viscosidad o densidad superior, contactense)





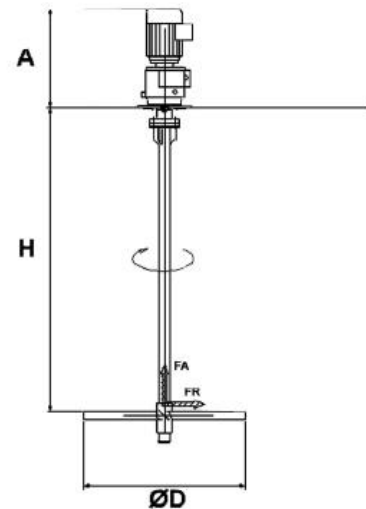
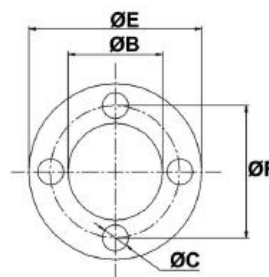


### SPÉCIFICATIONS

| Type  | Puissance Moteur (kW) | Vitesse de Rotation (rpm) | Hauteur Maxi (mm) H | Diamètre Hélice (mm) D | Débit Hélice (m³/h) | Poids (Kg) | Force Axiale (DaN) | Couple (DaNm) |
|-------|-----------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------|--------------------|---------------|
| 0021S | 0.25                  | 103                       | 1300                | 200                    | 46                  | 15         | 28                 | 2.3           |
| 0031S | 0.37                  | 126                       | 1300                | 350                    | 174                 | 25         | 33.4               | 2.8           |
| 0051S | 0.37                  | 97                        | 2000                | 500                    | 545                 | 51         | 10.4               | 3.6           |
| 1051S | 0.55                  | 100                       | 1500                | 500                    | 281                 | 28         | 63.6               | 5.3           |
| 2061S | 0.75                  | 99                        | 2500                | 600                    | 955                 | 56         | 18.5               | 7.2           |
| 3051S | 1.1                   | 137                       | 1750                | 550                    | 750                 | 48         | 14.51              | 15            |
| 4071S | 1.5                   | 102                       | 1900                | 700                    | 1349                | 125        | 70.8               | 14            |
| 4072S | 1.5                   | 96                        | 2500                | 700                    | 1469                | 87         | 35                 | 14.9          |
| 4081S | 1.5                   | 73                        | 2500                | 800                    | 1683                | 88         | 59                 | 19.6          |
| 5081S | 2.2                   | 100                       | 2000                | 800                    | 1728                | 125        | 105.9              | 21            |
| 6081S | 3                     | 96                        | 2000                | 800                    | 2201                | 89         | 69.2               | 29.8          |

### DIMENSIONS (MM)

| Type  | A   | B   | C    | E   | F   |
|-------|-----|-----|------|-----|-----|
| 0021S | 355 | 110 | 9    | 160 | 130 |
| 0031S | 425 | 130 | 11   | 200 | 165 |
| 0051S | 370 | 130 | 11   | 200 | 165 |
| 1051S | 425 | 130 | 11   | 200 | 165 |
| 2061S | 398 | 130 | 11   | 200 | 165 |
| 3051S | 525 | 180 | 13.5 | 250 | 215 |
| 4071S | 555 | 230 | 14   | 300 | 265 |
| 4072S | 470 | 180 | 13.5 | 250 | 215 |
| 4081S | 470 | 180 | 13.5 | 250 | 215 |
| 5081S | 645 | 250 | 18   | 350 | 300 |
| 6081S | 516 | 180 | 13.5 | 250 | 215 |



# CINÉTICA Y VARIABLES DE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN

---

# ÍNDICE

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1.1. Método experimental.....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2. VARIABLES QUE AFECTAN A LA REACCIÓN.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>2.1. Transesterificación de triglicéridos en distintos alcoholes supercríticos.....</b> | <b>5</b>  |
| 2.1.1. <i>Transesterificación de aceite de colza con metanol, como alcohol elegido.</i>    |           |
| <b>2.2. Efecto de la relación molar de metanol para aceite de colza.....</b>               | <b>8</b>  |
| <b>2.3. Efecto de la temperatura en la formación de los ésteres metílicos.....</b>         | <b>11</b> |
| <b>2.4. Efecto del agua en la transesterificación.....</b>                                 | <b>13</b> |
| <b>2.5. Efecto del contenido de ácidos grasos libres.....</b>                              | <b>14</b> |
| <b>3. CINÉTICA DE LA TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA A ÉSTERES METÍLICOS.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>4. CONCLUSIONES.....</b>  | <b>20</b> |

## 1. INTRODUCCIÓN

La reacción de transesterificación controla el rendimiento del proceso, por lo tanto es muy importante hacer un estudio detallado de todas las variables a tener en cuenta en dicho proceso:

- Tipo de alcohol en condiciones supercríticas
- Relación molar alcohol/aceite de colza
- Temperatura de reacción
- Efecto del agua

### 1.1 Método experimental.

El estudio de la cinética se llevó a cabo mediante el método que se expone a continuación<sup>IV,VI</sup>

En el experimento se utiliza un sistema batch para la conversión de la biomasa. El reactor utilizado consiste en un recipiente de 5 ml de capacidad construido en acero aleado Inconel 625. En la reacción, reaccionó una gran cantidad de triglicéridos (de aceite de colza) y ácidos grasos con alcohol en una relación molar de 42:1 en alcohol. Posteriormente, el recipiente se sumergió en un baño precalentado a la temperatura de reacción designada (300°C) y se dejó pasar un intervalo de tiempo.

A continuación, se agitó el recipiente dentro del baño con agua para finalizar la reacción. Entonces, se conformó la mezcla de la reacción, después de 30 minutos para así separarse en tres fases. Una de estas fases estaba formada por el alcohol que quedó sin reaccionar, después de retirarlo; la fase superior e inferior que consistía en ésteres alquílicos y glicerol, respectivamente, fueron analizados usando una cromatografía de líquido de alto rendimiento, constituido por una columna: STR ODS-II, un detector de



índice de refracción y un eluyente: metanol. La mayor identificación, fue obtenida comparando los picos de retención obtenidos de las muestras con los obtenidos por la muestra patrón.

Al realizar este experimento en un sistema de reacción batch, la presión en el interior no se podía controlar. En la Tabla 1 se muestra la temperatura y presión crítica para varios alcoholes y la presión de reacción obtenida para una reacción a 300°C.

Una conclusión interesante que se obtiene es que la presión es inversamente proporcional al peso molecular de la cadena del alcohol, así, al aumentar la cadena de alcohol, disminuye la presión.

| Alcohol    | Critical temperature (°C) | Critical pressure (MPa) | Pressure at 300 °C (MPa) |
|------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Methanol   | 239                       | 8.09                    | 20                       |
| Ethanol    | 243                       | 6.38                    | 15                       |
| 1-Propanol | 264                       | 5.06                    | 10                       |
| 1-Butanol  | 287                       | 4.90                    | 9                        |
| 1-Octanol  | 385                       | 2.86                    | 6                        |

**Tabla 1.** Estado crítico y presión de reacción máxima para varios alcoholes

## 2. VARIABLES QUE AFECTAN A LA REACCIÓN

Se elige el aceite de colza como aceite vegetal y los ácidos palmíticos, estéricos, oléicos y linoléicos como los ácidos grasos usados como ácidos grasos libres. El aceite de colza contiene un 98,5% de triglicéridos y sólo un 1,5% de ácidos grasos libres.

### **2.1 Transesterificación de triglicéridos con distintos alcoholes supercríticos.**

Se realizaron una serie de experimentos <sup>IV,VI</sup> con distintos alcoholes en estado supercrítico y se observó con cuál de éstos se obtenían mejores resultados. Los distintos alcoholes utilizados fueron: metanol, etanol, 1-propanol, 1-butanol y 1-octanol.

La Fig 1 muestra distintos cromatogramas donde se recogen los resultados obtenidos cuando los triglicéridos se trataron con varios alcoholes bajo condiciones supercríticas. Los picos corresponden a la formación de ésteres alquílicos y son diferentes cuando las cadenas alquílicas de los alcoholes son más largas.

Por otro lado, observando los resultados obtenidos con respecto al tiempo, se puede ver que para tiempos de reacción prolongados los picos de los ésteres alquílicos aumentan. Además, los picos correspondientes a compuestos intermedios y sin reaccionar disminuyeron y finalmente desaparecieron, demostrando así la alta pureza de los ésteres formados.

En la Fig 2, se observa como la producción de ésteres se incrementa cuando aumenta el tiempo de reacción, mientras que dejando fijo el tiempo de reacción y usando alcoholes de cadenas alquílicas más cortas se obtienen mejores conversiones. La gran producción de ésteres metílicos (casi el 100%) se obtuvo en un tiempo de 15 minutos de tratamiento con metanol, mientras que con etanol y 1-propanol se necesitaron 45 min. Bajo condiciones similares supercríticas con el 1-butanol y 1-octanol se obtuvieron unas producciones de aproximadamente el 85% y 62% de ésteres, respectivamente.

Se concluyó en otros estudios realizados que la conversión completa a ésteres metílicos se obtenía después de los 4 min a 350°C y 43MPa<sup>1</sup>.

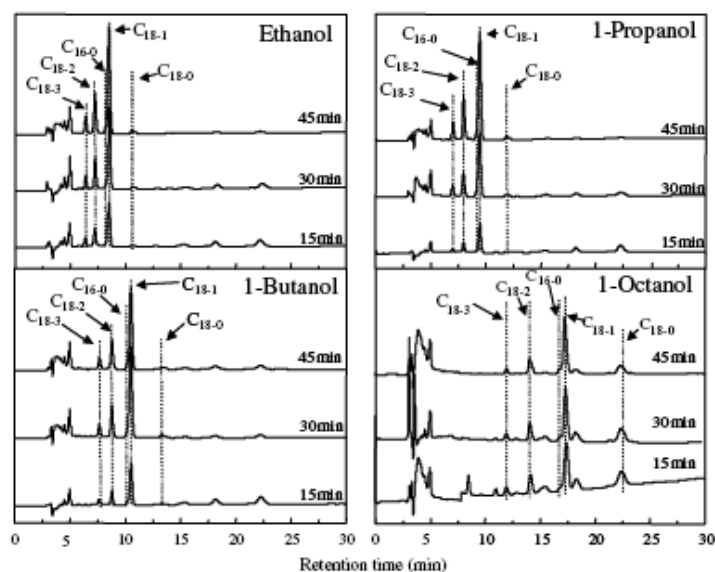


Fig.1. Cromatogramas HPLC de triglicéridos tratados con distintos alcoholes supercríticos a 300°C.

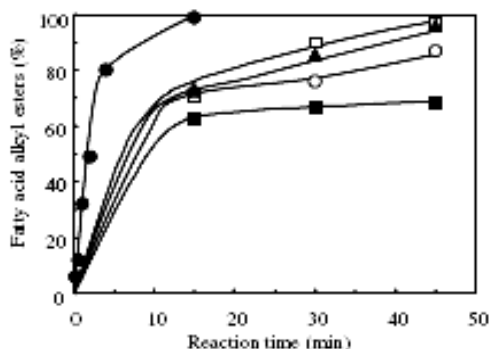


Fig 2. Porcentaje de ésteres alquílicos tratados con alcohol supercrítico a 300°C.  
(●) metanol, (□) etanol, (▲) 1-propanol, (○) 1-octanol.

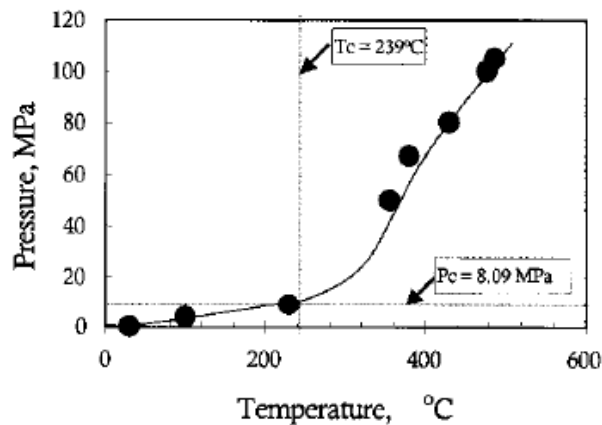
Así bien, podemos concluir que el alcohol con el que se obtiene un mayor rendimiento es el **metanol** en condiciones supercríticas.

Por lo tanto, a continuación se presentan los estudios realizados de la cinética de la reacción de transesterificación del aceite de colza tratado con metanol supercrítico y en ausencia de catalizador. Centrándonos en los efectos de la relación molar y la temperatura de reacción en la formación de los

ésteres metílicos mediante un método simple de cinética para la reacción de transesterificación.

### 2.1.1 *Transesterificación de aceite de colza con metanol, como alcohol elegido.*

Los experimentos realizados de metanol supercrítico con aceite de colza en el reactor batch dieron como resultado las siguientes relaciones de temperatura y presión (Fig.3)



**Fig 3.** Relación entre el tiempo de reacción, presión y temperatura dentro del reactor tipo batch. La zona más oscura corresponde al estado supercrítico del metanol

## 2.2 *Efecto de la relación molar de metanol para aceite de colza.*

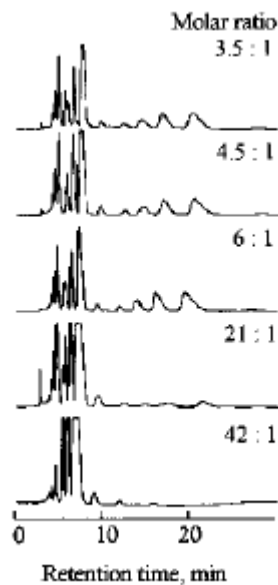
La relación molar de metanol para aceite de colza es una de las variables más importantes que afectan a la producción de ésteres metílicos. La estequiometría de la transesterificación del aceite de colza requiere tres moléculas de metanol para reaccionar con una molécula de aceite de colza. Se indicó en el proceso convencional comercial con catalizador alcalino que la producción de ésteres metílicos se incrementa con la relación molar de metanol a aceite de colza y que las relaciones óptimas para su transesterificación resultan entre 4,05 y 5,67. Para una relación molar menor a 4,05, la reacción

fue descrita como incompleta, mientras que para relaciones molares superiores a 5,67, el inconveniente que tiene es que es difícil de realizar la separación de la glicerina del metanol como un subproducto.

Por lo tanto, se estudió el efecto de la relación molar del metanol para aceite de colza en un rango comprendido entre 3,5 y 42 para la producción de ésteres metílicos formados por tratamiento con metanol supercrítico, asumiendo que el promedio del peso molecular del aceite de colza es de 806 como triglicéridos.

La Fig. 4 muestra los cromatogramas HPLC obtenidos de aceite de colza tratados con varias relaciones molares con metanol durante 4 minutos en condiciones supercríticas. Anteriormente, se demostraba que el pico intenso que se observa en los cromatogramas para tiempos de retención cortos (3-10min) son compuestos metílicos esterificados, mientras que con tiempos de retención largos (10-20 min) aparecen intermedios como monoglicéridos y diglicéridos. En la Fig.5 se observa que la conversión alcanzada del aceite de colza es diferente para varias relaciones molares de metanol que fueron aplicadas a la reacción de transesterificación del aceite de colza. Con una alta relación molar de metanol, aumenta la formación de ésteres metílicos y disminuye los compuestos intermedios.

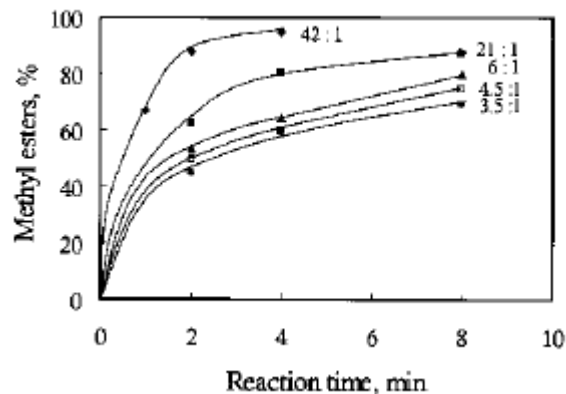
En otro estudio se llegó más lejos y se observó que se podía lograr una conversión del 98% de aceites vegetales con una relación molar de 6, incluso una relación molar aún más alta, de hasta 45 era necesaria cuando el aceite contenía una gran cantidad de ácidos grasos libres. Sin embargo, la conversión bajó al 82% cuando la relación molar se disminuyó.



**Fig 4.** Cromatogramas HPLC de aceite de colza tratado con metanol supercrítico a 350°C y a distintas relaciones molares (metanol: aceite de colza)

La Fig.5 muestra el contenido de ésteres metílicos producidos con diferentes tratamientos supercríticos realizados a 350°C. Para una relación molar de 42 en metanol, casi se alcanzó la conversión completa con una producción del 95% de ésteres metílicos, mientras que para bajas relaciones molares, 6 o menos, la conversión fue incompleta y con una baja producción de ésteres metílicos. Estos experimentos, por lo tanto, indican que las relaciones molares más altas de metanol causan una mejor reacción de transesterificación, debido quizás al aumentar así el área de contacto entre el metanol y los triglicéridos.

Los datos experimentales obtenidos se muestran mediante símbolos mientras que las líneas muestran las curvas simuladas que hablaremos más adelante.



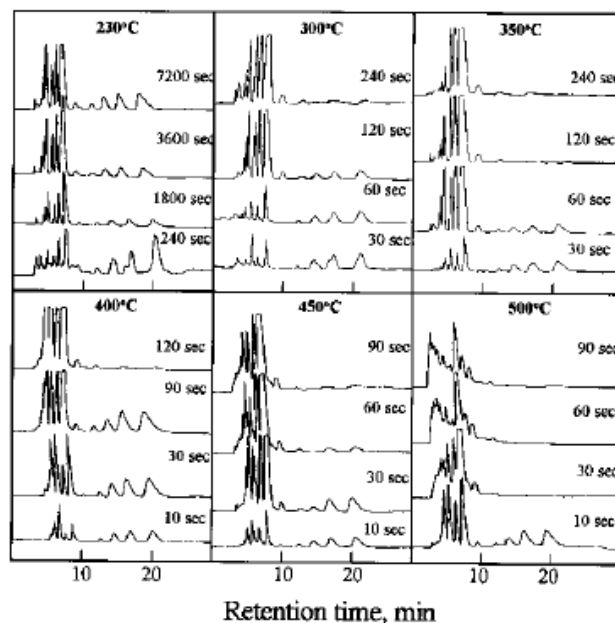
**Fig 5.** Efecto de las distintas relaciones molares en la reacción de transesterificación, tratado a 350°C

### ***2.3 Efecto de la temperatura en la formación de los ésteres metílicos.***

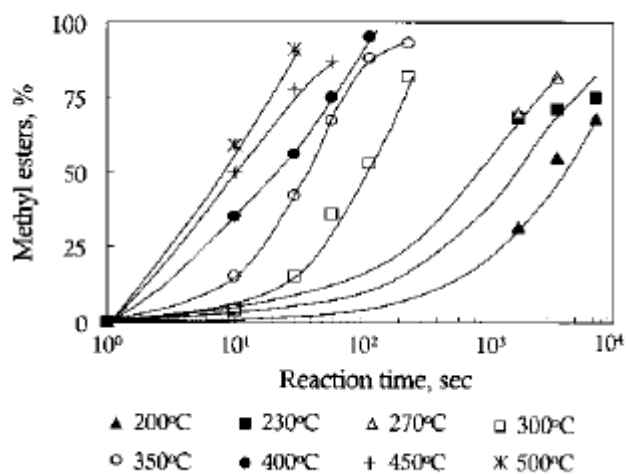
Para determinar el efecto de la temperatura en la formación de los ésteres metílicos, se realizaron reacciones de transesterificación fijando una relación molar de 42 en metanol, la mejor condición reflejada en la Fig. 5.

Para varias temperaturas comprendidas entre 200°C a 500°C. La Fig 6 muestra los cromatogramas HPLC obtenidos del aceite de colza tratado en varias condiciones de temperatura y tiempos de reacción, mientras que el contenido de ésteres metílicos obtenidos se muestra en la Fig. 7,

Para temperaturas de 200 y 230°C, es evidente la baja conversión que se obtiene, esto es debido a las condiciones subcríticas de metanol. En estas condiciones, se forman un 68 al 70% de ésteres metílicos a una temperatura de 200 y 230°C respectivamente, con un tratamiento de 3600s (1h). Resultados recogidos en la Fig.7.



**Fig 6.** Cromatogramas HPLC de aceite de colza tratado para varias temperaturas y tiempos de reacción, con una relación molar fija de 42 en metanol.



**Fig 7.** Efecto de la temperatura de reacción en la formación de ésteres metílicos. Los símbolos representan datos experimentales, mientras que las líneas son curvas simuladas.



Para una temperatura de 270°C, el rango de conversión es todavía bajo, podía estar relacionado con la estabilidad en condiciones supercríticas. todavía se encuentra en la transición de la fase subcrítica y supercrítica del metanol. Sin embargo, a 300°C se produce un cambio considerable en el rango de conversión sobre el 80% de ésteres metílicos producidos en 240 segundos. Por último, a 350°C y 240 segundos se alcanzó una alta conversión de aceite de colza en ésteres metílicos del 95%.

Un dato importante aquí es que la composición de los ésteres metílicos producidos es muy similar a la obtenida mediante el proceso tradicional utilizando un catalizador básico.

A temperaturas aún más altas, 400°C, la reacción de transesterificación queda completada en 120 segundos donde se convierte casi todo el aceite de colza en sus ésteres metílicos. Sin embargo, en una temperatura tan alta de reacción, aparecen nuevos picos para tiempos de retención cortos (3-4 min) mostrados en los cromatogramas, Fig 6.

Finalmente, las reacciones de transesterificación del aceite de colza en ésteres metílicos se producen de manera apropiada a la temperatura de 350°C bajo condiciones supercríticas de metanol sin el uso de catalizadores.

#### ***2.4 Efecto del agua en la transesterificación.***

Se ha demostrado que la presencia de agua presenta mayor efecto negativo que el contenido de ácidos grasos libres<sup>XVII</sup>. Así bien, el contenido de agua debería estar por debajo del 0,06%, mucho más por debajo que el contenido aceptable de ácidos grasos. Estos problemas, que aparecen en procesos catalíticos, pueden dificultar la utilización más eficiente de aceites vegetales y petróleos superfluos ya que, generalmente, contienen agua y ácidos grasos libres.

En el método del metanol supercrítico la cantidad de agua añadida en el sistema de reacción no presenta ningún efecto significativo sobre la conversión y se observó la conversión completa con cualquier contenido en agua. Además, comparado con el método alcalino, se obtiene una producción más alta de ácidos grasos libres. Resultados en Fig.8.

El método de metanol supercrítico con agua añadida presenta una separación de producto más fácil.

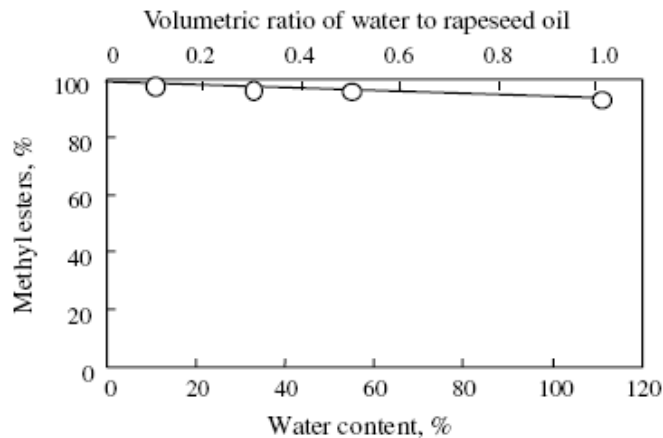


Fig 8. Porcentaje de agua en la formación de ésteres metílicos

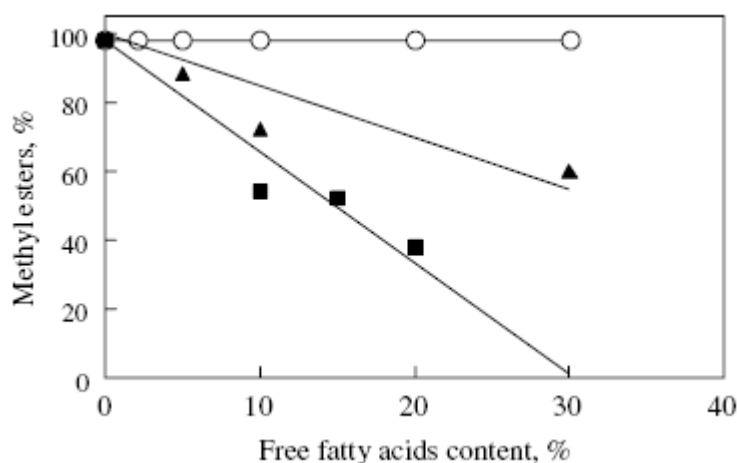
### **2.5 Efecto del contenido de ácidos grasos libres**

Para estudiar el efecto de los ácidos grasos libres en la producción de ésteres metílicos mediante el método de metanol supercrítico, se tomó el ácido oléico como modelo de ácido graso libre ya que es el más abundante en el aceite de colza. Este aceite de colza fue tratado con metanol supercrítico. Los resultados obtenidos así como los obtenidos por el método de catalizador alcalino, se muestran en la Fig 9. Podemos ver que es evidente una conversión sumamente importante para cualquier contenido de ácido oleico.

La presencia de un alto contenido de ácidos grasos en el aceite desactiva los catalizadores alcalinos, y la adición de una cantidad excesiva de

álcali para compensar, da lugar a la formación de emulsiones, que aumentan la viscosidad, conduciendo así a la formación de geles y a los problemas asociados con la separación de glicerol y la pérdida de producción de ésteres.

Por otra parte, el método de metanol supercrítico ofrece un proceso más simple que es más tolerante a varios tipos de aceites vegetales puros y sus desechos.



**Fig 9.** Producción de ésteres metílicos en función del contenido de ácidos grasos

Para finalizar con el estudio realizado sobre las variables del contenido en agua y ácidos grasos libres, se recoge en la Tabla 1 la producción de ésteres metílicos para distintos aceites y distintos procesos utilizados (método catálisis ácida, básica y método supercrítico). Además se observa el porcentaje de agua y ácidos grasos libres para cada uno de estos métodos.

| Vegetable oil                | FFA content <sup>a</sup> (wt%) | Water content (wt%) | Yield of methyl esters, wt% |                |                        |
|------------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------|------------------------|
|                              |                                |                     | Alkaline-catalyzed          | Acid-catalyzed | Supercritical methanol |
| Rapeseed oil                 | 2.0                            | 0.02                | 97.0                        | 98.4           | 98.5                   |
| Palm oil                     | 5.3                            | 2.1                 | 94.4                        | 97.8           | 98.9                   |
| Used frying oil <sup>b</sup> | 5.6                            | 0.2                 | 94.1                        | 97.8           | 96.9                   |
| Waste palm oil               | >20.0                          | >61.0               | No reaction                 | No reaction    | 95.8                   |

**Tabla1:** Comparación de la producción de ésteres metílicos por los métodos alcalino, ácido y supercrítico.

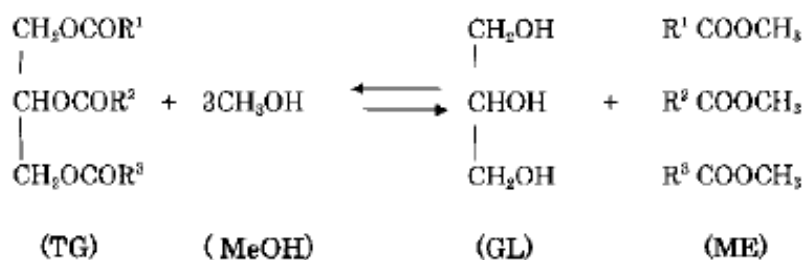
### 3. CINÉTICA DE LA TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA A ÉSTERES METÁLICOS

Como se ha dicho anteriormente, el modelo está basado en una reacción completa, quedándose fijada la relación molar en 42 y la concentración de metanol no se tomó en cuenta.

Se propuso la reacción de transesterificación dividida en tres pasos: los triglicéridos reaccionan con el metanol para producir diglicéridos, y luego los diglicéridos reaccionan para producir monoglicéridos. Finalmente los monoglicéridos reaccionan con el metanol para obtener los ésteres y glicerina como subproducto.

En cada paso de la reacción, se produce una molécula de metilato por cada molécula de metanol que es consumida. Como resultado, se estudian 6 constantes de reacción para la reacción completa.

Debido a que en realidad, los productos finales de la reacción global en la reacción de transesterificación son los ésteres metílicos con una cantidad de glicerina, se define un modelo matemático más simple, sin tener en cuenta los intermedios de reacción (diglicéridos y monoglicéridos), así que las tres etapas pueden simplificarse en una sola etapa:



Esta reacción se considera como una reacción de primer orden, en función de la concentración de triglicéridos (TG) y de la temperatura de reacción. La constante de la reacción se puede determinar en base al aumento de uno de los productos que se produce en unas de las reacciones o bien, basándonos en la disminución de unos de los reactivos. En este caso, se eligió la disminución de un reactivo, TG. Por lo tanto, el valor de la constante de la reacción puede expresarse como se expresa en la Ecuación 1

$$\text{Rate} = -d \frac{[\text{TG}]}{dt} \quad (1)$$

Donde TG se refiere al contenido de triglicéridos del aceite vegetal utilizado. En este método con metanol supercrítico, se definieron 3 especies: éster metílico (ME), glicerina (GL) y lo que no se ha transformado a ésteres metílicos (uME) que incluye triglicéridos, diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos libres que no han reaccionado, la Ecuación 1 se puede modificar a:

$$\text{Rate} = -d \frac{[\text{uME}]}{dt} \quad (2)$$

or

$$\frac{-d[\text{uME}]}{dt} = k[\text{uME}] \quad (3)$$

Asumiendo que la concentración inicial de uME=0, cuando t= 0 y la concentración después de un tiempo t, se obtiene integrando la ecuación 3 las siguientes expresiones:

$$- \int_{\text{uME},0}^{\text{uME},t} \frac{d[\text{uME}]}{[\text{uME}]} = k \int_0^t dt \quad (4)$$

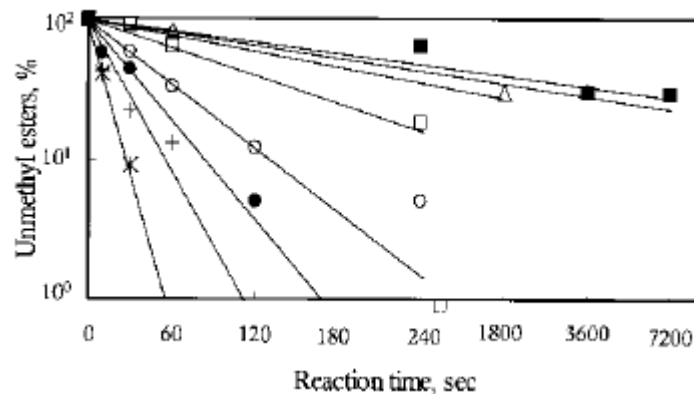
Hasta llegar a la expresión del cálculo de la constante cinética.  
Ecuación 6.

$$-\ln \frac{[uME, t]}{[uME, 0]} = kt \quad (5)$$

or

$$K = \frac{\ln[uME, t] - \ln[uME, 0]}{t} \quad (6)$$

La Fig. 10 muestra la correlación entre el contenido de ésteres metílicos que no han se han transformado y el tiempo de reacción. Como se ha mencionado anteriormente, los compuestos esterificados no metílicos están definidos como otros compuestos obtenidos en la fase ligera, excluyendo al metil oléico, metil linoléico, metil palmítico y methyl linolenico. La línea recta se señaló para hacer coincidir los datos experimentales de acuerdo con una ecuación de primer orden.



**Fig.10.** Cantidad de ésteres no convertidos en la reacción de transesterificación.

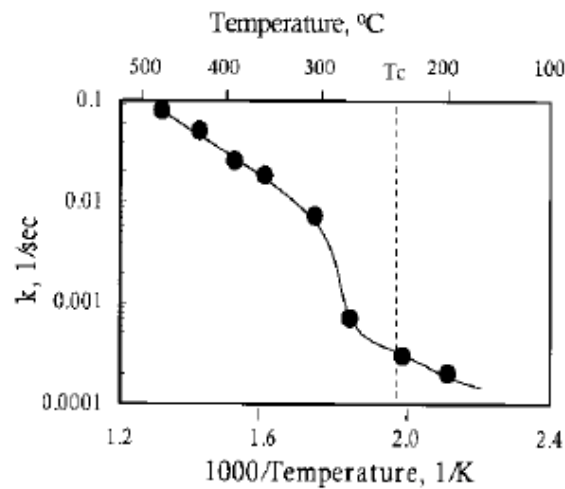
Basándonos en los resultados de la Fig 10, se obtuvo un valor de la constante para cada temperatura de reacción, tal y como se muestra en la Tabla 2 junto con el correspondiente valor de la constante por Arrhenius obtenidas con este método en Fig. 11.

Es evidente que para una temperatura subcrítica por debajo de 239°C, la reacción se hace más lenta, sin embargo, en estado supercrítico se hace más rápida y la constante de velocidad es incrementada por un factor de aproximadamente 85 a la temperatura de 350°C.

| Reaction condition |                | $k$ (s <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|----------------|------------------------|
| Temperature (°C)   | Pressure (MPa) |                        |
| 200                | 7              | 0.0002                 |
| 230                | 9              | 0.0003                 |
| 270                | 12             | 0.0007                 |
| 300                | 14             | 0.0071                 |
| 350                | 19             | 0.0178                 |
| 385                | 65             | 0.0249                 |
| 431                | 90             | 0.0503                 |
| 487                | 105            | 0.0803                 |

**Tabla 2:** valores de las constantes cinéticas para diferentes condiciones de reacción.

El metanol líquido es un solvente polar y forma puentes de hidrógeno entre grupos -OH y oxígeno y grupo -OH con hidrógeno para formar ramificaciones de metanol. Debido a que el grado de los puentes de hidrógeno aumenta con la temperatura, la polaridad del metanol podría disminuir en estado supercrítico. Esto conlleva a que el metanol en estado supercrítico tiene naturaleza hidrófoba con una constante dieléctrica más baja. Como conclusión, los triglicéridos no polares pueden disolverse bien en metanol supercrítico para formar una sola fase de mezcla de aceite vegetal/metanol. Este fenómeno, con las altas condiciones de temperaturas, parece ser favorable para proponer la reacción de transesterificación de aceite de colza.



**Fig 11.** Valores de la constante de Arrhenius para una reacción de transesterificación de primer orden

#### 4. CONCLUSIONES.

Como conclusión, para la cinética propuesta se tiene un proceso de transesterificación con una eficacia elevada. Las mejores condiciones para un proceso de producción de biodiesel sin catalizador son: temperatura de reacción de  $350^{\circ}C$  y una relación molar de metanol de 42. El método del metanol supercrítico, por lo tanto, ofrece un método con tecnología más simple para producir un combustible alternativo para motores de ignición de compresión. Con la considerable producción de ésteres metílicos por el método ecológico se propone como una técnica perfectamente aceptada para la industrialización.



# ACEITES USADOS COMO MATERIA PRIMA

---

# ÍNDICE

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>                                      | <b>4</b>  |
| <b>2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES DE FRITURA.....</b>         | <b>5</b>  |
| <b>3. DISEÑO DE TANQUES DE SEDIMENTACIÓN.....</b>                | <b>6</b>  |
| <b>3.1. Características de los tanques de sedimentación.....</b> | <b>6</b>  |
| <b>3.2. Dimensiones características.....</b>                     | <b>6</b>  |
| <b>3.3. Cálculo de espesores: virola y fondo cónico.....</b>     | <b>10</b> |
| <b>3.4. Cálculo de la velocidad límite de sedimentación.....</b> | <b>12</b> |

## 1. INTRODUCCIÓN.

En esta planta de producción de biodiésel se trabaja con aceite de colza, como aceite bruto que es trasladado hasta la planta ya limpio.

En el estudio realizado con la transesterificación supercrítica, se concluye que todo tipo de aceite puede ser usado en este proceso. Como consecuencia de esto, se realiza el diseño de una serie de tanques de sedimentación para albergar aceites usados y dar de esta manera mayor versatilidad a la planta.

Los aceites usados como por ejemplo aceites de fritura, tanto de origen animal como vegetal que proceden en una proporción mayoritaria de actividades domésticas y comerciales. Legalmente, los aceites vegetales usados pertenecen a un tipo de residuo especial, llamados “grasas y aceites vegetales y animales”, el cual debería ser recogido y tratado separadamente de otros tipos de residuos. En la actualidad, sólo es recolectada una pequeña parte, pero esta cantidad está aumentando progresivamente.

Actualmente en España, dos terceras partes del aceite utilizado acaba en la red de saneamiento y alcantarillado, encareciendo y complicando el tratamiento de las aguas residuales en las depuradoras. Al llegar a éstas, los restos de aceite dificultan el funcionamiento de los depósitos de aireación. Además, cuando el aceite que no ha podido eliminarse acaba en los ríos, forma una película superficial que impide el intercambio normal de oxígeno y altera el ecosistema; un solo litro de aceite puede contaminar hasta 1.000 litros de agua.

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES DE FRITURA

Una característica destacada del aceite de fritura usado es la cantidad de ácidos grasos libres que han sido liberados durante el proceso de fritura. Este contenido dependerá principalmente de la acidez del aceite de partida, que en el caso de los aceites de oliva y girasol, es muy reducida. Debido a este bajo grado de acidez, serán aceites idóneos para su transformación en biodiesel, además como se mencionó anteriormente no será necesaria ninguna etapa adicional de pretratamiento por las condiciones tan severas que se sigue en la reacción de transesterificación con metanol supercrítico. No obstante, este contenido será controlado en todo momento en el punto de recepción de la materia prima.

A continuación se reflejan las principales características físicas de la muestra estándar de aceite usado<sup>XVIII</sup>.

| ACEITE DE OLIVA USADO (TRAS 5 FRITURAS A 180°C) |                       | ACEITE DE GIRASOL USADO (TRAS 5 FRITURAS A 180°C) |                       |
|---|-----------------------|---|-----------------------|
| PROPIEDAD                                       | VALOR                 | PROPIEDAD   | VALOR                 |
| Densidad (25°C)                                 | 919 Kg/m <sup>3</sup> | Densidad (25°C)                                   | 930 Kg/m <sup>3</sup> |
| Viscosidad (25°C)                               | 50-55 cSt             | Viscosidad (25°C)                                 | 45-50 cSt             |
| Índice yodo                                     | 77,7                  | Índice yodo                                       | 118,7                 |
| Índice saponificación                           | 181,7                 | Índice saponificación                             | 175,8                 |

**Tabla 1.** Principales propiedades físicas de aceites usados.

Los aceites usados llevan además consigo impurezas y materias que no son eliminadas con el tratamiento de transesterificación con metanol supercrítico (que si elimina ceras, gomas del aceite). Por tanto para eliminar estas materias, se diseñan los tanques de sedimentación que se detallan en el siguiente apartado.

### **3. DISEÑO DE TANQUES DE SEDIMENTACIÓN**

#### **3.1. Características de los tanques de sedimentación.**

El aceite de fritura se albergará en un tanque de sedimentación, se dispondrá de dos tanques en serie; cuando un tanque es descargado queda otro tanque lleno y así continuamente disponer de aceite en los tanques.

Los tanques de sedimentación consisten en tanques cilíndricos verticales abiertos a la atmósfera por la parte superior y con fondo cónico en la parte inferior; estarán sometidos a condiciones de presión y temperatura atmosféricas. El material de construcción empleado es el acero al carbono SA-285-C.

El fondo será cónico y adaptado para que se produzca la purga de los sólidos y mermas que contenga el aceite, tendrá un volumen adecuado para poder albergar el contenido máximo de sólidos que contenga la carga de aceite.

Estos depósitos, al igual que los tanques de almacenamiento con fondo semielíptico se soportarán sobre estructura en perfiles laminados IPN. No se ha realizado el diseño de estos perfiles pero el método de cálculo es igual al seguido en el *Diseño de Tanques de almacenamiento*.

#### **3.2. Dimensiones características.**

Se disponen de dos tanques en serie de sedimentación, siendo el diseño de ambos el mismo. Así bien, cuando un tanque es descargado, se queda un tanque el tiempo necesario para que se de la sedimentación, a continuación será descargado y así sucesivamente.

El tanque consiste en una parte superior de forma cilíndrica y una parte inferior cónica; el cálculo del volumen para ambas geometrías son:

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4} \dots(1.1)$$

$$V_{cono} = \frac{\pi}{12} \cdot (D^2 \cdot h) \dots(1.2)$$

Por lo tanto, el volumen total del tanque será:

$$V_{tan\ que} = V_{cilindro} + V_{cono} \dots(1.3)$$

Se puede calcular el volumen a partir del caudal de aceite usado que se necesitaría para obtener la misma producción de biodiésel que se obtiene con aceite crudo de colza.

Se hace la siguiente estimación;

En un kilogramo de aceite usado hay: 30 gramos de sólidos  
25 gramos de agua

Caudal másico de aceite al día: 20.956,8 kg

Caudal másico de agua al día: 550 kg

Caudal másico de sólidos al día: 660 kg

Caudal másico de mermas (agua+ sólidos): 1210 kg

La planta necesita para la producción 1000 litros de aceite a la hora por lo que tenemos el volumen de aceite necesario para un día.

$$V_{aceite} = 24m^3$$

El volumen total del tanque de sedimentación lo constituye el volumen del aceite más el volumen ocupado en la parte cónica del tanque por los sólidos y el agua (merma).

$$V_{total} = V_{aceite} + V_{merma...}(1.4)$$

Se calcula el volumen de mermas, como:

$$V_{merma} = V_{agua} + V_{sólidos...}(1.5)$$

Densidad del agua:  $1000 \text{ kg/m}^3$

Densidad de los sólidos :  $1500 \text{ kg/m}^3$

$$V_{merma} = \frac{550kg}{1000kg/m^3} + \frac{660kg}{1500kg/m^3} = 0,99m^3$$

Una vez obtenido el volumen de merma y el volumen de aceite, se puede obtener el volumen total del tanque para un día.

$$V_{total} = V_{aceite} + V_{merma} = 25m^3$$

Al igual que en los demás tanques de almacenamientos, se adiciona un 20% al volumen útil del tanque:

$$V_{total} = 30m^3$$



Las dimensiones del tanque se calculan atendiendo a la forma cilíndrica y forma cónica del tanque. Se calcula el diámetro interno y la altura del tanque; para ello mantenemos una relación H/D de 1,5, relación apropiada para el diseño de tanques de baja presión<sup>[4]</sup>.

$$V_{total} = 1,5 \cdot \frac{D^3 \cdot \pi}{4} \dots(1.6)$$

Despejando de la fórmula anterior D obtenemos el diámetro interno y con la relación .

$$D = 2,94m$$

$$H = 4,42m$$

- Cálculo de la altura de la parte cónica:

$$V_{cono} = \frac{\pi}{12} \cdot (D^2 \cdot h) \dots(1.7)$$

$$h = \frac{V_{cono} \cdot 12}{D^2 \cdot \pi} = 0,525m$$

- Cálculo de la altura de la parte cilíndrica:

$$H_{cilindro} = H_{total} - H_{cono} = 3,9m$$

- Ángulo de inclinación de la tolva con la horizontal:

$$\operatorname{tag}\alpha = \frac{2 \cdot h_{\text{cono}}}{D} = 0,357;$$

$$\alpha = 20^\circ$$

### 3.3. Cálculo de espesores: virola y fondo cónico

Conocidos los datos de Presión de diseño(P), diámetro interno(di), eficacia de soldadura (E), coeficiente de corrosión (c ) se puede calcular el espesor mínimo de la virola para el depósito usando la siguiente ecuación:

-Esfuerzo longitudinal

$$t_{\delta x} = \frac{P \cdot R_o}{2SE + 0,4 \cdot P} + c = 4,470mm$$

- Esfuerzo circunferencial

$$t_{\delta x} = \frac{P \cdot R_o}{SE - 0,6 \cdot P} + c = 7,496mm$$

P: Presión de diseño, 49,781 psi

Ro: Radio interior del recipiente, 1,47 m

S: Tensión máxima admisible, 15700 psi

E: eficiencia de soldadura, 0,85

c: sobreespesor o margen de corrosión, 2 mm

Finalmente, el espesor de la virola del casco cilíndrico es de **8 mm**.

Para el cálculo del espesor para un fondo cónico, se utiliza estas expresiones para esfuerzo longitudinal y circunferencial respectivamente.

-Esfuerzo longitudinal 
$$t_{\alpha} = \frac{P \cdot D_{int}}{4 \cos \alpha \cdot (SE + 0,4 \cdot P)} + c_{...}(1.7)$$

-Esfuerzo circunferencial 
$$t_{\alpha} = \frac{P \cdot D_{int}}{2 \cos \alpha \cdot (SE - 0,6 \cdot P)} + c_{...}(1.8)$$

La nomenclatura es la misma que la utilizada en las expresiones anteriores, exceptuando el término del ángulo  $\alpha$ , que se calcula de la siguiente forma:

$$\operatorname{tag} \alpha = \frac{D/2}{h_{cono}} = 2,8; \alpha = 70^{\circ}$$

Despejando de las ecuaciones 1.7 y 1.8, se obtienen los siguientes espesores:

$$t_{\delta x} = 6,327 \text{ mm}$$

$$t_{\delta \phi} = 10,674 \text{ mm}$$

De los dos datos de espesores obtenidos para el fondo cónico, cogemos el obtenido por el esfuerzo circunferencial al ser el mayor de los dos.

**El espesor de diseño será por tanto de 11 mm**

A continuación se recoge las dimensiones y espesores característicos del tanque diseñado.

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| <b>D<sub>int</sub> (m)</b>       | 2,94  |
| <b>H<sub>cilindro</sub> (m)</b>  | 3,90  |
| <b>h<sub>cono</sub> (m)</b>      | 0,525 |
| <b>α<sub>cono</sub> (°)</b>      | 70    |
| <b>t<sub>cilindro</sub> (mm)</b> | 8     |
| <b>t<sub>cono</sub> (mm)</b>     | 11    |

**Tabla 2:** Dimensiones del tanque

### **3.4. Cálculo de la velocidad límite de sedimentación.**

Para que una partícula se mueva en el seno de un fluido es necesario que haya una diferencia de densidad entre la partícula y el fluido.

Se necesita una fuerza externa que comunique a la partícula un movimiento relativo respecto del fluido. Normalmente, la fuerza externa es la fuerza de gravedad.

Si existe un movimiento relativo de la partícula con respecto al fluido, habrá un rozamiento entre la partícula y el fluido. De este modo, sobre una partícula que se mueve a través de un fluido actúan tres fuerzas:

- La fuerza externa, fuerza de gravedad ( $F_g$ )
- La fuerza de flotación, que actúa en sentido contrario que la fuerza externa,  $F_f$
- La fuerza de rozamiento,  $F_r$ , que aparece siempre que exista un movimiento relativo entre la partícula y el fluido, y se opone al movimiento.

Así bien, la fuerza resultante  $F_R$ , que actúa sobre la partícula será:

$$F_R = F_g - F_f - F_r \dots (1.9)$$

Donde,

$$F_R = m \, dV/dt$$

$$F_g = m \cdot g$$

$$F_f = m_f \, g = \rho_f \, V_p \, g = \rho_f \, (m/\rho_p) \, g$$

$$F_r = C_D \, (1/2) \, V^2 \, \rho \, A_p$$

Siendo  $C_D$  el coeficiente de resistencia o coeficiente de rozamiento y  $A_p$  el área proyectada de la partícula, medida en un plano perpendicular a la dirección de movimiento de la misma.

Por tanto:

$$m \frac{dV}{dt} = mg - m \frac{\rho}{\rho_p} g - C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A_p \dots (1.10)$$

Los dos primeros sumandos del segundo miembro son constantes, mientras que el tercero depende del cuadrado de la velocidad. A partir del instante inicial en el que  $V = 0$  y  $F_r = 0$ , la partícula comenzará a descender. Al aumentar la velocidad también lo hace  $F_r$ , hasta que  $F_r$  se iguale a  $mg - m\rho g/\rho_p$ , momento a partir del cual la velocidad no varía con el tiempo, y la partícula se mueve a velocidad constante. Esta velocidad denomina velocidad límite de sedimentación.

Para calcular esta velocidad límite, como  $dV/dt$  es nula:

$$0 = mg - m \frac{\rho}{\rho_p} g - C_D \frac{1}{2} \rho V_t^2 A_p \rightarrow mg \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_p} \right) = C_D \frac{1}{2} \rho V_t^2 A_p$$

$$V_t = \sqrt{\frac{2mg \left( \rho_p - \rho \right)}{C_D \rho_p \rho A_p}}$$

Para el caso de partículas esféricas:

$$V_t = \sqrt{\frac{4 D_p g \left( \rho_p - \rho \right)}{3 C_D \rho}}$$

Puesto que  $C_D$  es un coeficiente de rozamiento, dependerá del tipo de régimen y, por tanto, del Reynolds de la partícula. Ver anexo gráfico.

Aunque la relación entre el coeficiente de rozamiento y el  $Re_p$  es una curva continua, ésta puede sustituirse por tres tramos rectos siempre que se cumplan una serie de condiciones tal como: la partícula ha de ser una esfera rígida, la esfera sólida presenta la llamada sedimentación libre, la partícula ha de moverse con velocidad constante y además ésta no ha de ser demasiado pequeña ( $D_p > 0,1 \mu\text{m}$ ).

En este caso, al ser tramos rectos, se pueden obtener las ecuaciones que relaciona el coeficiente de rozamiento con el Reynolds de la partícula. Así para:

1º tramo  $\rightarrow Re_p < 2 \rightarrow$  Intervalo de la ley de Stokes (laminar)  $C_D = \frac{24}{Re_p}$

2º tramo  $\rightarrow 2 < Re_p < 500 \rightarrow$  Intervalo intermedio (transición)  $C_D = \frac{18,5}{Re_p^{0.6}}$

3º tramo  $\rightarrow 500 < Re_p < 200000 \rightarrow$  Intervalo de la Ley de Newton (turbulento)

$$C_D = 0,44$$

No se puede calcular el valor de  $C_D$  porque depende de  $Re$ , y éste a su vez depende de la velocidad de sedimentación, ya que:

$$Re_p = \frac{\rho V_t D_p}{\mu}$$

En estos casos, para determinar cuál es el intervalo en que tiene lugar el movimiento de la partícula se calcula el número de Galileo,  $Ga$ .

$$Ga = \frac{D_p^3 g \rho_p (\rho_p - \rho)}{\mu^2} \dots(1.11)$$

Según el valor de  $Ga$ , se aplica una ley u otra, según el intervalo.

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| $\rho_{\text{agua}}$ (kg /m3)   | 1.000    |
| $\rho_{\text{sólidos}}$ (kg/m3) | 1.500    |
| $D_p$ (m)                       | 1,00E-04 |
| $\mu_{\text{aceite}}$ (kgm/s)   | 0,02     |
| $\rho_{\text{aceite}}$ (kg/m3)  | 900      |

**Tabla 2:** Propiedades del aceite y agua

Sustituyendo,

$$Ga = \frac{1 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81 \cdot 900 (500 - 900)}{0,02^2} = 0,0132$$

Si el valor de  $Ga < 36$  se aplica la ley de Stokes para calcular  $V_t$ ; para este caso la expresión de la velocidad límite queda de la siguiente forma:

$$V_t = \frac{1}{18} g \frac{(\rho_p - \rho) D_p^2}{\mu}$$

$$V_t = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Una vez obtenida la velocidad de sedimentación de las partículas sólidas constituyentes por impurezas del aceite usado, se determina el tiempo de sedimentación por la relación:

$$t = \frac{h_{cilindro} + h_{cono}}{V_t} = \frac{3,9m + 0,525m}{2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}} = 26,991s$$

Por lo tanto, el aceite que se deposite en los tanques de sedimentación permanecerá en él 8 horas, tiempo necesario para que se produzca la sedimentación de las partículas sólidas en el fondo cónico del depósito. Después de este tiempo, se realizará la purga de los sólidos y se hará la descarga del aceite que será trasladado por una bomba centrífuga al intercambiador de calor y de ahí hacia el reactor.



# ANEXO DE SEGURIDAD

# ÍNDICE

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2. RIESGOS LABORALES.....</b>                                       | <b>5</b>  |
| <b>2.1. Identificación De riesgos laborales.....</b>                   | <b>5</b>  |
| <b>2.2. Medidas preventivas recomendadas.....</b>                      | <b>6</b>  |
| <b>3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL DE SEGURIDAD.....</b>           | <b>7</b>  |
| <b>4. SEGURIDAD EN EQUIPOS A PRESIÓN.....</b>                          | <b>8</b>  |
| <b>4.1. Potencial de riesgo.....</b>                                   | <b>9</b>  |
| <b>4.2. Inspecciones periódicas de los aparatos a presión.....</b>     | <b>10</b> |
| <b>4.3. Elementos de seguridad.....</b>                                | <b>12</b> |
| <b>5. SEGURIDAD CONTRA INCENDIO.....</b>                               | <b>14</b> |
| <b>5.1. Medidas contra incendio en el trasvase de combustible.....</b> | <b>14</b> |
| <b>5.2. Sistema de prevención contra incendios.....</b>                | <b>16</b> |
| 5.2.1. Extintores.   |           |
| 5.2.2. Hidrantes.  |           |
| 5.2.3. Sistemas de alarma.   |           |
| 5.2.4. Equipos auxiliares.   |           |
| <b>6. SEGURIDAD DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS.....</b>       | <b>18</b> |
| <b>7. SEGURIDAD DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS.....</b>                   | <b>20</b> |
| <b>8. SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD.....</b>                               | <b>21</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>9. SERVICIOS HIGIÉNICOS.....</b>                                       | <b>24</b> |
| <b>9.1. <i>Instalaciones provisionales para los trabajadores</i>.....</b> | <b>24</b> |
| <b>10. DISTANCIAS DE SEGURIDAD ENTRE INSTALACIONES.....</b>               | <b>26</b> |
| <b>10.1. <i>Distancia entre recipientes</i>.....</b>                      | <b>30</b> |
| <b>11. FICHAS TÉCNICAS.....</b>   | <b>33</b> |

## 1. INTRODUCCIÓN

Se hace un estudio de la seguridad, prevención contra incendio y accidentes laborales para la planta de producción de biodiésel, cumpliendo y ajustándose a la siguiente legislación:

- R.D 379/2001, de 6 de Abril. Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias: MIE-APQ-1 Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.
- R.D 769/1999, de 7 de Mayo. Reglamento de Aparatos a Presión.
- R.D 2267/2004, de 3 de Diciembre. Reglamento de Seguridad contra incendios en establecimientos industriales.
- R.D 773/1997, de 30 de Mayo. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- R.D 614/2001, de 8 de Junio. Disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- R.D 485/1997, de 14 de Abril. Disposiciones mínimas en materia de Señalización de seguridad y Salud en el trabajo.

## 2. RIESGOS LABORALES

### ***2.1. Identificación de riesgos laborales***

En este apartado se procede a la distinción de los riesgos asociados a este tipo de planta química:

- Manejo de maquinaria y equipos, y ruido generado por bombas de alta presión y en general por el funcionamiento de los restantes equipos de la planta.

- Manejo de cargas pesadas y trabajos repetitivos.
- Manipulación de productos peligrosos como el metanol.
- Manejo de vehículos para transporte de los reactivos químicos necesarios.
- Contacto de los trabajadores con la corriente eléctrica.

## **2.2. Medidas preventivas recomendadas**

Las medidas generales para mejorar la salud ocupacional, las condiciones de trabajo y la seguridad son:

- Entrenamiento e instrucciones a los trabajadores en las técnicas y principios de un trabajo seguro.
- Distribución de ropas especiales de trabajo y los complementos de seguridad (máscaras, protectores auditivos, botas, etc...)
- Se utilizarán instalaciones fijas como duchas de emergencia y lavaojos de emergencia para evitar en la medida de lo posible los efectos causados por el contacto de algún operario con los reactivos. Estos equipos estarán debidamente señalizados y se colocarán en dirección a la salida.
- Optimización de la higiene.
- Optimización de las condiciones de trabajo, enfocado a áreas de trabajo climatizadas y lugares para descanso.
- Rotación de trabajo y mejora de la gestión de la organización.
- Reducción de los niveles de ruidos y uso de protectores.
- Pisos ásperos y colocación de barandillas para evitar resbalones y caídas, tanto del mismo nivel como de niveles distintos.
- Colocación de protecciones de seguridad de las máquinas.
  
- Señalización adecuada de:
  - o Medios de extinción de emergencia.

- Riesgos latentes.
- Depósitos tanto de productos químicos, como de almacenamiento de agua de aporte y agua producto.

### **3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL DE SEGURIDAD**

Se entiende por Equipo de Protección Individual (EPI), cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que pueda amenazar su seguridad o su salud en el trabajo, así como cualquier complemento destinado a tal fin.

Todos los equipos de protección Individual de esta instalación, cumplirán las siguientes condiciones generales:

- Tendrán el marcado “CE”. Si éste existiese para un determinado equipo de protección individual, se autoriza el uso de aquellos.
- Que cumplan con el R.D. 773/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativa a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Se garantizará un adecuado mantenimiento del equipo de protección individual, el control efectivo de su uso, así como la difusión de las condiciones de utilización.
- Por su parte el trabajador, deberá respetar las instrucciones de uso; estará obligado a indicar cualquier tipo de anomalía o defecto y sobre todo, deberá tener voluntad de protegerse.

Cada operario debe contar con un equipo personal de seguridad que consiste en lo siguiente:

- Casco protector
- Calzado de protección y seguridad
- Gafas de seguridad

- Ropa de protección
- Guantes de seguridad

#### **4. SEGURIDAD EN EQUIPOS A PRESIÓN**

Se cita, de manera resumida, la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP-6 relativa a refinerías de petróleo y plantas petroquímicas que desarrolla y complementa los aspectos técnicos del Reglamento de Aparatos a Presión (RAP) , aprobado en el Real Decreto 1244/1979 publicado en el BOE, número 128 de 29 de Mayo.

Se incluyen dentro de esta instrucción los siguientes aparatos que tengan una temperatura de diseño superior a 0°C y presión máxima superior a 1kg/cm<sup>2</sup> manométrico:

- Calderas de producción de vapor
- Reactores
- Intercambiadores de calor
- Columnas
- Tuberías de conducción de fluidos, cuando la presión máxima de servicio es mayor a 4 kg/cm<sup>2</sup>
- Acumuladores, separadores, esferas y otros recipientes en general

En este caso, son varios los aparatos que se encuentran sometidos a la presión elevada de 45 MPa, concretamente hablamos del reactor, intercambiador de calor IC-01 y la línea de conducción de vapor.

- El material a utilizar deberá ser adecuado para resistir las condiciones del servicio que se destinan y deberán poseer los certificados de calidad correspondientes.



- Los aparatos a presión se clasifican en los cuatro siguientes grupos, según las características de los fluidos con los que operen:

| Grupo | Características del fluido  |
|-------|---|
| A     | Fluidos inflamables en forma de vapores, líquidos, gases y sus mezclas, a temperatura igual o superior a 200 °C; gases y líquidos de elevada toxicidad e hidrógeno a cualquier temperatura. |
| B     | Fluidos inflamables en forma de vapores, líquidos o gases y sus mezclas, a temperatura inferior a 200 °C; gases y líquidos tóxicos, ácidos o cáusticos, a cualquier temperatura.            |
| C     | Vapor de agua, siempre que sus corrientes estén integradas por este vapor como tal fase gaseosa; gases inertes, inocuos y aire.   |
| D     | Agua a temperatura igual o superior a 85 °C.  |

Tabla 1. Clasificación del fluido

#### 4.1. Potencial de riesgo.

Los aparatos a presión se clasificarán en los cinco siguientes grupos, según su potencial de riesgo, definido como el producto de la presión de diseño,  $P_d$ , en kg/cm<sup>2</sup> por volumen,  $V$ , en m<sup>3</sup>.

| Grupo | Potencial de riesgo                   |
|-------|---------------------------------------|
| 1     | Mayor o igual a 1.000.                |
| 2     | Mayor o igual a 300 y menor de 1.000. |
| 3     | Mayor o igual a 25 y menor de 300.    |
| 4     | Mayor o igual a 10 y menor de 25.     |
| 5     | Menor de 10.                          |

Tabla 2: Potencial de riesgo

Para saber el potencial de riesgo, se tiene que conocer en primer lugar la categoría en la que se encuentra el aparato a presión con respecto el fluido

| Características del fluido | A                   |               | B   |               | C   |               | D   |               |
|----------------------------|---------------------|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
|                            | Potencial de riesgo |               |     |               |     |               |     |               |
| 1                          | 1 A                 | Categoría I   | 1 B | Categoría I   | 1 C | Categoría I   | 1 D | Categoría II  |
|                            |                     |               |     |               |     |               |     |               |
| 2                          | 2 A                 | Categoría I   | 2 B | Categoría II  | 2 C | Categoría II  | 2 D | Categoría III |
|                            |                     |               |     |               |     |               |     |               |
| 3                          | 3 A                 | Categoría II  | 3 B | Categoría III | 3 C | Categoría III | 3 D | Categoría IV  |
|                            |                     |               |     |               |     |               |     |               |
| 4                          | 4 A                 | Categoría III | 4 B | Categoría IV  | 4 C | Categoría IV  | 4 D | Categoría V   |
|                            |                     |               |     |               |     |               |     |               |
| 5                          | 5 A                 | Categoría IV  | 5 B | Categoría V   | 5 C | Categoría V   | 5 D | Categoría V   |
|                            |                     |               |     |               |     |               |     |               |

**Tabla 3:** Clasificación por categorías

El metanol pertenece a la Clase B y por las condiciones de los aparatos a presión, la categoría es de I.

#### 4.2. *Inspecciones periódicas de los aparatos a presión*

Todos los aparatos a presión amparados por la presente ITC deberán ser sometidos tanto a las inspecciones y pruebas previas a su puesta en servicio y periódicas, según la categoría del mismo, que se indica seguidamente.

| Categoría aparato | Inspección y pruebas periódicas    |                                  |                           |
|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
|                   | Inspección exterior                | Inspección interior              | Prueba de presión         |
| V                 | Cada siete años, Inspector propio  | No se requiere                   | No se requiere            |
| IV                | Cada seis años, Inspector propio   | Cada doce años, Inspector propio | No se requiere            |
| III               | Cada cinco años, Inspector propio  | Cada diez años, E.C.             | No se requiere            |
| II                | Cada cuatro años, Inspector propio | Cada ocho años, E.C.             | Cada dieciseis años, E.C. |
| I                 | Cada tres años, Inspector propio   | Cada seis años, E.C.             | Cada doce años, E.C.      |

**Tabla 4:** Inspecciones y pruebas periódicas

Nota:

1. El período en años estipulado en este cuadro debe contarse a partir de la puesta en servicio del aparato.

Por lo tanto, por las características de los aparatos que se encuentran en la planta son de **categoría I** y las inspecciones y prueba de presión se realizarán entre periodo de tiempos más cortos, como se indica en el cuadro anterior.

El alcance de las inspecciones y pruebas periódicas a las que deberán someterse los apartados a presión, según su categoría, a excepción de las tuberías, es el siguiente:

a. Inspección exterior:

Consistirá, como mínimo, en una inspección visual de las zonas sometidas a mayores esfuerzos y a mayor corrosión, en una comprobación de espesores por ultrasonido y en cualquier ensayo no destructivo que se considere necesario, siempre que las condiciones del proceso lo permitan.

Para realizar esta inspección no será necesario poner fuera de servicio el aparato o sistema a inspeccionar.

b. Inspección interior.

Esta inspección tiene una importancia fundamental, ya que durante la misma se puede conocer el daño producido durante el servicio en lo referente a corrosión, agrietamiento y estado de las soldaduras.

Consistirá, al menos, en una completa inspección visual de todas las partes sometidas a presión. Si de esta inspección resultase que había motivos razonables para aumentar el control se aplicarían los ensayos no destructivos que se consideren necesarios. Cuando una inspección interior no se pueda llevar a cabo por imposibilidad física se sustituirá por una prueba de presión.

c. Prueba de presión.

Consistirá en una prueba hidrostática o cualquier prueba especial sustitutiva de ésta que haya sido previamente autorizada por la DPMIE, y se combinará en lo posible con la inspección interior.

### ***4.3. Elementos de seguridad***

#### Válvulas de seguridad

Todas las válvulas de seguridad deben ser de apertura total, sistema de resorte, debiéndose cumplir la condición de que la apertura de la válvula deberá ser ayudada por la presión del fluido evacuado, de tal forma que la apertura asegure una sección de paso a través de la válvula igual al 80% de la sección neta de paso en el asiento después de la deducción de la sección transversal de los obstáculos en el orificio, debiendo a las guías y a la forma del cuerpo de la válvula en la posición de apertura máxima.

La descarga de las válvulas de seguridad deberá realizarse de tal forma que se impida eficazmente que el fluido evacuado pueda producir daños a personas o cosas.

Se evitará en lo posible instalar una válvula de cierre entre un aparato o sistema y su válvula de seguridad.

En los casos en que se prevea que ha de revisarse con cierta frecuencia una válvula de seguridad para proceder a su mantenimiento o asegurar su conservación sin necesidad de interrumpir un proceso de fabricación continuo, se permitirá la instalación de una válvula de bloqueo entre el aparato o sistema y su válvula de seguridad en las siguientes condiciones:

- a. Se instalarán como mínimo dos válvulas de seguridad, de tal modo que en cualquier caso las válvulas de seguridad no bloqueadas tengan entre todas ellas la capacidad de descarga necesaria en el aparato o sistema en que están instaladas.
- b. El sistema operatorio establecido para el bloqueo de las válvulas de seguridad cumplirá de forma segura lo establecido en el párrafo anterior y podrá consistir en sistemas de enclavamiento mecánicos, sistemas de cadenas y candados o simples candados (siempre que queden las llaves en poder de una persona física responsabilizada de su custodia y apertura o cierre de los candados) o válvula única de bloqueo de varios pasos, de modo que cerrando la vía hacia la válvula de seguridad que se vaya a dejar fuera de servicio, queda abierta la vía hacia la otra u otras

que quedan en servicio, o cualquier otro sistema que a juicio de la DPMIE ofrezca suficientes garantías para que la operación de dejar fuera de servicio una válvula de seguridad no pueda realizarse impensada y erróneamente, ni que el aparato o sistema pueda quedar insuficientemente protegido.

Se admitirá la colocación de discos de ruptura entre la válvula de seguridad y el aparato o sistema a proteger cuando así sea aconsejable por la naturaleza del fluido o por las condiciones del proceso.

### Venteos

Todo recipiente de almacenamiento deberá disponer de sistemas de venteo para prevenir la deformación del mismo como consecuencia de llenados, vaciados o cambios de temperatura ambiente.

Los venteos normales de un recipiente se dimensionarán de acuerdo con las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia y, en su ausencia, con códigos de reconocida solvencia.

## **5. SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS**

### ***5.1. Medidas contra incendios en el trasvase de combustible***

Las operaciones de trasvase de combustible han de efectuarse con una buena ventilación y fuera de la influencia de chispas y fuentes de ignición. Se preverá, asimismo, las consecuencias de posibles derrames durante la operación, por lo que se debe tener a mano tierra ó arena para empapar el suelo en caso de derrame.

La prohibición de fumar ó encender cualquier tipo de llama ha de formar parte de la conducta a seguir en estos trabajos.

Cuando se trasvasan líquidos combustibles o se llenan depósitos, se pararán los motores accionados por el combustible que se está trasvasando.

Es recomendable evitar altas velocidades de flujo a través de tuberías, asegurando que las paredes que entren en contacto con los líquidos ofrezcan una superficie lo más lisa posible, y controlando especialmente la presencia de agua o impurezas por su notoria contribución en la generación de cargas.

Respecto al sistema de trasvase, es necesario que éste se efectúe en lo posible mediante instalaciones fijas, estando las tuberías conectadas a los recipientes tanto de vaciado como de llenado. Las aberturas de las bocas de carga y descarga son zonas especialmente peligrosas si están abiertas.

Se evitará la proyección por aspersion o pulverización, y también el vertido a chorro libre. Es necesario utilizar tubos de llenado que lleguen hasta el fondo de los recipientes.

La instalación eléctrica, equipos y demás materiales eléctricos empleados en el emplazamiento de las instalaciones de trasvase y almacenamiento de líquidos inflamables, se adecuarán a lo establecido en la Instrucción Complementaria MI BT 026 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, (Orden de 13.1.88-B.O.E. del 26.1.88) referente a las prescripciones particulares para locales con riesgo de incendio y explosión. También es de obligado cumplimiento la Norma UNE 20-322-86 "Clasificación de emplazamientos con riesgo de explosión debido a la presencia de gases, vapores y nieblas inflamables".

Debe controlarse de la proximidad de atmósferas peligrosas, todo posible foco de ignición, aparte de las chispas por descargas electrostáticas. Especial atención debe tenerse con los impactos mecánicos que deben ser evitados a toda costa. Los elementos metálicos de los equipos de bombeo, como los tubos de aspiración de las bombas portátiles y las boquillas de proyección, deben estar constituidos por un material especial antichispa, generalmente aleación de Al-Zn.

El personal que trabaje en instalaciones en las que se efectúen transvases de líquidos inflamables no usará ropa de fibras sintéticas, y la vestimenta será preferiblemente de algodón, incluso la ropa interior. Es aconsejable también limitar en lo posible el uso de prendas de lana. El calzado y en su caso los guantes, deberán ser conductores, aspecto éste que también tiene que ser considerado.

## **5.2. Sistema de prevención contra incendios**

Si se cuidan todos los puntos relativos al peligro de escape de gas y explosiones, se elimina una de las mayores y más peligrosas fuentes de incendios de una planta química.

En general, para evitar un incendio, debemos prevenir que no coincidan los tres elementos que lo provocan: combustible, aire y fuente de ignición.

Todos los motores y equipos eléctricos de la planta serán antideflagrantes, los cierres de las bombas, válvulas, cuadro eléctrico, cajas de distribución eléctricas de potencia y maniobras, etc han de tener garantía de estanqueidad. Esto hace que el riesgo de incendio sea mínimo.

En la zona de almacenaje de productos acabados y materias primas, deben existir los siguientes elementos de control de incendios:

- Extintores de polvo
- Extintores de CO<sub>2</sub>
- Mangueras de agua pulverizada

### **5.2.1. Extintores**

En cuanto a los extintores, en las instalaciones del almacenamiento y en todos los accesos a los cubetos deberá haber extintores de clase adecuada a



los riesgos. Se dispondrá por lo menos de un extintor y agente extintor adecuado (generalmente polvo seco), de tal forma que la distancia a recorrer horizontalmente desde cualquier punto del área protegida hasta alcanzar el extintor adecuado más próximo **no exceda de 15 m**. El emplazamiento de los extintores portátiles de incendio permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles.

En las zonas de manejo de líquidos inflamables donde puedan existir conexiones de mangueras, válvulas de uso frecuente o análogo, estos extintores, se encontrarán distribuidos de manera que no haya que recorrer más de 15 m desde el área protegida para alcanzar el extintor.

#### 5.2.2. *Hidrantes*

En la parte exterior, han de existir hidrantes para la conexión de las mangueras contra incendios, con 2 salidas de chorro y situadas de forma que las mangueras a utilizar tengan la menor longitud posible.

Los tanques de biodiesel y metanol deben de estar protegidos de la luz directa del sol y se encontrarán rodeados por un dique contenedores capaz de albergar el contenido de los tanques, con sistemas de extinción a base de polvo químico seco. Además es conveniente instalar una ducha externa de agua para enfriar paredes del tanque si hay mucho calor ambiental.

#### 5.2.3. *Sistema de alarma*

Debido a las características del almacenamiento, no se requiere un sistema de alarma automático, siendo necesario y suficiente contar con un sistema de alarma manual.

Deberá disponerse de puestos para el accionamiento de la alarma que estén a menos de 25 m de los accesos a los cubetos, bombas o estaciones de carga y descarga.

Se establecerá una alarma acústica, perfectamente audible en toda la zona y distinta de las destinadas a otros usos (el aviso de principio y fin de la jornada laboral, por ejemplo), permitirá diferenciar si se trata de una alarma por "emergencia parcial" o por "emergencia general", y será preferente el uso de un sistema de megafonía.

En el recinto deberá existir un teléfono para comunicaciones con los servicios de socorro exteriores.

#### 5.2.4. *Equipos auxiliares*

Se dispondrá de los siguientes equipos auxiliares:

1. En la proximidad de puestos de trabajo, como estaciones de carga y descarga, llenado y manejo de bidones y similares, se colocarán los siguientes equipos de protección personal:
  - a. Una manta ignífuga.
  - b. Una estación de agua para ducha y lavaojos.
  - c. Una máscara con filtro específico para los productos almacenados por cada operario del puesto.
  - d. Equipo de respiración autónoma.
  
2. En los lugares accesibles y para uso en todo momento:
  - a. Un equipo analizador de atmósfera explosiva.
  - b. Sesenta metros de manguera, con empalmes adaptables a la red
  - c. De incendios, con boquillas para chorro y pulverización.

## 6. SEGURIDAD DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Se hace una clasificación de los líquidos combustibles ó inflamables en base a su punto de inflamación, que queda reflejada en la ITC-MIE-APQ-1 "Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles", publicada en el BOE num. 181, de 31 de julio de 1991 donde se establecen las características generales para la construcción de recipientes que albergan dichos líquidos.

La clasificación es la siguiente:

1. Clase A.-Productos licuados cuya presión absoluta de vapor a 15 °C sea superior a 1 bar.

Según la temperatura a que se los almacena puedan ser considerados como:

- a. Subclase A1.-Productos de la clase A que se almacenan licuados a una temperatura inferior a 0 °C.
  - b. Subclase A2.-Productos de la clase A que se almacenan licuados en otras condiciones.
2. Clase B.-Productos cuyo punto de inflamación es inferior a 55 °C y no están comprendidos en la clase A.

Según su punto de inflamación pueden ser considerados como:

- a. Subclase B1.-Productos de clase B cuyo punto de inflamación es inferior a 38 °C.
- b. Subclase B2.-Productos de clase B cuyo punto de inflamación es igual o superior a 38 °C e inferior a 55°C.

3. Clase C.-Productos cuyo punto de inflamación está comprendido entre 55 °C y 100 °C.
4. Clase D.-Productos cuyo punto de inflamación es superior a 100 °C.

Atendiendo a esta clasificación, los productos que se acogen a esta normativa y que se disponen en la planta son:

**Metanol: Clase B1**  
**Biodiesel: Clase D**  
**Glicerina: Clase D**

Los recipientes para almacenamiento de líquidos inflamables o combustibles podrán ser de los siguientes tipos:

1. Tanques atmosféricos.
2. Tanques a baja presión.
3. Recipientes a presión.

Los recipientes serán construidos con un material adecuado para las condiciones de almacenamiento y el producto almacenado. La selección del material queda justificada anteriormente.

Los recipientes de almacenamiento llevarán dispositivos para evitar un rebose por llenado excesivo. En caso de fallo de estos dispositivos, el rebose debe ser conducido a lugar seguro.

## **7. SEGURIDAD DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS**

Para evitar posibles accidentes todas las instalaciones eléctricas deberán cumplir los reglamentos de Alta y Baja tensión.

Los equipos y materiales de trabajo y de protección utilizados deberán proteger al trabajador frente al riesgo de contacto eléctrico, explosión o proyección de materiales.

Entre los equipos y materiales de protección citados se encuentran:

- a. Los accesorios aislantes (pantallas, cubiertas, vainas, etc.) para el recubrimiento de partes activas o masas.
- b. Los útiles aislantes o aislados (herramientas, pinzas, puntas de prueba, etc.).
- c. Los dispositivos aislantes o aislados (banquetas, alfombras, plataformas de trabajo, etc.).
- d. Los equipos de protección individual (pantallas, guantes, gafas, cascos, etc.).

Las máquinas que están bajo tensión, deben contar con un doble aislamiento y, por otra parte, para evitar el peligro de que ocurran accidentes al tocar una masa que normalmente no está bajo tensión, se deberá colocar en ellas una puesta a tierra adecuada.

Los trabajos en instalaciones eléctricas en emplazamientos con riesgo de incendio o explosión se realizarán siguiendo un procedimiento que reduzca al mínimo estos riesgos; para ello se limitará y controlará, en lo posible, la presencia de sustancias inflamables en la zona de trabajo y se evitará la aparición de focos de ignición, en particular, en caso de que exista, o pueda formarse, una atmósfera explosiva. En tal caso queda prohibida la realización de trabajos u operaciones (cambio de lámparas, fusibles, etc.) en tensión, salvo si se efectúan en instalaciones y con equipos concebidos para operar en esas condiciones, que cumplan la normativa específica aplicable.

## **8. SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD**

Es necesario establecer en esta planta un sistema de señalización de seguridad e higiene a efecto de llamar la atención de forma rápida y clara sobre objetos y situaciones susceptibles de provocar peligros determinador, así como para indicar el emplazamiento de dispositivos que tengan importancia desde el punto de vista de la seguridad.

Se establece un conjunto de preceptos sobre dimensiones, colores, símbolos y formas de señales y conjuntos que proporcionan una determinada información relativa a seguridad

Señales de Advertencia: AMARILLO

Forma: Triangular.

Bordes: Negro.

Fondo: Amarillo.

Pictograma: negro

Señales de Prohibición. ROJO

Forma: Redonda.

Bordes y banda: Rojo.

Fondo: Blanco

Pictograma: Negro.

Señal de Obligación.

Forma: Redonda.

Fondo: Azul

Pictograma: blanco

Cuando el color de fondo sobre el que tenga que aplicarse el color de seguridad pueda dificultar la percepción de este último. Se utilizará un color de contraste que enmarque o se alterne con el de seguridad, de acuerdo con la siguiente tabla:

| Color de seguridad             | Color de contraste |
|--------------------------------|--------------------|
| Rojo                           | Blanco             |
| Amarillo o amarillo anaranjado | Negro              |
| Azul                           | Blanco             |
| Verde                          | Blanco             |

**Tabla 5:** Colores de seguridad

- Durante la ejecución de los trabajos, se instalará en la oficina de obra un cartel con los teléfonos de interés más importantes, para ser utilizados en caso de accidente o incidente en el recinto de obra. Dicho cartel debe estar en sitio visible y junto al teléfono, para poder hacer uso del mismo si fuera necesario, en el menor tiempo posible. A su vez, se instalará la señal de “Teléfono de salvamento y primeros auxilios” para advertir la localización exacta de dicho teléfono.



- En los cuadros eléctricos generales y auxiliares de obra, se instalarán las señales de “Riesgos eléctrico”.



- En las zonas donde exista peligro de incendio por almacenamiento de material combustible, se colocarán las señales de “Materiales inflamables” y “Prohibido fumar”.



- En las zonas donde se coloquen extintores se pondrán las correspondientes señales para su fácil localización.



## 9. SERVICIOS HIGIÉNICOS

Cuando los trabajadores tengan que utilizar ropa especial de trabajo tendrán a su disposición vestuarios, los cuales serán de fácil acceso y con dimensiones suficientes para el número de trabajadores que los vayan a utilizar.

Igualmente se dispondrá de casetas habilitadas para el descanso de los trabajadores, como comedores. Dotadas de mesas y sillas en número suficiente, calienta comidas, piletas con agua corriente y menaje suficiente para el número de operarios existentes en la obra. Habrá también un recipiente para recogida de basuras.

Todas estas instalaciones se mantendrán siempre en perfecto estado de limpieza y conservación.

### ***9.1. Instalaciones provisionales para los trabajadores.***

Aseos: Los aseos tendrán toalleros automáticos con toallas individuales de papel. Se colocarán recipientes adecuados para depositar las toallas usadas.

Los retretes serán de carga y descarga automática de agua corriente y dispondrán de papel higiénico.

Los aseos tendrán una ventilación adecuada y las dimensiones mínimas, dispondrán de agua caliente y fría



Las duchas estarán en compartimientos individuales, con puertas dotadas de cierre interior y perchas para la ropa.

Todos los elementos propios del aseo tales como grifos, lavabos, desagües y alcachofas de duchas estarán siempre en buen estado de funcionamiento, cambiando los que se hayan deteriorado.

Vestuarios: Estarán dotados de taquillas metálicas individuales provistas de llave, para que el trabajador pueda dejar su ropa y objetos personales debidamente guardados.

Los medios de limpieza y conservación del vestuario serán las mismas que para los aseos, citados en el apartado anterior.

Comedor: El comedor dispondrá de sillas, así como de mesas en cantidades suficientes.

Dispondrá de un aparato adecuado para calentar las comidas (microondas) y vajillas suficiente además de un pila con grifo, para lavar la vajilla.

Se instalará algún sistema de calefacción durante el invierno (estufa o radiador).

El comedor estará siempre bien ventilado t en condiciones adecuadas de conservación, higiene y limpieza, reponiéndose todo el material deteriorado.

## 10. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD ENTRE INSTALACIONES

**Cuadro 1:** Distancia en metros (11) entre instalaciones fijas de superficie en almacenamientos con capacidad superior a 50.000 m<sup>3</sup>

|     |           |           |           |           |           |           |            |            |            |           |     |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----|
| 1   | (1)       |           |           |           |           |           |            |            |            |           |     |
| 2   | (3)<br>20 | (2)       |           |           |           |           |            |            |            |           |     |
| 3.1 | 60        | (4)<br>30 | (6)       |           |           |           |            |            |            |           |     |
| 3.2 | 30        | (4)<br>15 | (6)       | (6)       |           |           |            |            |            |           |     |
| 3.3 | 30        | (4)<br>15 | (6)       | (6)       | (6)       |           |            |            |            |           |     |
| 3.4 | 10        | (4)<br>10 | (6)       | (6)       | (6)       | (6)       |            |            |            |           |     |
| 4.1 | 60        | (5)<br>30 | (7)<br>30 | (7)<br>30 | (7)<br>30 | (7)<br>30 | (2)        |            |            |           |     |
| 4.2 | 30        | (5)<br>20 | (7)<br>30 | (7)<br>20 | (7)<br>15 | (7)<br>15 | (12)<br>30 | (2)        |            |           |     |
| 4.3 | 20        | (5)<br>15 | (7)<br>25 | (7)<br>20 | (7)<br>15 | (7)<br>10 | (2)        | (2)        | (2)        |           |     |
| 5   | 30        | (5)<br>15 | 30        | 20        | 15        | 10        | 30         | 20         | 15         | (1)       |     |
| 6   | (1)       | 30        | 60        | 30        | 20        | 20        | 60         | 20         | 15         | 30        | (1) |
| 7   | (1)       | 20        | 60        | 30        | 20        | 15        | 40         | 20         | 15         | 20        | (8) |
| 8   | (1)       | 20        | 60        | 30        | 25        | 10        | 30         | 30         | 25         | 20        | 20  |
| 9   | (1)       | 15        | 30        | 20        | 15        | 10        | 30         | 20         | 15         | (9)<br>20 | (8) |
| 10  | (1)       | 20        | 60        | 30        | 25        | 10        | 60         | (10)<br>40 | (10)<br>20 | 20        | (8) |
| 11  | (1)       | 30        | 100       | 60        | 40        | 20        | 100        | 60         | 30         | 40        | (8) |
|     | 1         | 2         | 3,1       | 3,2       | 3,3       | 3,4       | 4,1        | 4,2        | 4,3        | 5         | 6   |

- (1) No es objeto de este Reglamento  
 (2) Sin requerimiento especial de distancias.

- (3) Pertencientes al parque de almacenamiento
  - (4) Salvo las bombas para transferencia de productos susceptibles de ser almacenados en el mismo cubeto, en cuyo caso es suficiente que estén situados fuera del cubeto. (En casos especiales, por ejemplo, por reducción del riesgo, y para clase D, las bombas podrían situarse dentro del cubeto.)
  - (5) Salvo las bombas de transferencia propias de esta instalación.
  
  - (6) Aplicar el artículo 18
  - (7) Salvo los recipientes auxiliares de alimentación o recepción directa del cargadero con capacidad inferior a 25 m<sup>3</sup> que pueden estar a distancias no inferiores a: Clase A = 15 m, clase B = 10 m y clases C y D = 2 m.
  
  - (8) Ver Reglamento de Aparatos a Presión.
  - (9) Si el vallado es de obra de fábrica u hormigón y de altura no inferior a 1,5 m esta distancia no necesita ser superior a 10 m.
  
  - (10) Respecto a la vía del ferrocarril de la que se derive un apartadero para carga o descarga de vagones cisterna, esta distancia puede reducirse a 15 m con un vallado de muro macizo situado a 12 m del cargadero y altura tal que proteja la instalación.
  
  - (11) Las distancias entre tanques de almacenamiento y otras instalaciones se considerarán individualmente en función de la clase del producto almacenado en cada tanque y no de la clasificación global del cubeto.
  
  - (12) Solamente se requerirá esta distancia cuando se opere simultáneamente en ambos cargaderos con emisión de vapores en alguno de ellos.
- 
1. Unidades de proceso.
  2. Estaciones de bombeo y compresores.
    - 3.1 Recipientes de almacenamiento. Clase A (Paredes del tanque).
    - 3.2 Recipientes de almacenamiento. Clase B (Paredes del tanque).
    - 3.3 Recipientes de almacenamiento. Clase C (Paredes del tanque).
    - 3.4 Recipientes de almacenamiento. Clase D (Paredes del tanque).
  - 4.1 Cargaderos. Clase A.
  - 4.2 Cargaderos. Clase B.
  - 4.3 Cargaderos. Clases C y D.
  5. Balsas separadoras.
  6. Zonas de fuego abierto.
  7. Edificios administrativos y sociales, laboratorios, talleres, almacenes y otros edificios independientes.
  8. Estaciones de bombeo de agua contra incendios.

9. Vallado de la planta.
10. Límites de propiedades exteriores en las que pueda edificarse y vías de comunicación públicas.
11. Locales y establecimientos exteriores de pública concurrencia.

| Capacidad global de almacenamiento de la instalación<br>$m^3$ | Coefficiente para reducción de distancias del cuadro 1 |
|---|--|
| $Q \geq 50.000$   | 1  |
| $50.000 > Q \geq 20.000$                                      | 0,95   |
| $20.000 > Q \geq 10.000$                                      | 0,90   |
| $10.000 > Q \geq 7.500$                                       | 0,85   |
| $7.500 > Q \geq 5.000$  | 0,80   |
| $5.000 > Q \geq 2.500$  | 0,75   |
| $2.500 > Q \geq 1.000$  | 0,70   |
| $1.000 > Q \geq 500$  | 0,65   |
| $500 > Q \geq 250$  | 0,60   |
| $250 > Q \geq 100$  | 0,50   |
| $100 > Q \geq 50$   | 0,40   |
| $50 > Q \geq 5$   | 0,30   |
| $5 > Q$   | 0,20   |

**Tabla 6:** Coeficientes de reducción por capacidad

Nota 1: No se computará a efectos de capacidad global de la instalación la que pueda existir en recipientes móviles ni en recipientes enterrados.

Nota 2: La capacidad computable es la máxima real y no la geométrica.

| Características de los productos y/o de los almacenamientos  | Coefficiente | Clases de líquidos a los que es aplicable |
|--|--------------|---|
| Líquidos inestables  | 2,0          | A, B, C y D                               |
| Almacenamiento con venteos de emergencia que permitan el desarrollo de presiones superiores a 0,15 bar | 1,5          | B, C y D                                  |

**Tabla7:** Coeficientes multiplicadores

Nota 1: Después de la aplicación de estos coeficientes de aplicación simultánea cuando proceda, las distancias obtenidas no necesitan ser superiores a 150 metros para líquidos de la clase A, 100 m para líquidos de la clase B y 75 metros para los de las clases C y D.

Nota 2: Para líquidos inestables de clases A, B y C, la distancia desde tanques o estaciones de carga/descarga a los conceptos 6, 7, 8, 10 y 11 del cuadro II-1 no será inferior a 45 metros, después de la aplicación de los coeficientes de este cuadro II-3.

| Medidas o sistemas de protección adoptados |            | Coeficiente de reducción |
|--|------------|--------------------------|
| Nivel                                      | Cantidad   |                          |
| 0  | ---        | No hay reducción.        |
| 1  | Una.       | 0,75                     |
| 1  | Dos o más. | 0,50                     |
| 2  | Una.       | 0,50                     |
| 2  | Dos o más. | 0,40                     |

**Tabla 8:** Reducciones de las distancias entre instalaciones fijas de superficie por protecciones adicionales a las obligatorias señaladas en el capítulo IV

### 10.1 Distancia entre recipientes

**Cuadro 2:** Distancia entre paredes de recipientes

| Clase de producto   | Tipos de recipiente sobre los que se aplica la distancia      | Distancia mínima (D-Dimensión según notas 1 y 6)                                 | Observaciones   |
|---------------------|---|--|-----------------|
| A/A1                | Entre recipientes de subclase A1.                             | 1/2 de la suma de los diámetros de los recipientes.                              | Nota 2.         |
|                     | A recipientes para productos de las clases A2, B, C ó D.      | D (mínimo: 15 metros).   | Nota 2.         |
| A/A2                | Entre recipientes a presión para productos de la subclase A2. | 1/4 de la suma de los diámetros de los recipientes con un mínimo de 2 metros.    | Nota 2.         |
|                     | A recipientes para productos de las clases B, C ó D.          | D (mínimo: 15 metros).   | Nota 2.         |
| B                   | A recipientes para productos de las clases B, C ó D.          | 0,5 D (mínimo: 1,5 metros). El valor puede reducirse a 25 metros si es superior. | Nota 5.         |
| C                   | A recipientes para productos de las clases C ó D.             | 0,3 D (mínimo: 1,5 metros). El valor puede reducirse a 17 metros si es superior. | Nota 5.         |
| D                   | A recipientes para productos de clase D.                      | 0,25 D (mínimo: 1,5 metros).   | Notas 3, 4 y 5. |
| Líquidos inestables | A recipientes para productos de cualquier clase.              | D (mínimos: Los indicados arriba según su clasificación A1, A2, B, C ó D).       | -               |

Nota 1. D será igual al diámetro del recipiente, salvo que su generatriz sea superior a 1,75 veces el diámetro, en cuyo caso se tomará como D la semisuma de generatriz y diámetro.

El valor de D a considerar será el que, una vez aplicadas las distancias del cuadro 2, de lugar a la distancia mayor.

- Nota 2. Cuando la capacidad total de almacenamiento sea inferior a  $100 \text{ m}^3$  se considerarán las distancias fijadas en el Capítulo VIII <<Características específicas para almacenamiento de productos de la clase A>>, en los demás casos se aplicará el presente cuadro.
- Nota 3. Si el almacenamiento de estos productos se efectúa a temperaturas superiores a su punto de inflamación, las distancias entre los recipientes se mantendrán de acuerdo con lo preceptuado para los productos de la clase B.
- Nota 4. Si el almacenamiento de estos productos coexiste con el de las clases B ó C, dentro de un mismo cubeto, la distancia mínima será de  $0,3 D$  (mínimo: 1,5 metros).
- Nota 5. El límite de distancia mínima podrá reducirse a un metro para productos de las clases B, C o D, cuando la capacidad de los tanques sea inferior a  $50 \text{ m}^3$ .
- Nota 6. Si los recipientes son cilíndricos horizontales y dispuestos paralelamente (batería) la distancia mínima de separación entre las generatrices de los mismos se basará en el diámetro exclusivamente.

En caso de disposición en línea se considerará la nota 1 para aplicar la tabla.

**Cuadro3:** Reducciones de las distancias entre recipientes por protecciones adicionales a las obligatorias en el capítulo IV

| Medidas o sistemas de protección adoptados |            | Coeficiente de reducción |
|--|------------|--------------------------|
| Nivel                                      | Cantidad   |                          |
| 0  | ---        | No hay reducción         |
| 1  | Una        | 0,90                     |
| 1  | Dos o más  | 0,80                     |
| 2  | Una        | 0,80                     |
| 2  | Dos        | 0,70                     |
| 2  | Más de dos | 0,65                     |

Nota: Solamente se puede aplicar una, y por una sola vez, de entre las reducciones que figuran en el cuadro 3.

## 11. FICHAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL



**HOJA DE SEGURIDAD IX  
METANOL**

**FORMULA:** CH<sub>2</sub>O, CH<sub>3</sub>OH

**PESO MOLECULAR:** 32.04 g/mol

**COMPOSICION:** C: 37.48 %, H: 12.58 % y O: 49.93 %

**GENERALIDADES:**

Es un líquido incoloro, venenoso, con olor a etanol y cuando está puro puede tener un olor repulsivo. Arde con flama no luminosa. Es utilizado industrialmente como disolvente y como materia prima en la obtención de formaldehído, metil-ter-butil éter, ésteres metílicos de ácidos orgánicos e inorgánicos. También es utilizado como anticongelante en radiadores automovilísticos; en gasolinas y diesel; en la extracción de aceites de animales y vegetales y agua de combustibles de automóviles y aviones; en la desnaturalización de etanol; como agente suavizante de plásticos de piroxilina y otros polímeros y como disolvente en la síntesis de fármacos, pinturas y plásticos.

Durante mucho tiempo se obtuvo por destilación destructiva de madera a altas temperaturas, en la actualidad se produce por hidrogenación catalítica de monóxido de carbono a presiones y temperaturas altas, con catalizadores de cobre-óxido de cinc; por oxidación de hidrocarburos y como subproducto en la síntesis de Fischer-Tropsch.

**NUMEROS DE IDENTIFICACION:**

CAS: 67-56-1

UN: 1230

NIOSH: PC 1400000

RCRA: U154

NOAA: 3874

STCC: 4909230

RTECS: PC1400000

NFPA: Salud: 1 Reactividad: 0 Fuego:3

HAZCHEM CODE:2 PE

El producto está incluido en: CERCLA, 313

MARCAJE: Líquido inflamable, venenoso.

**SINONIMOS:**

ALCOHOL METILICO

En inglés:

METHANOL

Otros idiomas:

ALCOOL METHYLIQUE (FRANCES)

HIDRATO DE METILO

METHYL ALCOHOL

METHYLALKOHOL (ALEMAN)

HIDROXIDO DE METILOWOOD SPIRIT

METYLOWY ALKOHOL (POLACO)

METIOL

BIELESKI'S SOLUTION

METANOLO (ITALIANO)

CARBINOL

COLONIAL SPIRIT

ALCOOL METILICO (ITALIANO)

ALCOHOL DE MADERA

COLUMBIAN SPIRIT

PYROXYLIC SPIRIT

WOOD NAPHTHA

**PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS:**

Densidad (g/ml): 0.81 g/ml (0/4 °C), 0.7960 (15/4 °C), 0.7915 (20/4°C), 0.7866 (25/4°C)

Punto de fusión: -97.8 °C

Punto de ebullición (°C): 64.7 (760 mm de Hg), 34.8 (400 mm de Hg), 34.8 (200 mm de Hg), 21.2 (100 mm de Hg), 12.2 (60 mm de Hg), 5 (40 mm de Hg), -6 (20 mm de Hg), -16.2 (10 mm de Hg), -25.3 (5 mm de Hg), -44 (1 mm de Hg)

Índice de refracción a 20 °C: 1.3292

Densidad de vapor (aire = 1): 1.11

Punto de inflamación en copa cerrada (Flash point): 12 °C

Punto de congelación: -97.68 °C.

Temperatura de ignición: 470 °C

Límites de explosividad (% en volumen en el aire): 6-36.5

Temperatura crítica: 240 °C

Presión crítica: 78.5 atm

Volumen crítico: 118 ml/mol

Calor de formación (kJ/mol): -239.03 (líquido a 25 °C).

Energía libre de formación (kJ/mol): -166.81 (líquido a 25 °C).

Calor de fusión (J/g): 103

Calor de vaporización en el punto de ebullición (J/g): 1129

Calor de combustión (J/g): 22 662 ( a 25 °C)  
Temperatura de autoignición: 380 °C  
Tensión superficial (din/cm): 22.6  
Calor específico (J/g K): 1.37 (vapor a 25 °C) y 2.533 ( líquido a 25 °C)  
Presión de vapor (mm de Hg): 127.2 (a 25 °C)  
Viscosidad (cP): 0.541 (líquido a 25 °C)  
Momento dipolar: 1.69  
Constante dieléctrica: 32.7 (a 25 °C)  
Conductividad térmica (W/m K): 0.202 ( a 25 °C)  
Forma azeótropos con muchos compuestos

En la tabla a continuación se presentan algunos valores de propiedades físicas para mezclas metanol-agua.

| MEZCLA<br>% en v. de MeOH | DENSIDAD (g/ml)<br>a 25 °C | PUNTO DE CON-<br>GELACION (°C) | PUNTO DE EBU-<br>LLICION (°C) |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 10                        | 0.9836                     | -5                             | 92.8                          |
| 20                        | 0.9695                     | -12                            | 87.8                          |
| 30                        | 0.9572                     | -21                            | 84.0                          |
| 40                        | 0.9423                     | -33                            | 80.9                          |
| 50                        | 0.9259                     | -47                            | 78.3                          |
| 60                        | 0.9082                     | -57                            | 75.9                          |

Solubilidad: miscible con agua, etanol, éter, benceno, cetonas y muchos otros disolventes orgánicos. Disuelve una gran variedad de sales inorgánicas por ejemplo 43 % de yoduro de sodio, 22 % de cloruro de calcio, 4 % de nitrato de plata, 3.2 % de cloruro de amonio y 1.4 % de cloruro de sodio.

#### PROPIEDADES QUIMICAS:

Este producto reacciona violentamente con bromo, hipoclorito de sodio, dietil-zinc, disoluciones de compuestos de alquil-aluminio, trióxido de fósforo, cloruro cianúrico, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, sodio, ter-butóxido de potasio y perclorato de plomo.

En general, es incompatible con ácidos, cloruros de ácido, anhídridos, agentes oxidantes, agentes reductores y metales alcalinos.

#### NIVELES DE TOXICIDAD:

RQ: 5000

IDLH: 25000 ppm

LDLo (oral en humanos): 4.28 mg/Kg

LD<sub>50</sub> (oral en ratas): 5628 mg/kg

LC<sub>50</sub> (inhalado en ratas): 64000 ppm/4h

LD<sub>50</sub> (en piel con conejos): 15800 mg/kg

Niveles de irritación a piel de conejos: 500 mg/24 h, moderada.

Niveles de irritación a ojos de conejos: 40 mg, moderada.

México:

CPT (en piel): 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

CCT (en piel): 310 mg/m<sup>3</sup> (250 ppm)

Estados Unidos:

TLV TWA: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

TLV STEL: 310 mg/m<sup>3</sup> (250 ppm)

Reino Unido:

Periodos largos: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

Periodos cortos: 310 mg/m<sup>3</sup> (250 ppm)

Francia:

VME: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

VLE: 1300 mg/m<sup>3</sup> (1000ppm)

Alemania:

MAK: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

Suecia:

Periodos cortos: 310 mg/m<sup>3</sup> (250 ppm)

Periodos largos: 269 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

**MANEJO:**

**Equipo de protección personal:**

El manejo de este producto debe hacerse en un lugar bien ventilado, utilizando bata, lentes de seguridad y, si el uso es prolongado, guantes. No deben usarse lentes de contacto al utilizar este producto. Al trasvasar pequeñas cantidades con pipeta, utilizar propipetas, NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA.

**RIESGOS:**

**Riesgos de fuego y explosión:**

Es un producto inflamable. Sus vapores pueden explotar si se prenden en un área cerrada y pueden viajar a una fuente de ignición, prenderse y regresar al área donde se produjeron en forma de fuego. Los contenedores pueden explotar.

**Riesgos a la salud:**

El envenenamiento puede efectuarse por ingestión, inhalación o absorción cutánea. Y se debe, posiblemente, a su oxidación a ácido fórmico o formaldehído, esta oxidación se sabe que puede ser inhibida por etanol, pues el etanol es metabolizado de manera muy específica y desintoxica al organismo de metanol por medio de la respiración. Después de la muerte, el efecto mas grave de este producto, es la ceguera permanente.

Inhalación: La exposición a una concentración mayor de 200 ppm produce dolor de cabeza, náusea, vómito e irritación de membranas mucosas. Concentraciones muy altas pueden dañar el sistema nervioso central y causar problemas en la visión. Los metabolitos de este producto (ácido fórmico y formaldehído) son metabolizados lentamente por el organismo, por lo que los efectos del metanol son acumulativos y una exposición constante aún a bajos niveles, puede causar muchos de los efectos mencionados arriba. Estos efectos varían con cada individuo.

Contacto con ojos: Tanto los vapores como el líquido son muy peligrosos, pues se ha observado que el metanol tiene un efecto específico sobre el nervio óptico y la retina.

Contacto con la piel: El contacto directo produce dermatitis y los efectos típicos (mencionados arriba) de los vapores de metanol que se absorben por la piel.

Ingestión: El envenenamiento por este medio se lleva a cabo frecuentemente por etanol adulterado y sus efectos dependen de la cantidad ingerida, pues, como se mencionó arriba, el etanol afecta el metabolismo del metanol. Generalmente una dosis de 25 a 100 ml resulta fatal. Al principio se produce una narcosis similar a la producida por el etanol, pero después de 10 a 15 horas se presentan daños mas graves sobre el sistema nervioso central, específicamente sobre el nervio óptico y finalmente, se presentan los efectos agudos ya mencionados.

Carcinogenicidad: No se ha observado un incremento en el casos de cáncer en trabajadores expuestos a metanol, en estudios epidemiológicos.

Mutagenicidad: Resultó ser no mutagénico en estudios con *Salmonella typhimurium* y no indujo el intercambio de cromátida hermana.

Peligros reproductivos: En estudios con concentraciones altas de vapor (10000 ppm) se incrementan las malformaciones congénitas las cuales incluyen órganos urinarios y cardiovasculares. A concentraciones de 5000 ppm no se observaron estos efectos.

**ACCIONES DE EMERGENCIA:**

**Primeros auxilios:**

Inhalación: Mover a la víctima a un área bien ventilada y mantenerla abrigada. Si no respira, dar respiración artificial y oxígeno.

Ojos: Lavarlos con agua o disolución salina neutra en forma abundante, asegurándose de abrir los párpados con los dedos.

Piel: Lavar la zona dañada inmediatamente con agua y jabón. En caso necesario, quitar la ropa contaminada para evitar riesgos de inflamabilidad.

**Ingestión:** No inducir el vómito. Pueden utilizarse de 5 a 10 g de bicarbonato de sodio para contrarrestar la acidosis provocada por este producto y en algunos casos, se ha informado de hemodiálisis como método efectivo para este tipo de envenenamiento.

EN TODOS LOS CASOS DE EXPOSICIÓN, EL PACIENTE DEBE SER TRANSPORTADO AL HOSPITAL TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE.

**Control de fuego:**

Usar agua en forma de neblina, pues los chorros de agua pueden ser inefectivos. Enfriar todos los contenedores involucrados con agua. El agua debe aplicarse desde distancias seguras.

En caso de fuegos pequeños puede utilizarse extinguidores de espuma, polvo químico seco y dióxido de carbono.

**Fugas y derrames:**

Utilizar el equipo de seguridad mínimo (bata, lentes de seguridad y guantes) y, dependiendo de la magnitud del siniestro, utilizar equipo de protección completa y de respiración autónoma.

Alejar cualquier fuente de ignición del derrame y evitar que llegue a fuentes de agua y drenajes. Para ello construir diques con tierra, bolsas de arena o espuma de poliuretano, o bien, construir una fosa

Para bajar los vapores generados, utilice agua en forma de rocío y almacene el líquido.

Si el derrame es al agua, airear y evitar el movimiento del agua mediante barreras naturales o bombas para controlar derrames y succionar el material contaminado. El material utilizado para absorber puede quemarse.

El material utilizado para absorber el derrame y el agua contaminada debe de almacenarse en lugares seguros y desecharlo posteriormente de manera adecuada.

En el caso de derrames pequeños, el líquido puede absorberse con papel y llevarse a una área segura para su incineración o evaporación, después lavar el área con agua.

**Desechos:**

En el caso de cantidades pequeñas, puede dejarse evaporar o incinerarse en áreas seguras. Para volúmenes grandes, se recomienda la incineración controlada junto con otros materiales inflamables.

**ALMACENAMIENTO:**

El metanol debe almacenarse en recipientes de acero al carbón, rodeado de un dique y con sistema de extinguidores de fuego a base de polvo químico seco o dióxido de carbono, cuando se trata de cantidades grandes. En el caso de cantidades pequeñas, puede manejarse en recipientes de vidrio.

En todos los casos debe mantenerse alejado de fuentes de ignición y protegido de la luz directa del sol.

**REQUISITOS DE TRANSPORTE Y EMPAQUE:**

Transportación terrestre:

Marcaje: 1230

Líquido inflamable.

Código HAZCHEM: 2 PE

Transportación marítima:

Código IMDG: 3087

Clase: 3.2

Marcaje: Líquido Inflamable, Venenoso.

Transportación aérea:

Código ICAO/IATA: 1230

Clase: 3 (6.1)

Cantidad máxima en vuelos comerciales: 1 l.

Cantidad máxima en vuelos de carga: 60 l.

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

### GLICEROL

ICSC: 0624

|    |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <p><b>GLICEROL</b><br/>                     Glicerina<br/>                     1,2,3-Propanotriol<br/>                     1,2,3-Trihidroxipropano<br/> <math>C_3H_8O_3/CH_2OH-CHOH-CH_2OH</math><br/>                     Masa molecular: 92.09</p> |   |  |   |
| <p>Nº CAS 56-81-5<br/>                     Nº RTECS MA8050000<br/>                     Nº ICSC 0624</p>  |   |  |   |
| TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION   | PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS   | PREVENCION                                   | PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS   |
| <b>INCENDIO</b>  | Combustible.  | Evitar llama abierta.                        | Polvos, espuma resistente al alcohol, pulverización de agua, dióxido de carbono.  |
| <b>EXPLOSION</b>   | Riesgo de incendio y explosión por contacto con agentes oxidantes fuertes.                      |  | En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.   |
| <b>EXPOSICION</b>  |   | ¡EVITAR LA PRODUCCION DE NIEBLAS!            |   |
| • <b>INHALACION</b>  | Tos, dificultad respiratoria.   | Ventilación.                                 | Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someter a atención médica.   |
| • <b>PIEL</b>  | Piel seca.  | Guantes protectores.                         | Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.  |
| • <b>OJOS</b>  | Enrojecimiento.   | Gafas ajustadas de seguridad.                | Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.                       |
| • <b>INGESTION</b>   | Calambres abdominales, dolor abdominal, diarrea, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náusea. | No comer, beber ni fumar durante el trabajo. | Enjuagar la boca; dar a beber una papilla de carbón activado y agua, provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!). Reposo y suministrar a atención médica. |
| <b>DERRAMAS Y FUGAS</b>  |   | <b>ALMACENAMIENTO</b>                        | <b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>  |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Ventilación. Recoger el líquido procedente de una fuga en recipientes tapados, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración). | Separado de oxidantes fuertes. Herméticamente cerrado. Mantener en lugar seco.                                    |  |
| <b>VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE</b>   |   |  |
| <b>ICSC: 0624</b>  | Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994 |  |

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

### GLICEROL

**ICSC: 0624**

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>D<br/>A<br/>T<br/>O<br/>S<br/><br/>I<br/>M<br/>P<br/>O<br/>R<br/>T<br/>A<br/>N<br/>T<br/>E<br/>S</b> | <b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b><br>Líquido incoloro viscoso, higroscópico.  | <b>VIAS DE EXPOSICION</b><br>La sustancia se puede absorber por inhalación de sus nieblas.  |
|   | <b>PELIGROS FISICOS</b>   | <b>RIESGO DE INHALACION</b><br>La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire por pulverización. |
|   | <b>PELIGROS QUIMICOS</b><br>La sustancia se descompone al arder, en contacto con superficies calientes u oxidantes fuertes, bajo la influencia de sustancias higroscópicas, produciendo acroleína. Reacciona con oxidantes fuertes originando riesgo de incendio y explosión. | <b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b><br>La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.  |
|   | <b>LIMITES DE EXPOSICION</b><br>TLV (como TWA): 10 mg/m <sup>3</sup> (nieblas) (ACGIH 1990-1991).   | <b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b>   |
| <b>PROPIEDADES FISICAS</b>  | Punto de ebullición (se descompone): 290°C<br>Punto de fusión: 18-20°C<br>Densidad relativa (agua = 1): 1.261<br>Solubilidad en agua: Muy buena<br>Presión de vapor, Pa a 20°C: <0.1  | Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.17<br>Punto de inflamación: 160°C<br>Temperatura de autoignición: 400°C<br>Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 0.9-?           |
| <b>DATOS AMBIENTALES</b>  |   |   |
| <b>NOTAS</b>  |   |   |
| La alerta por el olor es insuficiente cuando se supera el valor límite de exposición.                   |   |   |
|   |   | Código NFPA: H 1; F 1; R 0;   |

| INFORMACION ADICIONAL             |  |
|-----------------------------------|--|
| FISQ: 1-117 GLICEROL              |  |
| <b>ICSC: 0624</b>                 | <b>GLICEROL</b>  |
| © CCE, IPCS, 1994                 |  |
| <b>NOTA LEGAL<br/>IMPORTANTE:</b> | Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95). |

# MATERIAL SAFETY DATA SHEET

## SECTION 1 – PRODUCT IDENTIFICATION

Common Name: Biodiesel  
Chemical Name: Fatty Acid Methyl Ester  
Formula: C14-C24 Methyl Esters  
Chemical Family: CAS No. 67784-80-9

---

## SECTION 2 – INGREDIENTS AND HAZARDOUS CLASSIFICATION

Typical Composition:

| Alkyl C14-C24 Methyl Esters | OSHA PEL | ACGH/TLV | Percent |
|-----------------------------|----------|----------|---------|
|                             | none     | none     | 99      |

This product contains no hazardous materials.  
SARA Title III, Section 313: Not Listed

---

## SECTION 3 – PHYSICAL/CHEMICAL CHARACTERISTICS

Boiling Point: >400° F  
Vapor Pressure (mm Hg): <5 mm Hg @ 72° F  
Evaporation Rate: less than .005 versus (Butyl Acetate = 1)  
Solubility in Water: insoluble  
Appearance and Odor: light to dark yellow clear liquid / light musty odor

---

## SECTION 4 - FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

Flash Point (method used): 321° F PMCC  
Flammable Limits: N/A  
HMIS Rating: Health: 0 Fire: 1 Reactivity: 0  
Extinguishing Media: Use water spray, dry chemical, foam or carbon dioxide.  
Special Fire Fighting Procedures: Treat as oil fire.  
Unusual Fire and Explosion hazards: Rags soaked with any solvent present a fire hazard and should be stored in an approved UL listed covered container.

---



### SECTION 5 – REACTIVITY DATA

Reactivity: Stable

Conditions to Avoid: Non Known

Incompatibility (materials to avoid): Strong oxidizing agents

Hazardous Decomposition or By-products: Carbon monoxide, carbon dioxide

Hazardous Polymerization: Will not occur

---

### SECTION 6 – HEALTH HAZARD DATA

Emergency First Aid Procedures:

Ingestion: Rinse mouth with water, contact physician

Eyes: Rinse with water 15 minutes, contact physician

Skin: Rinse with soap and water

---

### SECTION 7 – PRECAUTIONS FOR SAFE HANDLING AND USE

Steps to be taken in case material is released or spilled:

Avoid uncontrolled releases. Contain spilled material. Transfer to secure containers. Use absorbent material if necessary.

Disposal; Dispose of according to Federal, state and/or local regulations

Precautions to be Taken in Handling and Storing: Avoid open flames

Other Precautions: None

---

### SECTION 8 – CONTROL MEASURES

Respiratory Protection: None required

Ventilation: mechanical

Protective Gloves: Rubber

Eye Protection: Safety glasses / splash goggles

Other Protective Clothing or Equipment: None required

---

### SECTION 9 – TRANSPORTATION

DOT Code: N/A

DOT Shipping Name: Fatty acid esters

Other Regulatory: Listed in TSCA inventory

---

The information provided is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability, or suitability for an intended use, or any other warranty, expressed or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes.

BIODIESEL INDUSTRIES, INC.

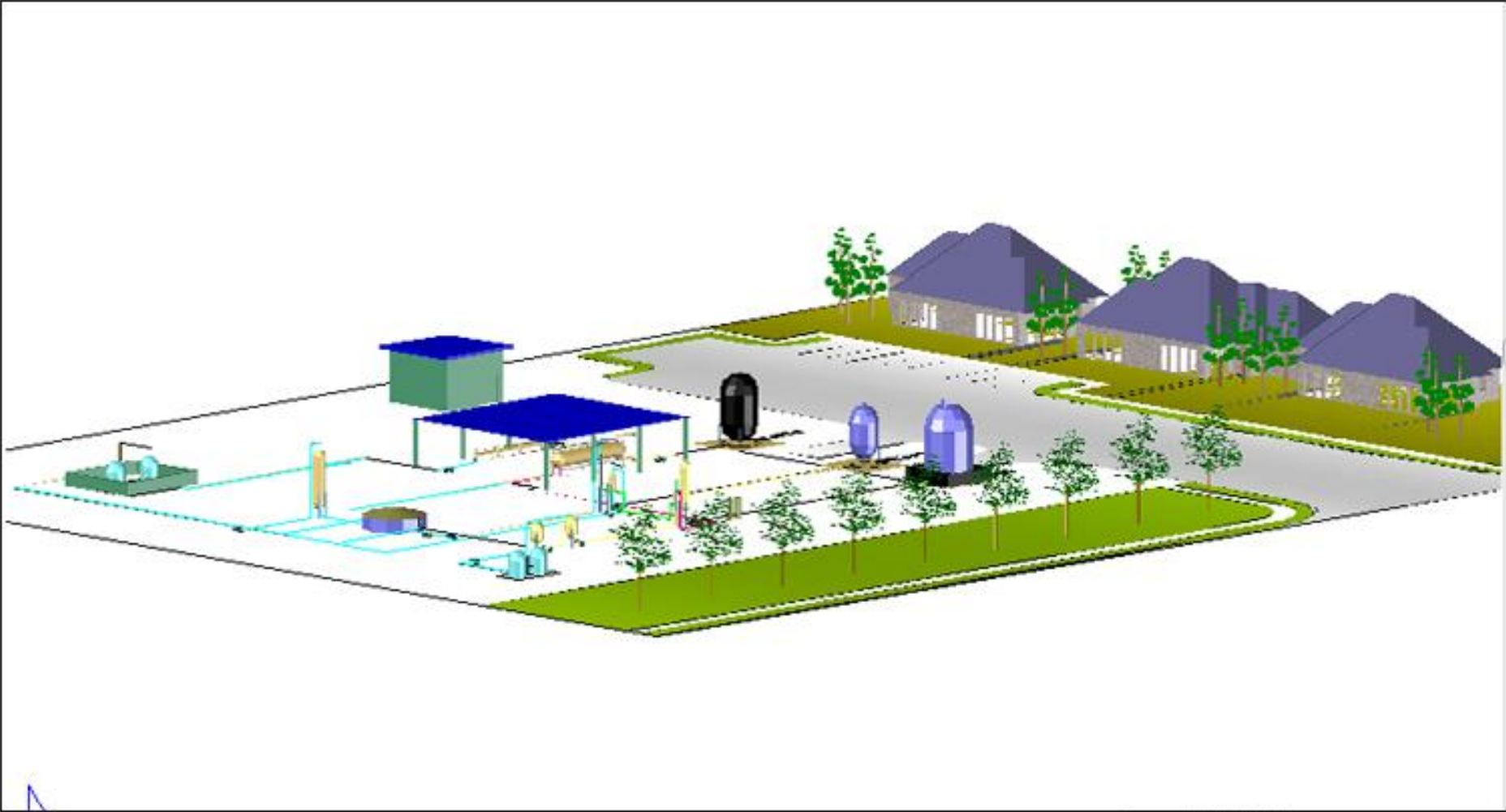
111 SAGUARO LANE, MARATHON, FL 33050 • 305-743-3942 • FAX 305-743-3943  
ON-LINE AT [HTTP://WWW.PIPELINE.TO/BIODIESEL](http://www.pipeline.to/biodiesel) • EMAIL [RTEALL@AOL.COM](mailto:RTEALL@AOL.COM)

# PLANOS

# ÍNDICE

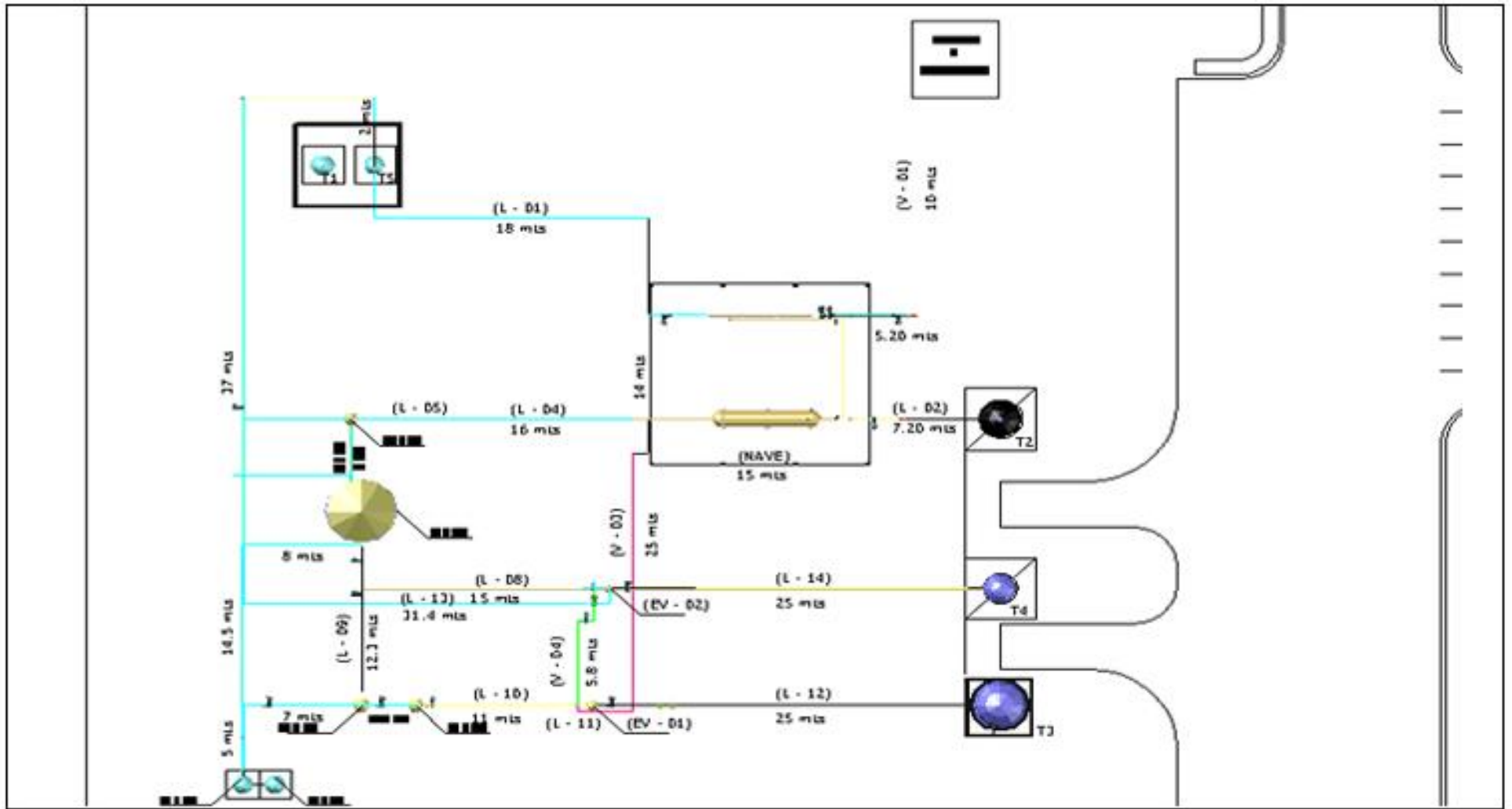
---

1. ISOMÉTRICA.
2. PLANO DE PLANTA.
3. ISOMÉTRICA NAVE.
4. ISOMÉTRICA NAVE II.
5. VISTAS E ISOMÉTRICA DE LA COLUMNA CF-01
6. VISTAS E ISOMÉTRICA DEL DECANTADOR D-01
7. VISTAS E ISOMÉTRICA DE LOS TANQUES DE LAVADO W-01 Y W-02
8. VISTAS E ISOMÉTRICA DEL EVAPORADOR EV-02
9. VISTAS E ISOMÉTRICA DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE METANOL T1 Y T5.
10. VISTAS E ISOMÉTRICA DEL TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE COLZA T2.
11. VISTAS E ISOMÉTRICA DEL TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE BIODIÉSEL T3.
12. VISTAS E ISOMÉTRICA DEL TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GLICERINA T4.
13. VISTA E ISOMÉTRICA DE LA NAVE.
14. PLANTA E ISOMÉTRICA AREAS ADMINISTRATIVAS.
15. PERFIL DE LA PLANTA.



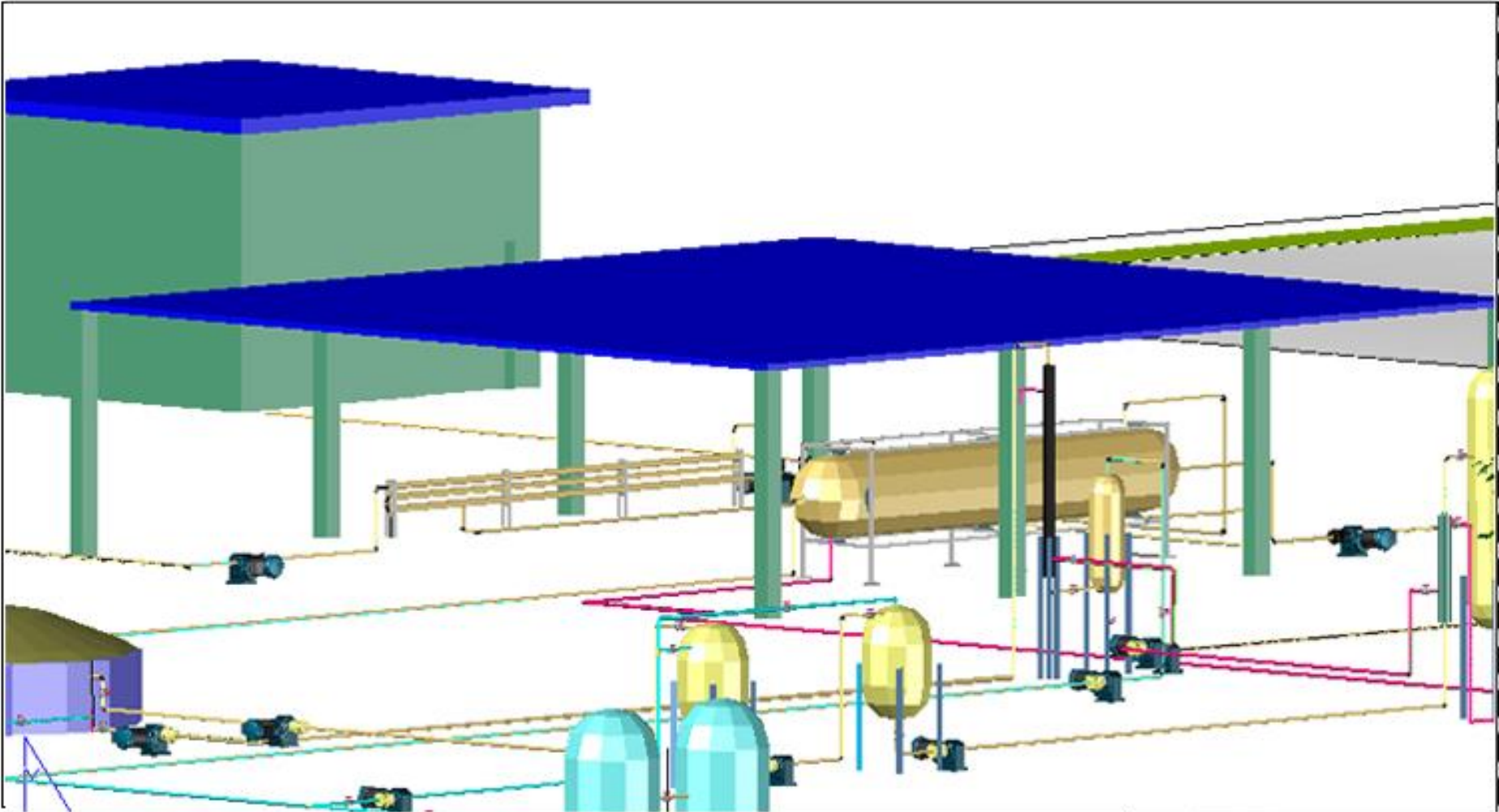
# ISOMETRICA

|   |                  |                 |
|---|------------------|-----------------|
| PROYECTO DE GRADUACIÓN  |                  |                 |
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |                  |                 |
| AUTORES:<br>MANUEL ANGARITA FRANCISCONI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | N.º PLANO:<br>01 | ESCALA:<br>S/E. |
| CONTENIDO:<br>ISOMETRICA  |                  |                 |



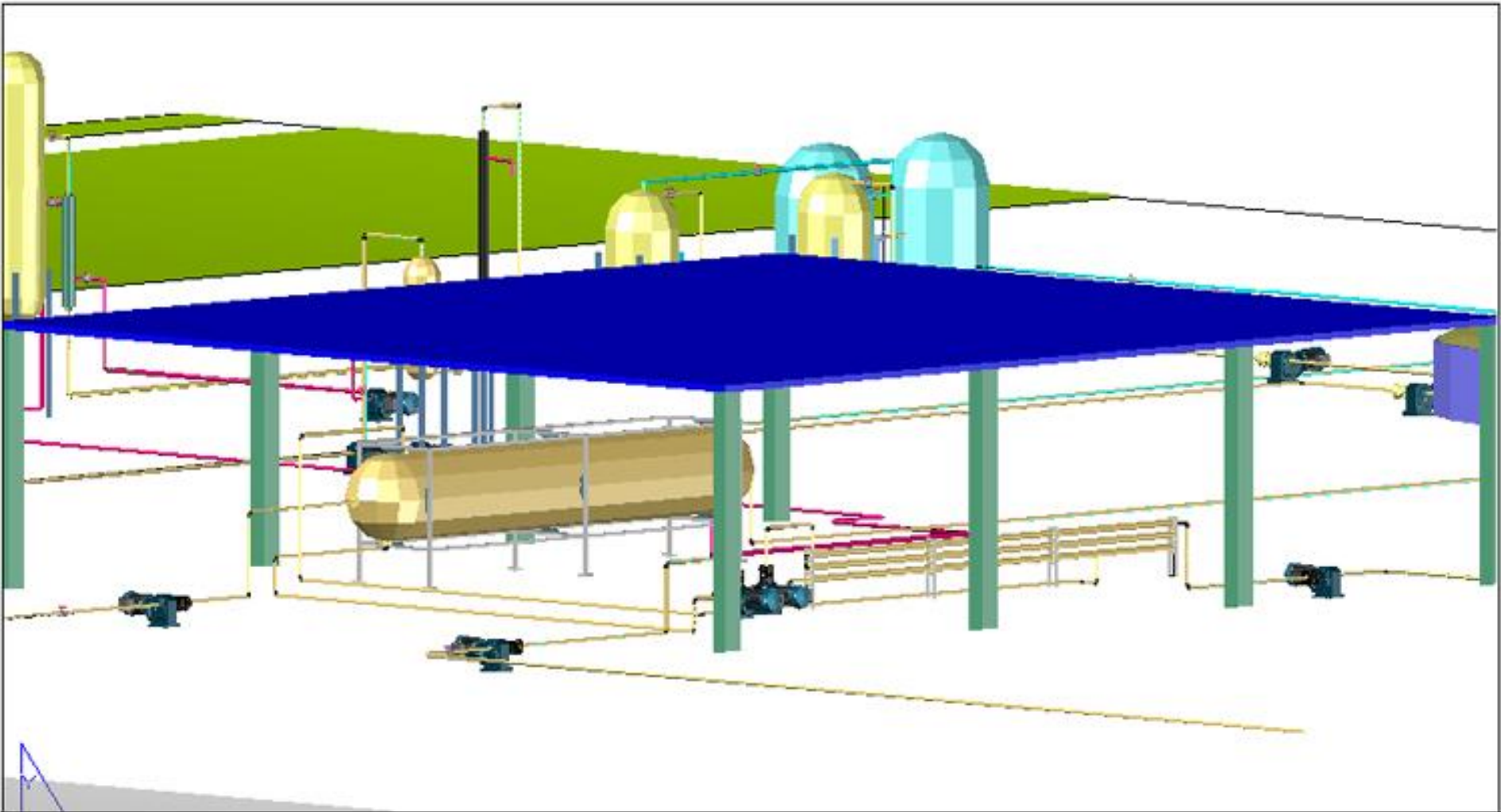
# PLANO DE PLANTA

|   |            |        |
|---|------------|--------|
| PROYECTO DE GRADUACIÓN  |            |        |
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |            |        |
| ALUMNO:   | N.º PLANO: | FOLIO: |
| MANUEL ÁNGARITA FRANCISCONI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | 02         | 1/290  |
| TÍTULO:   |            |        |
| PLANO DE PLANTA   |            |        |



# ISOMETRICA NAVE

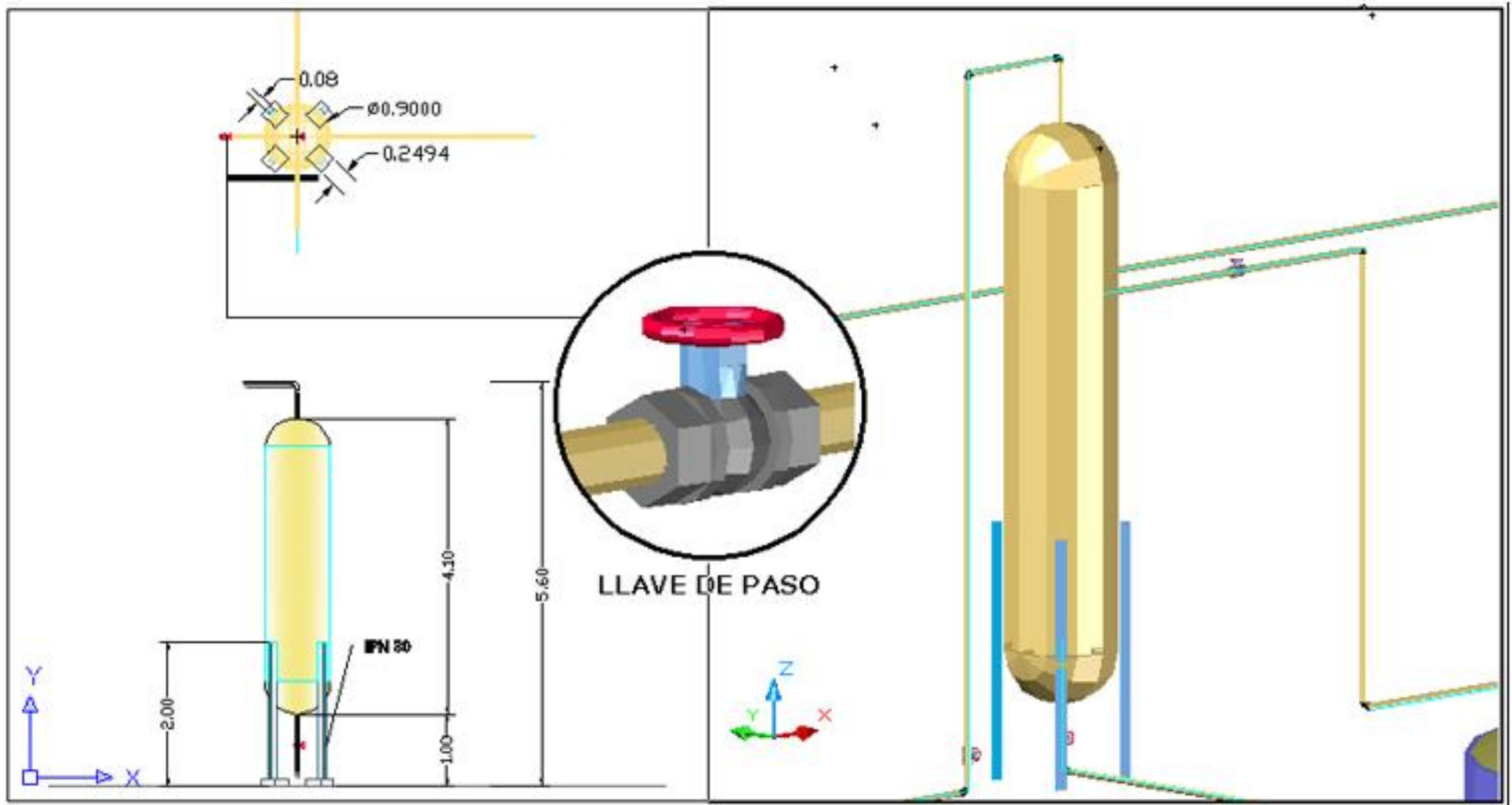
|   |       |        |
|---|-------|--------|
| PROYECTO DE OBRAS   |       |        |
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACION DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |       |        |
| AUTORES   | FECHA | ESCALA |
| MANUEL ANGARITA FRANCISCONI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | 03    | S/E.   |
| ISOMETRICA NAVE   |       |        |



# ISOMETRICA NAVE

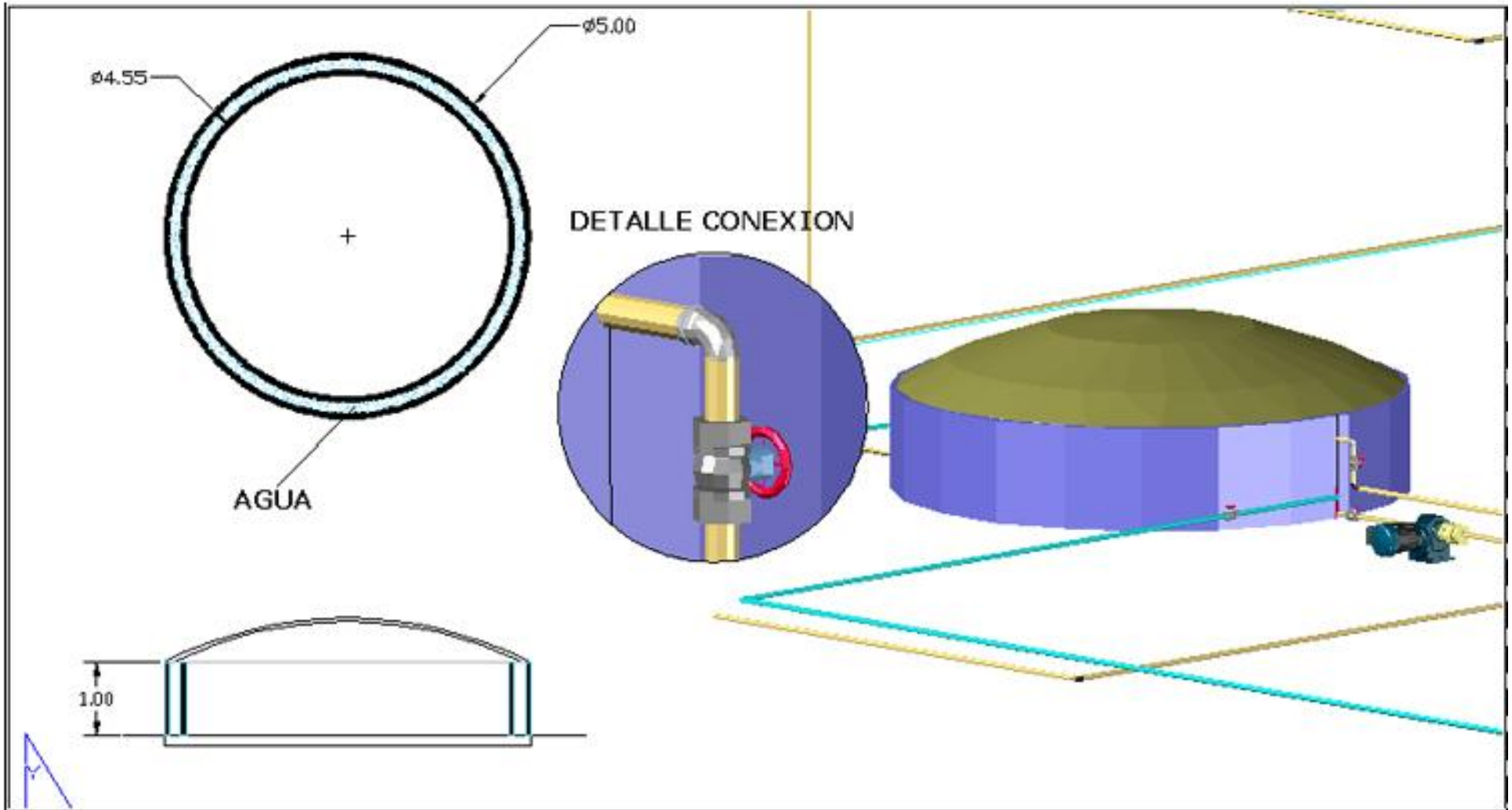
|   |    |      |
|---|----|------|
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACION DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRITICO |    |      |
| MANUEL ANGARITA FRANCISCONI   | 04 | 5/E. |
| NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ   |    |      |
| ISOMETRICA NAVE   |    |      |





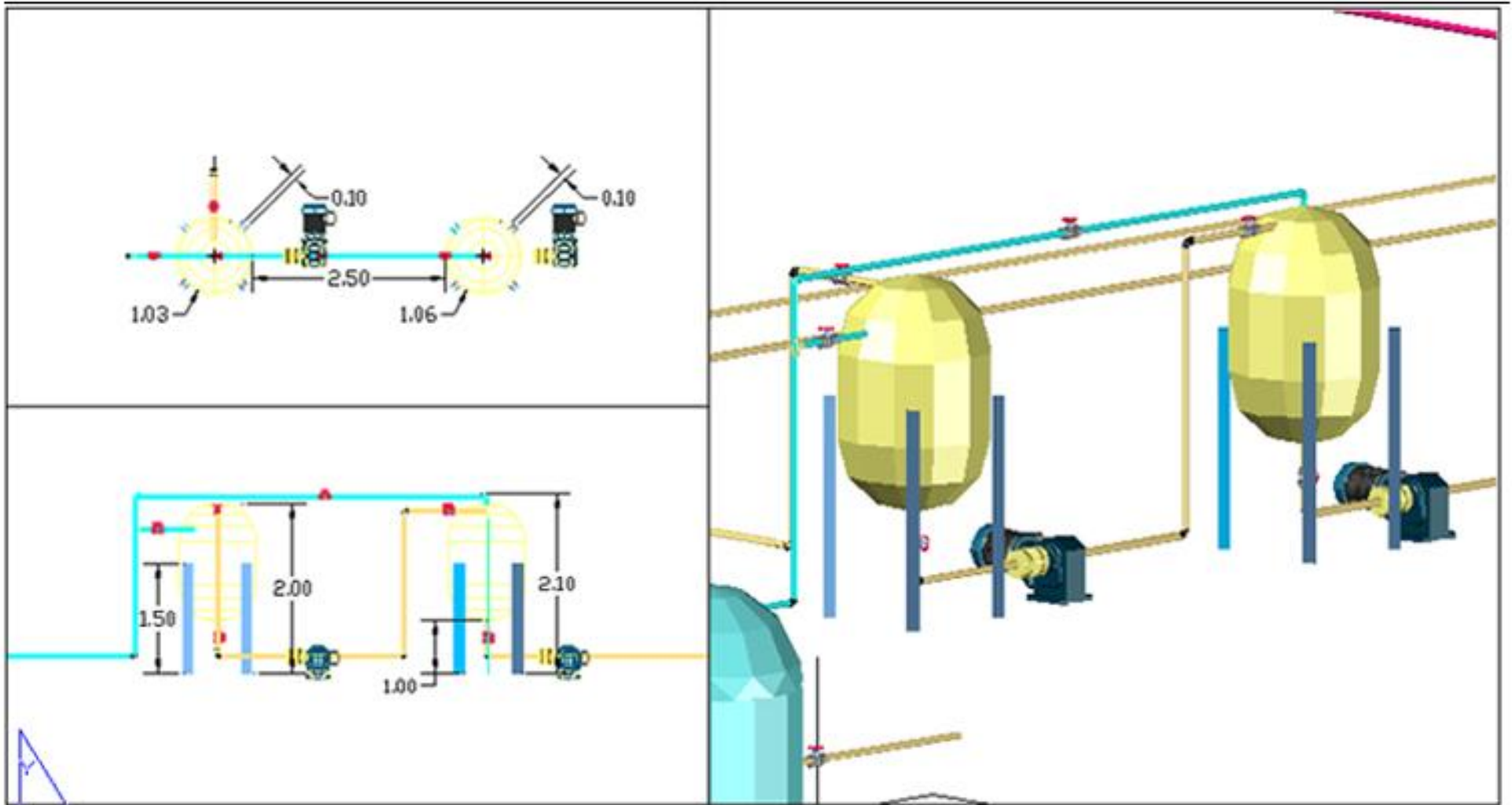
# COLUMNA CF-01

|   |            |         |
|---|------------|---------|
| PROYECTO POR EL ALUMNO:   |            |         |
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |            |         |
| ALUMNO:   | FOLIO N.º: | PÁGINA: |
| MANUEL ANGARETA FRANCESCINI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | 05         | 1 / 50. |
| CONTENIDO:<br>VISTAS E ISOMETRICA COLUMNA CF - 01   |            |         |



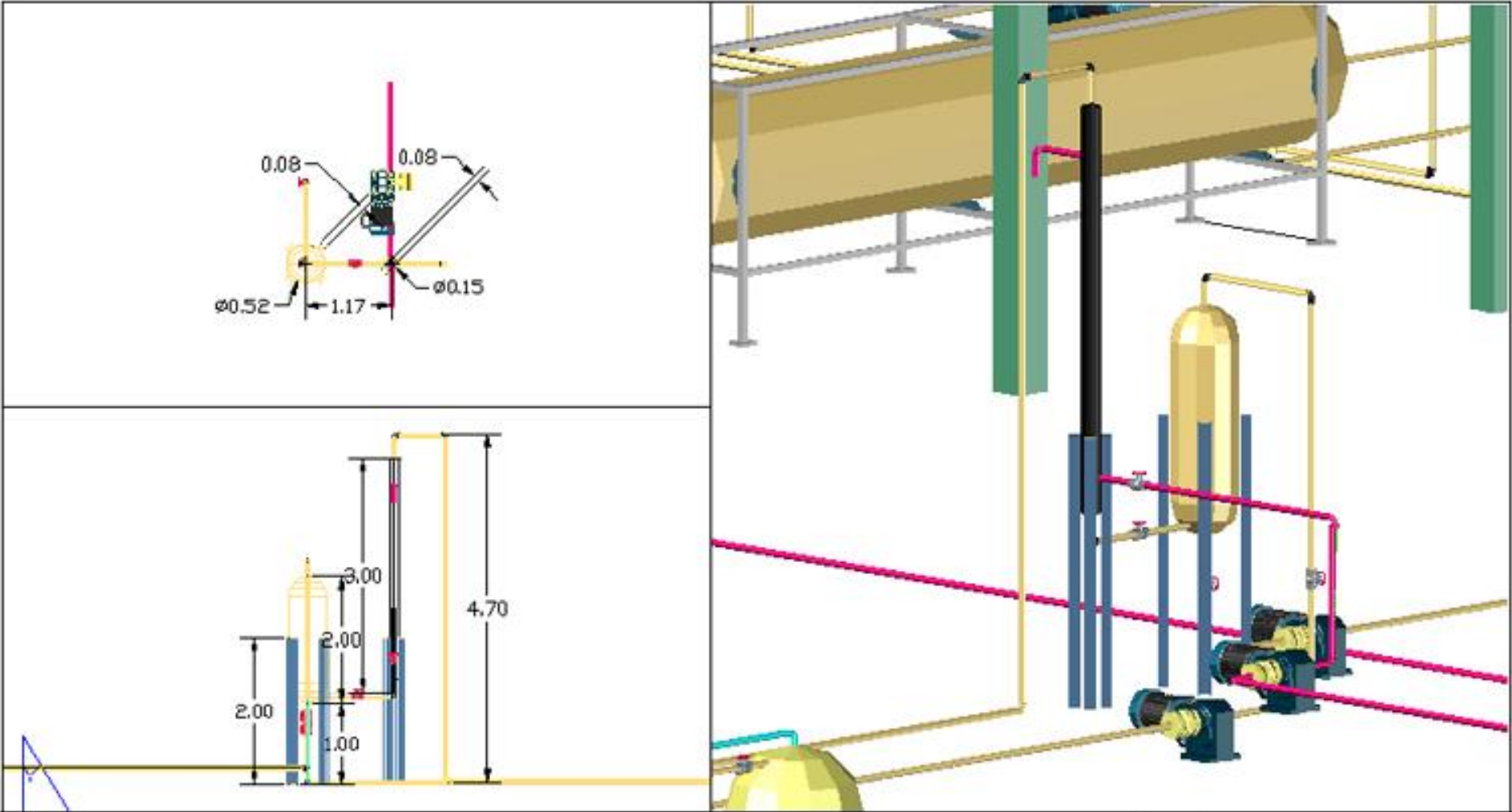
# DECANTADOR D-01

|   |    |       |
|---|----|-------|
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACION DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRITICO |    |       |
| MANUEL ANGARITA FRANCISCONT   | 06 | 1/50. |
| NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ   |    |       |
| VISTAS E ISOMETRICA DECANTADOR D-01   |    |       |



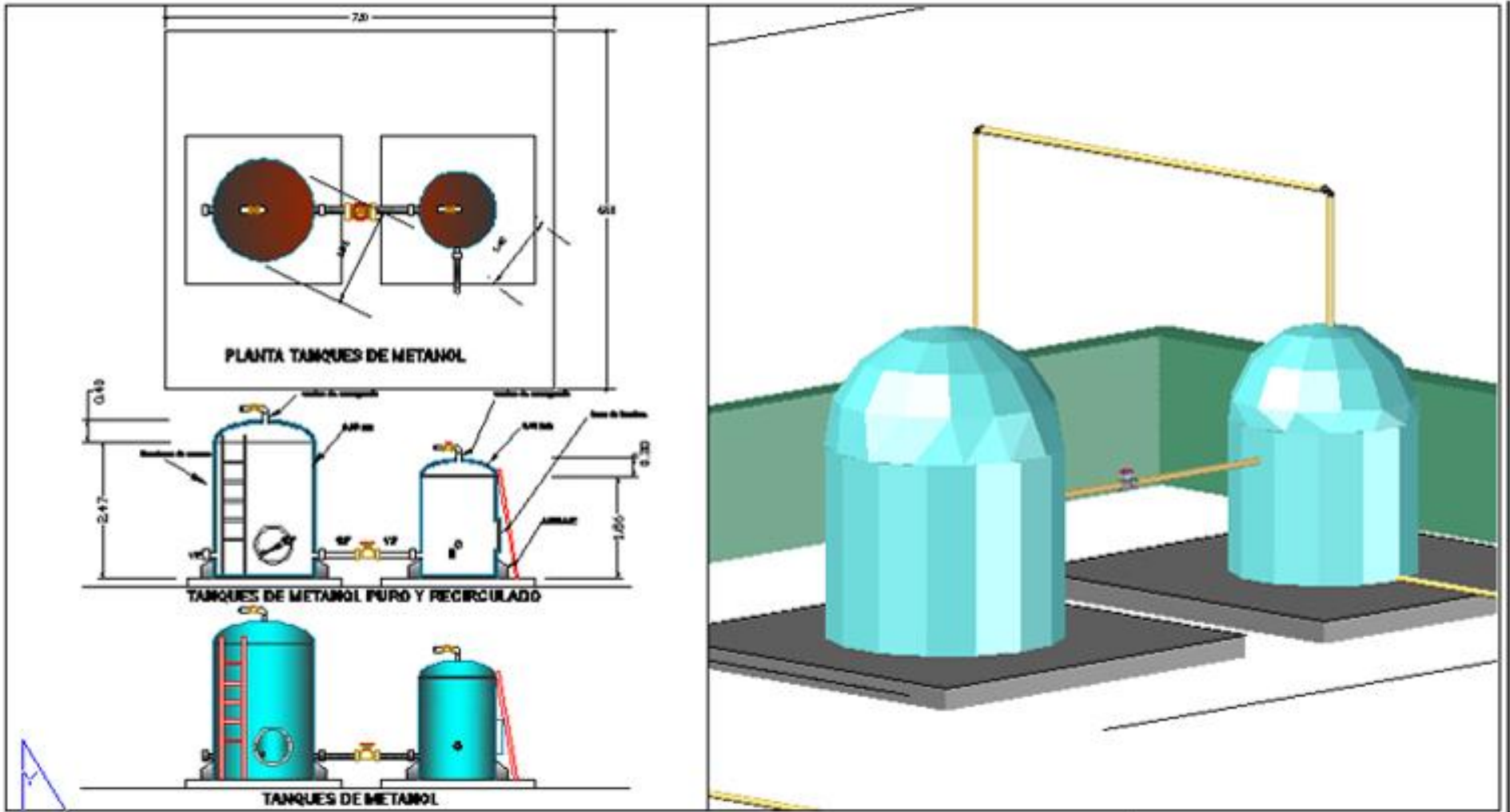
## TANQUES LAVADO W-01 W-02

| PROYECTO DE DISEÑO  |                   |                  |
|---|-------------------|------------------|
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |                   |                  |
| AUTORES:<br>MANUEL ANGARITA FRANCISCONTI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ   | NO. PLANOS:<br>07 | PÁGINA:<br>1/50. |
| CONTENIDO:<br>VISTAS E ISOMÉTRICA TANQUES DE LAVADO W-01 Y W-02   |                   |                  |



# EVAPORADOR EV-02

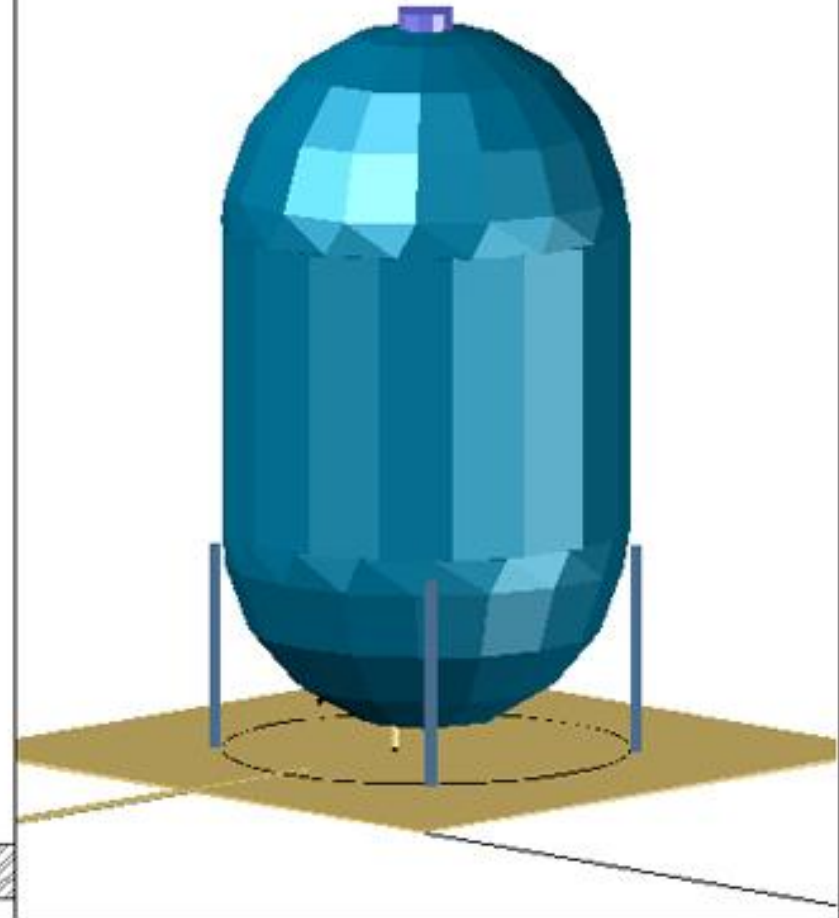
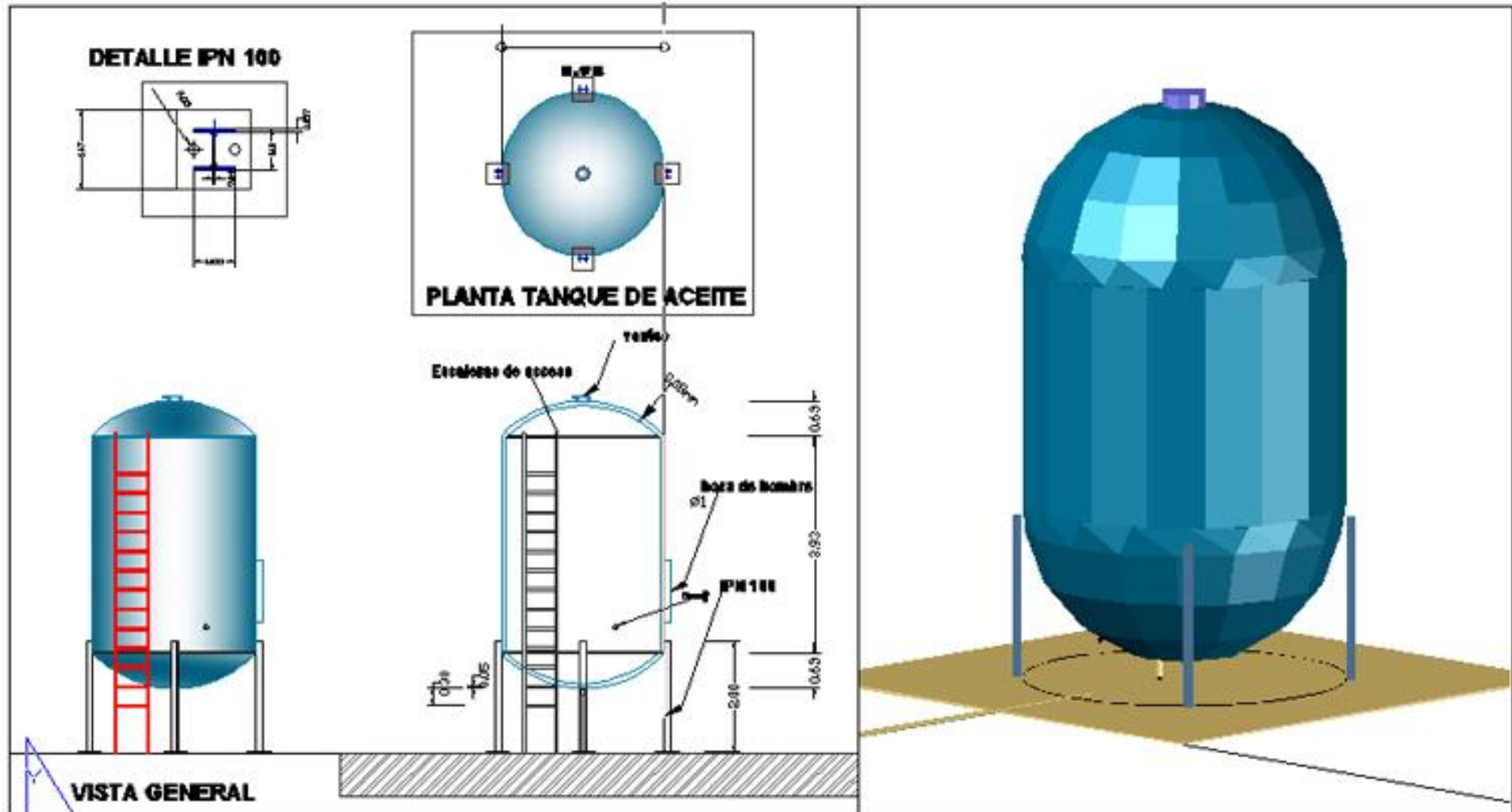
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |    |       |
|---|----|-------|
| MANUEL ANSARITA FRANCISCONI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | 06 | 1/50. |
| VISTAS E ISOMÉTRICA EVAPORADOR EV-02  |    |       |



# TANQUES DE ALMACENAMIENTO METANOL

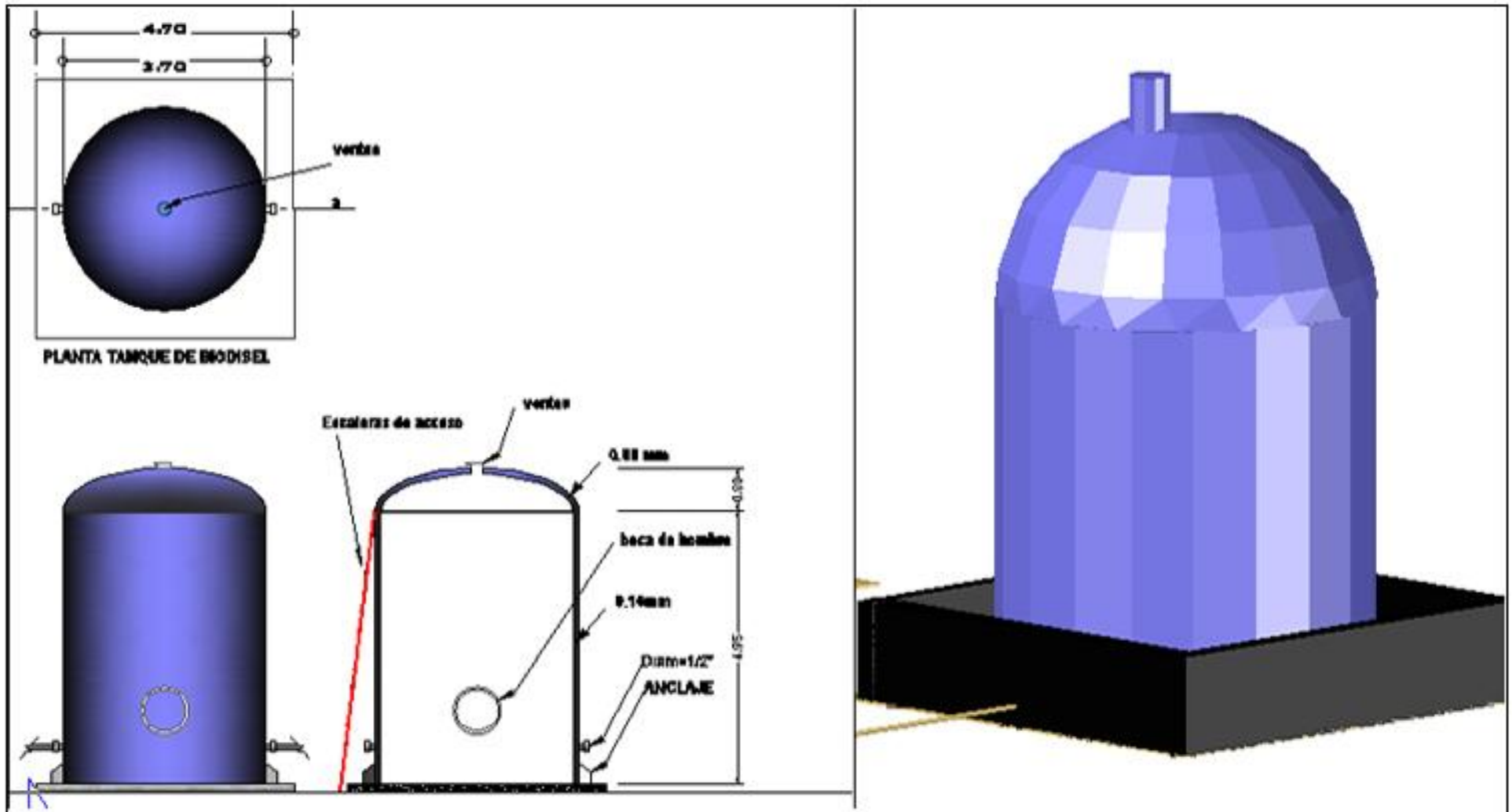
|   |                 |                |
|---|-----------------|----------------|
| PROYECTO DE DISEÑO  |                 |                |
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |                 |                |
| PROYECTISTA:<br>MANUEL ANGARITA FRANCISCONI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | Nº. HOJA:<br>09 | TOTAL:<br>3/75 |
| TÍTULO DEL DISEÑO:<br>VESTAS E ISOMETRICA TANQUES METANOL   |                 |                |





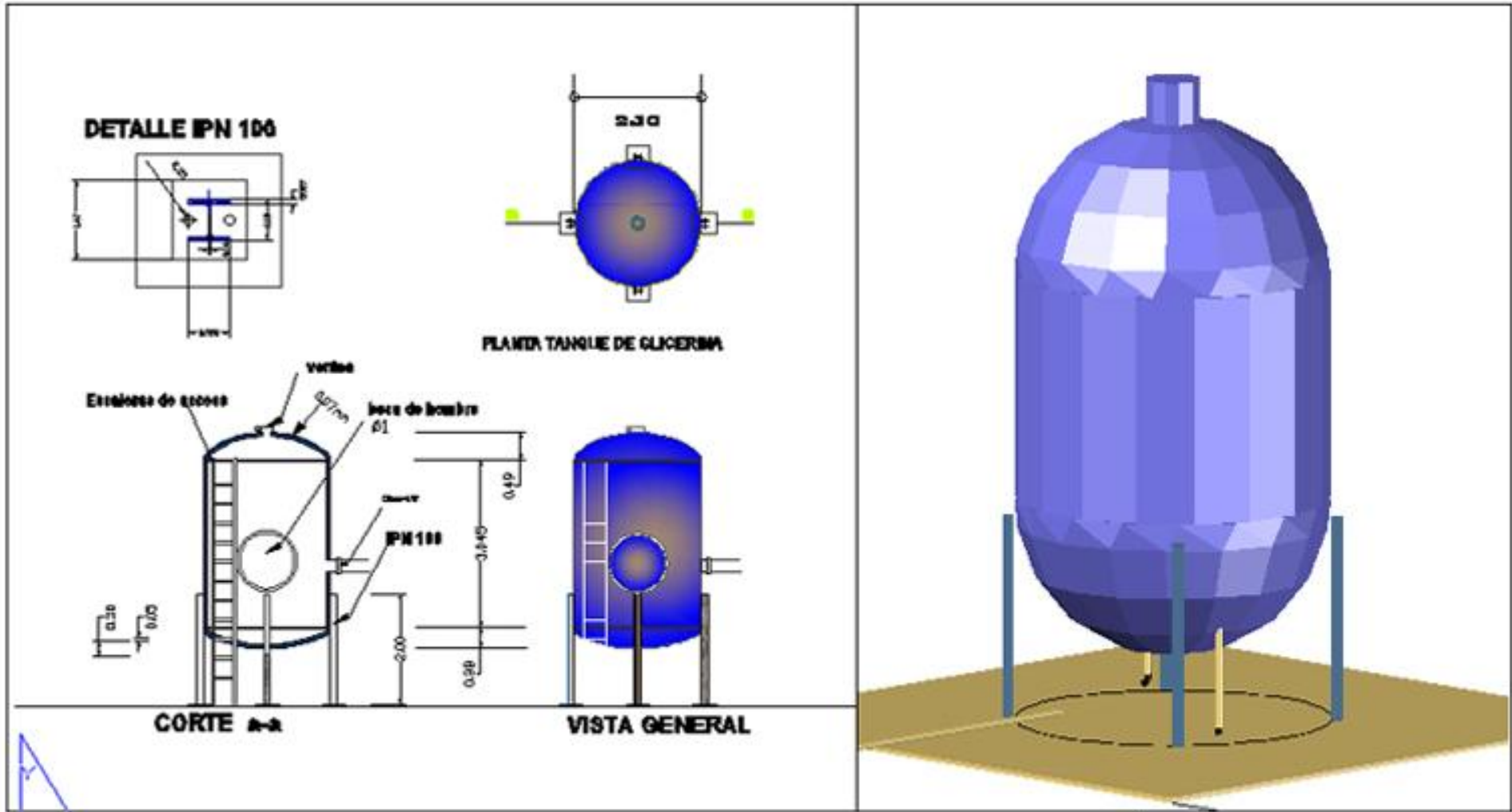
# TANQUES DE ALMACENAMIENTO ACEITE

|   |                  |                 |
|---|------------------|-----------------|
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |                  |                 |
| AUTORES:<br>MANUEL ANGARITA FRANCISCO<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | Nº. FOLIO:<br>10 | ESCALA:<br>1/75 |
| VISTAS E ISOMETRICA TANQUE ACEITE   |                  |                 |



# TANQUE DE ALMACENAMIENTO BIODIESEL

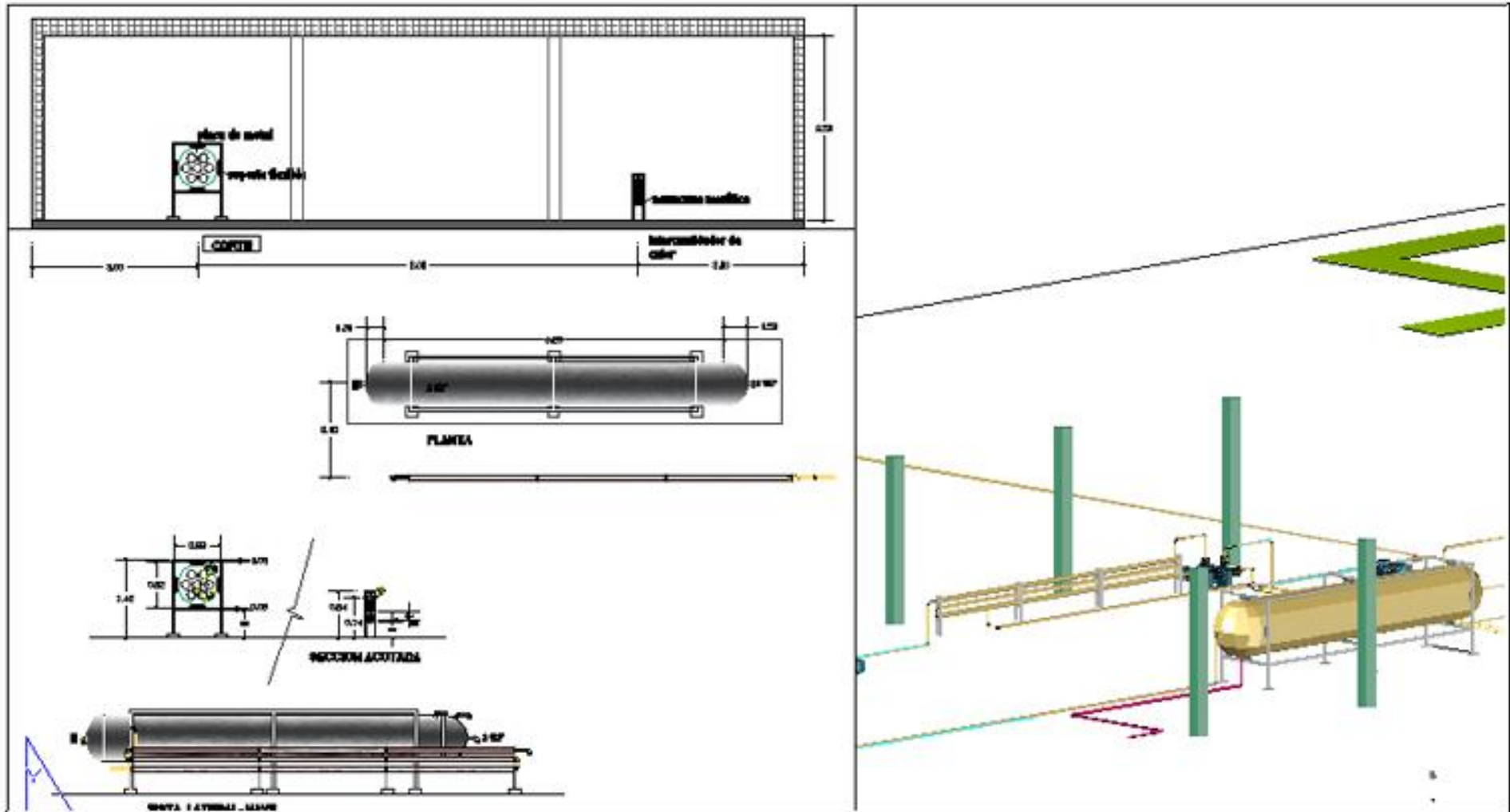
|  |           |             |
|--|-----------|-------------|
| <small>PROYECTO DE TÍTULO DE GRADUACIÓN</small><br>DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |           |             |
| AUTOR:<br>MANUEL ANGARITA FRANCISONE<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | FOLIO: 11 | TOTAL: 1/75 |
| <small>CONTENIDO:</small><br>VISTAS E ISOMETRICA TANQUE BIODIESEL  |           |             |



# TANQUE DE ALMACENAMIENTO GLICERINA

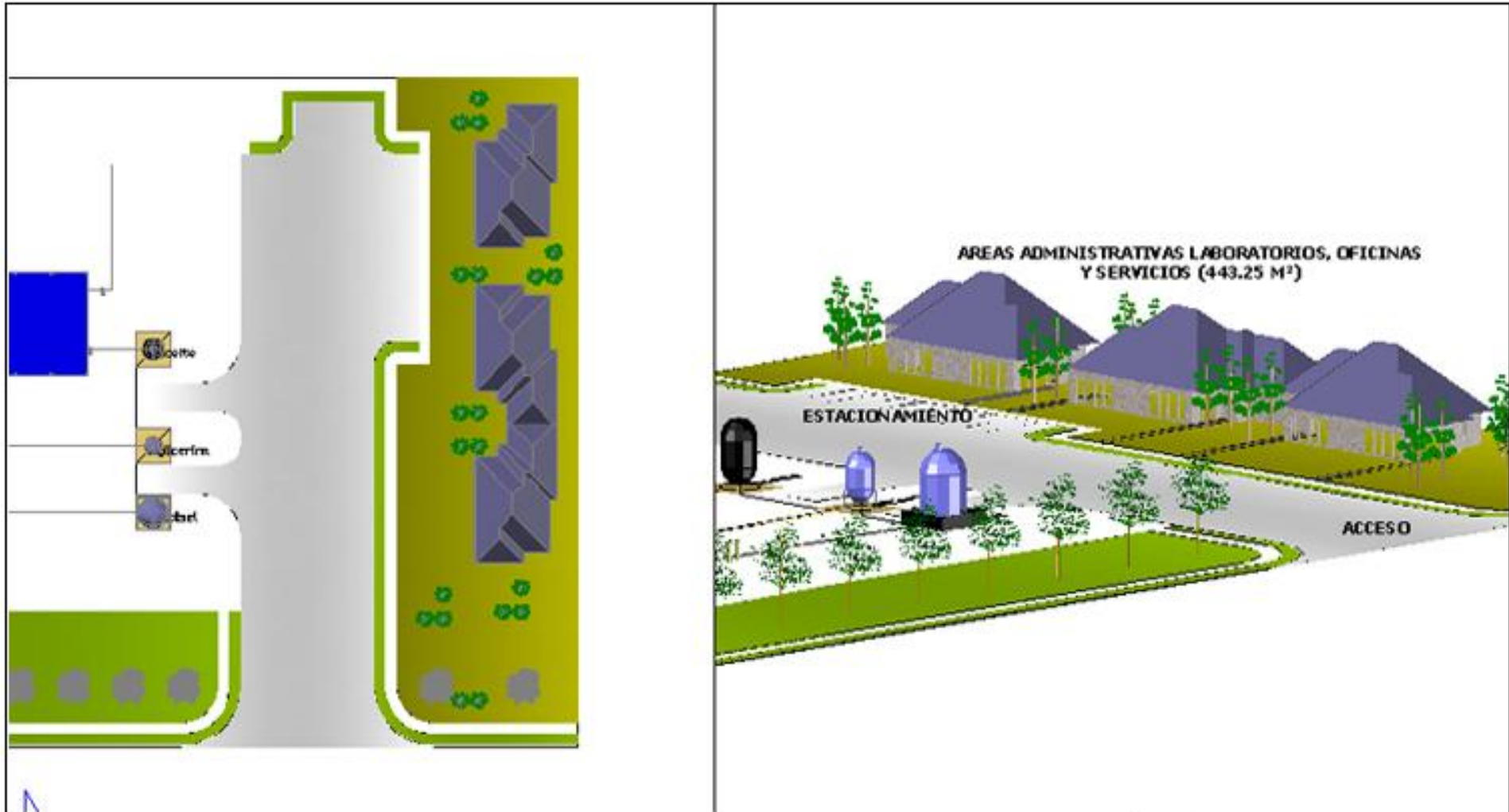
|   |       |        |
|---|-------|--------|
| PROYECTO DE GRADUACIÓN  |       |        |
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |       |        |
| ALUMNO  | GRUPO | PÁGINA |
| MANUEL ANGARITA FRANCISCONI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | 22    | 1/25   |
| TÍTULO DEL DISEÑO: VISTAS E ISOMÉTRICA TANQUE GLICERINA   |       |        |





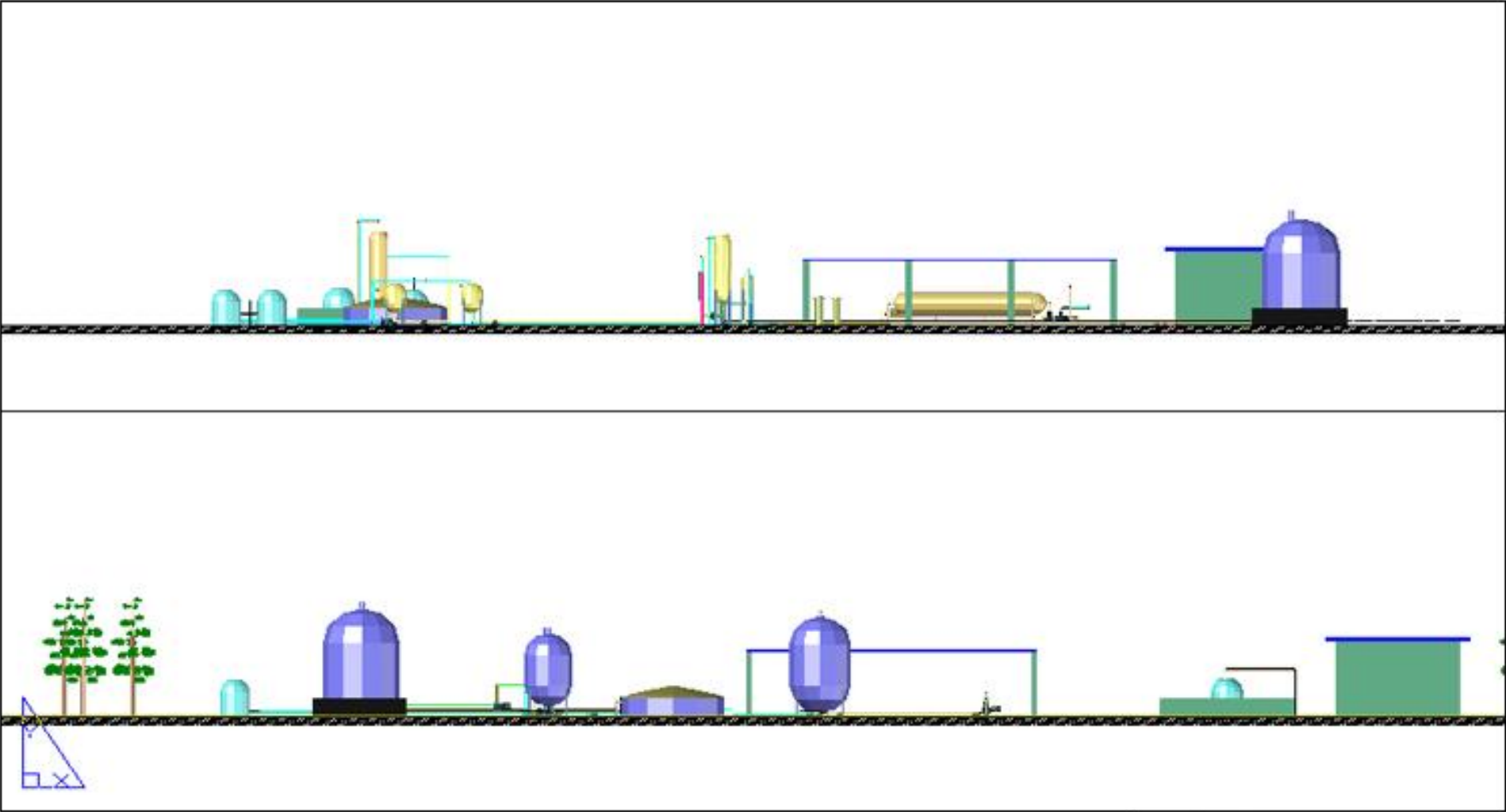
# PLANO DE NAVE

|   |                   |                 |
|---|-------------------|-----------------|
| TÍTULO<br>DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |                   |                 |
| AUTOR<br>MANUEL ANGARISTA FRANCISCONI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | Nº DE HOJAS<br>13 | HOJA Nº<br>1/75 |
| DESCRIPCIÓN<br>VISTAS E ISOMETRICA DE NAVE  |                   |                 |



# AREAS ADMINISTRATIVAS

|   |                   |                   |
|---|-------------------|-------------------|
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |                   |                   |
| AUTORES:<br>MANUEL ANGARETA FRANCISCONI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | Nº PÁGINAS:<br>14 | ESCALA:<br>1/500. |
| TÍTULO:<br>PLANTA E ISOMÉTRICA AREAS ADMINISTRATIVAS  |                   |                   |



# PERFIL DE LA PLANTA

|   |            |        |
|---|------------|--------|
| IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA   |            |        |
| DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE COLZA CON METANOL SUPERCRÍTICO |            |        |
| ELABORADO   | Nº DE HOJA | PÁGINA |
| MANUEL ANGARITA FRANCISCONI<br>NOELIA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  | 15         | 1/200  |
| CONTENIDO DE LA HOJA  |            |        |
| PERFIL DE LA PLANTA   |            |        |



# PLIEGO DE CONDICIONES

# ÍNDICE

---

## **I. CONDICIONES DE OBRA**

### **1. INTRODUCCIÓN.....9**

#### **1.1. Objetivo**

#### **1.2. Documentos que definen las obras**

#### **1.3. Compatibilidad y relación entre los documentos**

#### **1.4. Director de obra**

#### **1.5. Disposiciones de aplicación**

### **2. NORMAS GENERALES.....11**

#### **2.1. Condiciones de índole técnica**

##### *2.1.1. Replanteo*

##### *2.1.2. Movimientos de tierra*

##### *2.1.3. Red horizontal de saneamiento*

##### *2.1.4. Cimentaciones*

##### *2.1.5. Forjados*

##### *2.1.6. Hormigones*

##### *2.1.7. Acero laminado*

##### *2.1.8. Cubiertas y coberturas*

##### *2.1.9. Albañilería*

##### *2.1.10. Carpintería y cerrajería*

##### *2.1.11. Aislamientos*

##### *2.1.12. Red vertical de saneamiento*

##### *2.1.13. Instalaciones de fontanería y abastecimiento*

##### *2.1.14. Instalaciones de climatización*

##### *2.1.15. Instalaciones de protección*

##### *2.1.16. Obras o instalaciones no especificadas*

## **2.2. Los licitadores**

*2.2.1. Condiciones mínimas*

*2.2.2. Ofertas*

*2.2.3. Garantías*

*2.2.4. Cesión y subcontratas*

## **2.3. La evaluación de la oferta**

*2.3.1. De las aclaraciones*

*2.3.2. De los criterios de adjudicación*

## **2.4. La contratación**

*2.4.1. Adjudicación y presentación del Contratista*

*2.4.2. Formalización del Contrato*

*2.4.3. Duración del Contrato*

*2.4.4. Sanciones*

*2.4.5. Resolución del Contrato*

## **3. LOS TRABAJOS.....33**

### **3.1. Las actuaciones previas**

*3.1.1. Consolidación del Programa de Trabajo*

*3.1.2. Autorizaciones*

### **3.2. Plazo de realización**

*3.2.1. Comienzo de los trabajos*

*3.2.2. Orden de los Trabajos*

*3.2.3. Medidas a adoptar en caso de interrupción*



### **3.3. Los subcontratistas**

- 3.3.1. El personal*
- 3.3.2. Inspección por la dirección*
- 3.3.3. Las obligaciones generales del Contratista*
- 3.3.4. La responsabilidad del Contratista por daños*
- 3.3.5. Actuación de los Subcontratistas*
- 3.3.6. Responsabilidad de los Subcontratistas*

### **3.4. El personal**

- 3.4.1. Representación facultativa del Subcontratista*
- 3.4.2. Encargad de Obra*
- 3.4.3. Personal Laboral*
- 3.4.4. Legislación laboral*
- 3.4.5. Seguridad e higiene*
- 3.4.6. Facultades del Director*

### **3.5. Inspección por la dirección**

### **3.6. Las obligaciones generales del Contratista**

- 3.6.1. Adecuación de los medios*
- 3.6.2. Coordinación y colaboración*
- 3.6.3. Medidas de urgencia*
- 3.6.4. Calidad de trabajos*
- 3.6.5. Garantía de las obras*
- 3.6.6. Detección de fallos o defectos en servicio*

### **3.7. La responsabilidad del Contratista por daños**

*3.7.1. Al personal y pertenencias del Contratista y Subcontratistas*

*3.7.2. En las propias obras*

*3.7.3. A propiedades de la Corporación*

*3.7.4. A terceros*

## **4. LAS ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS.....45**

### **4.1. Los suministros**

*4.1.1. Por parte del Contratista*

*4.1.2. Por parte de la Corporación*

*4.1.3. Transporte y entrega*

### **4.2. Retirada de materiales innecesarios**

*4.2.1. Desmontaje*

*4.2.2. Entrega y recepción en almacenes de la Corporación*

### **4.3. Recepción de las obras**

*4.3.1. Puesta en servicio provisional*

*4.3.2. Puesta en servicio para pruebas*

*4.3.3. Medidas y comprobaciones previas a la recepción provisional*

*4.3.4. Puesta a punto*

*4.3.5. Recepción provisional*

*4.3.6. Obligaciones durante la garantía*

*4.3.7. Medidas y comprobaciones previas a la recepción definitiva*

*4.3.8. Recepción definitiva*

*4.3.9. Devolución de la fianza*

## **5. CERTIFICACIONES Y LIQUIDACIÓN DE LA OBRA.....52**

### **5.1. Las mediciones**

*5.1.1. Realización*

*5.1.2. Actuación del Contratista*

### **5.2. De los conceptos y redacción de los precios**

*5.2.1. Concepto de los precios*

*5.2.2. Precios Contradictorios*

*5.2.3. Revisión de Precios*

*5.2.4. Retenciones*

### **5.3. Condiciones de pago**

*5.3.1. Pago inicial*

*5.3.2. Certificaciones a cuenta*

*5.3.3. Certificación a la recepción provisional*

*5.3.4. Liquidación*

## **II. CONDICIONES DE EQUIPOS**

### **1. INTRODUCCIÓN.....56**

### **2. LISTADO DE EQUIPOS.....57**

**2.1. *Tanques de almacenamiento de materias primas***

**2.2. *Tanques de almacenamiento de productos***

**2.3. *Reactores***

**2.4. *Columnas de destilación***

**2.5. *Evaporadores***

**2.6. *Tanques de lavado***

**2.7. *Decantadores***

**2.8. *Intercambiadores de calor***

**2.9. *Red de tuberías***

**2.10. *Bombas y compresores***

**2.11. *Instrumentación***

### **III. CONDICIONES DE PRODUCTOS.....66**

## **I. CONDICIONES DE OBRA**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. Objetivo**

El objetivo del Pliego de Condiciones General es especificar las relaciones de índoles facultativas, económicas y legales que regirán durante la ejecución de las obras entre la Propiedad o Corporación, el Contratista y el Director de obra. Estas condiciones quedarían supeditadas al correspondiente pliego de condiciones particulares de la obra.

Además, el pliego de condiciones de obra va a establecer las bases de los concursos relacionados con la contratación de las obras y condiciones generales para contratos y pedidos que incluyan mano de obra en el lugar de construcción.

#### **1.2. Documentos que definen las obras**

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entregue al contratista, pueden tener carácter contractual o meramente informativo.

Son documentos contractuales los Planos, Pliego de Condiciones, Cuadros de Precios y Presupuestos Parcial y Total que se incluyen en el presente proyecto. Los datos incluidos en la memoria y anexos, así como la justificación de precios tienen carácter meramente informativo.

Cualquier cambio en el planteamiento de la obra que implique un cambio sustancial respecto de los proyectados deberá ponerse en conocimiento de la Dirección Técnica para que lo apruebe, si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

### **1.3. Compatibilidad y relación entre los documentos**

En caso de contradicción entre los Planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo descrito en este último documento. Lo mencionado en los Planos y omitido en el Pliego de Condiciones o viceversa habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos.

### **1.4. Director de la obra**

La propiedad nombrará en su representación a un Técnico Directos en quien recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente proyecto. El contratista proporcionará toda clase de facilidades para que el Técnico Director subalternos puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia.

No será responsable ante la propiedad de la tardanza de los Organismos competentes en la tramitación del Proyecto. La tramitación es ajena al Técnico Directos, quien una vez conseguidos todos los permisos, dará la orden de comenzar la obra.

### **1.5. Disposiciones de aplicación**

- Ley de Contratos del Estado, por Decreto 923/1965 de 8 de Abril.
- Reglamento General de Contratación para aplicación de dicha Ley, aprobado por Decreto 3354/1967 de 28 de diciembre.
- Pliego de prescripciones Técnicas Generales vigentes del M.O.P.U.
- Normas básicas (NBE) y tecnológicas de la edificación (NTE)
- Instrucción de hormigón estructural (EHE) para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón.
- Métodos y Normas de Ensayo Laboratorio Central del M.O.P.U.
- Reglamento sobre recipientes y aparatos a presión.

- Resolución General de Instrucciones para la construcción de 31 de Octubre de 1966.
- Reglamento Técnico de líneas eléctricas aéreas de alta tensión (Decreto 3151/68 de 28 de Noviembre).

## **2. NORMAS GENERALES**

### ***2.1. Condiciones de índoles técnica***

#### *2.1.1. Replanteo*

Antes de dar comienzo las obras, el Técnico Directos auxiliado del personal subalterno necesario y en presencia del contratista o de su representante, predecirá el replanteo general de la obra. Una vez finalizado el mismo, se levantará el acta de comprobación del replanteo.

Los replanteos de detalle se llevarán a cabo de acuerdo con las instrucciones y órdenes del Técnico Director de la obra, quien realizará las comprobaciones necesarias en presencia del contratista o de su representante. El contratista se hará cargo de las señalizaciones y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

#### *2.1.2. Movimientos de tierras*

Se refiere el presente apartado a los desmontes y terraplenes para dar al terreno la rasante de explanación adecuada, y las operaciones de excavación realizadas con medios manuales y/o mecánicos de zanjas y pozos.

Readoptan las condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, así como las condiciones relativas a los materiales, control de la ejecución, valoración y mantenimiento que especifican las normas.

### *2.1.3. Red horizontal de saneamiento*

Contempla el presente punto las condiciones relativas a los diferentes aspectos relacionados con los sistemas de captación y conducción de aguas hará protección de la obra contra la humedad.

Se adoptan las condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, condiciones relativas a los materiales y quipo de origen industrial, control de la ejecución, criterios relativos a la prueba de servicio, criterios de valoración y normas para el mantenimiento del terreno, establecidas en la NTE “Saneamiento, drenajes y arrendamientos”.

### *2.1.4. Cimentaciones*

Las secciones y cotas de profundidad serán las que el Técnico Directos señale, con independencia de lo señalado en el proyecto, que tienen carácter meramente informativo. No se rellenarán los cimientos hasta que lo ordene el Técnico Directos de las obras, el cual queda facultado para introducir las cimentaciones especiales o modificaciones que juzgue oportuno en función de las características particulares que presente el terreno.

### *2.1.5. Forjados*

Regula el presente artículo los aspectos relacionados con la ejecución de forjados pretensados, autorresistentes, armados, de acero o de cualquier patente.

Las condiciones de ejecución, de seguridad en el trabajo, de control de ejecución, de valoración y de mantenimiento son las establecidas en las normas NTE-EHU y NTE-EHR así como en la EF-96 y NTE-EAF.



Los hormigones y armaduras cumplirán las condiciones relativas a los diferentes aspectos de ejecución y seguridad, características, medición, valoración y mantenimiento que se establecen en los artículos correspondientes.

#### *2.1.6. Hormigones*

Se refiere el presente artículo a las condiciones relativas a los materiales y quipos de origen industrial relacionados con la ejecución de las obras de hormigón en masa o armado, así como las condiciones generales de ejecución, criterios de medición, valoración y mantenimiento.

Regirá prescrito en la Instrucción EHE para las obras de hormigón en masa o armado. Asimismo se adopta lo establecido en las normas NTI-EH “Estructuras de hormigón” y NTE-EME “Estructuras de madera”.

Las características mecánicas de los materiales y dosificadores y niveles de control son las que se fijan en el presente proyecto(Cuadro de características EHE y especificaciones de los materiales).

Los hormigones a utilizar serán:

- Muros de cimentación:
  - o HA-25/B/40/IIa (Control normal).
  - o HA-25/B/20/IIa (Control reducido).
- Cimentación:
  - o HA-25/B/40/IIa (Control normal).
  - o HA-25/B/20/IIa (Control reducido).
- Resto obra:
  - o HA-25/B/20/IIa

### *2.1.7. Acero laminado*

Se establecen en el presente artículo las condiciones relativas de los materiales y equipos industriales relacionados con los aceros laminados utilizados en las estructuras de edificación. Tanto en sus elementos estructurales, como en sus elementos de unión. Asimismo se fijan las condiciones relativas a la ejecución, seguridad en el trabajo, control de ejecución, valoración y mantenimiento. Se adopta lo establecido en las normas:

- NBE-MV-102 “Ejecución de las estructuras de acero laminado en edificación”, se fijan los tipos de uniones, la ejecución en taller, el montaje en obra, las tolerancias y las protecciones.
- NBE-MV-103: “Acero laminado para estructuras de edificaciones”, donde se fijan las características de acero laminado, la determinación de sus características y los productos laminados actualmente utilizados.
- NBE-MV-105: “Roblones de acero”.
- NBE-MV-106: “Tornillos ordinarios calibrados para estructuras de acero”.
- NTE-EA: “Estructuras de acero”.

### *2.1.8. Cubiertas y coberturas*

Se refiere el presente artículo a la cobertura de edificios con placas, tejas o plaquetas de fibrocemento, chapas finas o paneles formados por doble hoja de chapa con interposición de aislamiento de acero galvanizado, chapas de aleación ligeras, piezas de pizarra, placas de poliéster reforzado, cloruro de polivinilo rígido o polimetacrilato de metilo, tejas cerámicas o de cemento o chapas lisas de cinc en el que el propio elemento proporciona la estanqueidad.

Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipos de origen industrial y control de la ejecución, condiciones generales de

ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento se especifican en las siguientes normas:

- NTE-QTF: “Cubiertas. Tejados de fibrocemento”.
- NTE-QTG: “Cubiertas. Tejados de galvanizados”.
- NTE-QTL: “Cubiertas. Tejados de alienaciones ligeras”.
- NTE-QTP: “Cubiertas. Tejados de pizarra”.
- NTE-QTS: “Cubiertas. Tejados sintéticos”.
- NTE-QTT: “Cubiertas. Tejados de tejas”.
- NTE-QTZ: “Cubiertas. Tejados de zinc”.

#### *2.1.9. Albañilería*

Se refiere a la fábrica de bloques de hormigón, ladrillo o piedra, a tabiques o prefabricados y revestimientos de paramentos, suelos, escaleras y techos.

Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipos de origen industrial, control de ejecución en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son las que especifican las normas:

- NTE-FFB: “Fachadas de bloque”.
- NTE-FFL: “Fachadas de ladrillo”.
- NTE-EFB: “Estructuras de fábrica de bloque”.
- NTE-EFL: “Estructuras de fábrica de ladrillo”.
- NTE-EFP: “Estructuras de fábrica de piedra”.
- NTE-RPA: “Revestimiento de pavimentos. Alicatados”.
- NTE-RPE: “Revestimiento de pavimentos Enfoscados”.
- NTE-RPG: “Revestimiento de pavimentos. Guarnecidos”.
- NTE-RPP: “Revestimiento de pavimentos. Pinturas”.
- NTE-RPR: “Revestimiento de pavimentos.Revocos”.
- NTE-RSS: “Revestimiento de suelos y escaleras. Soleras”.
- NTE-RSB: “Revestimiento de suelos y escaleras. Terrazos”.

- NTE-RSP: “Revestimiento de suelos y escaleras. Placas”.
- NTE-RIC: “Revestimiento de techos. Continuos”.
- NTE-PIL: “Tabiques de ladrillo”.
- NTE-PTP: “Tabiques prefabricados”.

#### *2.1.10. Carpintería y cerrajería*

Se refiere a las condiciones de funcionalidad y calidad que han de reunir los materiales y equipos industriales relacionados con la ejecución y montaje de puertas, ventanas y demás elementos utilizados en particiones y accesos interiores. Asimismo, regula el presente artículo las condiciones de ejecución, medición, valoración y criterios de mantenimiento.

Se adoptará lo establecido en las normas NTE-PPA “Puertas de acero”, NTE-PPN “Puertas de madera”, NTE-PPV “Puertas de vidrio”, NTE-PMA “Mamparas de madera”, NTE-PML “Mamparas de aleaciones ligeras”.

#### *2.1.11. Aislamientos*

Los materiales a emplear para la ejecución de la instalación de aislamientos estarán de acuerdo con lo prescrito en la norma NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas en los edificios, que en su anexo 5 establece las condiciones de los materiales empleados para aislamiento térmico así como control, recepción y ensayo de dichos materiales, y en el anexo 6 establece diferentes recomendaciones para la ejecución de este tipo de instalaciones. Asimismo se ajustarán a la norma NBE-CA-81 sobre condiciones acústicas de los edificios y de las modificaciones contenidas en el R.D. 2115/1982 de 12 de Agosto.

La medición y valoración de la instalación de aislamiento se llevará a cabo de la forma prevista en el presente proyecto.

### *2.1.12. Red vertical de saneamiento*

Se refiere el presente artículo a la red de evacuación de aguas pluviales y residuos desde los puntos donde se recogen hasta la acometida de las redes del alcantarillado, así como medios de evacuación.

Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición valoración y mantenimiento son las establecidas en las normas:

- NTE-ISS: “Instalaciones de salubridad y saneamiento”.
- NTE-ISD: “Depuración y vertido”.
- NTE-ISA: “Alcantarillado”.

#### *2.1.1. Instalación eléctrica*

Los materiales de ejecución de la instalación eléctrica cumplirán lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja tensión y Normas MIBT complementarias. Asimismo, se adoptan las diferentes condiciones previstas en las normas:

- NTE-IEB: “Instalación eléctrica de baja tensión”
- NTE-IEI: “Alumbrado interior”
- NTE-IEP: “Puesta a tierra”.

### *2.1.13. Instalaciones de fontanería y abastecimiento*

Regula el presente artículo las condiciones relativas a la ejecución, materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento, a las instalaciones de abastecimiento de agua. Se adopta lo establecido en las normas:

- NTE-IFA: "Instalaciones de fontanería"
- NTE-IFC: "Instalaciones de fontanería. Agua caliente".
- NTE-IFF: "Instalaciones de fontanería. Agua fría".

#### *2.1.14. Instalaciones de climatización*

Se refiere este artículo a las instalaciones de ventilación refrigeración y calefacción. Se adoptan las condiciones relativas a funcionalidad y calidad de materiales, ejecución, control, seguridad en el trabajo, pruebas de servicio, medición, valoración y mantenimiento, establecidas en las normas:

- Reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas e Instrucciones MIIF complementarias".
- Reglamneto ASME sobre recipientes a presión y aparatos a presión.
- NTE-IC "Instalaciones de climatización".
- NTE-ID "Instalaciones de depósitos".
- Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria (RD 1618/1980 de 4 de julio).
- NTE-LSV: "ventilación".

#### *2.1.15. Instalaciones de protección*

Se refiere el presente artículo a las condiciones de ejecución de los materiales de control, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento, relativas a las instalaciones de protección contra fuego y rayos.

Se cumplirá lo prescrito en la norma NBE-CPI-81 sobre condiciones de protección contra incendios y se adoptará lo establecido en la norma NTE-IPP "Pararrayos".

#### *2.1.16. Obras o instalaciones no especificadas*

Si en el transcurso de los trabajos fuera necesario ejecutar alguna clase de obra no regulada en el presente Pliego de Condiciones, el contratista queda obligado a ejecutar, con arreglo a las instrucciones que reciba del Técnico Director quien, a su vez, cumplirá la normativa vigente sobre el particular. El contratista no tendrá derecho a reclamación alguna.

### **2.2. Los licitadores**

#### *2.2.1. Condiciones mínimas*

Las condiciones mínimas a cumplir por los licitadores serán las siguientes:

##### **2.2.1.1. Solvencia técnica**

Poseer solvencia técnica y especialización suficiente acreditada en la ejecución de obras o instalaciones del mismo tipo de la que es objeto este Proyecto, y llevadas a buen fin sin necesidad de recurrir a prórrogas injustificadas, obtenidas a petición del contratista o, en su caso, la homologación exigida por la Corporación.

##### **2.2.1.2. Maquinaria, medios auxiliares y personal competente**

Disponer de maquinaria, medios auxiliares, métodos de trabajo y personal competente, todos ellos adecuados al tipo de trabajos que es preciso ejecutar para la realización de este Proyecto.

#### 2.2.1.3. Solvencia económica

Poseer solvencia económica suficiente que garantice el cumplimiento de la oferta realizada.

#### 2.2.1.4. Cumplimiento de las obligaciones

Estar al corriente de todas las obligaciones que tenga contraídas respecto a otras obras adjudicadas y no estar incumpliendo en demora por la formalización de contrato alguno de adjudicación anterior por esta Corporación.

#### 2.2.1.5. Datos personales

Indicar domicilio y teléfono del licitador, en el Municipio que se sede de la Corporación convocante del Concurso, durante todo el período de tiempo que transcurra para la ejecución de las obras y plazo de garantía.

### 2.2.2 Ofertas

#### 2.2.2.1 Documentos

A la oferta económica global, se unirán los siguientes documentos:

- **PRESUPUESTO** de ejecución del total de la obra o instalación, formado por la relación valorada obtenida como aplicación de cada uno de los respectivos precios unitarios, a las mediciones del Proyecto correspondientes a cada unidad de obra, más las partidas alzadas. Este documento ha de estar desglosado en los mismos capítulos que figuren en el correspondiente documento de este Proyecto, con un resumen final de capítulos al que se añadirán los tantos por ciento de Gastos Generales, Beneficio Industrial, Impuestos, etc, que el licitador haya considerado en su oferta.



- **RELACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS** de las diversas categorías del personal y de los diferentes materiales que se han de utilizar en las unidades de obra que figura en este Proyecto, incluido en cada uno de ellos su transporte a pida de obra.
  
- **MARCA, TIPO Y HOMOLOGACIÓN** de todos los materiales que se propone utilizar en esta obra o instalación, los cuales no podrán ser sustituidos por otros, aunque sean equivalentes, una vez adjudicada la obra, si no es dando cumplimiento a lo especificado respecto a este particular en el Artículo 2.9.3. “Modificaciones de obra”.
  
- **PROGRAMA DE TRABAJO**, en el que se indicará específicamente el plazo máximo total en el que se compromete a la realización total de la obra o instalación, diferenciando claramente los plazos parciales que corresponden a los diversos tramos en que pueda estar dividida. Caso de que este plazo fuese menor que el previsto en este Proyecto, el licitador deberá tener en cuenta lo que respecto a esta circunstancia se especifica en los apartados “Reducción del plazo”, “Programa de trabajo del concursante” y “variantes” de estas prescripciones generales.
  
- **VARIANTES**. El licitador puede ofrecer variantes, tanto al Presupuesto, como al Programa de Trabajos y al Plazo de garantía y mantenimiento, teniendo presente que para que tales variantes puedan ser tenidas en cuenta al comparar las ofertas, han de justificarse en la forma que se indica en el apartado de “Garantías” y ajustarse a las condiciones establecidas en el apartado “Documentos”.

### 2.2.3 *Garantías*

Para garantizar que los licitadores cumplen las condiciones mínimas que se indican en 2.2.1 y contrastar la exactitud de la documentación que se exige en 2.2.2.1, se presentarán incluidos en la documentación de la oferta los siguientes escritos y certificados:

#### 2.2.3.1 Certificaciones de corporaciones

Certificaciones de ésta y otras Corporaciones para los que haya realizado trabajos similares. En estos certificados se especificarán el tipo y presupuesto de la instalación, fecha de su ejecución, cumplimiento de los plazos, y la total conformidad con el resultado de los trabajos y con el mantenimiento realizado durante el período de garantía.

#### 2.2.3.2 Relación del personal

Relación del personal técnico y subalterno que se compromete adscribir a la obra y que no podrá ser sustituido por otro, sin autorización del Director de la misma, teniendo presente que como mínimo se exigirá un Titulado de Grado Medio de las Especialidades correspondientes al tipo de obra o instalación de que se trate en el Proyecto.

#### 2.2.3.3 Relación de maquinaria y medios auxiliares.

Relación de la maquinaria y medios auxiliares que se compromete adscribir la obra, para la ejecución de las diferentes unidades de la misma, con indicación exacta del tipo y capacidad de cada máquina, y que no podrá sustituir sin la autorización expresa del Director.

#### 2.2.3.4 Solvencia económica

Para demostrar la solvencia económica suficiente se presentarán certificados que avalen la misma.

#### 2.2.3.5 Certificación de la corporación de no estar en demora

Para garantizar el estar al corriente de cualquier obligación contraída por adjudicación de obras y no estar incurso en demora por formalización de contrato, se presentará certificación de esta Corporación, en tal sentido.

#### 2.2.3.6 Marcas, tipos y homologaciones de materiales

De las marcas, tipos y homologaciones de los materiales, se acompañarán catálogos y certificados de pruebas y ensayos de los mismos, expedidos por Laboratorios Homologados, estando, en cuanto se refiere a las posibles sustituciones, a lo que se indica en el Apartado "Sustitución de materiales".

#### 2.2.3.7 Aprobación del programa de trabajo con reducción de plazo

Para el programa de trabajo presentado por el licitador, con una reducción de plazos de ejecución, será necesaria la aprobación del mismo por el Director, como ya se indica en el apartador 1.3.2."Reducción de plazo".

#### 2.2.3.8 Mayor plazo de garantía y mantenimiento

En el caso de que el licitador ofrezca un mayor plazo de garantía y mantenimiento, se valorará como una mejora de su oferta económica, en

función del importe anual asignado en el precio unitario correspondiente y el aumento del plazo ofrecido.

#### 2.2.3.9 Fianza provisional

Como garantía previa a la presentación de ofertas, habrá de constituirse una Fianza provisional para la contratación de las obras objeto del Proyecto.

#### 2.2.3.10 Seguros a suscribir

El licitador que resulte Adjudicatario del concurso deberá, además de estar al corriente de la Seguridad Social de sus trabajadores, responsabilizarse de que también lo estén los de todos los posibles subcontratistas. Asimismo deberá contratar, como mínimo, las siguientes pólizas de seguros:

- a. Una póliza cuyos riesgos específicos, entre los cuales ha de estar necesariamente incluido el de incendio, cubran el valor total de la obra y el conjunto máximo de máquinas, útiles y suministros que, de acuerdo con el programa de trabajo aceptado, se tenga previsto puedan ocurrir en cualquier momento del transcurso de los trabajos.
- b. Una póliza de responsabilidad por daños a terceros, que cubra esta eventualidad.

Tanto los riesgos específicos como el montaje económico que han de cubrir estas pólizas de seguros, se determinará por el Director, de acuerdo con las características particulares de cada obra.

#### 2.2.4 *Cesión y subcontratas.*

##### 2.2.4.1 Cesión

El licitador que resulte adjudicatario del concurso, no podrá hacer cesión del contrato, en todo o en parte, sin la expresa y fehaciente autorización de esta Corporación.

##### 2.2.4.2 Subcontratas

El licitador que resulte adjudicatario del concurso, podrá realizar partes no esenciales de la instalación por medio de subcontratistas, de acuerdo con lo que se especifica en el capítulo "De los subcontratistas".

### **2.3 *La evaluación de la oferta***

#### 2.3.1 *De las aclaraciones*

Los licitadores podrán solicitar verbalmente o por escrito, aclaraciones a las especificaciones, planos, precios y exigencias que figuran en los respectivos documentos de este Proyecto.

##### 2.3.1.1 Aclaraciones solicitadas verbalmente

Estas aclaraciones podrán ser solicitadas en cualquier momento, durante el plazo de presentación de ofertas, no haciéndose responsables ni los informantes ni la Corporación, de las interpretaciones que pueda hacer de las contestaciones recibidas el licitador solicitante.

Cuando se refieran a aspectos técnicos del Proyecto objeto del concurso: cálculos, memoria técnica, mediciones, precios, planos,

presupuestos, prescripciones generales, etc, deberán ser contestadas por el Director o, en su caso, el autor del Proyecto.

#### 2.3.1.2 Aclaraciones solicitadas por escrito

Las aclaraciones que se soliciten por escrito, deberán dirigirse al Presidente de esta corporación, quien, según el tipo de las mismas, recabará los informes pertinentes y contestará al solicitante también por escrito. Será por ello condición imprescindible para recibir la contestación, que en la solicitud se especifiquen con total claridad, además de las aclaraciones que se piden, los datos personales, el domicilio y el teléfono del solicitante, sin cuyos requisitos no se dará la petición por recibida.

Será también imprescindible el que sen presentador en el Registro de Entrada de la Corporación, con siete días de antelación al de finalización del plazo de presentación de ofertas.

La Corporación no admite responsabilidad alguna en el caso de que por causas de fuerza mayor, la contestación a las aclaraciones solicitadas por este medio no lleguen con la suficiente antelación a poder del solicitante, como para ser tenidas en cuenta en la presentación de su oferta.

#### *2.3.2 De los criterios de adjudicación*

Las proposiciones que sean declaradas admitidas, se pasarán a los servicios competentes de la Corporación, que las examinarán e informará a la misma acerca de las mayores o menores ventajas o garantías de las proposiciones presentadas.

La Corporación podrá declarar desierto el Concurso si así lo juzgase procedente, o adjudicarlo al licitador que estime más conveniente, aun cuando su proposición no sea la más ventajosa desde el punto de vista económico, sin

que nadie tenga derecho a formular reclamación alguna por ningún concepto, ni alegar motivo alguno de daño o perjuicio.

#### 2.3.2.1 Valoración previa de la oferta de un mayor plazo de garantía y mantenimiento

El ofrecimiento de un mayor plazo de garantía y mantenimiento se ponderará de acuerdo con lo especificado en 2.3.8 previamente a cualquier otra comparación, realizando su transformación en euros y aplicando su importe como baja resultante al presupuesto total de la instalación.

#### 2.3.2.2 Ponderación de los criterios

Teniendo presente lo que se especifica en el párrafo segundo del Artículo 2.2. anterior para la elección de la oferta que la Corporación pueda considerar más ventajosa, como norma general, y a título meramente orientativo para los licitadores, se indica a continuación el orden de prevalencia de los criterios con los cuales serán valoradas las distintas propuestas, partiendo de la base de que todas ellas han de cumplir, como mínimo, con el precio suministros y plazo que se especifican en los documentos de este Proyecto.

- Mejor precio.
- Mejor calidad de suministro.
- Menos plazo.

## **2.4 La contratación**

### *2.4.1 Adjudicación y presentación del Contratista*

#### 2.4.1.1 Adjudicación

Adjudicado definitivamente el Concurso convocado para la adjudicación de la obra o instalación del presente Proyecto, se notificará fehacientemente tal resolución al Contratista que resulte ser el adjudicatario. Se le requerirá asimismo para que presente el Documento que acredite haber constituido la fianza definitiva en la forma exigida en el Apartado 2.4.2.1.

#### 2.4.1.2 Presentación del Contratista y fecha de replanteo

Recibida por el Contratista la notificación de la adjudicación del Concurso a su favor dispondrá de un plazo de siete días para presentarse al Director, el que aprovechará esta ocasión para determinar conjuntamente la fecha en que habrá de realizarse el replanteo.

### *2.4.2 Formalización del Contrato*

#### 2.4.2.1 Fianza definitiva

El contratista está obligado a construir una fianza definitiva.

#### 2.4.2.2 Firma del Contrato

Una vez constituida la fianza definitiva, se procederá a la formalización del Contrato.



### *2.4.3 Duración del Contrato*

El Contratista y la Corporación quedarán mutuamente obligados por las cláusulas contractuales, independientemente de la fecha en que se firme el Contrato, a partir del día en que se efectúe el replanteo, fecha desde la que se empezará a contar el plazo de ejecución de la obra o instalación ofertado en su programa de trabajo, y consolidado de acuerdo con lo que se señala en el Apartado 3.2.2 “Modificación del Programa de Trabajo”, si se diesen las circunstancias en éste consideradas.

Esta mutua obligación contractual terminará el mismo día en que se realice la entrega de obra, de acuerdo con lo que se especifica en el apartado 5.3.3 “Liquidación”.

### *2.4.4 Sanciones*

#### *2.4.4.1 Por incumplimiento de plazos*

El Contratista estará obligado a cumplir tanto el plazo de iniciación de la obra o instalación, de acuerdo con lo estipulado en 3.2.1 “Comienzo de los trabajos”, como los plazos parciales y el total fijado en su programa de trabajo consolidado de acuerdo con lo que se especifica en 3.1.2 “Consolidación del Programa de Trabajo”.

La falta de cumplimiento de todos estos plazos por causas imputables al Contratista, podrá dar lugar a la imposición de penalidades.

#### *2.4.4.2 Incumplimiento de obligaciones durante la garantía*

Se considerarán faltas sancionables las actuaciones del Contratista que no se ajusten a lo especificado en el artículo 4.3.6 “Obligaciones durante la garantía”. Estas faltas se clasificarán en leves y graves.

Se considerarán faltas leves las que afecten a la calidad de la prestación sin que representen riesgos o peligro para las personas, animales o cosas, ni causen molestias a los vecinos del municipio.

Las faltas que exijan o produzcan gastos a la Corporación o supongan una reducción inadmisibles de la calidad de la prestación que debe exigirse a la obra o instalación ejecutada, serán calificadas como graves.

#### 2.4.4.3 Importe máximo de las penalidades

Por perjuicios ocasionados por demora, se establecen dos tipos de penalizaciones:

- Un porcentaje del valor total del suministro por unidad de tiempo (normalmente hasta un 10-15%).
- Una cantidad fija por unidad de tiempo.

Y por incumplimiento de garantías:

- Retención de la cantidad restante por pagar.
- Pago de un porcentaje establecido sobre los costes extra derivados del menor rendimiento de la instalación.
- Pago de todos los gastos originados por las modificaciones necesarias en la instalación hasta alcanzar las garantías ofrecidas.
- Compensación fija en metálico.

#### 2.4.5 Resolución del Contrato

La rescisión del Contrato suscrito por el Contratista y la Corporación puede producirse por incumplimiento de las obligaciones contractuales por parte del contratista, por parte de la Corporación o por mutuo acuerdo.

#### 2.4.5.1 Causas de resolución del Contrato por incumplimiento del Contratista.

- a. El incumplimiento de cualquier cláusula contenida en el Contrato autoriza al Director a exigir su estricto cumplimiento o bien proponer a la Corporación la resolución del Contrato.
- b. La extinción de la personalidad jurídica del contratista.
- c. La declaración de quiebra o suspensión de pagos del Contratista.
- d. El abandono o interrupción injustificada por el Contratista, durante un plazo superior a diez días, de la ejecución de la obra o instalación objeto del Contrato.
- e. Los retrasos imputables al Contratista, derivados del Artículo 2.4.1

#### 2.4.5.2 Causas de resolución del Contrato por incumplimiento de la Corporación

El incumplimiento por parte de la Corporación de las obligaciones contractuales podrá dar lugar a que, si el Contratista lo considera oportuno, solicite la rescisión del Contrato.

#### 2.4.5.3 Resolución del Contrato por un mutuo acuerdo

Cuando la resolución del Contrato obedezca al mutuo acuerdo de las partes, se estará, principalmente, a lo válidamente estipulado al efecto entre la Corporación y el Contratista.

#### 2.4.5.4 Gastos de la resolución

Cualquiera que sea la causa que motive la rescisión de gastos de liquidación así como los originados por la retirada del equipo, serán de cuenta del Contratista.

#### 2.4.5.5 Disposiciones en caso de resolución del Contrato

Si la rescisión es motivada por el incumplimiento del Contratista o por lo especificado en alguno de los apartados del apartado 2.4.5.1 anterior, se adoptarán las siguientes disposiciones:

- a. Incautación de la fianza y exigencia de indemnización por los daños y perjuicios causados a la Corporación, fijados y valorados en resolución motivada, atendiendo, entre otros factores, al retraso que implique para la inversión proyectada y a los mayores gastos económicos y administrativos que ocasione.
- b. Cuando la quiebra del Contratista sea culpable o fraudulenta, supondrá la pérdida de fianza.
- c. Cuando se produzca una suspensión de pagos del Contratista, y éste se halle en condiciones de ejecutar la obra o instalación, ofreciendo garantías suficientes a este fin, la Corporación podrá acordar la continuación provisional de los trabajos en tanto se mantengan las expresadas circunstancias.

En todos los casos de resolución del Contrato la ejecución de las garantías se producirá automáticamente, sin necesidad de acudir a los Tribunales de Justicia. Bastará para ello que la decisión resolutoria sea notificada mediante carta certificada con cuse de recibo.

### **3 LOS TRABAJOS**

#### **3.1. Las actuaciones previas**

##### *3.1.1 Consolidación del Programa de Trabajo.*

###### 3.1.1.1 Programa de Trabajo de la Oferta

El programa de Trabajo incluido en la oferta elegida por la Corporación quedará automáticamente consolidado, vinculando al Contratista a su exacto y total cumplimiento desde ese mismo momento.

- Modificación del Programa de Trabajo

Si el contratista cree que estas modificaciones afectan de tal manera a la ejecución de las obras que le obliga a reconsiderar el Programa de Trabajo ofertado, propondrá uno nuevo al Director, dentro del plazo máximo de siete días.

Revisado este nuevo documento por el Director, y una vez introducidas en el mismo las correcciones que juzgue oportunas, quedará consolidado y vinculará al Contratista a todos los efectos.

##### *3.1.2. Autorizaciones*

###### 3.1.2.1. Autorizaciones locales

La Corporación facilitará los permisos y licencias de su competencia que les sean exigibles al Contratista para la ejecución de las obras.

### **3.2 Plazo de realización**

#### *3.2.1 Comienzo de los trabajos*

Se iniciarán los trabajos dentro del plazo de las 48 horas siguientes a la fecha con que se haya firmado la consolidación del Programa de Trabajo.

#### *3.2.2 Orden de los Trabajos*

El contratista deberá ejecutar las obras con ritmo regular y sin interrupciones, excepto cuando se den circunstancias como las que se contemplan en el apartado siguiente, para terminarlas de acuerdo con lo especificado en el Programa de Trabajo.

Las interrupciones y los retrasos autorizados en los trabajos podrán ser:

- a. Por causas de fuerza mayor.
- b. Por orden o con autorización del Director.

Si la interrupción o retraso en los trabajos son imputables exclusivamente al Contratista, éste no tendrá derecho a reclamar ningún tipo de aumento de plazo, precio o indemnización, y estará sometido, en todo, a las responsabilidades, exigencias y penalidades especificadas en los documentos contractuales.

#### *3.2.3 Medidas a adoptar en caso de interrupción.*

En cualquiera de los supuestos de interrupción de los trabajos que se contemplan, se tomarán por el Contratista, y a su costa, las medidas precisas para no causar molestias, peligros o accidentes durante el período de interrupción de los mismos.

Asimismo, tomará todas las medidas necesarias para evitar la degradación o destrozos de los trabajos en curso o en los ya ejecutados, teniendo presente que todos los desperfectos que hayan podido ocasionar durante estas interrupciones habrán de ser reparados a su costa.

Caso de que el Contratista no tomase estas medidas de seguridad, se adoptarán por el Director las medidas de urgencia que considere oportunas.

### **3.3 Los Subcontratistas**

Como ya queda expuesto en 2.2.3.10, el adjudicatario de la licitación podrá realizar trabajos no esenciales de la obra o instalación mediante subcontratistas.

#### *3.3.1 Subcontratistas del Adjudicatario*

Tras la adjudicación provisional, el Contratista deberá someter al Director y obtener de él la aprobación de la lista completa de Subcontratistas, detallando sus datos empresariales, partes de la obra o instalación a ejecutar por cada uno de ellos, sus referencias, etc.

#### *3.3.2 Bajas y altas de Subcontratistas*

La modificación por baja o adición de alguno/s de los subcontratistas consignados en la lista inicial, podrá hacerse a petición del Contratista o por exigencia del Director, pero siempre previa autorización expresa de este último.

### *3.3.3. Actualización de la lista de Subcontratistas*

El Contratista estará obligado a mantener actualizada la lista de Subcontratistas, estando. Además deberá suministrar a requerimiento del Director cualquier información aclaratoria o suplementaria acerca de los Subcontratistas.

### *3.3.4. Autoridad sobre los Subcontratistas*

El Contratista es responsable de todo acto de los Subcontratistas, estando, en consecuencia, investido de la suficiente autoridad para la coordinación y eficacia de los trabajos.

### *3.3.5. Actuación de los Subcontratistas*

Los Subcontratistas están obligados al estricto cumplimiento de todas las estipulaciones del Contrato, tanto en lo que se refiere a su actuación como a su personal. En ningún caso podrán alegar desconocimiento de las mismas.

### *3.3.6. Responsabilidad de los Subcontratistas*

Las responsabilidades de todo tipo por parte de los Subcontratistas: calidad de ejecución, disciplina del personal, cumplimiento de plazos, etc, será asumida por el Contratista ante el Director. En consecuencia, el Contratista, y no cualquiera de los Subcontratistas será el único válido para el Director, y el solo responsable de los incumplimientos de plazos, defectos de obra, etc, de los Subcontratistas, ante la Corporación.



### **3.4 El personal**

#### *3.4.1 Representación facultativa del Subcontratista*

El Contratista está obligado a nombrar un Representante Facultativo debidamente autorizado, ante el Director, que deberá aprobar este nombramiento. Dicha persona será el único interlocutor válido y deberá tener suficientes poderes de parte del Contratista para que su capacidad legal y formal le permita tratar todas las contingencias surgidas en la ejecución, así como la rápida toma de decisiones.

Dicho Representante deberá concurrir, sin excusa, a las reuniones, con tal que se le convoque con un mínimo de veinticuatro horas, y siempre a las visitas a la obra programadas.

#### *3.4.2. Encargado de Obra*

El Contratista deberá designar un Encargado de Obra, cualificado, experimentado y competente en su tarea, y que haya sido aceptado explícitamente por el Director.

#### *3.4.3. Personal Laboral*

##### *3.4.3.1. Capacidad*

El Contratista dispondrá del personal necesario y capacitado para la ejecución de las obras que hayan de realizar. La incapacidad de un trabajador, suficientemente constatadas por defectos en el trabajo realizado, facultará al Director a prescindir del mismo y exigir su sustitución.

#### 3.4.3.2. Identificación

Todo el personal del Contratista asignado permanentemente a la obra deberá estar adecuadamente documentado mediante tarjetas de identidad plastificadas, que serán facilitadas y firmadas por el Contratista y con el visto bueno de la Corporación. Las tarjetas se ajustarán al modelo establecido por la Corporación y en ellas deberá constar la filiación, el número de la plantilla, la clasificación profesional u otros datos que se estimen pertinentes.

#### 3.4.3.3. Revisión médica

El personal conductor de vehículos o que maneja máquinas o aparatos deberá someterse a los exámenes médicos reglamentarios.

#### 3.4.3.4. Material de Seguridad

Tanto la previsión como las características del material de seguridad estarán de acuerdo con las disposiciones legales vigentes indicadas en 2.4.6.

Para la protección personal, los trabajadores irán provistos de las prendas, calzado y cascos exigidos para las actividades que desarrollen.

#### 3.4.3.5. Comportamiento

El personal, tanto del Contratista como de los Subcontratistas, deberá mantener entre sí y con el Director unas buenas relaciones y cooperación, que permitan la marcha eficaz de los trabajos.

#### *3.4.4. Legislación laboral*

Serán de obligado cumplimiento todas aquellas disposiciones del ámbito laboral que estén vigentes y sean de aplicación los trabajos contratados.

#### *3.4.5. Seguridad e higiene*

Se cuidará por todas las partes el estricto cumplimiento de las prescripciones de seguridad e higiene en el trabajo que sean de aplicación.

#### *3.4.6. Facultades del Director*

El Director tendrá autoridad sobre todo el personal del Contratista e incluso podrá dar instrucciones directas a personas distintas del Representante y del Encargado, siempre que sean para evitar un perjuicio a la calidad o la marcha de los trabajos. En este último caso citado, el Director estará obligado a informar lo más pronto posible al Representante o al Encargado de obra de las órdenes dadas.

La línea de autoridad del Director se extenderá no sólo a la obra, sino que deberá tener acceso a todas aquellas dependencias del Contratista y de los Subcontratistas, cuyo control permita asegurar la calidad de la obra. Esta exigencia se extenderá también a aquellos suministradores que se vena afectados por alguno de los controles establecidos en las presentes Prescripciones.

### **3.5 Inspección por la dirección**

El jefe de Proyecto deberá realizar inspecciones frecuentes a la obra para lo cual el Contratista deberá tener en la obra, como mínimo, de entre los Documentos, los siguientes:

- Un ejemplar completo del Proyecto objeto de contratación.
- Aquellos documentos gráficos y escritos que hayan sido afectados por los cambios introducidos, de forma que se registren inequívocamente dichas alteraciones.
- Avance hasta el día del Programa de los trabajos aceptado en la contratación.

En relación con las visitas de inspección del Director, se tendrán en cuenta las posibles incidencias que se dan a continuación.

- Para la ejecución de todas aquellas operaciones: cimientos, rellenos, pilotaje, etc, cuya terminación impida o dificulte el controlar otras unidades de obra o instalación que queden ocultas, el Contratista deberá avisar con suficiente antelación al Director para que éste pueda efectuar los controles pertinentes.
- Durante la realización de las obras, el Director podrá efectuar, independientemente de lo indicado para la recepción, comprobaciones, mediciones y ensayos para constatar que la calidad y adecuación coinciden con las calidades especificadas en el Proyecto.

A título enunciativo y como más usuales, se indican las siguientes medidas, ensayos, controles y comprobaciones, dentro de las de posible realización:

- a. Comprobación de tierras.
- b. Ensayos de comprobación de firmes.
- c. Comprobaciones mecánicas sobre la posición y vericalidad de los equipos.
- d. Calidad de las diversas conexiones.
- e. Ensayos de las tuberías.

### **3.6 Las obligaciones generales del Contratista**

#### *3.6.1 Adecuación de los medios*

El contratista deberá poder demostrar, en cualquier momento en que sea requerido a ello, que todos los elementos, vehículos, maquinaria, etc, que utiliza en los trabajos, cumplen con las prescripciones de seguridad y reglamentos que sean exigibles, así como que han sido sometidos a cuantas inspecciones sean preceptivas. Igualmente, las personas que manejan dichos elementos, vehículos, maquinaria, etc, deberán estar en posesión de las autorizaciones necesarias para poder hacer uso de los mismos.

Siempre que no se verifique alguna de las circunstancias expuestas en este apartado, el Director podrá prohibir la utilización o empleo de dichos elementos, vehículos, maquinaria, etc, sin que ello de lugar a ninguna indemnización, ni a modificación del plazo de ejecución.

#### *3.6.2. Coordinación y colaboración*

Si en la obra se encuentran trabajando alguna o varias Empresas adjudicatarias de otros trabajos diferentes a los regulados por las presentes Prescripciones, el Contratista deberá mantener una total coordinación con aquéllas. Con tal fin no sólo llevará a cabo sus trabajos de forma que evite dificultar la marcha de los restantes Contratistas, sino también prestará su colaboración y dará todas las facilidades que sean razonables para la realización de las demás obras, de modo que se eviten interferencias entre los equipos respectivos, debiendo seguir en todo momento las indicaciones que, al respecto, reciba del Director.

### *3.6.3. Medidas de urgencia*

Si durante la ejecución de los trabajos e incluso hasta la terminación del plazo de garantía, sobreviene alguna circunstancia que, a juicio del Director, requiere la adopción de medidas de urgencia para la protección de los ciudadanos, de los propios trabajos o de los elementos o edificios circundantes a las obras, el Contratista deberá adoptarlas inmediatamente a sus expensas. En caso de que ello no le sea posible, el Director podrá tomar las medidas que estime necesarias, siendo los gastos que se originen a cargo del Contratista, a quien se le deducirá su importe de las cantidades que se le adeude o haya de percibir.

### *3.6.4. Calidad de los trabajos*

El Contratista deberá ejecutar tanto la obra o instalación como los suministros de los materiales y componentes, el transporte, montaje, conservación y mantenimiento de los mismos, conforme a los Documentos y al Proyecto, referido todo ello a la oferta concreta que le haya sido adjudicada.

La ejecución de los trabajos se ajustará a lo que se considera buena práctica, para lo que el Contratista estará obligado a realizar cuantas obras menores complementarias sean usuales y necesarias.

### *3.6.5. Garantía de las obras*

El Contratista será el responsable de los defectos que puedan observarse durante el desarrollo de las obras o instalaciones, y hasta el momento de su recepción definitiva, tanto en los materiales empleados.

### *3.6.6. Detección de fallos o defectos en servicio*

Si el Contratista, al realizar sus trabajos, observa la existencia de fallos o defectos ajenos por completo a las obras, en las instalaciones de cualquier servicio público, deberá notificar inmediatamente al Director las deficiencias observadas, a fin de que éste las ponga en conocimiento de los responsables del servicio afectado.

En caso de comprobarse que el Contratista no hubiera facilitado ninguna información al respecto y los fallos citados se detectaran posteriormente, podrían serle éstos imputados, estando obligado a responder de ellos en la forma señalada en el artículo 3.7.

## **3.7 La responsabilidad del contratista por daños**

### *3.7.1. Al persona y pertenencias del Contratista y Subcontratistas*

El Contratista será el único y total responsable de los daños, situaciones perjudiciales o accidentes que sobrevengan a las personas y bienes, tanto de su propia empresa y de su personal, como de las diferentes empresas que haya subcontratado para la realización de los trabajos.

### *3.7.2 En las propias obras*

Igualmente el Contratista será el único y total responsable, a efectos de su subsanación y reparación, de los daños en los suministros, obras e instalaciones que puedan ser ocasionados por terceros, no sólo durante la ejecución de los trabajos, sino también durante el período de garantía, incluyendo los producidos por robos, accidentes, etc. Únicamente se le examinará de esta responsabilidad, cuando los daños hayan sido motivados por causas definidas legalmente como de fuerza mayor.

Con independencia de lo anterior, el Contratista deberá informar a la Corporación de los hechos ocurridos, a fin de que la Administración pueda ayudar a aquél en el esclarecimiento de las circunstancias habidas, a la vez que colabore en el logro de las indemnizaciones que, por lo sucedido, puedan corresponder al Contratista.

### *3.7.3 A propiedades de la Corporación*

El Contratista habrá de adoptar todas las medidas necesarias para que no se produzcan daños en propiedades, bienes y equipamientos municipales, incluidos árboles, arbustos, jardines, mobiliario urbano, etc, ni desaparezcan referencias o indicaciones que, con diversas finalidades, estén señaladas o colocadas en la zona en la que se vayan a realizar los trabajos, debiendo notificar, en todo caso, al Director de los peligros que se corran sobre su integridad o conservación.

Si, a pesar de ello, llegara a ocasionarse, bien por el Contratista o por los Subcontratistas, cualquier tipo de daños, éstos serán de la única y total responsabilidad del Contratista, debiendo informar inmediatamente sobre los mismos al Director, quien determinará si la reparación la efectúa la propia Corporación, a costa del Contratista, o si éste último el que debe proceder a la reparación, dentro del plazo que le sea fijado por el Director.

### *3.7.4 A terceros*

Hasta la recepción definitiva de las obras, el Contratista será el único responsable de los daños que, como consecuencia de los trabajos realizados, se ocasionen a terceros, haciéndose cargo de cuantas reclamaciones pueda sufrir la Corporación, tanto de forma inmediata como por vía judicial, derivadas directa o indirectamente de la ejecución de las obras contratadas, de la falta de mantenimiento durante el período de garantía o de la deficiente calidad de los materiales.



El Contratista hará frente a las indemnizaciones que hubiera que abonar por las causas citadas incluyendo cuantos intereses tuvieran derecho a percibir los damnificados, así como los gastos que se hubieran producido con tal motivo.

#### **4. LAS ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS**

##### **4.1. Los suministros**

###### *4.1.1. Por Parte del Contratista*

El Contratista, de acuerdo con lo especificado en 2.1 suministrará, salvo indicación en contra expresa en los documentos, todos los materiales que se mencionen en los mismos, así como cualquier otro componente que sea necesario para la correcta terminación de los trabajos.

Si alguno de dichos materiales no responde a las condiciones de calidad exigidas a otros criterios que puedan afectar a la correcta ejecución de los trabajos, o no se ajustan a las prescripciones y exigencias del presente Proyecto, el Director estará facultado para rechazarlos aun después de haber sido puestos en obra, y para exigir su inmediata sustitución por otros elementos de características adecuadas.

###### *4.1.2. Por Parte de la Corporación*

En los casos en que la Corporación deba facilitar algún o algunos tipos de materiales, porque así se haya hecho constar en los Documentos o Contrato, el Contratista deberá retirarlos de los almacenes de la Corporación o lugar en que se encuentren los mismos, mediante el oportuno control, siendo a su cargo todos los gastos que por su carga, transporte y descarga se originen. Igualmente responderá de cuantos daños y accidentes, incluidas pérdidas,

robos, etc., puedan sufrir estos materiales, desde el momento en que hayan sido puestos a su disposición.

Si el Contratista hubiera retirado de los almacenes de la Corporación una cantidad de material superior a la que realmente utilice en el transcurso de los trabajos, lo que se podrá comprobar mediante las mediciones pertinentes, deberá reintegrar a dichos almacenes, en el plazo máximo de una semana a partir de la terminación de las obras o instalaciones, el exceso de material sacado de los mismos respecto al utilizado. En caso de que no lo efectúe o que el material devuelto llegue deteriorado se cargará su importe o el daño producido al Contratista, descontándolo de las cantidades que haya de percibir con cargo a la obra ejecutada.

#### *4.1.3. Transporte y entrega*

El transporte de todos los suministros desde origen o almacén, a pie obra, así como las operaciones de carga y descarga de los mismos, serán por cuenta y bajo la total responsabilidad del Contratista, debiendo estar incluidos en su oferta los correspondientes importes.

Igualmente serán a cargo del Contratista todos los daños que puedan sufrir los materiales en las citadas operaciones, pudiendo ser rechazadas por el Director si observa que la entrega de los mismos no ha sido realizada en las debidas condiciones o que se ha efectuado de manera que no permita asegurar el correcto funcionamiento posterior de las obras o instalaciones realizadas con estos materiales.

No podrá justificar el Contratista un aplazamiento en el suministro de materiales, alegando la ausencia o avería de sus propios medios de transportes ya que en caso de no disponer de los mismos en número suficiente y en el momento adecuado, deberá alquilar o subcontratar el servicio de transporte, si ello resultara necesario.

## **4.2. *Retirada de materiales innecesarios***

### *4.2.1. Desmontaje*

Todos los materiales innecesarios que existan o pertenezcan a obras o instalaciones antiguas que queden fuera de servicio a partir del funcionamiento de la obra o instalación de este Proyecto, serán cuidadosamente desmontados por el Contratista a sus expensas, siempre que ello sea posible y previsto en el Proyecto una partida económica con esta finalidad.

El Contratista será el único responsable de cuantos daños puedan producirse con motivo de dicho desmontaje en inmuebles, vehículos, peatones, vías públicas, zonas privadas, etc., debiendo reparar o indemnizar a su costa los desperfectos o daños que hubiera producido.

### *4.2.2. Entrega y recepción en almacenes de la Corporación*

Salvo indicación en contra, todos los materiales desmontados serán cuidadosamente trasladados por el Contratista en las debidas condiciones, sin falta de deterioro alguno, a los almacenes de la Corporación, siendo aquel responsable de cuantos daños o accidentes, incluidas pérdida, robos, etc., puedan sufrir los citados materiales, hasta el momento de la entrega.

Una vez efectuada ésta el Contratista podrá exigir de los empleados de los almacenes de la Corporación un recibo que justifique la entrega de dichos materiales, quedando libre de toda responsabilidad sobre los mismos, a partir del momento en que se extienda el recibo indicado.

### **4.3. Recepción de las obras**

#### *4.3.1. Puesta en servicio provisional*

Cuando sea posible, y en caso de que lo juzgue necesario, el Director podrá exigir la puesta en servicio de parte o la totalidad de la obra o instalación sin que ello suponga ninguna clase de aceptación ni, claro está, una recepción provisional de la misma. El Contratista será responsable de todos los defectos y vicios que posteriormente puedan observarse e, incluso, de aquellos que se manifiesten como consecuencia de su puesta en servicio o sean agravados por ella.

El Contratista será responsable de que la obra o instalación puesta en servicio satisfaga las exigencias de los Documentos si, previamente, no ha comunicado al Director los aspectos que no cumple. Si la indicada puesta en servicio obliga a realizar alguna obra complementaria o instalación provisional, el Contratista será responsable de que cumpla con las exigencias de la normativa incluida en 1.1.5 que le afecte. Asimismo serán de su responsabilidad los trabajos exigidos para impedir que puedan ofrecer peligro las partes de la obra o instalación que no se utilicen o sean accesibles a personas ajenas a la obra.

La duración del servicio provisional y, por tanto, las exigencias establecidas en este Artículo, concluirán una vez que el Contratista comunique al Director que la obra o instalación está totalmente concluida.

#### *4.3.2. Puesta en servicio para pruebas*

Una vez terminada totalmente la obra o instalación el Contratista informará al Director de la conclusión de los trabajos. El Director indicará la fecha en que debe ponerse en servicio la obra o instalación, así como el día en

que se realizarán las diversas pruebas y ensayos previos a la recepción provisional.

#### *4.3.3. Medidas y comprobaciones previas a la recepción provisional*

Antes de la recepción provisional se efectuarán las pruebas y ensayos que se estimen convenientes por parte del Director.

Al concluir cada medición o prueba, se redactará un Acta con los resultados obtenido, que será firmada por el Director y el representante del Contratista. Una vez concluida la última, y dentro de las 48 horas siguientes, el Director indicará al Contratista la fecha de la Recepción Provisional, que se efectuará dentro de los 7 días naturales siguientes al fin del plazo antes señalado, o en caso contrario la lista de los trabajos o materiales no aceptables o no completamente concluidos, y que deben ser corregidos.

#### *4.3.4. Puesta a punto*

El Contratista deberá hacer las correcciones que el Director le haya indicado y concluirá las mismas en un plazo no superior al que éste le señale, a partir de la fecha en que se le haya comunicado. A todos los efectos, el tiempo que transcurra desde esta fecha hasta que el Contratista vuelva a informar al Director que la obra o instalación está totalmente concluida, se considerará como retraso no autorizado. Durante este tiempo, será potestativo del Director el mantener la obra o instalación en servicio, o no.

Una vez que el Contratista haya informado que las obras, modificaciones o reparaciones han sido concluidas, se efectuarán las mediciones y pruebas necesarias para efectuar la Recepción provisional.

Si nuevamente se observase que existían en la obra o instalación trabajos o materiales no aceptables, la Corporación podrá encargar a otra empresa su corrección, cuyo coste será descontado de las certificaciones correspondientes.

#### *4.3.5. Recepción provisional*

Antes de firmar el Acta de recepción provisional de la obra o instalación, el Contratista entregará al Director aquellos planos, esquemas, etc., de los Documentos que hayan sido variados, en los que se recojan las modificaciones realizadas. Dada la conformidad por el Director al estado de la obra o instalación, se firmará un Acta en el que se indicará si la obra o instalación se realizó en el plazo previsto o, en su caso, se hará constar el retraso sancionable, calculado de acuerdo con lo especificado en 2.4.4.1.

#### *4.3.6. Obligaciones durante la garantía*

Hasta que hayan transcurrido 12 meses, o en su caso, el plazo indicado en la oferta aceptada por la Corporación, desde la firma del Acta de Recepción provisional de la obra o instalación, el Contratista deberá conservarla en buen estado y funcionamiento. Para ello habrá de reparar toda avería o desperfecto que se produzca durante este período de tiempo.

El Director fijará el plazo en que debe ser ejecutada la reparación y podrá exigir que se tomen medidas para que la obra o instalación preste servicio, total o parcialmente, de forma provisional. El Contratista podrá subcontratar los trabajos que deberán realizarse durante el período de garantía, en las condiciones establecidas en el Capítulo 2.3.

Si el Contratista no cumpliera alguna de las anteriores exigencias, el Director podrá hacer ejecutar los trabajos correspondientes a otra Empresa, descontado su costo de la certificación, sin que el Contratista tenga derecho a efectuar ninguna reclamación.

#### *4.3.7. Medidas y comprobaciones previas a la recepción definitiva*

Si durante el periodo de garantía la obra o instalación se comporta o funciona de forma normal, una semana antes de que transcurra el plazo de garantía se efectuarán las pruebas y mediciones establecidas en el punto 5.1.

Al concluir la última medición o prueba, se redactará un Acta con los resultados obtenidos que será firmada por el Director y el Representante del Contratista. Antes de transcurridas cuarenta y ocho horas de la firma del Acta, el Director indicará por escrito la fecha de la recepción definitiva o, en otro caso, le facilitará por escrito la lista de los trabajos o reemplazamientos que debe efectuar antes de dicha recepción.

Si durante el periodo de garantía la obra o instalación se comporta o funciona de forma inadecuada y, por tanto, el Director considera que deben efectuarse algunas reparaciones, sustituciones, modificaciones, etc., facilitará al Contratista los trabajos precisos que debe efectuar, y una vez concluidos éstos, se procederá igual que si la obra o instalación hubiese funcionado correctamente.

#### *4.3.8. Recepción definitiva*

Una vez que mediante el pertinente informe previo, el Director dé su conformidad al estado de la obra o instalación, éste, conjuntamente con su Representante y el Secretario General de la Corporación, y el Contratista, procederán a efectuar la recepción definitiva de la misma, después de haber comprobado que no hay ninguna reclamación pendiente al Contratista, por parte de la Corporación ni de terceros. Para ello indicará al Contratista la fecha en la que se firmará el Acta de recepción definitiva, que supondrá la aceptación y aprobación total de la obra o instalación.

Al Acta se unirá un escrito del Contratista en el que éste certifique no existe ninguna reclamación pendiente relacionada con la obra o instalación que se recibe.

#### *4.3.9. Devolución de la fianza*

Firmada el Acta de recepción definitiva, el Contratista podrá retirar la fianza, efectuando los trámites correspondientes, de acuerdo con lo especificado en los Documentos.

## **5. CERTIFICACIONES Y LIQUIDACIÓN DE LA OBRA**

### **5.1. Las mediciones**

#### *5.1.1. Realización*

A petición por escrito del Contratista podrán realizarse mediciones parciales al origen, de la parte, o partes, de la obra o instalación que se haya realizado durante un periodo de tiempo no inferior a un mes.

La realización de la medición total de la obra o instalación ejecutada se comenzará dentro de las cuarenta y ocho horas, contadas a partir de la fecha con que se haya firmado el Acta de Recepción Provisional.

#### *5.1.2. Actuación del Contratista*

Las mediciones serán efectuadas por el personal del Contratista y con sus propios medios, salvo decisión en Contrato del Director, quien supervisará y controlará su realización.



Una vez concluidas las mediciones, en cada caso se redactará un Acta firmada conjuntamente por el Director y el Contratista o su Representante Facultativo, y en ella se indicarán los resultados obtenidos. A este Acta se unirá un plano en el que se indiquen claramente los trabajos, materiales o instalaciones que han sido incluidos en las respectivas mediciones.

## **5.2. De los conceptos y redacciones de los precios**

### *5.2.1. Concepto de los precios*

Los precios unitarios establecidos en el Proyecto incluyen no sólo los costos correspondientes a cada uno de los diversos conceptos, sino, además, todos los gastos que ocasionen los suministros y trabajos que con carácter general exija la construcción de la obra o la implantación de la instalación tales como seguros, ensayos previos, mediciones, pruebas en obra, retirada del material sobrante, etc, y en su caso, los ocasionados por la actuación del Contratista, por ejemplo daños a terceros.

Además incluirán todos los costes empresariales tales como gastos generales, amortización, impuestos, gastos ocasionados durante el plazo de garantía, etc. En resumen, el Contratista no podrá reclamar, por ningún motivo, el pago de otros conceptos distintos de los correspondientes a los precios unitarios establecidos en el Cuadro de Precios del Proyecto, excepto los ocasionados por los imprevistos y modificaciones aprobados por el Director.

### *5.2.2. Precios Contradictorios*

Si como consecuencia de las órdenes dadas por el Director, el Contratista efectuase trabajos, partidas alzadas a justificar y/o suministros no previstos en los Documentos, o que, aun estando previstos, hubiesen de

realizarse fuera de la jornada laboral, es decir, fuera del horario normal de trabajo o en días festivos, se redactarán los oportunos Precios Contradictorios.

#### *5.2.3. Revisión de Precios*

Para obtener los diversos coeficientes que han de aplicarse a los diferentes precios, se sustituirán en la o las fórmulas polinómicas oficiales que sean de aplicación, los índices oficialmente publicados.

Dejará de tener efecto este derecho reconocido al Contratista en el instante en que agote el plazo de ejecución que figure en el Programa de Trabajo consolidado de acuerdo con lo que se especifica en 3.2, incrementando en las ampliaciones de plazas debidas a interrupciones o retrasos autorizados, contemplados en 3.2.3.

#### *5.2.4. Retenciones*

Al redactar las certificaciones y para el período que comprenda cada una de ellas, se descontarán las sanciones o penalizaciones a que hubiera lugar, de acuerdo con lo especificado en el artículo 2.4.4. "Sanciones", y también a los costos de las actuaciones que se haya visto obligada a realizar la Corporación por sí misma o por medio de otro Contratista, para evitar que por negligencias o faltas cometidas por el Contratista puedan ser afectados terceros o la propia Corporación.

### **5.3. Condiciones de pago**

#### *5.3.1. Pago inicial*

Al inicio de obras se abonará al Contratista un 5% del presupuesto total.

### *5.3.2. Certificaciones a cuenta*

Por aplicación de los precios unitarios correspondientes a cada una de las unidades de obra o instalación, que se incluyan en las mediciones realizadas de acuerdo con lo establecido en 4.2., el Director podrá redactar Certificaciones a cuenta, a petición por escrito del Contratista.

En estas Certificaciones sólo se incluirán aquellos trabajos y/o suministros que correspondan a las unidades de obra especificadas en los Documentos o que hayan sido objeto de un precio contradictorio ya aprobado y que estén totalmente acabadas.

En cada Certificación a cuenta, se deberán descontar las retenciones y penalizaciones a que se haya hecho acreedor el Contratista, de acuerdo con lo especificado en 4.4.4.

En el caso de que haya que efectuar descuentos por dichos conceptos, en la Certificación a cuenta correspondiente no se incluirá, a criterio del Director, más que el 80-90% de los suministros o trabajos realmente realizados.

Estas Certificaciones serán efectuadas, como las mediciones correspondientes, al origen, y siempre a cuenta de la liquidación. Estas Certificaciones supondrán un 80% del presupuesto total.

### *5.3.3. Certificación a la recepción provisional*

Una vez firmada el Acta de Recepción Provisional, cumplimentando lo señalado en 4.3.5., se redactará la Certificación correspondiente a la obra o instalación realmente realizada.

A la entrega de esta Certificación se abonará el resto de la cantidad que quede hasta el 80% contemplado en el apartado anterior. De este importe se descontará el valor de las penalizaciones aplicables al Contratista desde la última Certificación, así como que se hubieren incluido en las Certificaciones a cuenta. El valor resultante será el importe total de esta Certificación.

#### *5.3.4. Liquidación*

Una vez efectuada la puesta en marcha, especificada en la Memoria Técnica, y la posterior recepción definitiva de la obra se realizará su Liquidación Total, para lo cual se abanará el restante 15% del Presupuesto Total.

Si la cantidad resultase negativa, la Corporación retendrá su importe de la Fianza depositadas por el Contratista.

## **II. CONDICIONES DE EQUIPOS**

### **1. INTRODUCCIÓN**

En el pliego de condiciones particulares se concretan las especificaciones técnicas que deben satisfacer los distintos equipos para que sean aceptados en el presente Proyecto. A continuación se describen los equipos requeridos diseñados ó de adquisición directa por compra, que deberán formar parte de la instalación, agrupados por grupos, y que corresponden a la solución definida en la Memoria de Cálculo. Se rediseña lo considerado imprescindible o mejorable de la Memoria de Cálculo, manteniéndose el resto de lo calculado, si bien, con los complementos propios que permiten su definición y valoración.

## 2. LISTADO DE EQUIPOS

### 2.1 Tanques de almacenamiento de materias primas

➤ *Almacenamiento de metanol T-01*

|                        |                    |
|------------------------|--------------------|
| <b>Volumen</b>         | 7,5 m <sup>3</sup> |
| <b>Diámetro</b>        | 1,85 m             |
| <b>Altura</b>          | 2,780 m            |
| <b>Espesor carcasa</b> | 6 mm               |
| <b>Espesor fondo</b>   | 6 mm               |
| <b>Soportes</b>        | Fondo plano        |
| <b>Material</b>        | SA-283-C           |

➤ *Mezclador metanol puro y recirculado T-05*

|                        |                    |
|------------------------|--------------------|
| <b>Volumen</b>         | 3,2 m <sup>3</sup> |
| <b>Diámetro</b>        | 1,395 m            |
| <b>Altura</b>          | 2,093 m            |
| <b>Espesor carcasa</b> | 6 mm               |
| <b>Espesor fondo</b>   | 7 mm               |
| <b>Soportes</b>        | Fondo plano        |
| <b>Material</b>        | SA-283-C           |

➤ *Almacenamiento de aceite de colza T-02*

|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| <b>Volumen</b>         | 3,2 m <sup>3</sup>     |
| <b>Diámetro</b>        | 2,95 m                 |
| <b>Altura</b>          | 4,42 m                 |
| <b>Espesor carcasa</b> | 8 mm                   |
| <b>Espesor fondo</b>   | 8 mm                   |
| <b>Soportes</b>        | 4 Patas Perfil IPN-100 |
| <b>Material</b>        | SA-283-C               |

**2.2. Tanques de almacenamiento de productos.**

➤ *Almacenamiento de biodiesel T-03*

|                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| <b>Volumen</b>         | 60 m <sup>3</sup> |
| <b>Diámetro</b>        | 2,95 m            |
| <b>Altura</b>          | 5,56 m            |
| <b>Espesor carcasa</b> | 10 mm             |
| <b>Espesor fondo</b>   | 10 mm             |
| <b>Soportes</b>        | Fondo plano       |
| <b>Material</b>        | SA-283-C          |

➤ *Almacenamiento de glicerina T-04*

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| <b>Volumen</b>         | 14 m <sup>3</sup>       |
| <b>Diámetro</b>        | 2,282 m                 |
| <b>Altura</b>          | 3,423 m                 |
| <b>Espesor carcasa</b> | 7 mm                    |
| <b>Espesor fondo</b>   | 7 mm                    |
| <b>Soportes</b>        | 4 Patas. Perfil IPN-100 |
| <b>Material</b>        | SA-283-C                |

**2.3. Reactores**

➤ *Reactor principal*

|                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Volumen</b>                   | 0,20 m <sup>3</sup>              |
| <b>Diámetro exterior carcasa</b> | 0,82 m                           |
| <b>Espesor carcasa</b>           | 1,5 cm                           |
| <b>Número de tubos</b>           | 7                                |
| <b>Longitud tubos</b>            | 6,3 m                            |
| <b>Diámetro exterior tubos</b>   | 0,168 m                          |
| <b>Soportes</b>                  | A criterio de Ingeniero Mecánico |
| <b>Material</b>                  | Inconel 625                      |

## 2.4. Columnas de destilación

➤ *Columna de destilación flash CF-01*

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| <b>Diámetro</b>        | 0,9 m                   |
| <b>Altura</b>          | 4,1 m                   |
| <b>Espesor carcasa</b> | 3 mm                    |
| <b>Espesor fondo</b>   | 4 mm                    |
| <b>Soportes</b>        | 4 Patas. Perfil IPN- 80 |
| <b>Material</b>        | SS-316                  |

## 2.5. Evaporadores

➤ *Evaporador EV-01*

|                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| <b>Diámetro</b>                     | 0,836 m                 |
| <b>Altura</b>                       | 4,1 m                   |
| <b>Área de intercambio de calor</b> | 0,63 m <sup>2</sup>     |
| <b>Espesor carcasa</b>              | 3 mm                    |
| <b>Soportes</b>                     | 4 Patas. Perfil IPN- 80 |
| <b>Material</b>                     | SS-316                  |



➤ *Evaporador EV-02*

|                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| <b>Diámetro</b>                     | 0,50 m                  |
| <b>Altura</b>                       | 2 m                     |
| <b>Área de intercambio de calor</b> | 0,31 m <sup>2</sup>     |
| <b>Espesor carcasa</b>              | 3 mm                    |
| <b>Soportes</b>                     | 2 Patas. Perfil IPN- 80 |
| <b>Material</b>                     | SS-316                  |

**2.6. Tanques de lavado**

➤ *Tanque de lavado W-01*

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Diámetro</b>                                | 1 m                     |
| <b>Altura</b>                                  | 1,6 m                   |
| <b>Volumen</b>                                 | 1,3 m <sup>3</sup>      |
| <b>Espesor carcasa</b>                         | 4 mm                    |
| <b>Espesor fondo</b>                           | 4 mm                    |
| <b>Nº palas. Sistema agitación por turbina</b> | 4                       |
| <b>Soportes</b>                                | 4 Patas. Perfil IPN- 80 |
| <b>Material</b>                                | SS-316                  |

➤ *Tanque de lavado W-02*

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| <b>Diámetro</b>                    | 1 m                     |
| <b>Altura</b>                      | 1,7 m                   |
| <b>Volumen</b>                     | 1,4 m <sup>3</sup>      |
| <b>Espesor carcasa</b>             | 4 mm                    |
| <b>Espesor fondo</b>               | 4 mm                    |
| <b>Nº palas. Sistema agitación</b> | 4                       |
| <b>Soportes</b>                    | 4 Patas. Perfil IPN- 80 |
| <b>Material</b>                    | SS-316                  |

## **2.7. Decantadores**

➤ *Decantador D-01*

|                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| <b>Volumen</b>         | 18 m <sup>3</sup> |
| <b>Diámetro</b>        | 5 m               |
| <b>Altura</b>          | 1 m               |
| <b>Espesor carcasa</b> | 8 mm              |
| <b>Espesor cabezal</b> | 8 mm              |
| <b>Soportes</b>        | Fondo plano       |
| <b>Material</b>        | SA-283-C          |

## 2.8. Intercambiadores de calor

### ➤ Intercambiador de calor IC-01

|                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| Diámetro            | 0,12 m                           |
| Longitud            | 19,5 m                           |
| Área de intercambio | 2,47 m <sup>2</sup>              |
| Espesor carcasa     | 9 mm                             |
| Soportes            | A criterio de Ingeniero Mecánico |
| Material            | Inconel 625                      |

## 2.10 Red de tuberías

### ➤ Red de tuberías de la línea principal del proceso

| Identificador | Material    | L (m) | Espesor min(m) | DN     | 5S  |
|---------------|-------------|-------|----------------|--------|-----|
| L-01`         | SS 304      | 28,3  | 0,0023         | 1"     | 10S |
| L-01          | INCONEL 625 | 2     | 0,0028         | 1"     | 10S |
| L-02`         | SS 304      | 8,2   | 0,0023         | 1/2"   | 40S |
| L-02          | INCONEL 625 | 3     | 0,0017         | 1/2"   | 40S |
| L-03          | INCONEL 625 | 10,1  | 0,0051         | 2"     | 80S |
| L-04          | INCONEL 625 | 25,86 | 0,0052         | 2"     | 80S |
| L-05          | SS 304      | 1,4   | 0,0026         | 8"     | 5S  |
| L-06          | SS 304      | 6     | 0,0023         | 1/2"   | 40S |
| L-07          | SS 304      | 13,4  | 0,0025         | 6"     | 5S  |
| L-08          | SS 304      | 23,5  | 0,0023         | 1/8"   | 80S |
| L-08*         | SS 304      | 0,9   | 0,0025         | 5"     | 5S  |
| L-09          | SS 304      | 15,3  | 0,0023         | 1/2"   | 40S |
| L-10          | SS 304      | 13,2  | 0,0023         | 1/2"   | 40S |
| L-10*         | SS 316      | 2     | 0,0026         | 6"     | 5S  |
| L-11          | SS 316      | 25    | 0,0024         | 3"     | 10S |
| L-12          | SS 316      | 26    | 0,0023         | 1/2"   | 40S |
| L-13          | SS 304      | 42,5  | 0,0024         | 2 1/2" | 10S |
| L-14          | SS 304      | 26    | 0,0023         | 1/8"   | 80S |

➤ *Red de tuberías de línea de vapor*

| Identificador | Material | L (m) | Espesor mín (m) | DN     | Schedule |
|---------------|----------|-------|-----------------|--------|----------|
| V-01          | SS 316   | 505   | 0,0036          | 2 1/2" | 40S      |
| V-02          | SS 316   | 425   | 0,0035          | 2 1/2" | 40S      |
| V-03          | SS 316   | 416   | 0,0035          | 2 1/2" | 40S      |
| V-04          | SS 316   | 393   | 0,0035          | 2 1/2" | 40S      |
| V-05          | SS 316   | 389   | 0,0035          | 2 1/2" | 40S      |

➤ *Red de tuberías de línea de agua*

| Identificador | Material | L (m) | Espesor mín (m) | DN   | Schedule |
|---------------|----------|-------|-----------------|------|----------|
| L-A1          | SS 304   | 25    | 0,00229         | 1/8" | 40S      |
| L-A2          | SS 304   | 25    | 0,00229         | 1/8" | 40S      |
| L-A3          | SS 304   | 25    | 0,00231         | 3/4" | 40S      |
| L-A4          | SS 304   | 43    | 0,00231         | 3/4" | 40S      |

## 2.11 Bombas y compresores

| Bomba | Tipo de Bomba      | Qv(m <sup>3</sup> /h) | BHP (KW) |
|-------|--------------------|-----------------------|----------|
| B-01  | Bomba centrífuga   | 2,52                  | 63,02    |
| B-02  | Bomba centrífuga   | 0,97                  | 24,39    |
| B-04  | Bomba centrífuga   | 7,20                  | 0,07     |
| B-09  | Bomba peristáltica | 1,04                  | 0,036    |
| B-08  | Bomba centrífuga   | 0,11                  | 0,24     |
| B-10  | Bomba centrífuga   | 1,12                  | 0,038    |
| B-102 | Bomba peristáltica | 1,12                  | 0,69     |
| B-12  | Bomba centrífuga   | 1,08                  | 0,039    |
| B-14  | Bomba centrífuga   | 0,07                  | 0,0075   |
| BA-01 | Bomba centrífuga   | 0,11                  | 0,0045   |
| BA-03 | Bomba peristáltica | 2,02                  | 0,067    |
| BV-01 | Compresor          | 0,15                  | 428,81   |

\* BV-01: está formado por un equipo de 4 compresores en serie para solventar la alta potencia requerida.

## 2.12 Instrumentación

### ➤ Válvulas

| Tipo                 | Unidades | Material         |
|----------------------|----------|------------------|
| Válvula de compuerta | 4        | Acero inoxidable |
| Válvula de aguja     | 11       | Acero inoxidable |

### ➤ Sensores

| Tipo de sensor                      | Unidades |
|-------------------------------------|----------|
| Indicador de temperatura, TI        | 5        |
| Controlador de temperatura, TIC     | 5        |
| Indicador de presión, PI            | 5        |
| Controlador de presión, PIC         | 2        |
| Controlador de nivel, LI            | 7        |
| Indicador de pH                     | 2        |
| Interruptor de paro de bomba (STOP) | 15       |

### III. CONDICIONES DE PRODUCTOS

Las características del producto obtenido catalogado como FAME o ésteres metílicos de ácidos grasos deben acogerse a lo especificado por la norma UNE\_EN/14214 de calidad marcada tanto por el Parlamento Europeo como el Ministerio de Economía Español.

Además, la norma que rige sobre el gasóleo, RD 1700 de 2003, dicta que el biodiesel de calidad PAME debe cumplir las mismas especificaciones que el gasóleo o diésel, ya que estos productos podrán ser mezclados en terminales autorizados para posteriormente ser comercializados en distintas proporciones de mezcla.

Las pruebas analíticas serán realizadas a través de ensayos específicos, debiendo ajustarse la parametría a la que figura a continuación:

| ENSAYO                           | UNIDADES           | MIN  | (LÍMITES) | MAX                | NORMA DE ENSAYO  |
|----------------------------------|--------------------|------|-----------|--------------------|------------------|
| Contenido en éster               | % (m/m)            | 98,5 |           |                    | prEN 14103       |
| Densidad a 15°C                  | kg/m <sup>3</sup>  | 860  |           | 900                | EN ISO 3675      |
| Viscosidad a 40°C                | mm <sup>2</sup> /s | 3,50 |           | 5,00               | EN ISO 3104      |
| Punto de inflamación             | °C                 | 120  |           |                    | ISO 3679         |
| Contenido en azufre              | mg/kg              |      |           | 10,0               | prEN20846        |
| Residuo carbonoso                | % (m/m)            |      |           | 0,30               | EN ISO 10370     |
| Número de Cetano                 |                    | 51,0 |           |                    | EN ISO 5165      |
| Contenido en cenizas de sulfatos | % (m/m)            |      |           | 0,02               | ISO 3987         |
| Contenido en agua                | mg/kg              |      |           | 500                | EN ISO 12937     |
| Contaminación total              | mg/kg              |      |           | 24                 | EN 12662         |
| Corrosión en lámina de cobre     | Clasificación      |      |           | Clase 1            | EN ISO 2160      |
| Estabilidad a la Oxidación       | horas              | 6,0  |           |                    | prEN 14112       |
| Valor ácido                      | mg KOH /lg muestra |      |           | 0,50               | prEN 14104       |
| Índice de yodo                   | g I/100g muestra   |      |           | 120                | prEN 14111       |
| Metiléster linoléico             | % (m/m)            |      |           | 12,0               | prEN 14103       |
| Metiléster poliinsaturados       | % (m/m)            |      |           | 1                  |                  |
| Contenido en metanol             | % (m/m)            |      |           | 0,20               | prEN 14110       |
| Contenido en monoglicéridos      | % (m/m)            |      |           | 0,80               | prEN 14105       |
| Contenido en diglicéridos        | % (m/m)            |      |           | 0,20               | prEN 14105       |
| Contenido en triglicéridos       | % (m/m)            |      |           | 0,20               | prEN 14105       |
| Glicerina libre                  | % (m/m)            |      |           | 0,02               | prEN 14105       |
| Glicerina total                  | % (m/m)            |      |           | 0,25               | prEN 14105       |
| Metales grupo I (Na+K)           | mg/kg              |      |           | 5,0                | prEN 14108/14109 |
| Metales grupo II (Ca+Mg)         | mg/kg              |      |           | 5,0                | prEN 14538       |
| Contenido en fósforo             | mg/kg              |      |           | 10,0               | prEN 14107       |
| POFF                             | °C                 |      |           | Según época y país | EN 116           |

# PRESUPUESTO

# ÍNDICE

---



### ➤ ESTADO DE MEDICIONES

El Estado de Mediciones que a continuación se refleja cumple las siguientes características que debe de cumplir un estado de mediciones:

- Definir y determinar las unidades de cada partida o unidad de obra
- Incluye el número de unidades y define las características, modelos, tipos y dimensiones de cada partida de obra o elemento del objeto del Proyecto.
- Se utiliza el concepto de partida alzada cuando la unidad no sea fácilmente desglosable.
- Contiene un listado completo de las partidas de obra.
- Se subdivide según las partes más significativas del Proyecto.
- Sirve de base para la realización del Presupuesto.

El estado de mediciones tiene la siguiente clasificación propuesta para el presente Proyecto:

- ❖ Equipos de planta
- ❖ Bombas y compresores
- ❖ Válvulas y accesorios
- ❖ Tuberías
- ❖ Instrumentación y control

| <b>EQUIPOS DE LA PLANTA</b>  |                           |
|--|---------------------------|
| <b>Descripción</b>   | <b>Número de unidades</b> |
| <b>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</b>   |                           |
| <p style="text-align: center;">u DEPÓSITO 7,5 m<sup>3</sup></p> <p>Depósito de un volumen de 7,5 m<sup>3</sup> con un acero al carbono de especificación SA-285 de grado C de diámetro interior de 1,85 m y espesor de 6 mm con cabezal semielíptico y fondo plano. Incluye tubuladura de las líneas de entrada y salida de conducciones principales, boca de hombre y de la conducción de venteo. Medida la unidad instalada</p>      | 1                         |
| <p style="text-align: center;">u DEPÓSITO 3,2 m<sup>3</sup></p> <p>Depósito de un volumen de 3,2 m<sup>3</sup> con un acero al carbono de especificación SA-283 de grado C de diámetro interior de 1,4 m y espesor de 6 mm con cabezal semielíptico y fondo plano. Incluye tubuladura de las líneas de entrada y salida de conducciones principales, boca de hombre y de la conducción de venteo. Medida la unidad instalada</p>       | 1                         |
| <p style="text-align: center;">u DEPÓSITO 30 m<sup>3</sup></p> <p>Depósito de un volumen de 30 m<sup>3</sup> con un acero al carbono de especificación SA-283 de grado C de diámetro interior de 2,95 m y espesor de 8 mm con cabezal y fondo semielíptico tipo Klopper. Incluye tubuladura de las líneas de entrada y salida de conducciones principales, boca de hombre y de la conducción de venteo. Medida la unidad instalada</p> | 1                         |
| <p style="text-align: center;">u DEPÓSITO 60 m<sup>3</sup></p> <p>Depósito de un volumen de 60 m<sup>3</sup> con un acero al carbono de especificación SA-283 de grado C de diámetro interior de 3,7 m y espesor de 10 mm con cabezal semielíptico y fondo plano. Incluye tubuladura de las líneas de entrada y salida de conducciones principales, boca de hombre y de la conducción de venteo. Medida la unidad instalada</p>        | 1                         |

|  |   |
|--|---|
| <p>u DEPÓSITO 14 m<sup>3</sup><br/>Depósito de un volumen de 14 m<sup>3</sup> con un acero al carbono de especificación SA-283 de grado C de diámetro interior de 2,28 m y espesor de 7 mm con cabezal y fondo semielíptico tipo Klopper. Incluye tubuladura de las líneas de entrada y salida de conducciones principales, boca de hombre y de la conducción de venteo. Medida la unidad instalada.</p> | 1 |
| <b>EQUIPOS NAVE PRINCIPAL</b>  |   |
| <p>u REACTOR CILÍNDRICO<br/>Reactor cilíndrico de Inconel 625. Consistente en carcasa de 168 mm de diámetro y siete tubos en el interior de 120 mm de diámetro y 6,3 m de longitud. Medida la unidad instalada</p>   | 1 |
| <p>u INTERCAMBIADOR DE CALOR DOBLE TUBO<br/>Intercambiador de calor de doble tubo de acero con diámetro exterior específico Inconel 625. Medida la unidad instalada</p>  | 1 |
| <b>COLUMNAS DE DESTILACIÓN Y EVAPORADORES</b>  |   |
| <p>u COLUMNA DE DESTILACIÓN FLASH<br/>Columna de destilación flash de acero inoxidable SS-316, con dimensiones 0,25 m de diámetro y 4,1 m de altura y espesor de carcasa de 3 mm</p>   | 1 |
| <p>u EVAPORADOR<br/>Columna evaporador de acero inoxidable SS-316 de dimensiones 0,836 m de diámetro y 4 m de longitud; con intercambiador de calor previo. Incluye tubuladuras de entrada y salida de corrientes. Medida la unidad instalada</p>  | 1 |
| <p>u EVAPORADOR<br/>Columna evaporador de acero inoxidable SS-316 de dimensiones 0,5 m de diámetro y 2 m de longitud; con intercambiador de calor previo. Incluye tubuladuras de entrada y salida de corrientes. Medida la unidad instalada</p>  | 1 |
| <b>DECANTADOR</b>  |   |
| <p>u DECANTADOR 18m<sup>3</sup><br/>Depósito de decantación de 18 m<sup>3</sup> de capacidad de acero específico SA-283 de grado C de diámetro interno 5 m y espesor. Posee cabezal semielíptico y fondo plano. Incluye tubuladuras para corrientes de entrada y salida. Medida la unidad instalada.</p>   | 1 |

| <b>TANQUES DE LAVADO</b>   |   |
|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>u DEPÓSITO DE LAVADO</b></p> <p>Depósito de un volumen de 1,4m<sup>3</sup>, acero al carbono de especificación SA-283 de grado C de diámetro interior de 1m y espesor de 4 mm. Incluye tubuladura de las líneas de entrada y salida de conducciones de alimentación y agua. Medida la unidad instalada</p>   | 1 |
| <p style="text-align: center;"><b>u DEPÓSITO DE LAVADO</b></p> <p>Depósito de un volumen de 1,5m<sup>3</sup> con un acero al carbono de especificación SA-283 de grado C de diámetro interior de 1 m y espesor de 4 mm. Incluye tubuladura de las líneas de entrada y salida de conducciones de alimentación y agua, boca de hombre y de la conducción de venteo. Medida la unidad instalada</p> | 1 |
| <p style="text-align: center;"><b>u AGITADOR TURBINA DE 6 PALAS</b></p> <p>Agitador de turbina de seis palas de diámetro. Medida la unidad instalada.</p>  | 2 |

| <b>BOMBAS</b>                  |  |                           |
|--------------------------------|--|---------------------------|
| <b>Código</b>                  | <b>Descripción</b>   | <b>Número de Unidades</b> |
| <b>PF3017-10</b>               | B-01: Bomba de presión e impulsión del metanol. Dispone de reductor, motor, acoplamiento y bancada                         | 2                         |
| <b>PF4312-11</b>               | B-02: Bomba de presión e impulsión de aceite de colza. Dispone de reductor, motor, acoplamiento y bancada                  | 1                         |
| <b>SimpleX M</b>               | B-04, B09, B-10, B-12 y BA-01: Bombas centrífugas de aspiración simple. Dispone de reductor, motor, acoplamiento y bancada | 5                         |
| <b>SIHI<sup>dry</sup> M160</b> | B-13 y B-14: Bombas de vacío de etapa simple en seco. Dispone de reductor, motor, acoplamiento y bancada                   | 2                         |

|               |   |   |
|---------------|---|---|
| <b>FMP-50</b> | B-08, B-102 y BA-03: Bombas de desplazamiento positivo o peristáltica. Dispone de reductor, motor, acoplamiento y bancada | 3 |
| <b>H5450</b>  | BV-01: Compresor alternativo  | 4 |

| <b>VÁLVULAS Y ACCESORIOS</b>       |   |                           |
|------------------------------------|---|---------------------------|
| <b>Código</b>                      | <b>Descripción</b>  | <b>Número de unidades</b> |
| <b>ACCIAIO/STEEL<br/>ITEM 1155</b> | Válvula de compuerta con rosca de acero SS-316 DN ½"                    | 1                         |
| <b>ACCIAIO/STEEL<br/>ITEM 1155</b> | Válvula de compuerta con rosca de acero SS-316 DN 1"                    | 1                         |
| <b>ACCIAIO/STEEL<br/>ITEM 1195</b> | Válvula de compuerta con rosca de acero SS-316 DN 2 ½"                  | 1                         |
| <b>10V8071</b>                     | Válvula de aguja de acero inoxidable con terminaciones roscadas DN ½"   | 4                         |
| <b>10V6071</b>                     | Válvula de aguja de acero inoxidable con terminaciones roscadas DN 3/4" | 2                         |
| <b>10V2071</b>                     | Válvula de aguja de acero inoxidable con terminaciones roscadas DN 1/8" | 4                         |
| <b>No se encontró</b>              | Válvulas de aguja DN 6"   | 1                         |
| <b>300/600 KUNKLE</b>              | Válvulas de seguridad   | 4                         |
| <b>Proveedor<br/>TenarisTamsa</b>  | Codos de 90° para tuberías de ½" DN                                     | 8                         |
| <b>Proveedor<br/>TenarisTamsa</b>  | Codos de 90° para tuberías de 3/4" DN                                   | 7                         |
| <b>Proveedor<br/>TenarisTamsa</b>  | Codos de 90° para tuberías de 1/8" DN                                   | 6                         |
| <b>Proveedor<br/>TenarisTamsa</b>  | Codos de 90° para tuberías de 1" DN                                     | 3                         |
| <b>Proveedor<br/>TenarisTamsa</b>  | Codos de 90° para tuberías de 3" DN                                     | 5                         |
| <b>Proveedor<br/>TenarisTamsa</b>  | Codos de 90° para tuberías de 5" DN                                     | 1                         |
| <b>Proveedor<br/>TenarisTamsa</b>  | Codos de 90° para tuberías de 6" DN                                     | 4                         |
| <b>Proveedor<br/>TenarisTamsa</b>  | Codos de 90° para tuberías de 2 1/2" DN                                 | 25                        |

|                               |  |   |
|-------------------------------|--|---|
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b> | Codos de 45° para tuberías de 1/2" DN            | 1 |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b> | Codos de 45° para tuberías de 1/8" DN            | 3 |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b> | Codos de 45° para tuberías de 1" DN              | 1 |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b> | Tee de acero inoxidable para tuberías de DN 3/4" | 1 |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b> | Tee de acero inoxidable para tuberías de DN 1/8" | 2 |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b> | Tee de acero inoxidable para tuberías de DN 6"   | 1 |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b> | Tee de acero inoxidable para tuberías de DN 1/2" | 2 |
|                               |  | 1 |

**VÁLVULAS Y ACCESORIOS EN LAS LÍNEAS DE ALTA PRESIÓN L-01, L-02, L-03 y L-04**

| <b>Código</b>                 | <b>Descripción</b>   | <b>Número de unidades</b> |
|-------------------------------|--|---------------------------|
| <b>Proveedor SmorgonSteel</b> | Codos de 90° para tuberías de alta presión de hasta 2" de DN | 12                        |
| <b>Proveedor SmorgonSteel</b> | Codos de 45° para tuberías de alta presión de 1/2" de DN     | 1                         |
| <b>P-7661</b>                 | Discos de ruptura de INCONEL 625                             | 1                         |
| <b>No se encontró</b>         | Válvula de seguridad de DN 2"                                | 1                         |
| <b>Diseño propio</b>          | Válvula de despresurización de DN 2" y de acero forjado      | 1                         |

**TUBERÍAS**

| <b>Descripción</b>                                     | <b>Unidad</b> | <b>Número de unidades</b> |
|--|---------------|---------------------------|
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-304 y de 1" DN</b>   | m             | 28,3                      |
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-304 y de 1/2" DN</b> | m             | 42,7                      |
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-304 y de 1/8" DN</b> | m             | 64                        |
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-304 y de 3/4" DN</b> | m             | 46,5                      |
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-304 y de 5" DN</b>   | m             | 0,9                       |

|   |   |        |
|---|---|--------|
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-304 y de 6" DN</b>    | m | 15,4   |
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-304 y de 8" DN</b>    | m | 1,4    |
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-316 y de DN 1/2"</b>  | m | 26     |
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-316 y de 2 1/2"DN</b> | m | 111,78 |
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-316 y de 3" DN</b>    | m | 25     |
| <b>Tubería de acero inoxidable SS-316 y de 6" DN</b>    | m | 2      |
| <b>Tubería de INCONEL 625 de 1/2" DN</b>                | m | 3      |
| <b>Tubería de INCONEL 625 de 1" DN</b>                  | m | 2      |
| <b>Tubería de INCONEL 625 de 2" DN</b>                  | m | 35,96  |

| <b>INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL</b> |   |                           |
|-----------------------------------|---|---------------------------|
| <b>Código</b>                     | <b>Descripción</b>  | <b>Número de unidades</b> |
| <b>HI-150 00</b>                  | u INDICADOR DE TEMPERATURA<br>Sonda PT100 con vaina de acero inoxidable sellado en un extremo y 10 mm de longitud                                 | 5                         |
| <b>306-110</b>                    | u CONTROLADOR DE TEMPERATURA<br>Controlador PID con doble display con configuración de alarma   | 5                         |
| <b>10010C</b>                     | u INDICADOR DE PRESIÓN<br>Manómetros montados en caja de acero inoxidable AISI 304, órganos internos de aleación de cobre y aguja regulable       | 4                         |
| <b>716-090</b>                    | u INDICADOR DE PRESIÓN<br>Sensor de presión con transmisor alojado en una carcasa de acero inoxidable. Con rosca de 1/4" y un conector DIN 41524  | 1                         |
| <b>PCE-932</b>                    | u CONTROLAR DE PRESIÓN<br>Medidor de presión con sensores externos para rangos de medición de hasta 500 bar, interfaz RS-232 y software opcional. | 2                         |
| <b>HI 981402</b>                  | u INDICADOR DE pH<br>Medidor de pH con display, electrodo y conector BCN con protector contra el agua   | 7                         |

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| <b>HI 7871</b> | <b>u CONTROLADOR DE NIVEL</b><br>Controlador de nivel con transmisor de dos hilos incorporados. | 2 |
|----------------|---|---|

➤ **PRECIOS UNITARIOS**

La inversión inicial estará compuesta por las subinversiones realizadas teniendo en cuenta tanto de campo y construcción, como factores instrumentales y técnicos. Con objeto de simplificar, se han agrupado los equipos utilizados según su situación o empleo en las diferentes secciones que forman la planta.

| <b>OBRA CIVIL</b>                     |                |                    |                                       |                         |
|---------------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Descripción                           | Unidad         | Número de unidades | Precios unitarios (€/m <sup>2</sup> ) | Presupuesto parcial (€) |
| <b>Parcela</b>                        | m <sup>2</sup> | 3600               | 100                                   | 360.000                 |
| <b>Nave principal</b>                 | m <sup>2</sup> | 225                | 120                                   | 27.000                  |
| <b>Laboratorio</b>                    | m <sup>2</sup> | 443,25             | 120                                   | 53.190                  |
| <b>Oficinas</b>                       | m <sup>2</sup> |                    |                                       |                         |
| <b>Almacén</b>                        | m <sup>2</sup> |                    |                                       |                         |
| <b>Aparcamientos</b>                  | m <sup>2</sup> |                    |                                       |                         |
| <b>PRESUPUESTO PARTIDA OBRA CIVIL</b> |                |                    |                                       | <b>440.190 €</b>        |

| <b>EQUIPOS DE PROCESO</b>                        |              |                       |                         |
|--|--------------|-----------------------|-------------------------|
| Descripción                                      | Nº de unidad | Precios unitarios (€) | Presupuesto parcial (€) |
| <b>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</b>                 |              |                       |                         |
| Tanque de metanol; 7,5 m <sup>3</sup>            | 1            | 4.620                 | 4.620                   |
| Tanque de metanol recirculado 3,2 m <sup>3</sup> | 1            | 1.971,2               | 1.971,2                 |
| Tanque de aceite de colza; 30 m <sup>3</sup>     | 1            | 11.760                | 11.760                  |



|  |   |          |                  |
|--|---|----------|------------------|
| Tanque de biodiesel, 60 m <sup>3</sup>   | 1 | 23.520   | 23.520           |
| Tanque de glicerina, 14 m <sup>3</sup>   | 1 | 5.488    | 5.488            |
| <b>EQUIPOS NAVE PRINCIPAL</b>  |   |          |                  |
| Reactor cilíndrico de carcasa y tubos interiores de Inconel 625                | 1 | 13.309,8 | 13.309,8         |
| Intercambiador de calor de doble tubo  | 1 | 12.985   | 12.985           |
| <b>COLUMNAS DE DESTILACIÓN Y EVAPORADORES</b>                                  |   |          |                  |
| Columna de destilación flash   | 1 | 5.208,85 | 5.208,85         |
| Evaporador EV-01   | 1 | 4.840,5  | 4.840,5          |
| Evaporador EV-02   | 1 | 1.317,15 | 1.317,15         |
| <b>DECANTADOR</b>  |   |          |                  |
| Unidad de decantación de 18 m <sup>3</sup>                                     | 1 | 7.056    | 7.056            |
| <b>TANQUES DE LAVADO</b>   |   |          |                  |
| Depósito de lavado de 1,4 m <sup>3</sup> de capacidad. Con agitador de turbina | 1 | 862,4    | 862,4            |
| Depósito de lavado de 1,5 m <sup>3</sup> de capacidad. Con agitador de turbina | 1 | 924      | 924              |
| <b>PRESUPUESTO PARTIDA EQUIPOS DE PROCESO</b>                                  |   |          | <b>93862,9 €</b> |

| <b>BOMBAS Y COMPRESORES</b> |   |                    |                      |                         |
|-----------------------------|---|--------------------|----------------------|-------------------------|
| Código                      | Descripción   | Número de Unidades | Precios unitarios(€) | Presupuesto parcial (€) |
| PF3017-10                   | B-01: Bomba de presión e impulsión del metanol.       | 1                  | 7.000                | 7.000                   |
| PF4312-11                   | B-02: Bomba de presión e impulsión de aceite de colza | 1                  | 1.500                | 1.500                   |

|                                      |   |   |        |                  |
|--------------------------------------|---|---|--------|------------------|
| <b>SimpleX M</b>                     | B-04, B09, B-10, B-12 y BA-01: Bombas centrífugas de aspiración simple. | 5 | 1.500  | 7.500            |
| <b>SIH<sup>dry</sup> M160</b>        | B-13 y B-14: Bombas de vacío de etapa simple en seco                    | 2 | 1.500  | 300              |
| <b>FMP-50</b>                        | B-08, B-102 y BA-03: Bombas de desplazamiento positivo o peristáltica   | 3 | 2.100  | 6.300            |
| <b>H5450</b>                         | BV-01: Compresor alternativo  | 4 | 25.000 | 100.000          |
| <b>PRESUPUESTO PARTIDA DE BOMBAS</b> |   |   |        | <b>122.600 €</b> |

\* Precios de bombas facilitadas por empresa Isolux Corsan.

| <b>VÁLVULAS Y ACCESORIOS EN LAS LÍNEAS DE ALTA PRESIÓN<br/>L-01, L-02, L-03 y L-04</b> |  |                           |                           |                           |
|--|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Código</b>  | <b>Descripción</b>   | <b>Número de unidades</b> | <b>Precio unitario(€)</b> | <b>Presp. parcial (€)</b> |
| <b>Proveedor SmorgonSteel</b>  | Codos de 90° para tuberías de alta presión de hasta 2" de DN | 12                        | 2.500*                    | 30.000                    |
| <b>Proveedor SmorgonSteel</b>  | Codos de 45° para tuberías de alta presión de ½" de DN       | 1                         | 2.500*                    | 2.500                     |
| <b>P-7661</b>  | Discos de ruptura de INCONEL 625                             | 1                         | 3.000                     | 3.000                     |
| <b>No se encontró</b>  | Válvula de seguridad   | 1                         | 14.000*                   | 14.000                    |
| <b>Diseño Propio</b>   | Válvula de despresurización de DN 2" y de acero forjado.     | 1                         | 18.000                    | 18.000                    |
| <b>PRESUPUESTO PARTIDA DE ACCESORIOS ALTA PRESIÓN</b>                                  |  |                           |                           | <b>67.500 €</b>           |

\*Estimación de precios por sus características técnicas

| <b>TUBERÍAS</b>                             |                              |                               |                                |
|---|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>DESCRIPCIÓN</b>                          | <b>Número de Unidades(m)</b> | <b>Precios unitarios(€/m)</b> | <b>Presupuesto parcial (€)</b> |
| Tubería de acero inoxidable de 3/8" a 8" DN | 299,98                       | 62,15                         | 18.645                         |
| Tubería de acero inoxidable <1/8" DN        | 64                           | 55,25                         | 3.536                          |
| Tubería de INCONEL 625 de 1/2" DN           | 3                            | 95,15                         | 285,45                         |
| Tubería de INCONEL 625 de 1" DN             | 2                            | 190,25                        | 380,5                          |
| Tubería de INCONEL 625 de 2" DN             | 35,96                        | 380,53                        | 13683,85                       |
| <b>PRESUPUESTO PARTIDA DE TUBERÍAS</b>      |                              |                               | <b>36530,8 €</b>               |

| <b>VÁLVULAS Y ACCESORIOS</b>   |  |                           |                            |                                |
|--------------------------------|--|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| <b>Código</b>                  | <b>Descripción</b>                                     | <b>Número de unidades</b> | <b>Precio unitario (€)</b> | <b>Presupuesto parcial (€)</b> |
| <b>ACCIAIO/STEEL ITEM 1155</b> | Válvula de compuerta con rosca de acero SS-316 DN 1/2" | 2                         | 11,16                      | 22,32                          |
| <b>ACCIAIO/STEEL ITEM 1155</b> | Válvula de compuerta con rosca de acero SS-316 DN 1"   | 1                         | 16,52                      | 16,52                          |
| <b>ACCIAIO/STEEL ITEM 1195</b> | Válvulas de aguja de acero y DN 1/2"                   | 4                         | 49,85                      | 199,4                          |
| <b>10V8071</b>                 | Válvulas de aguja de acero y DN 3/4"                   | 2                         | 45,80                      | 91,6                           |
| <b>10V6071</b>                 | Válvulas de aguja de acero y DN 1/8"                   | 4                         | 42,35                      | 169,4                          |
| <b>10V2071</b>                 | Válvulas de aguja de acero y DN 1"                     | 1                         | 56,70                      | 56,70                          |
| <b>No se encontró</b>          | Válvula de aguja de acero y DN 6"                      | 1                         | 2.490                      | 2.490                          |

|   |   |    |       |                   |
|---|---|----|-------|-------------------|
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 90° para tuberías de ½" DN de acero inoxidable     | 10 | 1,01  | 10,10             |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 90° para tuberías de ¾" acero inoxidable           | 7  | 5,69  | 39,83             |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 90° para tuberías de 1/8" acero inoxidable         | 6  | 1,56  | 9,36              |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 90° para tuberías de 1" de DN acero inoxidable     | 5  | 8,97  | 44,85             |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 90° para tuberías de 3" de DN de acero inoxidable  | 5  | 10,69 | 53,45             |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 90° para tuberías de 5" de DN de acero inoxidable  | 1  | 11,05 | 11,05             |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 90° para tuberías de 6" de DN de acero inoxidable  | 4  | 11,05 | 44,2              |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 90° para tuberías de 2 1/2" de DN acero inoxidable | 25 | 21,95 | 548,75            |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 45° para tuberías de 1/2" de DN acero inoxidable   | 2  | 1,61  | 3,22              |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 45° para tuberías de 1/8" de DN acero inoxidable   | 3  | 1,98  | 5,94              |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Codos de 45° para tuberías de 1" de DN acero inoxidable     | 1  | 4,27  | 4,27              |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Tee para tubería de ¾"DN                                    | 1  | 3,65  | 3,65              |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Tee para tubería de 1/8"DN                                  | 2  | 1,15  | 2,30              |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Tee para tubería de 6" DN                                   | 1  | 5,45  | 5,45              |
| <b>Proveedor TenarisTamsa</b>                       | Tee para tubería de 2 1/2" DN                               | 1  | 3,60  | 3,60              |
| <b>PRESUPUESTO PARTIDA DE VÁLVULAS Y ACCESORIOS</b> |   |    |       | <b>3.341,96 €</b> |

| <b>INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL</b>             |   |                           |                                |                                |
|--|---|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Código</b>                                | <b>Descripción</b>                      | <b>Número de unidades</b> | <b>Precios unitarios (€/m)</b> | <b>Presupuesto parcial (€)</b> |
| <b>514-103</b>                               | Indicador de temperatura                | 5                         | 32,30                          | 161,5                          |
| <b>306-110</b>                               | Controlador de temperatura              | 5                         | 151,00                         | 755,0                          |
| <b>10010C</b>                                | Indicador de presión                    | 4                         | 184,00                         | 736,0                          |
| <b>716-090</b>                               | Indicador de presión. Referente a vacío | 1                         | 184,00                         | 184,0                          |
| <b>716-208</b>                               | Controlador de presión                  | 2                         | 344,00                         | 688,0                          |
| <b>WD-35807-25</b>                           | Indicador de pH                         | 2                         | 157,20                         | 314,4                          |
| <b>HI 7871</b>                               | Controlador de nivel                    | 7                         | 258,0                          | 1806,0                         |
| <b>PRESPUESTO PARTIDA DE INSTRUMENTACIÓN</b> |   |                           |                                | <b>4.644,9 €</b>               |

➤ **PRESUPUESTO TOTAL**

Una vez que se tiene desglosado todas las partidas que componen el presupuesto, se realiza un presupuesto global y conjunto de ellos.

| <b>PARTIDAS</b>  |                           | <b>COSTE (€)</b> |
|--|---------------------------|------------------|
| <b>Obra Civil</b>  |                           | 440.190          |
| <b>Equipos de proceso</b>                                      | Tanques de almacenamiento | 47.359,2         |
|  | Nave Principal            | 26.294,8         |
|  | Columnas y evaporadores   | 11.366,5         |
|  | Decantador                | 7.056            |
|  | Tanques de lavado         | 1.786,4          |
| <b>Bombas y compresores</b>                                    |                           | 122.600          |
| <b>Tuberías</b>  |                           | 36.530,8         |
| <b>Instrumentación y control</b>                               |                           | 46.644,9         |
| <b>Válvulas y accesorios</b>                                   |                           | 3.341,96         |
| <b>Accesorios línea alta presión</b>                           |                           | 67.500           |
| <b>Servicio eléctrico (=0,15*CE)</b>                           |                           | 14.079,4         |
| <b>Instalación (=0,30*CE)</b>                                  |                           | 28.158,9         |
| <b>Presupuesto parcial (Costes Directos, C.D) = 852.908,86</b> |                           |                  |
| <b>Proyecto básico (9% total)</b>                              |                           | 76.761,8         |
| <b>Ingeniería de detalle (10% total)</b>                       |                           | 85.290,1         |
| <b>Imprevistos (10% total)</b>                                 |                           | 85.290,1         |
| <b>Retribuciones contractuales (0,05%)</b>                     |                           | 42.645,05        |
| <b>Costes indirectos (C.I) = 289.987,05</b>                    |                           |                  |
| <b>Capital directo a invertir CD+ CI= 1.142.895,91</b>         |                           |                  |

➤ **GASTOS ANUALES**

Se hace un resumen de los principales gastos que tiene la planta de producción de biodiésel en un año; dentro de estos gastos se destaca el elevado coste de las materias primas así como el consumo de la energía eléctrica y el abastecimiento de agua.

➤ **COSTE DE MATERIAS PRIMAS**

Se hace una estimación del coste que provoca las materias primas para un año de producción.

Los precios de aceite de colza y metanol, se han estimado de acuerdo con los datos que aparecen en el Libro Blanco de Agricultura para la producción de biodiesel.

| Materias primas              | Cantidad anual (l/año) | Coste unitario (€/l) | Coste total (€)    |
|------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| Aceite de colza              | 7.108.694,27           | 0,25                 | 1.777.173,57       |
| Metanol                      | 1.421.538              | 0,30                 | 426.461,4          |
| <b>COSTE MATERIAS PRIMAS</b> |                        |                      | <b>2.203.634 €</b> |

#### ➤ CONSUMO DE SERVICIOS AUXILIARES

##### ○ Consumo de agua

El consumo de agua que tiene la planta es la que se añade a los tanques de lavado y la corriente del encamisado del decantador para refrigeración de la alimentación. El precio del consumo del agua asciende a **2,02 €/ m<sup>3</sup>**

| EQUIPOS                   | Consumo diario (m <sup>3</sup> /día) | Consumo anual (m <sup>3</sup> /año) | Coste (€/año)   |
|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Tanque W-01               | 2,4                                  | 876                                 | 1.769,52        |
| Tanque W-02               | 2,4                                  | 876                                 | 1.769,52        |
| Encamisado decantador     | 48                                   | 17.520                              | 35.390,4        |
| Saneamiento               | 0,2                                  | 73                                  | 147,56          |
| <b>CONSUMO AGUA ANUAL</b> |                                      |                                     | <b>39.077 €</b> |

○ **Consumo de energía eléctrica**

Se recoge una tabla con el consumo de energía eléctrica que requieren los distintos equipos de la planta como bombas, compresores, agitadores, etc.

| EQUIPOS                                | POTENCIA, kW | Tiempo de funcionamiento al día, h | CONSUMO (kWh/día) | COSTE (€/año)       |
|--|--------------|------------------------------------|-------------------|---------------------|
| <b>BOMBAS</b>                          |              |                                    |                   |                     |
| B-01                                   | 76*          | 24                                 | 912               | 39.325,44           |
| B-02                                   | 28           | 24                                 | 672               | 14.488,32           |
| B-04                                   | 3            | 24                                 | 72                | 1.552,32            |
| B-09                                   | 3            | 24                                 | 72                | 1.552,32            |
| B-08                                   | 0,007        | 24                                 | 0,168             | 3,62                |
| B-10                                   | 3            | 24                                 | 72                | 1.552,32            |
| B-10 <sub>2</sub>                      | 0,007        | 24                                 | 0,168             | 3,62                |
| B-12                                   | 3            | 24                                 | 72                | 1.552,32            |
| B-14                                   | 3,5          | 24                                 | 84                | 1811,04             |
| BA-01                                  | 3            | 24                                 | 72                | 1.552,32            |
| BA-03                                  | 0,007        | 24                                 | 0,168             | 3,62                |
| <b>COMPRESORES</b>                     |              |                                    |                   |                     |
| BV-01                                  | 428,8**      | 24                                 | 10291,2           | 22.1878,27          |
| <b>AGITADORES</b>                      |              |                                    |                   |                     |
| W-01                                   | 1            | 24                                 | 24                | 517,44              |
| W-02                                   | 1            | 24                                 | 24                | 517,44              |
| <b>CONSUMO ENERGÍA ELÉCTRICA ANUAL</b> |              |                                    |                   | <b>286.310,41 €</b> |

Se parte de una tarifa industrial de **0,07 €/ kWh**.

\* B-01 está formada por dos bombas en serie de 38 kW de potencia.

\*\* BV-01 está formada por cuatro compresores en serie de 110 kW de potencia.

➤ **ANÁLISIS DE RENTABILIDAD**

○ **Estudio de los beneficios por venta.**

Los beneficios obtenidos por la planta son los creados por la venta de los productos finales, siendo el biodiesel el producto de mayor interés y la glicerina como sub-producto que se comercializa directamente.



| Producto                                       | Cantidad (Ton/año) | Precio unitario (€/kg) | Ingresos (€/año)   |
|--|--------------------|------------------------|--------------------|
| Biodiesel comercial                            | 6.420              | 0,50                   | 3.210.000          |
| Glicerina comercial                            | 662,4              | 0,95                   | 629.280            |
| <b>INGRESOS ANUALES POR VENTA DE PRODUCTOS</b> |                    |                        | <b>3.839.280 €</b> |

○ **Estudio de los gastos anuales**

Finalmente se recoge en la siguiente tabla los gastos ocasionados en la planta, éstos serán la suma de la inversión total, coste de materias primas y gastos de consumos auxiliares reflejados anteriormente. Se tiene también en cuenta el coste de mano de obra, aunque no se haya calculado, se sumará a la inversión anual un 3%.

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| INVERSIÓN TOTAL             | 1.142.895,91€       |
| MATERIAS PRIMAS             | 2.203.634 €         |
| CONSUMO DE AGUA             | 39.077 €            |
| CONSUMO ENERGÍA ELÉCTRICA   | 286.310,41 €        |
| INVERSIÓN ANUAL             | 3.671.917,32        |
| <b>INVERSIÓN ANUAL + 3%</b> | <b>3.782.074,9*</b> |

\*Para calcular el valor exacto de la inversión, ésta depende de más factores que no se han tenido en cuenta en este estudio.

A partir de los resúmenes económicos presentados y realizados en base a los factores de inversión, operación e ingresos generados, queda demostrada la viabilidad económica de la planta presupuestada.

Los beneficios brutos obtenidos para el primer año ascienden a 57.205,1 €, beneficio muy bajo pero una vez que se ha superado la inversión total de inmovilizado se irá incrementando en los posteriores años de producción siendo de 1.200.101 € anuales.

En Puerto Real, a Octubre de 2007.

Fdo.

Fdo.

