

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Titulo: DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Autora: Rocío RAMÍREZ JIMÉNEZ

Fecha: Septiembre 2007





## ÍNDICE GENERAL

<b>Documento</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	<b>Memoria Descriptiva</b>
Anexo 1	Memoria Técnica y Cálculos Justificativos
Anexo 2	Estudio de Seguridad Industrial
Anexo 3	Anexo Gráfico
Anexo 4	Catálogos
Anexo 5	Análisis Económico
<b>2</b>	<b>Planos</b>
<b>3</b>	<b>Pliego de Condiciones</b>
<b>4</b>	<b>Presupuesto</b>

## **INTRODUCCIÓN**

El biodiesel es un combustible líquido producido a partir de aceites o grasas animales, aceites vegetales o aceites de fritura usados. Se trata de un éster obtenido como producto de la reacción de transesterificación entre los ácidos grasos de cadena larga (triglicéridos) y un alcohol (normalmente metanol) en presencia de un catalizador.

En los últimos años se han producido enormes progresos en la producción y en el empleo de estos ésteres como carburantes en todo el mundo, siendo una de las cuestiones a tener en cuenta la gran cantidad de glicerina que se genera como subproducto (10% en peso aproximadamente).

La glicerina es usada en la actualidad en la fabricación de una gran cantidad de productos. Entre sus aplicaciones se encuentran la fabricación de detergentes, de productos farmacéuticos, de cosméticos, etc. Es un producto de alto valor económico, por lo que su comercialización forma parte imprescindible en la rentabilización del biodiesel.

## **OBJETIVO**

El objetivo del presente proyecto es la ampliación de una planta de producción de biodiesel, proyectada para su construcción en el Polígono Industrial Las Salinas, en el Puerto de Santa María, Cádiz. Esta ampliación consiste en la instalación de una serie de equipos para la purificación de la corriente de glicerina bruta obtenida como subproducto, una vez separada de la corriente de biodiesel.

En el presente proyecto además se describen brevemente las operaciones necesarias para separar la corriente de glicerina de la de biodiesel, ambas procedentes del proceso de transesterificación, y las necesarias para purificar la corriente de biodiesel.

La glicerina técnica obtenida (515 t/año), con una pureza del 99%, será vendida a diversas industrias de la región.

## **MATERIAS PRIMAS**

La materia prima principal es la glicerina bruta, la cual está formada principalmente por los siguientes componentes:

- Glicerina (74,75%)
- Agua (4,26 %)
- Fosfato potásico (20,98 %)

Otras materias primas empleadas en la instalación son:

- Resinas de intercambio iónico
- Disolución de ácido clorhídrico al 5% para la regeneración de las resinas de intercambio catiónico
- Disolución de hidróxido sódico 1 N para la regeneración de las resinas de intercambio aniónico

## **PROCESO**

La primera etapa del proceso de purificación consiste en el calentamiento de la glicerina bruta desde una temperatura inicial de 333 K hasta 353 K, con el objetivo de reducir su viscosidad.

Para ello se emplean dos intercambiadores de calor, ambos de carcasa y tubos. En el primero de ellos se emplea como fluido calefactor la glicerina técnica producida, la cual se encuentra a 393,28 K. En el caso de que esta corriente no se encuentre disponible, se emplea vapor de agua saturado a 398 K como fluido calefactor, procedente de una caldera de vapor.

En el segundo intercambiador de calor se utiliza siempre vapor saturado como fluido calefactor.

La siguiente etapa consiste en la eliminación del fosfato potásico contenido en la corriente de glicerina bruta. Para ello se hace pasar la corriente continuamente a través de una columna rellena de una resina de intercambio catiónico y posteriormente a través de otra con una resina de intercambio aniónico.

En la primera de ellas, el fosfato potásico monobásico intercambia su catión  $K^+$  por los cationes  $H^+$  de la resina catiónica. En la segunda, el ácido fosfórico producido en la reacción catiónica intercambia su anión  $(PO_4)^{-3}$  por los aniones  $OH^-$  de la resina aniónica, generándose finalmente 13 kg/h de agua aproximadamente.

En la instalación se dispone de dos pares de columnas, de forma que al producirse la saturación de alguno de los dos lechos de resinas, la disolución se desvía a un segundo lecho (semejante al primero), comenzando la regeneración del primero. Las cuatro columnas están aisladas térmicamente con manta de fibra de vidrio.

En la última etapa se elimina la mayor parte del agua contenida en la corriente de glicerina bruta mediante su evaporación, para lo que se utiliza un evaporador de tubos largos verticales, película descendente y efecto simple. Como fluido calefactor se emplea vapor de agua saturado a 398 K, procedente de la caldera de vapor.

La instalación tiene un régimen de operación de 11,25 horas diarias, distribuidas en cuatro periodos de funcionamiento continuo de 2,81 horas cada uno.

La glicerina técnica obtenida se almacena en un tanque (T-01) cilíndrico vertical con fondo y cabezal semielípticos, para su recogida cada 5 días. Este tanque dispone de un serpentín de refrigeración para enfriar la glicerina técnica hasta temperatura ambiente, empleándose agua de red como fluido refrigerante.

Además la instalación dispone de otros cuatro tanques de pequeñas dimensiones, todos con fondo y cabezal planos:

- T-02: disolución de ácido clorhídrico al 5%
- T-03: disolución de hidróxido sódico 1 N
- T-04: disolución de cloruro potásico, resultante tras la regeneración de las resinas de intercambio catiónico
- T-05: disolución de fosfato trisódico, resultante tras la regeneración de las resinas de intercambio aniónico

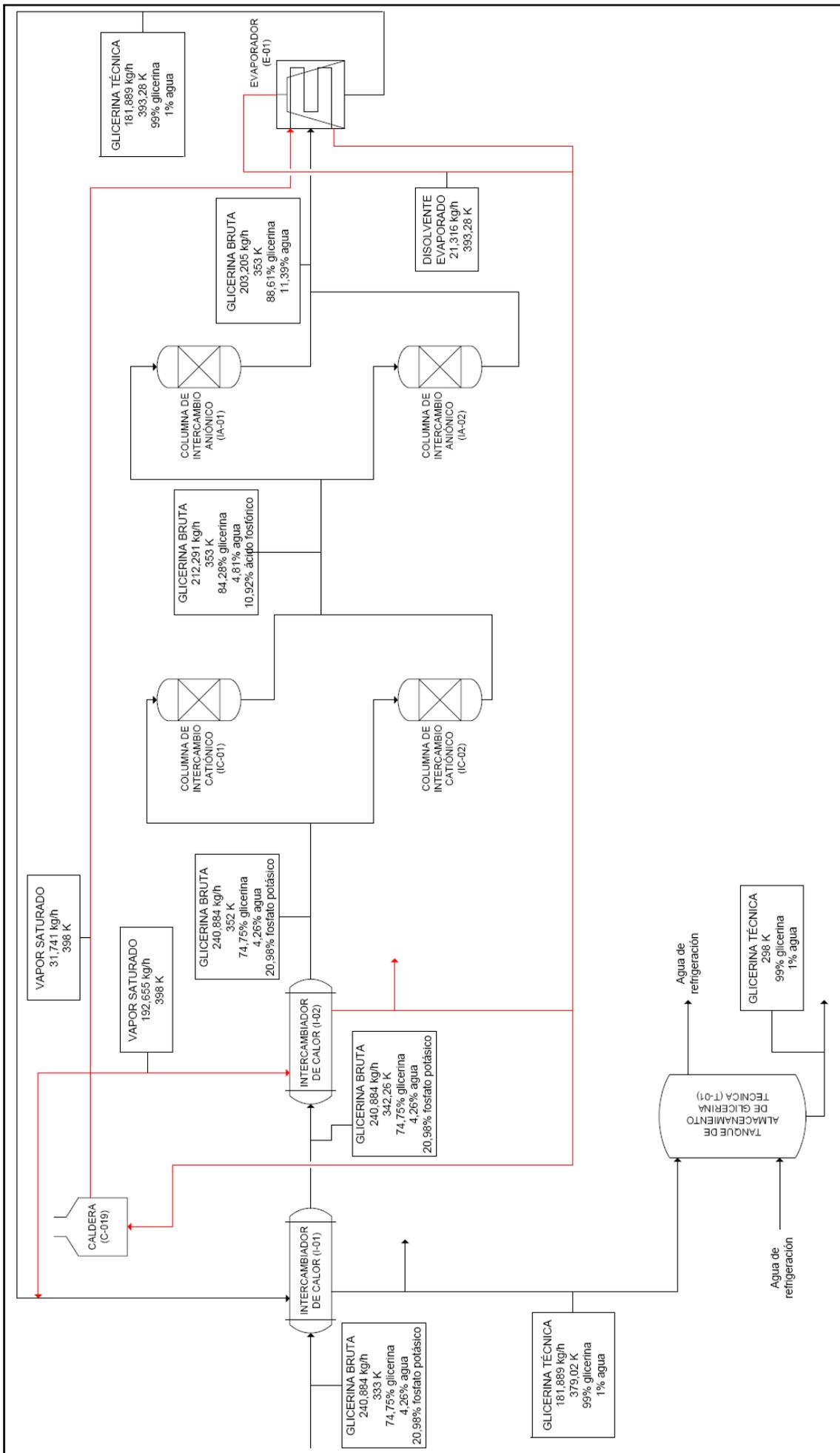
Las bombas principales empleadas son de tipo compactas de membrana, capaces de impulsar un caudal máximo de 1,5 m<sup>3</sup>/h de glicerina y hasta una altura manométrica de 1,6 MPa. La instalación dispone de otras bombas para la impulsión de las disoluciones regenerantes, del agua de refrigeración y del vapor de calefacción, todas ellas centrífugas.

Con respecto al transporte de fluidos, en el proyecto se distinguen cuatro sistemas de tuberías:

- Sistema de tuberías principal: glicerina bruta y técnica
- Sistema de tuberías de transporte de vapor
- Sistema de tuberías de transporte de disoluciones de regeneración de resinas
- Sistema de tuberías de transporte de agua de refrigeración (para serpentín tanque T-01)

Todas las líneas del sistema de tuberías de transporte de vapor, así como la mayoría de las del sistema principal están aisladas térmicamente.

En el siguiente esquema se muestra el proceso diseñado en el presente proyecto, para la purificación de la glicerina obtenida como subproducto en la producción de biodiesel.





**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN  
DE GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO  
EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

DOCUMENTO N° 1:  
MEMORIA DESCRIPTIVA

## 0. ÍNDICE

<b>0. ÍNDICE</b>	<b>2</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>6</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>10</b>
2.1. OBJETO	10
2.2. JUSTIFICACIÓN	10
2.3. VIABILIDAD	13
2.3.1. Viabilidad técnica	13
2.3.2. Viabilidad económica	14
2.3.3. Viabilidad legal	14
2.4. UBICACIÓN	16
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCION</b>	<b>18</b>
3.1. INTRODUCCIÓN	18
3.2. NEUTRALIZACIÓN	20
3.3. RECUPERACIÓN DEL METANOL	22
3.4. SEPARACIÓN DE FASES ÉSTER / GLICERINA	23
3.4.1. Equipos para la separación de fases	24
3.5. PURIFICACIÓN DE LA FASE ÉSTER	26
3.5.1. Lavado	27
3.5.2. Separación de fases éster / agua	27
3.5.3. Estabilización	27
3.5.4. Secado	28
3.5.5. Filtración y enfriamiento	28

3.6. PURIFICACIÓN DE LA FASE GLICERINA	29
3.6.1. Pre calentamiento	29
3.6.2. Intercambio iónico	30
3.6.3. Evaporación	30
3.7. DIAGRAMA DEL PROCESO COMPLETO	31
3.8. MODOS DE OPERACIÓN	32
3.8.1. Operación en continuo	32
3.8.2. Operación en discontinuo	32
3.8.3. Selección del modo de operación	33
<b>4. MATERIAS PRIMAS</b>	<b>34</b>
4.1. INTRODUCCIÓN	34
4.2. GLICERINA	35
4.3. FOSFATO POTÁSICO	37
4.4. AGUA	38
4.5. ÁCIDO CLORHÍDRICO	39
4.6. HIDRÓXIDO SÓDICO	40
4.7. CLORURO POTÁSICO	41
4.8. FOSFATO TRISÓDICO	41
4.9. RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO	42
<b>5. PROCESO DE PURIFICACIÓN DE LA GLICERINA</b>	<b>45</b>
5.1. INTRODUCCIÓN	45
5.2. DIAGRAMA DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN	45
5.3. INTERCAMBIO DE CALOR	47
5.3.1. Introducción	47

5.3.2. Tipos de intercambiadores de calor _____	48
5.3.3. Elección de los intercambiadores de calor _____	52
<b>5.4. INTERCAMBIO IONICO _____</b>	<b>54</b>
5.4.1. Introducción _____	54
5.4.2. Tipos de resinas de intercambio iónico _____	55
5.4.3. Etapas del proceso de intercambio iónico en columna _____	58
5.4.4. Elección de las resinas de intercambio iónico _____	62
5.4.5. Elección de las disoluciones regenerantes _____	63
<b>5.5. EVAPORACIÓN _____</b>	<b>64</b>
5.5.1. Introducción _____	64
5.5.2. Tipos de evaporadores _____	65
5.5.3. Elección del evaporador _____	67
<b>5.6. CALDERA GENERADORA DE VAPOR _____</b>	<b>69</b>
<b>5.7. ALMACENAMIENTO _____</b>	<b>71</b>
5.7.1. Introducción _____	71
5.7.2. Clasificación de tanques _____	72
5.7.3. Almacenamiento de glicerina técnica _____	74
5.7.4. Almacenamiento de disoluciones regenerantes de resinas _____	75
5.7.5. Almacenamiento de resinas _____	76
<b>5.8. CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO _____</b>	<b>76</b>
<b>6. MAQUINARIA Y EQUIPOS _____</b>	<b>87</b>
6.1. TANQUES DE ALMACENAMIENTO _____	87
6.2. INTERCAMBIADORES DE CALOR _____	89
6.3. COLUMNAS DE INTERCAMBIO IONICO _____	90

6.4. EVAPORADOR	90
6.5. CALDERA DE VAPOR	91
6.6. CONDUCCIONES	91
6.7. BOMBAS	92
<b>7. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN</b>	<b>93</b>
7.1. DIAGRAMA DE GANTT	93
7.2. MANO DE OBRA	95
<b>8. MERCADO DE LOS PRODUCTOS</b>	<b>96</b>
8.1. MERCADO DEL BIODIESEL	96
8.2. MERCADO DE LA GLICERINA	97
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>211</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>259</b>
<b>ANEXO 4</b>	<b>287</b>
<b>ANEXO 5</b>	<b>332</b>

## 1. ANTECEDENTES

El biodiesel es un combustible líquido producido a partir de aceites o grasas animales, aceites vegetales o aceites de fritura usados. Se trata de un éster metílico o etílico obtenido como producto de la reacción de transesterificación entre los ácidos grasos de cadena larga (triglicéridos) y un alcohol (normalmente metanol) en presencia de un catalizador. Lo más habitual es que los ésteres que componen el biodiesel sean metílicos y entonces se trata de un biodiesel tipo FAME (*Fatty acid methyl ester*).

Además se produce glicerina como subproducto principal, en un 10% en peso aproximadamente.

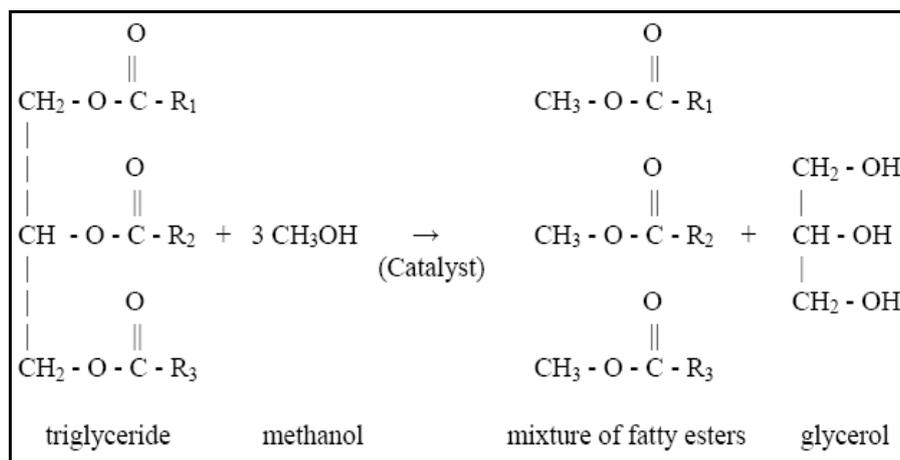


Figura 1. Reacción de transesterificación [13]

El biodiesel es biodegradable, no tóxico, sus emisiones de gases contaminantes son bajas y posee características físico-químicas similares al diesel mineral, por lo que es posible su mezcla en distintas proporciones con éste y utilizarlo en los vehículos diesel sin necesidad de introducir modificaciones en los motores. Estas características, entre otras, hacen del biodiesel un producto beneficioso para el medio ambiente y un buen sustituto del gasóleo mineral.

Fue en 1900 cuando se usaron por primera vez aceites vegetales como combustibles, siendo Rudolph Diesel quien lo utilizara en su motor de ignición - compresión y quien predijera el uso futuro de biocombustibles.

Durante la segunda guerra mundial, y ante la escasez de combustibles fósiles, se destacó la investigación realizada por Otto y Vivacqua en Brasil sobre diesel de origen vegetal, pero no fue hasta 1970 cuando el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se sucedía en el momento y al elevado costo del petróleo.

En los últimos quince años se han producido enormes progresos en la producción y en el empleo de estos ésteres como carburantes en todo el mundo, siendo en 1988, en Alemania, cuando por primera vez se comenzó a producir biodiesel comercialmente.

Hoy en día países como Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles <sup>[14]</sup><sup>[15]</sup>.

Por otra parte, la glicerina es usada en la actualidad en la fabricación de una gran cantidad de productos. Entre sus aplicaciones se encuentran la elaboración de resinas alquídicas, la fabricación de detergentes, medicinas, cosméticos y artículos de aseo, como pasta de dientes, etc. Además es utilizada como agente plastificante para el celofán y como agente humidificante de productos derivados del tabaco.

Por su afinidad con el agua y su viscosidad, la glicerina se utiliza para la tinta de los tampones de sellar. También se usa para lubricar la maquinaria que bombea los productos del petróleo, debido a su resistencia a disolverse en los líquidos del mismo y por su alta viscosidad y ausencia de toxicidad, la glicerina es un excelente lubricante para las máquinas procesadoras de alimentos <sup>[11]</sup><sup>[31]</sup>.

Actualmente el centro tecnológico Tekniker, ubicado en la ciudad guipuzcoana de Eibar, ha creado la “Red Temática Española de Aprovechamiento de la Glicerina” (RAG). La red pretende unir a los distintos agentes (industrias, asociaciones, universidades y centros tecnológicos) en la búsqueda de nuevas aplicaciones que den salida a la glicerina, ampliando competitivamente su mercado. Fabricantes de biodiesel como EHN, BIONORTE, BIONETEUEPOA o BIODIESEL PENINSULAR, universidades como la Universidad de Huelva o el Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología (IUCT) e industrias oleoquímicas como CAILÁ Y PARÉS ya forman parte de la Red.

El motivo de su creación se debe al crecimiento exponencial de la producción de biodiesel que se ha producido en los últimos años, lo cual ha llevado a un excesivo incremento del volumen de glicerina en el mercado. La imparable bajada del precio de la glicerina está convirtiendo a este tradicionalmente preciado producto en un sub-producto devaluado, que compromete tanto el desarrollo como la rentabilidad del biodiesel en toda Europa.

Teniendo en cuenta la situación actual y la perspectiva de futuro, urge la necesidad de encontrar nuevas aplicaciones para la glicerina <sup>[36]</sup>.

Aunque la glicerina puede aprovecharse energéticamente como combustible, resulta más ventajoso transformarla en productos de alto valor añadido. Así, a partir de la fermentación, la oxidación catalítica, la esterificación selectiva etc. de la glicerina, se pueden producir derivados de la misma con aplicaciones como detergentes, aditivos alimentarios, productos cosméticos, lubricantes etc. La producción de hidrógeno por reformado de la glicerina en fase acuosa también se está investigando en la actualidad.

Sin embargo, una de las alternativas más recientes y más interesantes, consiste en la transformación de la glicerina en productos que puedan sustituir parcialmente al gasóleo de automoción, por lo que pueden considerarse, a su vez, biodiesel y, por lo

tanto, su utilización contribuye a alcanzar los objetivos de la Directiva Europea 2003/30/CE <sup>[21]</sup>.

Otro método para aprovechar la glicerina ha sido descubierto recientemente por la Universidad de Oregón (Estados Unidos). A partir de la glicerina se obtiene un plástico biodegradable, que podría tener múltiples aplicaciones.

El material es moldeable y con buenas propiedades para fabricar todo tipo de materiales, incluyendo muebles, aislamientos, geles, etc. <sup>[32]</sup>

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **2.1. OBJETO**

El objetivo del presente proyecto es el diseño de una instalación para la purificación de la corriente de glicerina procedente de un proceso de transesterificación de aceites, una vez separada de la corriente de biodiesel. De manera que mediante una serie de operaciones se obtenga glicerina útil para su comercialización en distintos tipos de industrias.

Estos equipos se van a situar en una planta de producción de biodiesel <sup>[12]</sup> proyectada para su instalación en el Polígono Industrial Las Salinas, en la localidad del Puerto de Santa María, en Cádiz, como se detalla en el apartado 2.4.

Además se describen brevemente en el proyecto las operaciones necesarias para separar la corriente de glicerina de la de biodiesel, ambas procedentes del proceso de transesterificación, y las necesarias para purificar la corriente de biodiesel.

Se establece que la corriente de salida del proceso, con un contenido en glicerina de aproximadamente el 10% en peso, tiene un caudal de 4500 t/año <sup>[12]</sup>.

### **2.2. JUSTIFICACIÓN**

Para justificar la realización del presente proyecto, es decir, justificar el proceso de purificación de la glicerina, se debe justificar en primer lugar el proceso de producción del biodiesel, ya que su obtención es el principal objetivo de la

instalación de estas plantas y no la obtención de la glicerina, que se trata de un subproducto. Por lo tanto:

La realización de este proyecto se justifica por la necesidad de obtener biodiesel utilizable según la norma UNE-EN/14214:2003, la cual especifica los requisitos y métodos de ensayo de los FAMES comercializados y suministrados para su empleo como combustible de automoción en motores diesel, tanto puro (100% biodiesel) como mezclado con diesel mineral <sup>[25]</sup>.

La obtención de este biodiesel implica inevitablemente la de la glicerina, por lo que este proyecto además se justifica por el aprovechamiento de la misma, la cual tiene un valor económico positivo y su comercialización forma parte imprescindible en la rentabilización del biodiesel.

El presente proyecto puede ser justificado desde distintos puntos de vista:

- Justificación desde el punto de vista medioambiental:

1. El artículo 12.3.5<sup>a</sup> del Estatuto de Autonomía para Andalucía establece como uno de los objetivos básicos de la Comunidad Autónoma de Andalucía el fomento de la calidad de vida del pueblo andaluz, mediante la protección del medio ambiente y de la naturaleza, lo que permite a la administración tomar medidas con este objetivo.

Así la producción y comercialización del biodiesel contribuye al cumplimiento del citado artículo:

- El biodiesel presenta ciertos beneficios en la calidad del aire ya que, por un lado, no produce prácticamente emisiones de dióxido de azufre, lo que previene la lluvia ácida y, por otro lado, disminuye la concentración de partículas en suspensión.

- Contribuye a la disminución de la contaminación de suelos y riesgos de toxicidad, por tratarse de un combustible rápidamente biodegradable y no tóxico.
- En aquellos casos en los que el biodiesel tenga como origen los aceites usados permite la eliminación y valorización de un residuo contaminante.

De igual manera, el aprovechamiento de la glicerina fomenta la protección del medio ambiente ya que es un subproducto que se obtiene en un porcentaje considerable.

2. El uso de biocarburantes en el transporte es una herramienta de la que la Unión Europea se sirve para el cumplimiento de los compromisos adquiridos en materia de cambio climático en el ámbito del protocolo de Kyoto.

En este sentido, la Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte, obliga a cada estado miembro a velar por que se comercialice en sus respectivos mercados una proporción mínima de biocarburantes <sup>[21]</sup>.

- Justificación desde el punto de vista socioeconómico:

La producción de biodiesel puede suponer una alternativa interesante para aquellas tierras agrícolas que, como resultado de la limitación de la superficie dedicada a los diversos cultivos que establece la Política Agrícola Común (PAC), pueden quedar abandonadas <sup>[21]</sup>.

De esta forma contribuiría a mantener los niveles de trabajo y renta en el ámbito rural y evitaría los movimientos de población relacionados con el

abandono de cultivos, fomentando asimismo la creación de diferentes agroindustrias.

Por otro lado, el aprovechamiento de la glicerina puede fomentar la creación de nuevas industrias (farmacéuticas, de síntesis química, etc.) que den una nueva utilidad a este subproducto.

- Justificación desde el punto de vista energético:

El biodiesel constituye una fuente energética renovable y limpia. Además, su utilización contribuye a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles y otorga una mayor seguridad en cuanto al abastecimiento energético.

La utilización del biodiesel como biocarburante presenta diversas ventajas medioambientales, energéticas y socioeconómicas respecto a los combustibles convencionales derivados del petróleo, que lo convierte en un instrumento muy útil para el cumplimiento de las políticas comunitarias en materia de lucha contra el cambio climático <sup>[21]</sup>.

## **2.3. VIABILIDAD**

### **2.3.1. Viabilidad técnica**

La viabilidad técnica o tecnológica del presente proyecto queda demostrada por una serie de aspectos <sup>[18][19][20][21]</sup>.

- Existen estudios de investigación que demuestran la validez tanto del proceso de producción de biodiesel como del de purificación de la glicerina obtenida como subproducto.
- En la actualidad se encuentran instalaciones similares en funcionamiento, con unos resultados positivos.
- Se obtiene glicerina con una pureza muy elevada.
- Se utilizan unos equipos y materiales de construcción estándar.

### **2.3.2. Viabilidad económica**

Además el presente proyecto supone una rentabilidad económica favorable por distintos motivos:

- La glicerina es un producto con un alto valor comercial, incluso antes de ser purificada (pureza del 75% aprox.) puede ser vendida a algunos tipos de industrias (para lacas, adhesivos, etc.).
- La comercialización de la glicerina contribuye a mejorar la rentabilización del biodiesel.

### **2.3.3. Viabilidad legal**

El presente proyecto es legalmente viable, ya que existen normativas a nivel autonómico, estatal y europeo que apoyan la tecnología de biocarburantes y el

desarrollo de proyectos que potencien la protección del medio ambiente, así como el uso de nuevas fuentes de energía renovables.

Estas normativas son las siguientes:

#### Normativa de la Unión Europea

- Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte.
- Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad.

#### Normativa española

- Ley 34/1998, de 7 de octubre, del sector de hidrocarburos.
- Real Decreto 1700/2003, de 15 de diciembre, por el que se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados de petróleo, y el uso de biocarburantes.
- Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de impuestos especiales.
- Real Decreto 1729/2003, de 19 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento de los impuestos especiales, aprobado por el Real Decreto 1165/1995, de 7 de julio, y el Real Decreto 3485/2000, de 29 de diciembre.

## 2.4. UBICACIÓN

Para la decisión de la ubicación y emplazamiento de los equipos diseñados se tiene en cuenta que el proceso de purificación de la glicerina es complementario al proceso de producción de biodiesel. Por lo tanto se decide ubicar a dichos equipos en una planta para la obtención de biodiesel proyectada para su instalación en el Polígono Industrial Las Salinas, en la localidad del Puerto de Santa María, en Cádiz [12].

Esta planta utiliza como materia prima principal aceites de fritura usados procedentes de procesos industriales y de hostelería. El biodiesel obtenido tras la reacción de transesterificación se purifica en la misma planta y la glicerina se almacena una vez separada del biodiesel, sin purificarla, por lo que el presente proyecto consiste en una ampliación de dicha planta [12].

Se decide ubicar los equipos en esta planta por los siguientes motivos:

- El Polígono Industrial Las Salinas dispone de 1.500.000 m<sup>2</sup> de zona industrial y comercial, constituyendo un núcleo con elevada importancia dentro de Andalucía.
- La planta está situada en un lugar clave para el transporte tanto de materias primas para la obtención del biodiesel como de productos obtenidos para su comercialización:

Los aceites usados proceden de las localidades de la provincia de Cádiz o de cercanas a ésta, suponiendo un reducido coste en el transporte de la materia prima.

De igual modo, el biodiesel obtenido se vende a estaciones de servicio de la provincia y la glicerina purificada se venderá a empresas andaluzas que demanden este producto (ver punto 8.2 del presente documento).

- La parcela donde se encuentra la instalación dispone de 2000 m<sup>2</sup> de área total disponible, quedando libre el área suficiente para su ampliación.

Si se hubiese ubicado de manera independiente una instalación para la purificación de glicerina, aparecería un importante aumento en el coste debido a los siguientes motivos:

- Habría que transportar la glicerina no purificada desde las plantas de producción de biodiesel hasta la instalación de purificación.
- No se podrían aprovechar recursos de la planta de producción de biodiesel, como pueden ser el suministro de agua, de vapor, de electricidad, conducciones, etc. así como el posible aprovechamiento de la capacidad calorífica de algunas corrientes para los nuevos equipos instalados.
- Se tendría que pagar por la ocupación de una nueva parcela industrial.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCION

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

La tecnología más ampliamente utilizada hasta el momento para la producción de biodiesel es la transesterificación en medio básico, utilizando como reactivo alcohólico el metanol y como catalizador básico el hidróxido potásico. En esta reacción las moléculas de aceite (triglicéridos) se rompen en sucesivos estadios de conversión pasando a diglicéridos y monoglicéridos, para transformarse finalmente en ésteres metílicos y glicerina.

Se distinguen una serie de etapas de reacción <sup>[19]</sup>:



Además de la reacción de transesterificación, reacción principal, hay otra serie de procesos que son también importantes <sup>[19]</sup>:

- Pretratamiento del aceite y/o grasas, en caso necesario.
  - Eliminación de los sólidos en suspensión mediante decantación y/o centrifugación.

- Secado del aceite y/o grasas: igualmente es preciso eliminar la humedad que pueda llevar el aceite para evitar problemas posteriores en la calidad del biodiesel.
  
- Esterificación: en el caso de que el aceite tenga una acidez superior al 1% es necesario realizar previamente una esterificación. De este modo se eliminan reacciones no deseadas de saponificación que generarían jabones. De la reacción del ácido graso con el alcohol se obtiene éster y agua.
  
- Neutralización: consiste en la eliminación de los restos de catalizador y jabones tras la reacción de transesterificación mediante la adición de ácido.
  
- Recuperación del metanol residual.
  
- Separación de fases: los productos principales de reacción (biodiesel y glicerina) son inmiscibles, por lo que la fase ligera que contiene el biodiesel se separará de la fase pesada, que contiene la glicerina.
  
- Purificación de la fase éster: con el fin de obtener un biodiesel cuyas características se encuentren dentro de las especificaciones reguladas por la legislación, deberá someterse a un proceso de purificación.
  
- Purificación de la fase glicerina: con objeto de adecuar la glicerina bruta obtenida a las especificaciones requeridas, se realizan una serie de operaciones para su acondicionamiento.

En el siguiente diagrama de bloques general se muestran estos procesos:

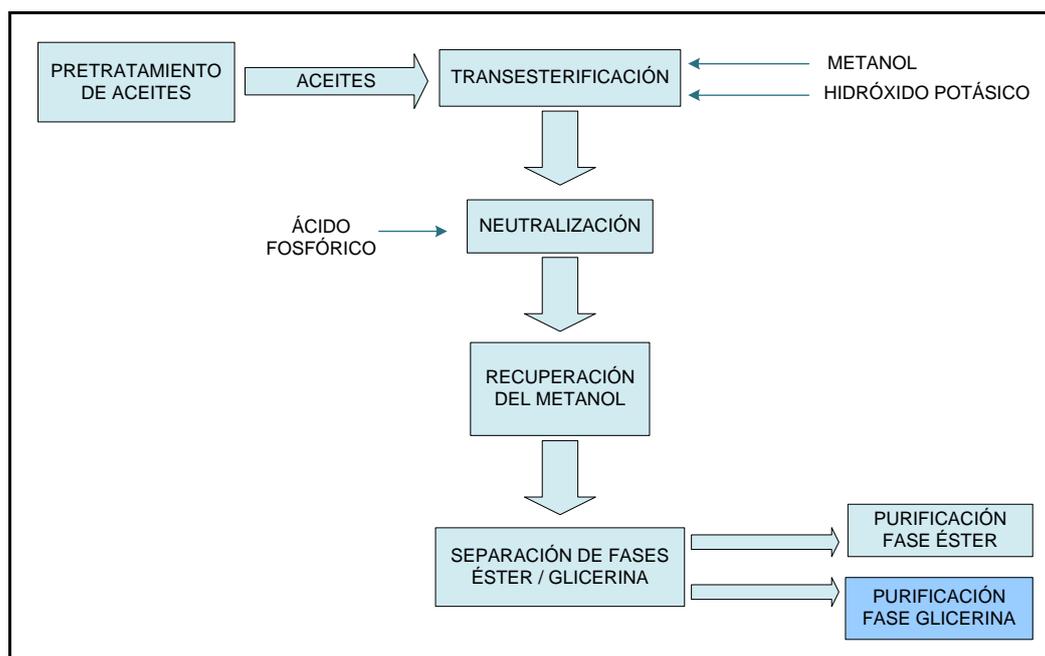


Figura 2. Diagrama de bloques general

A continuación se describen brevemente todos los procesos necesarios para obtener biodiesel y glicerina, ambos resultantes de la reacción de transesterificación. Es decir, las operaciones de neutralización, recuperación del metanol, separación de fases y purificación del biodiesel y de la glicerina.

### 3.2. NEUTRALIZACIÓN

Como resultado de la reacción de transesterificación se han producido biodiesel y glicerina como productos principales, pero además la mezcla contiene restos de catalizador, de jabones y de metanol.

El proceso de neutralización consiste en la adición de ácido para lograr una serie de objetivos:

### Neutralización del catalizador

El ácido utilizado es ácido fosfórico al 85% en una cantidad suficiente para conseguir la neutralización del catalizador básico (KOH), dando lugar a dos productos: fosfato potásico y agua.

Esta reacción es de tipo ácido-base:



### Acidulación del jabón potásico

El jabón formado durante la reacción de transesterificación es el resultado de la reacción entre el catalizador básico y los ácidos grasos libres presentes en el aceite, además de los generados por saponificación de los triglicéridos. Por lo tanto la molécula de jabón consiste en un átomo de potasio unido a una cadena de ácido graso.

El ácido fosfórico interacciona con las moléculas de jabón, produciéndose ácido graso libre y fosfato potásico:



Para realizar la neutralización se utiliza el mismo reactor de transesterificación, en el que se introduce el ácido fosfórico al 85%.

La mayoría de los ácidos grasos formados terminarán en la fase biodiesel, debido a la similitud de densidades de ambos compuestos. Sin embargo, la acidez resultante no perjudicará al biodiesel a la hora de cumplir con los valores exigidos en la normativa de calidad.

Además el control del pH es muy importante para la glicerina, ya que a un pH bajo se produce la deshidratación de la misma y un pH alto conduce a su polimerización. Por lo tanto el proceso de neutralización también beneficia a la glicerina en este sentido.

### **3.3. RECUPERACIÓN DEL METANOL**

El proceso de transesterificación se debe realizar con un exceso de metanol, para asegurar una reacción completa y para lograr una velocidad de reacción mayor. Como consecuencia se genera metanol residual que es preciso recuperar posteriormente en aras a la rentabilidad del proceso.

El metanol posee ciertas características por las que es importante su recuperación y reciclado. En primer lugar, el metanol tiene un punto de ebullición relativamente bajo (337,7 K), por lo que es considerablemente volátil y puede ser eliminado en gran parte por evaporación. Además tiene un punto de inflamación bajo (281 K), por lo que es altamente inflamable.

Por otro lado, la recuperación y reciclado es importante porque se necesita un exceso de metanol en la reacción de transesterificación, por lo que se reducen costes en el sistema y además se evita que el metanol quede como un residuo del proceso.

Una manera de optimizar el sistema es realizar la separación del metanol antes del proceso de separación de fases éster/glicerina, ya que el metanol se distribuye entre ambas fases y actúa como dispersante del éster en la fase glicerina y viceversa, por lo que retarda la velocidad de separación <sup>[15]</sup>.

Además si se decidiera eliminar el metanol tras la separación de fases, por una parte habría que eliminarlo de la fase biodiesel y por otra de la fase glicerina, por lo que se invertiría más tiempo y equipos en recuperar el alcohol.

La recuperación del metanol también se realiza en el mismo reactor, el cual posee un circuito de calefacción en el que se introduce vapor a una temperatura máxima de 339 K. Los vapores de metanol se condensan y almacenan, de manera que se podrán volver a utilizar de nuevo en el sistema. El resto de componentes de la mezcla (éster, glicerina, ácidos grasos libres, fosfato potásico y agua) se introducen en la unidad de separación de fases.

### **3.4. SEPARACIÓN DE FASES ÉSTER/GLICERINA**

La separación éster/glicerina es un proceso basado en la diferencia de densidad que existe entre la fase éster y la fase glicerina. Esta diferencia de densidad es suficiente para la separación de ambas fases por medio de técnicas simples de separación por gravedad, teniendo la fase éster una densidad alrededor de 0,88 g/ml y la fase glicerina de 1,05 g/ml o más, dependiendo de la cantidad de otros componentes que también estén presentes en esta fase.

Sin embargo, la velocidad de separación está afectada por varios factores:

- Velocidad de mezcla

En muchos procesos de transesterificación se utiliza una velocidad de mezcla relativamente alta, por lo menos al principio de la reacción. Si esta intensidad de mezcla continua durante toda la reacción, la glicerina producida se dispersa en gotas muy finas por toda la mezcla, de manera que se necesitan desde una a varias horas para permitir la coalescencia de todas las gotas de esta dispersión.

Por esta razón, para reducir el tiempo requerido en separar las fases, la velocidad de mezcla debe de ser moderada.

- pH

Otro de los factores que influyen en la velocidad de separación es el pH, siendo el pH neutro el más favorable para la formación de la fase glicerina. Así que se realiza la neutralización antes de la separación de fases como ya se ha descrito en el apartado 3.2.

- Metanol residual

Como se describe en el apartado 3.3, la cantidad de metanol residual es otro factor influyente en la velocidad de separación, ya que actúa como dispersante en ambas fases.

### **3.4.1. Equipos para la separación de fases**

Habitualmente se utilizan tres tipos de equipos para la separación de fases, los equipos de decantación, los de centrifugación y los hidrociclones.

#### Equipos de decantación

Los sistemas de decantación solo cuentan con la diferencia de densidad y con el tiempo de residencia como factores para llevar a cabo la separación. Por lo que es un sistema de separación relativamente lento, pudiendo prolongarse el proceso hasta 8-10 horas.

La temperatura en el decantador es un factor que afecta a la solubilidad del alcohol en ambas fases y a la viscosidad de los líquidos. Así, a temperaturas altas,

el alcohol residual que pueda quedar se evapora, arrastrando a la fase éster fuera del decantador, siendo este otro motivo por el que es conveniente recuperar el metanol antes. Por otro lado, a bajas temperaturas la viscosidad aumenta en ambas fases, lo cual hace disminuir la velocidad de formación de las fases en el sistema.

Otra de las desventajas de los sistemas de decantación es su baja efectividad, aunque como ventaja importante se destaca el ahorro energético que supone la implantación de este tipo de sistemas, así como la ausencia de dispositivos mecánicos. [2] [15]

### Equipos de centrifugación

Con las centrifugas se consigue una separación eficaz y rápida, por lo que es un equipo muy utilizado en muchos tipos de industrias, entre ellas la industria del biodiesel. Aunque también presenta inconvenientes, como su elevado coste inicial y la necesidad de un mantenimiento considerable y cuidadoso. No obstante, también podrían utilizarse centrifugas autolimpiantes, que precisan un escaso mantenimiento. [2] [15]

Concretamente, para la separación de las fases éster/glicerina se utilizará una centrífuga autolimpiante, un equipo de separación muy eficaz, limpio y de fácil mantenimiento. Características que compensan su elevado coste y consumo energético. Frente al sistema de decantación natural permite un menor coste de inmovilizado, si se quiere mantener la misma capacidad de producción.

### Hidrociclones

Los hidrociclones son equipos relativamente nuevos que también se han comenzado a utilizar en plantas de biodiesel.

El efecto del hidrociclón es similar al de la centrífuga. Por un lado, la fase más pesada es impulsada hacia las paredes del equipo, recogándose por su parte

inferior y, por otro lado, la fase más ligera se concentra en el centro y se recoge por la parte superior del equipo. La fuerza impulsora que se aplica en la operación queda determinada por la densidad relativa de los líquidos, mientras que la viscosidad relativa de éstos influye en la resistencia a separarse.

La mezcla a separar entra en el hidrociclón a una presión moderadamente elevada, la cual va decreciendo y la velocidad aumentando conforme dicha mezcla se desplaza desde la parte más ancha a la más estrecha del hidrociclón.

Los hidrociclones presentan problemas cuando en la mezcla existen compuestos volátiles, como el metanol. La rápida reducción de presión en el equipo provoca que el alcohol se evapore, alterando o incluso haciendo ineficaz el proceso de separación. Por lo tanto esto hace que deba eliminarse previamente el metanol existente en la mezcla. <sup>[2][15]</sup>

### **3.5. PURIFICACIÓN DE LA FASE ÉSTER**

El proceso de purificación es en realidad una serie de operaciones a las que se somete la fase éster, para conseguir separar el biodiesel de las trazas de glicerina y otras impurezas que pueda contener, además de realizar su estabilización.

Los procesos necesarios para conseguir un biodiesel que cumpla con las especificaciones legales son los siguientes <sup>[19]</sup>:

- Lavado
- Separación de fases éster/agua
- Estabilización
- Secado
- Filtración

- Enfriamiento

### **3.5.1. Lavado**

El proceso de lavado se trata de una extracción líquido-líquido donde el solvente es el agua de lavado, el cual arrastra las trazas de glicerina y otras impurezas que hayan quedado en la fase éster.

### **3.5.2. Separación de fases éster/agua**

Tras el proceso de extracción líquido-líquido quedan dos fases, la ligera con el biodiesel parcialmente purificado, y la fase acuosa que contiene las impurezas. La separación de estas dos fases se realiza eficazmente, mediante los mismos métodos descritos en el apartado 3.4.1.

### **3.5.3. Estabilización**

Uno de los principales problemas que presenta el biodiesel es su estabilidad oxidativa, ya que contiene un gran número de moléculas con dobles enlaces. De manera que posee una vida útil de 3 a 6 meses, a menos que se realice su estabilización con antioxidantes.

Actualmente la tecnología de aditivos antioxidantes está bien desarrollada en industrias procesadoras de alimentos, y muchos de estos aditivos pueden ser empleados para la estabilización del biodiesel.

#### **3.5.4. Secado**

El biodiesel obtenido tras la separación éster/agua aún contiene algo de agua, de manera que no cumple con las especificaciones legales. Además hay que eliminar bien los restos del agua de lavado del biodiesel para que ésta no se separe en el fondo de los tanques de almacenamiento y/o entre al motor. Por estos motivos hay que realizar la operación de secado.

La eliminación del agua puede realizarse por medio de una evaporación a vacío, operando a una presión muy reducida, lo que permite que el agua se evapore a una temperatura inferior a 373 K. Pero también pueden utilizarse otros procesos, como un tamizado molecular o una adsorción con gel de sílica, ya que realmente es poca la cantidad de agua que queda retenida en los ésteres.

Una ventaja de estos últimos procesos es que son pasivos, es decir, no van a suponer un coste energético, sin embargo es necesaria su regeneración periódicamente.

#### **3.5.5. Filtración y enfriamiento**

Una filtración final es fundamental en el proceso de producción de biodiesel, para asegurar que el producto queda libre de posibles restos de impurezas y/o contaminantes.

Además el biodiesel se debe enfriar para poder almacenarlo como paso previo a su comercialización.

### **3.6. PURIFICACIÓN DE LA FASE GLICERINA**

El proceso de purificación de la fase glicerina consta de una serie de operaciones mediante las cuales se consigue obtener glicerina con una pureza válida para su utilización en diversas industrias.

Durante el proceso de separación de fases éster/glicerina, el fosfato potásico y el agua formados en la neutralización se mezclan con la glicerina para formar parte de esta fase. Así que el objetivo fundamental de la purificación de la glicerina es separar estos productos.

Las principales operaciones para la purificación de la glicerina son las siguientes:

- Precalentamiento
- Intercambio iónico
- Evaporación

#### **3.6.1. Precalentamiento**

La corriente de glicerina bruta procedente de la centrífuga, con una temperatura de 333 K, se precalienta hasta una temperatura de 353 K para disminuir su viscosidad y evitar así problemas de caída de presión, entre otros, en las columnas de intercambio iónico.

Para realizar este precalentamiento de la corriente se emplean dos intercambiadores de calor. En el primero de ellos se utiliza como fluido calefactor la glicerina ya purificada, de modo que se aproveche el calor latente de esta corriente. En el segundo se utiliza vapor de calefacción, producido por una caldera.

### 3.6.2. Intercambio iónico

La segunda etapa en el proceso de purificación consiste en hacer pasar la corriente por una serie de resinas de intercambio iónico, de forma que se consiga eliminar el fosfato potásico.

En primer lugar la corriente circula por un lecho de resina catiónica, que intercambia sus grupos  $H^+$  por los grupos  $K^+$  del fosfato potásico, resultando ácido fosfórico como producto de la reacción. Posteriormente la corriente atraviesa un lecho de resina de tipo aniónico, que intercambia sus grupos  $OH^-$  por los grupos  $(PO_4)^{-3}$  del ácido fosfórico. Tras pasar por ambas resinas resulta una corriente formada por glicerina y agua.

El material de las resinas utilizadas, así como los procedimientos para su regeneración se describen más detalladamente en el punto 5.

### 3.6.3. Evaporación

Tras la etapa de intercambio iónico se obtiene una corriente formada por agua y glicerina. El objetivo de la evaporación es eliminar el agua presente en la disolución, de modo que se consigue el doble objetivo de, por una parte, elevar el grado de pureza de la glicerina y, por otra, evitar que ésta sea atacada por microorganismos.

El vapor de calefacción lo proporciona la misma caldera de vapor que se emplea para el intercambiador de calor.

La corriente de salida de vapor condensado del intercambiador de calor, así como las corrientes de disolvente evaporado y de vapor de calefacción condensado que salen del evaporador, se recirculan hasta la caldera generadora de vapor.

Por otro lado, la glicerina ya purificada o técnica se emplea como fluido calefactor del primer intercambiador de calor para conseguir, en la medida de lo posible, la integración energética en la planta. Posteriormente se lleva hasta el tanque de almacenamiento de glicerina técnica (T-01).

### 3.7. DIAGRAMA DEL PROCESO COMPLETO

En el siguiente diagrama se muestran todos los procesos anteriores:

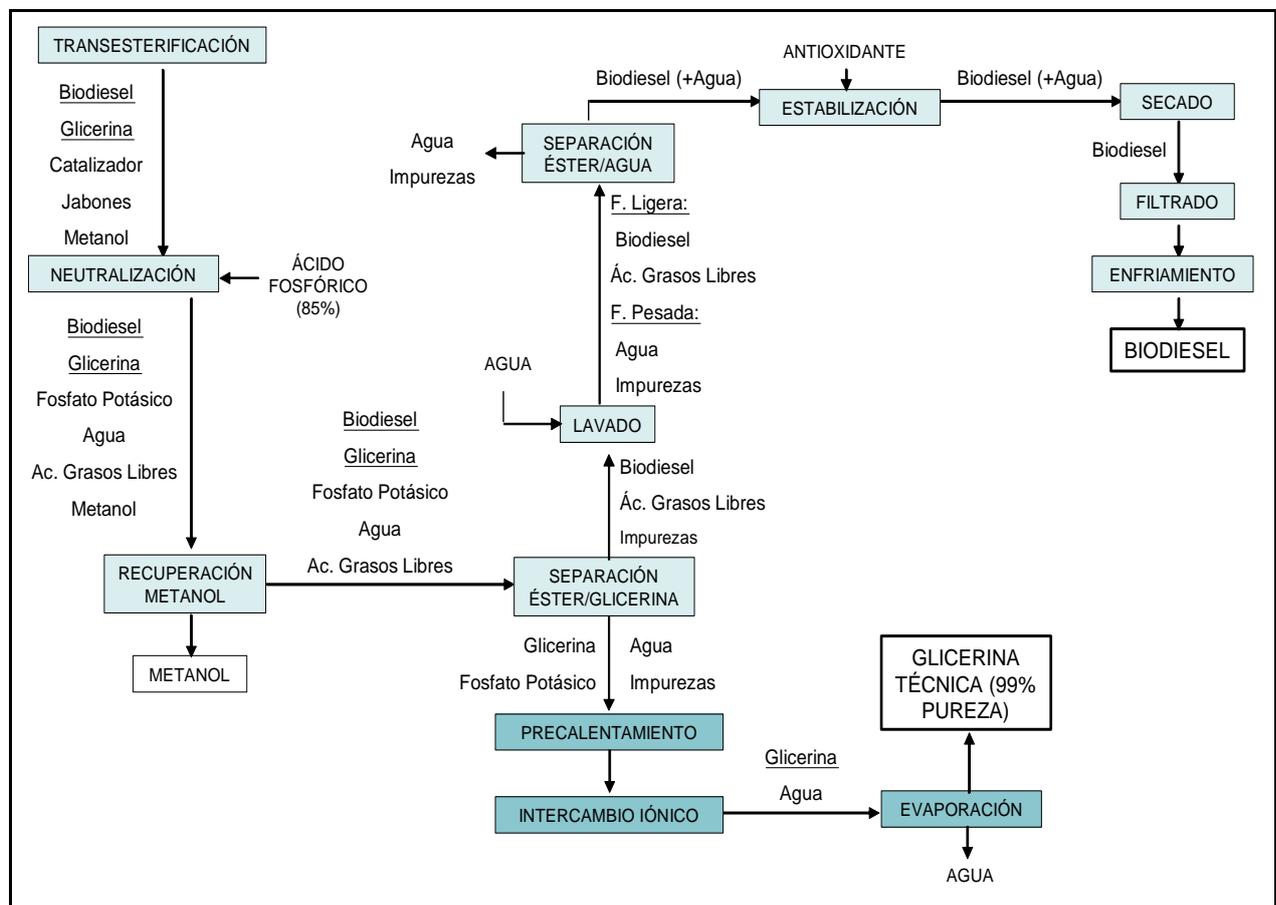


Figura 3. Diagrama del proceso detallado

### **3.8. MODOS DE OPERACIÓN**

En este apartado se describen las características de cada modo de operación, así como el modo seleccionado para purificar la corriente de glicerina.

#### **3.8.1. Operación en continuo**

Este modo de operación es aplicable en instalaciones con altas capacidades de producción y/o con un material de partida que no presente variaciones.

Una de las ventajas que ofrece este modo de producción es su bajo coste inicial, ya que los materiales de los equipos instalados, así como su construcción, tienen un coste más reducido.

Sin embargo es un modo de operación poco flexible frente a posibles cambios en el proceso y además requiere una mayor inversión en equipos de control.

#### **3.8.2. Operación en discontinuo**

Para bajas capacidades de producción (hasta unas 15000 t/año de biodiesel), es aconsejable trabajar en forma discontinua para asegurar la rentabilidad de la planta.

Además es un modo de operación muy útil cuando el material de partida presenta variaciones en su composición, ya que va a ser más fácil ajustar el proceso. Una de sus desventajas son los costos de mano de obra elevados, debido

a la necesaria vigilancia de operarios a lo largo del proceso, aunque este factor puede minimizarse si se utilizan los dispositivos de control adecuados.

### **3.8.3. Selección del modo de operación**

La materia prima empleada en la instalación es la glicerina bruta que procede de la planta de producción de biodiesel, por lo tanto, el modo de operación seguido para purificar la glicerina depende directamente del seguido en la planta de producción.

La planta de producción de biodiesel trabaja de forma discontinua, produciendo 4500 kg de biodiesel en cada uno de los ciclos, de 6 horas de duración cada uno, con un total de 4 ciclos al día.

Siguiendo el régimen de operación de la planta de producción, la instalación de purificación trabaja un total de 11,25 horas diarias, distribuidas en cuatro ciclos. En cada uno de estos ciclos se purifica la glicerina de forma continua durante 2,81 horas (ver punto 1.5 del anexo 1 y punto 7.1 del presente documento).

La materia prima del proceso de purificación es la glicerina bruta procedente de la separación de fases éster / glicerina. Sus características se describen más detalladamente en el punto 4.

## 4. MATERIAS PRIMAS

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Para el proceso de purificación de la glicerina, se considera como materia prima de partida la corriente de glicerina ya separada de la de biodiesel, ambas procedentes del reactor de transesterificación. Esta separación de fases se realiza una vez recuperado el metanol residual y neutralizado el producto de transesterificación.

Así que esta materia prima es una mezcla formada principalmente por los siguientes componentes:

- Glicerina
- Fosfato potásico
- Agua

Realmente en la fase glicerina también quedan otras impurezas como son las trazas de biodiesel o de ácidos grasos libres, pero en unas concentraciones prácticamente despreciables, por lo que no se van a tener en cuenta a la hora de diseñar los equipos.

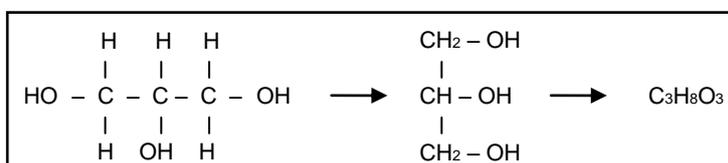
Así mismo puede ocurrir que queden restos de metanol, de jabones y/o de catalizador en la corriente de entrada al proceso de purificación, debido a que la operación de neutralización y/o la de recuperación del metanol no se hubiese realizado correctamente. Sin embargo se considera que ambas operaciones se llevan a cabo eficazmente y solo existen los componentes mencionados.

A continuación se describen estos componentes. Además en este punto se habla de las materias primas empleadas y productos resultantes en el proceso de intercambio iónico:

- Disoluciones regenerantes de ácido clorhídrico y de hidróxido sódico.
- Disoluciones de cloruro potásico y de fosfato trisódico, resultantes tras pasar las disoluciones de ácido clorhídrico y de hidróxido sódico por las resinas catiónica y aniónica, respectivamente.
- Resinas de intercambio iónico.

## 4.2. GLICERINA

La glicerina o 1,2,3-propanotriol consiste en un alcohol con tres grupos hidróxilos (OH):



Se trata de una sustancia incolora, de sabor dulce a alcohol. Tiene una temperatura de ebullición de 563 K y un peso molecular de 92 g/mol.

Su densidad varía con la temperatura como se muestra en la siguiente tabla:

Tª (K)	Densidad (g/ml)
298	1,2713
323	1,2563
348	1,2413
373	1,2263

Tabla 1. Valores de densidad de la glicerina en función de su temperatura [29]

Igualmente ocurre con su viscosidad, como se muestra en la tabla del anexo 3 (Figura 3.4).

Es soluble en agua en cualquier proporción (ver anexo 3) y se disuelve en alcohol, pero es insoluble en éter y muchos otros disolventes orgánicos.

La glicerina bruta obtenida como subproducto en la producción de biodiesel posee una pureza del 75% aproximadamente, una vez separada de la fase éster, y se encuentra junto al resto de componentes (agua, etc.).

Su obtención no solo se consigue a través de la producción de biodiesel, sino que puede ser obtenida mediante otras vías.

Una de estas vías es el desdoblamiento de grasas, la cual está ligada a la disponibilidad de éstas, ya sean de origen animal o vegetal, y al mercado del otro componente obtenido en este proceso, el ácido graso. <sup>[1]</sup>

La reacción general de desdoblamiento es la hidrólisis:

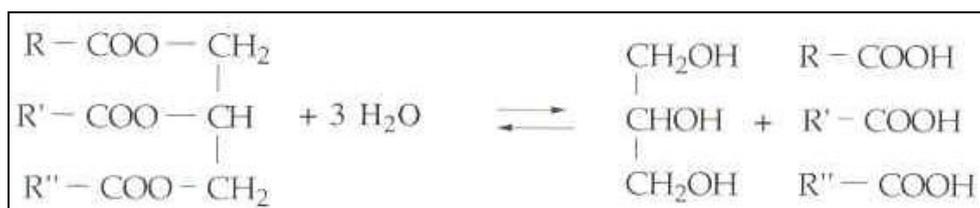


Figura 4. Reacción de hidrólisis [1]

El producto de la reacción es una capa acuosa que lleva en disolución la glicerina, la cual se obtiene por evaporación y destilación, y otra capa aceitosa que contiene los ácidos grasos, los cuales se destinan a la fabricación de jabón o se separan para su empleo en diversas aplicaciones.

En la siguiente figura se muestran las principales aplicaciones de los ácidos grasos según su número de carbonos:

<i>Aplicación</i>	C <sup>=</sup> <sub>22</sub>	C <sup>=</sup> <sub>22</sub> -C <sup>=</sup> <sub>20</sub>	C <sub>18</sub>	C <sup>=</sup> <sub>18</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>8</sub>
Jabones y tensoactivos			×	×	×	×	×		
Cosméticos. Productos farmacéuticos			×	×	×	×	×	×	×
Productos textiles (suavizantes y tensoactivos)			×	×		×	×		
Pinturas y barnices		×	×	×	×			×	×
Caucho			×	×		×		×	×
Velas y ceras	×		×	×					
Desinfectantes e insecticidas				×				×	×
Plásticos (resinas alquídicas)		×	×	×			×	×	×
Papelería			×	×					
Lubricantes			×	×					
Emulgentes, agentes de flotación		×	×	×	×		×	×	×

Figura 5. Aplicaciones de los ácidos grasos [1]

### 4.3. FOSFATO POTÁSICO

La sal de fosfato potásico es uno de los componentes que es necesario separar para conseguir purificar la glicerina, ya que es soluble en ésta y en agua. En el anexo 3, Figura 3.1, se proporcionan datos de solubilidad en glicerina de distintos compuestos, se tendrá en cuenta el dato de solubilidad del pirofosfato sódico. Además se muestra otra tabla sobre las reglas de solubilidad para compuestos iónicos en agua (Figura 3.2).

Como ya se ha comentado, el fosfato potásico se obtiene como producto de la neutralización del catalizador y de la acidulación de jabones, con la adición de ácido fosfórico.

Algunas de las propiedades de este compuesto son las siguientes:

Propiedad	Unidad	Valor
Peso molecular	g/mol	136,08
Densidad	g/ml	2,34
Tª ebullición	K	673

Tabla 2. Propiedades fosfato potásico

#### 4.4. AGUA

El agua es otro de los componentes que se mezclan con la glicerina. Tiene un punto de ebullición de 373 K y un peso molecular de 18 g/mol. Su densidad y viscosidad en función de la temperatura se muestra en la siguiente tabla:

Tª (K)	Densidad (g/ml)	Viscosidad (cP)
273	0,99987	1,79
283	0,99973	1,31
293	0,99823	1,00
303	0,99567	0,798
313	0,99224	0,653
323	0,98807	0,547
333	0,98324	0,467
343	0,97781	0,404
353	0,97183	0,355
363	0,96534	0,315
373	0,95838	0,282

Tabla 3. Valores de densidad y viscosidad del agua en función de su temperatura [29]

## 4.5. ÁCIDO CLORHÍDRICO

Para la regeneración de la resina de intercambio catiónico, se emplea una disolución al 5% de ácido clorhídrico.

El ácido clorhídrico es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno. Se emplea comúnmente como reactivo químico y se trata de un ácido fuerte que se disocia completamente en disolución acuosa, siendo además muy corrosivo, irritante y ácido, pero no inflamable ni combustible.

Posee un peso molecular de 36,46 g/mol y sus propiedades físicas, tales como puntos de fusión y ebullición, densidad y viscosidad dependen de la concentración o molaridad de HCl en la solución ácida.

Conc. (kg HCl/kg)	Conc. (kg HCl/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/l)	Molaridad (M)	Viscosidad (mPa·s)	C <sub>p</sub> (kJ/kg·K)	T <sub>ebullición</sub> (K)
10%	104,80	1,048	2,87	1,16	3,47	376
20%	219,60	1,098	6,02	1,37	2,99	381
30%	344,70	1,149	9,45	1,70	2,60	363
32%	370,88	1,159	10,17	1,80	2,55	357
34%	397,46	1,169	10,90	1,90	2,50	344
36%	424,44	1,179	11,64	1,99	2,46	334
38%	451,82	1,189	12,39	2,10	2,43	321

Tabla 4. Propiedades físicas del ácido clorhídrico en función de su concentración

La disolución regenerante contiene ácido clorhídrico en una porcentaje muy bajo, 5% en peso, por lo que se considera una disolución levemente irritante.

## 4.6. HIDRÓXIDO SÓDICO

El hidróxido sódico (NaOH), hidróxido de sodio o también conocido como sosa cáustica, es un compuesto muy corrosivo pero no combustible. A temperatura ambiente es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire (higroscópico). Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para incendiar materiales combustibles.

Tiene un peso molecular de 40 g/mol y sus propiedades físicas dependen de la concentración de NaOH en disoluciones acuosas:

Concentración (kg NaOH/kg)	Densidad (kg/l)	T <sub>ebullición</sub> (K)
5%	1,056	375
10%	1,111	378
20%	1,222	383
30%	1,333	388
40%	1,434	398
50%	1,530	413

Tabla 5. Propiedades físicas de disoluciones acuosas de hidróxido sódico

Al igual que en la disolución ácida, esta disolución regenerante contiene hidróxido sódico en un porcentaje muy bajo, 4% en peso aproximadamente, por lo que también se considera una disolución levemente irritante.

## 4.7. CLORURO POTÁSICO

El compuesto químico cloruro de potasio (KCl) es un haluro metálico. En su estado puro es inodoro y se presenta como un cristal vítreo de blanco a incoloro. Su toxicidad es similar a la del cloruro sódico.

El cloruro de potasio es utilizado en medicina, aplicaciones científicas, procesamiento de alimentos, etc. La mayoría del cloruro de potasio producido es utilizado en la fabricación de fertilizante, ya que el crecimiento de muchas plantas es limitado por el consumo de potasio. Como reactivo químico es utilizado en la manufactura de hidróxido de potasio y potasio metálico.

Algunas de sus propiedades:

Propiedad	Unidad	Valor
Peso molecular	g/mol	74,55
Solubilidad en agua	g/100 cm <sup>3</sup> agua	34,4
T <sup>a</sup> ebullición	K	1770
T <sup>a</sup> fusión	K	1049

Tabla 6. Propiedades cloruro potásico

## 4.8. FOSFATO TRISÓDICO

El fosfato trisódico o fosfato sódico tribásico (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) se emplea como agente de limpieza para ablandar el agua y prevenir la corrosión de tuberías. Además es utilizado como controlador de pH en el proceso de añejamiento de ciertos quesos.

Algunas de las propiedades de este compuesto son las siguientes:

Propiedad	Unidad	Valor
Peso molecular	g/mol	163,9
Solubilidad en agua	g/100 cm <sup>3</sup> agua	8,8
T <sup>a</sup> fusión	K	348

Tabla 7. Propiedades fosfato trisódico

#### 4.9. RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

Todas las resinas de intercambio iónico empleadas en el proceso tienen una matriz tipo gel, de poliestireno-divinilbenceno. Es decir, están construidas en poliestireno (polímero) entrecruzado con divinilbenceno.

El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. Con una demanda mundial de unos 13 millones de toneladas al año (dato de 2000), el poliestireno es el cuarto plástico más consumido, por detrás del polietileno, el polipropileno y el PVC.

Su estructura química es la siguiente:

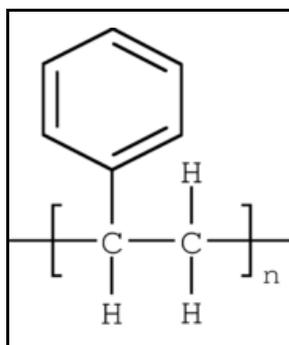


Figura 6. Estructura química del PS

Su símbolo internacional se muestra en la siguiente figura:

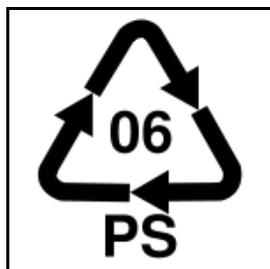


Figura 7. Símbolo internacional del PS

La mayoría de las resinas comerciales están basadas en la estructura poliestireno-divinilbenceno, debido a su buena resistencia química y física y a su estabilidad en todo el rango de pH y temperatura. También se emplean matrices poliméricas basadas en el ácido acrílico o metacrílico.

En el proceso de fabricación de la matriz polimérica, estireno y divinilbenceno (agente entrecruzante), que son insolubles en agua, se mezclan mediante un agitador a una velocidad que rompe la mezcla en pequeñas esferas. Estas esferas a medida que transcurre la reacción se endurecen formando perlas esféricas, que es la forma en la que se suelen presentar estas resinas. En este punto, el copolímero no está funcionalizado.

El entrecruzamiento confiere a la resina estabilidad y resistencia mecánica, así como insolubilidad. El grado de entrecruzamiento es un factor importante de controlar ya que no sólo determina las propiedades mecánicas de la resina, sino también su capacidad de hincharse (“*swelling*”) y de absorber agua.

El hinchado del polímero se produce cuando el disolvente penetra en los poros de la estructura polimérica, ensanchándolos y abriendo, por tanto, la estructura. A simple vista, se observa un aumento en el volumen que ocupa la resina. El proceso de “*swelling*” favorece la permeabilidad de iones en la matriz de la resina y mejora la accesibilidad a los grupos funcionales. Como inconveniente, el aumento de tamaño

de la resina puede dar problemas de exceso de presión si la resina está empaquetada en una columna y también, que la resina sufra procesos de hinchado y deshinchado puede, con el tiempo, afectar a la estabilidad mecánica del polímero.

## 5. PROCESO DE PURIFICACIÓN DE LA GLICERINA

### 5.1. INTRODUCCIÓN

A continuación se describe detalladamente todo el proceso para la purificación o refino de la glicerina bruta, desde que la materia prima procedente de la centrífuga se introduce en el primer intercambiador de calor hasta que se almacena la glicerina purificada.

### 5.2. DIAGRAMA DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN

En el siguiente diagrama de bloques se detalla el proceso completo:

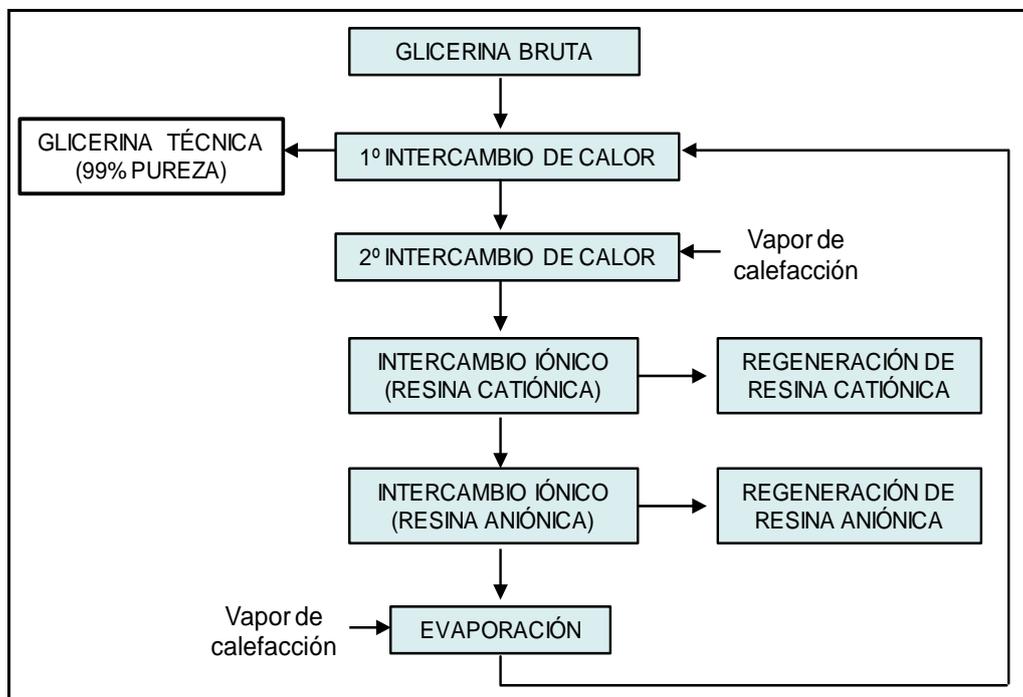


Figura 8. Diagrama de bloques del proceso de purificación de glicerina

En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo correspondiente:

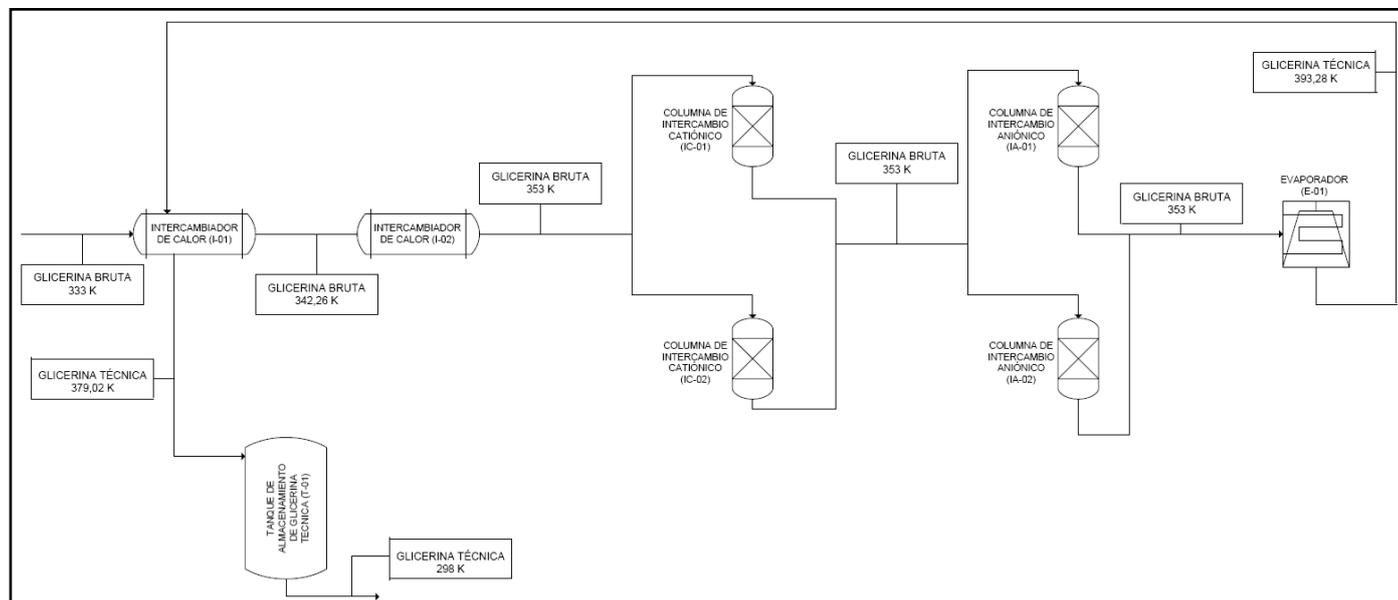


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de purificación de glicerina

La composición y caudal másico de cada corriente se muestran en la siguiente tabla:

	Entrada primer intercambiador de calor		Entrada segundo intercambiador de calor		Entrada columna de intercambio catiónico	
	kg/h	%	kg/h	%	kg/h	%
Glicerina	180,070	74,75	180,070	74,75	180,070	74,75
Agua	10,270	4,26	10,270	4,26	10,270	4,26
Fosfato potásico	50,544	20,98	50,544	20,98	50,544	20,98
Ácido fosfórico	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>240,884</b>	<b>100</b>	<b>240,884</b>	<b>100</b>	<b>240,884</b>	<b>100</b>

	Entrada columna de intercambio aniónico		Entrada evaporador		Salida evaporador	
	kg/h	%	kg/h	%	kg/h	%
Glicerina	180,070	84,28	180,070	88,61	180,070	99,00
Agua	10,270	4,81	23,135	11,39	1,819	1,00
Fosfato potásico	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00
Ácido fosfórico	23,328	10,92	0,000	0,00	0,000	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>212,291</b>	<b>100</b>	<b>203,205</b>	<b>100</b>	<b>181,889</b>	<b>100</b>

Tabla 8. Balance de materia a las unidades del proceso de purificación de glicerina

## 5.3. INTERCAMBIO DE CALOR

### 5.3.1. Introducción

Un intercambiador de calor se puede describir de un modo muy elemental como un equipo en el que dos corrientes a distintas temperaturas fluyen sin mezclarse, con el objeto de enfriar una de ellas, calentar la otra o ambas cosas a la vez. La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos.

Desde el momento en que un equipo de intercambio de calor se instala y pone en funcionamiento dentro de una planta industrial, se precisa un determinado gradiente de temperatura para que se pueda efectuar la transmisión del calor. La magnitud de este gradiente se puede reducir utilizando un equipo mayor, pero esto a su vez implica un mayor coste, tanto de tipo económico como energético.

En la instalación de purificación de glicerina se precisa precalentar la corriente de glicerina procedente de la centrífuga, cuya temperatura es de 333 K, hasta una temperatura de 353 K. Para ello se emplean dos intercambiadores de calor, de modo que primero se utiliza como fluido calefactor la glicerina técnica que se obtiene del evaporador, con un caudal de 181,889 kg/h y una temperatura de 393,28 K. En el segundo intercambiador se termina de precalentar la corriente, donde el vapor de calefacción necesario procede de una caldera de vapor *INSTANVAP "modelo CBC-300"* (ver anexo 4), útil para una producción de hasta 300 kg/h de vapor saturado (a 398 K). Su elección se detalla en el punto 5.6 de este documento.

Se utiliza esta disposición con el objetivo de aprovechar todo el calor latente posible de la corriente de glicerina técnica, optimizándose así la economía energética de la instalación.

El primer intercambiador de calor también podrá emplear como fluido calefactor el mismo vapor saturado, en los momentos en los que la corriente de glicerina técnica no estuviese disponible.

El objetivo del precalentamiento es disminuir la viscosidad de la corriente para evitar problemas en las columnas de intercambio iónico (caídas de presión, etc.). Para glicerina al 75% la viscosidad es de 6,61 cP a 333 K y de 3,80 cP a 353 K (ver anexo 3, Figura 3.4).

### **5.3.2. Tipos de intercambiadores de calor**

Existe mucha variación de diseños en los equipos de intercambio de calor. En ciertas ramas de la industria se han desarrollado intercambiadores muy especializados para ciertas aplicaciones puntuales. Entre los más comunes en la industria química se encuentran los siguientes:

### Intercambiador de doble tubo o de tubos concéntricos

El intercambiador de doble tubo es el tipo más simple que se puede encontrar. Básicamente consiste en dos tubos concéntricos, lisos o aletados. Normalmente el fluido frío se coloca en el espacio anular, y el fluido caliente va en el interior del tubo interno. La disposición geométrica es la siguiente:

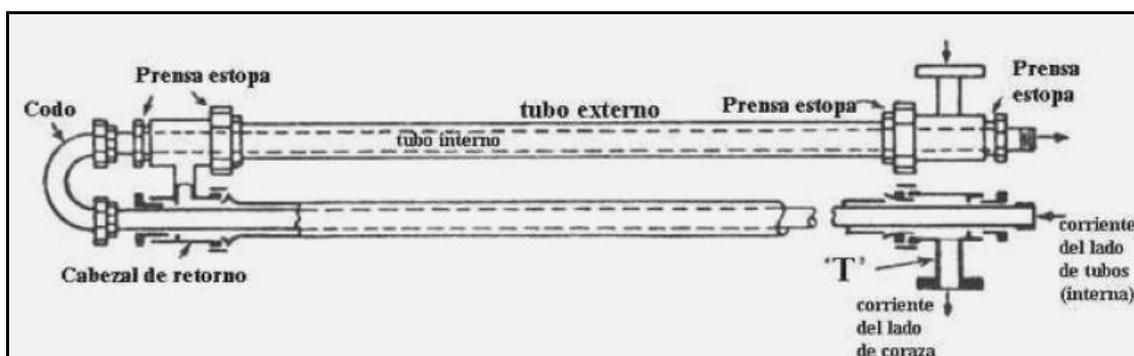


Figura 10. Intercambiador de calor de tubos concéntricos [3]

El intercambiador está formado por varias unidades como las mostradas en el esquema. Cada una de ellas se llama horquilla y se arma con tubo roscado o bridado común y corriente. Las uniones también pueden ser soldadas, pero esto no es habitual pues dificulta el armado y desarmado para su limpieza.

Normalmente se emplean cuando un fluido es un gas, un líquido viscoso o su caudal es pequeño, mientras el otro es un líquido de baja viscosidad o con alto caudal. Son adecuados para servicios con corrientes de alto ensuciamiento, con lodos sedimentables o sólidos o alquitranes, por la facilidad con que se limpian. Si hay una buena respuesta a la limpieza química o los fluidos no ensucian, las uniones pueden ser soldadas para resistir altas presiones de operación. [3]

En este tipo de intercambiador se puede usar tanto flujo en contracorriente como flujo en paralelo.

### Intercambiador de carcasa y tubos

Son los intercambiadores más ampliamente utilizados en la industria química y con las consideraciones de diseño mejor definidas. Consisten en una estructura de tubos pequeños colocados en el interior de un casco de mayor diámetro. Uno de los fluidos circula por el interior de los tubos y el otro por el espacio resultante entre la carcasa y la superficie exterior de los tubos. Normalmente se colocan unos deflectores por el lado de la carcasa, para asegurar que el fluido de este lado circule transversalmente a los tubos, mejorando así la transferencia de calor.

Este tipo de intercambiadores se usan para servicios en los que se requieren grandes superficies de intercambio, generalmente asociadas a caudales mucho mayores de los que puede manejar un intercambiador de doble tubo.

En efecto, el intercambiador de doble tubo requiere una gran cantidad de horquillas para manejar servicios como los descritos, pero a expensas de un considerable consumo de espacio y con aumento de la cantidad de uniones, que son puntos débiles ya que en ellas la posibilidad de fugas es mayor. La solución consiste en ubicar los tubos en un haz, rodeados por un tubo de gran diámetro denominado coraza, de modo que los puntos débiles donde se pueden producir fugas están contenidos en la coraza. En cambio en un conjunto de horquillas estos puntos están al aire libre. <sup>[3]</sup>

En la siguiente ilustración vemos un intercambiador de carcasa y tubos:

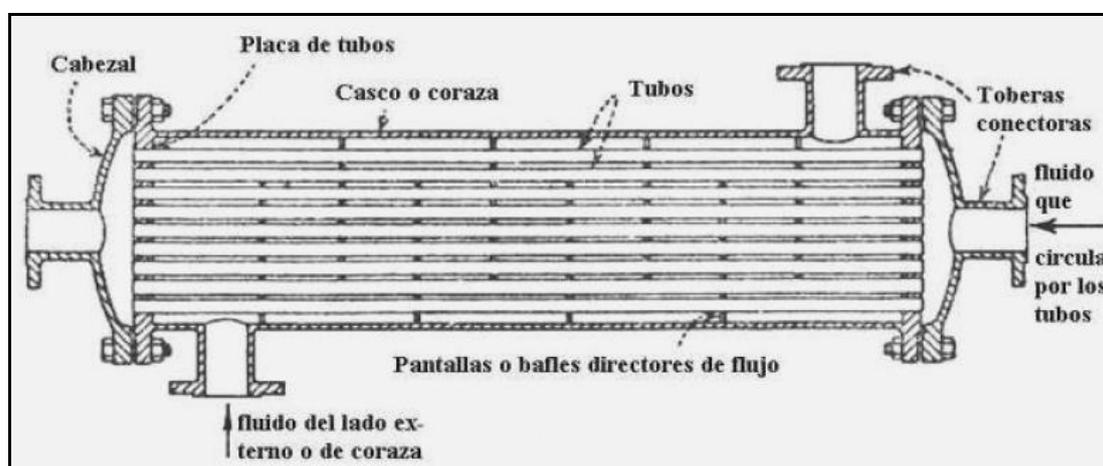


Figura 11. Intercambiador de calor de carcasa y tubos [3]

A la hora de decidir que fluido circulará por el interior de los tubos y cual por el exterior, se tiene en cuenta una serie de consideraciones:

- El fluido más sucio circulará por el interior de los tubos, donde la limpieza es más sencilla.
- El fluido más corrosivo o el que esté a mayor presión se sitúa en el interior de los tubos, con el fin de minimizar el uso de metalurgia más noble.
- El fluido caliente circulará por el interior de los tubos, con el fin de minimizar la pérdida de calor a través de las paredes de la carcasa.

#### Intercambiador de placas empaquetadas

La utilización de este tipo de intercambiadores ha tenido un gran crecimiento entre los intercambiadores compactos. Consiste en una serie de placas confinadas con canales corrugados de aleación que se compactan mediante pernos de compresión en el interior de un armazón. El armazón y las placas poseen orificios que permiten a los fluidos entrar a los pasos alternativos de flujo. El armazón alrededor del perímetro de la placa previene de fugas a la atmósfera y el contacto de los fluidos de proceso con las placas del armazón. No son posibles las fugas interfluidos en el área de los orificios, debido a un doble sello.

Las placas se comprimen para alcanzar el contacto metal-metal manteniendo la integridad con la presión. Estas aberturas estrechas y el gran número de puntos de contacto que cambian la dirección de flujo del fluido se combinan para crear una turbulencia elevada entre las placas, lo que significa coeficientes individuales de transferencia de calor elevados, pero también caídas de presión por unidad de longitud que pueden ser elevadas <sup>[3]</sup>.

En la siguiente ilustración vemos un intercambiador de placas y armazón:

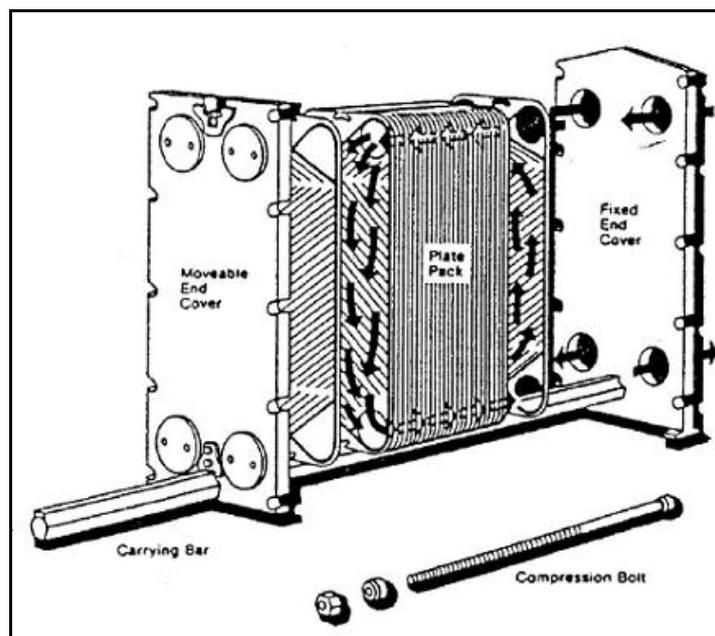


Figura 12. Intercambiador de calor de placas y armazón [3]

La mayoría de las aplicaciones de estos intercambiadores son para servicios líquido-líquido, aunque existen numerosos usos. Algunas de sus cualidades son la fácil limpieza de toda su superficie de transmisión de calor y la facilidad para realizar un estrecho control de temperatura.

### 5.3.3. Elección de los intercambiadores de calor

Se elijen dos intercambiadores horizontales de carcasa y tubos, ya que este tipo es el más utilizado en la industria química y con las consideraciones de diseño mejor definidas.

Generalmente son intercambiadores 1-2, donde la circulación de fluidos se realiza a contracorriente. La glicerina técnica, para el primer intercambiador, y el vapor de calefacción, para el segundo, circulan por el lado de la carcasa mientras que la corriente de glicerina se calienta en el interior de los tubos.

Concretamente para el primer equipo se elige un intercambiador de calor *Basco/Whitlock Tipo AHT “modelo 3-8”* [40]. La carcasa tiene un diámetro de 3-1/8” y los tubos un diámetro de 1/4” y una altura de 8”, ambos construidos en acero inoxidable SS-316 (ver anexo 4). Se ha elegido este modelo porque es el que ofrece el área de intercambio (2,80 ft<sup>2</sup>) que más se ajusta a la calculada (ver anexo 1). Las características del equipo en unidades del SI se muestran en la tabla:

Especificación	Unidades	Valor
Diámetro carcasa	mm	79,37
Diámetro tubos	mm	6,35
Altura tubos	m	0,20
Área de intercambio	m <sup>2</sup>	0,26

Tabla 9. Especificaciones técnicas del intercambiador de calor *Basco/Whitlock Tipo AHT modelo 3-8*

Para el segundo equipo se elige un intercambiador de calor *Basco/Whitlock Tipo AHT “modelo 2-8”* [40]. La carcasa tiene un diámetro de 2-1/8” y los tubos un diámetro de 1/4” y una altura de 8”, ambos construidos en acero inoxidable SS-316 (ver anexo 4). Se ha elegido este modelo porque es el que ofrece el área de intercambio (1,30 ft<sup>2</sup>) que más se adapta a la calculada (ver anexo 1). Las características del equipo en unidades del SI se muestran en la tabla:

Especificación	Unidades	Valor
Diámetro carcasa	mm	53,97
Diámetro tubos	mm	6,35
Altura tubos	m	0,20
Área de intercambio	m <sup>2</sup>	0,12

Tabla 10. Especificaciones técnicas del intercambiador de calor *Basco/Whitlock Tipo AHT modelo 2-8*

## 5.4. INTERCAMBIO IÓNICO

### 5.4.1. Introducción

Los intercambiadores iónicos son matrices sólidas que contienen sitios activos con carga electrostática, positiva o negativa, neutralizada por un ión de carga opuesta que retiene (contraión). En estos sitios activos tiene lugar la reacción de intercambio iónico. Dichos contraiones son los que intercambia con los iones de la disolución, cediéndolos a ésta mientras que retiene los iones disueltos en la misma.

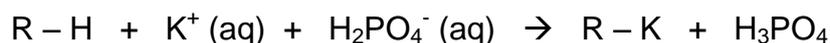
A medida que la disolución pasa a través de la resina, los iones presentes en dicha disolución desplazan a los que estaban originariamente en los sitios activos. La eficiencia de este proceso depende de factores como la afinidad de la resina por un ion en particular, el pH de la disolución si el grupo activo tiene carácter ácido o básico, la concentración de iones o la temperatura. Si las condiciones de operación son las adecuadas, este proceso se llevará a cabo con una eficiencia del 100%.

En este caso, la corriente de glicerina bruta procedente del intercambiador de calor tiene una temperatura de 353 K y contiene fosfato potásico monobásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) en un 21% en peso aproximadamente. Para su eliminación se hace pasar la corriente continuamente a través de una columna rellena de una resina de intercambio catiónico y posteriormente a través de otra con una resina de intercambio aniónico.

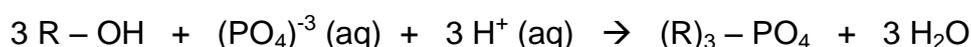
En la primera de ellas, el fosfato potásico monobásico intercambia su catión  $\text{K}^+$  por los cationes  $\text{H}^+$  de la resina catiónica. En la segunda, el ácido fosfórico producido en la reacción catiónica intercambia su anión  $(\text{PO}_4)^{-3}$  por los aniones  $\text{OH}^-$  de la resina aniónica, generándose finalmente 13 kg/h de agua aproximadamente (ver anexo 1, Tabla 1.10).

Las reacciones de cambio entre las resinas y las disoluciones son las siguientes:

1) Intercambio catiónico



2) Intercambio aniónico



En la Figura 13 se muestra un esquema del proceso de intercambio iónico:

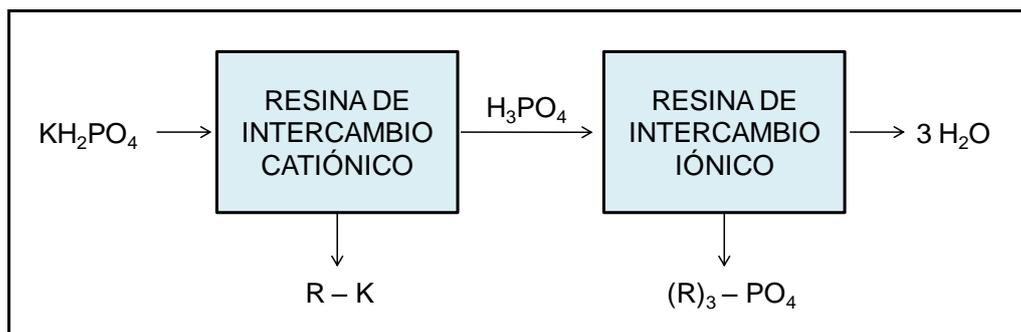


Figura 13. Diagrama de flujo del proceso de intercambio iónico

#### 5.4.2. Tipos de resinas de intercambio iónico <sup>[30]</sup>

Las resinas (o intercambiadores) pueden clasificarse según varios criterios, como el tipo de material del que están hechas, según su estructura de red o según el grupo funcional que intercambian.

##### Según el material

- Resinas inorgánicas

Las arcillas, minerales alumino-silicatos, zeolitas, son cambiadores catiónicos naturales.

Otros materiales inorgánicos artificiales capaces de actuar como cambiadores de iones son algunas sales como ciertos hexacianoferratos, hidróxidos como los de circonio o estaño, molibdatos y algunos sulfuros.

- Resinas orgánicas

A este grupo pertenecen la mayor parte de los cambiadores de uso general. Algunos materiales naturales, biopolímeros como las celulosas, pueden actuar como cambiadores de iones.

#### Según su estructura de red

- Tipo gel

También conocidas como resinas microporosas ya que presentan tamaños de poro relativamente pequeños. En estas resinas el fenómeno swelling (hinchamiento) es muy importante, ya que se hinchan en mayor o menor medida en función del porcentaje de agente entrecruzante empleado durante la polimerización y del disolvente en el que se encuentre la resina.

- Resinas macroporosas

También llamadas macroreticulares. Durante la síntesis de estas resinas a partir de sus monómeros, se utiliza un co-solvente que actúa interponiéndose entre las cadenas poliméricas creando grandes superficies internas. Este disolvente se elimina una vez formada la estructura rígida del polímero. Estas resinas tienen una relación área/volumen mayor que las tipo gel y, por tanto, mayor capacidad de intercambio. La estructura macroreticular favorece la difusión de los iones, mejorando por tanto la cinética de intercambio.

- Resinas isoporosas

Se caracterizan por tener un tamaño de poro uniforme, con lo que aumenta la permeabilidad de los iones en el interior de la red. Son resinas de alta capacidad, regeneración eficiente y de coste más bajo que las resinas macroporosas.

### Según el grupo funcional

- Resinas catiónicas de ácido fuerte

Se producen por sulfonación del polímero con ácido sulfúrico. El grupo funcional es el ácido sulfónico,  $-SO_3H$ .

- Resinas catiónicas de ácido débil

El grupo funcional es un ácido carboxílico  $-COOH$ , presente en uno de los componentes del copolímero, principalmente el ácido acrílico o metacrílico.

- Resinas aniónicas de base fuerte

Se obtienen a partir de la reacción de copolímeros de estireno-divinilbenceno clorometilados con aminas terciarias. El grupo funcional es una sal de amonio cuaternario.

- Resinas aniónicas de base débil

Resinas funcionalizadas con grupos de amina primaria,  $-NH_2$ , secundaria,  $-NHR$ , y terciaria,  $-NR_2$ . Suelen aplicarse para la adsorción de ácidos fuertes con buena capacidad, pero su cinética es lenta.

### 5.4.3. Etapas del proceso de intercambio iónico en columna <sup>[30]</sup>

El intercambio iónico en columna consiste en colocar la resina en el interior de una columna vertical, a través de la cual fluye la disolución a tratar.

El proceso global consta de varias etapas:

- Empaquetamiento de la columna

Consiste en introducir el intercambiador en el interior de la columna evitando la formación de bolsas de aire entre sus partículas, para así obtener un lecho uniforme. Esta operación se realiza habitualmente lavando el intercambiador con agua destilada, que además resulta útil para eliminar posibles impurezas y para provocar el fenómeno de “*swelling*” hinchamiento de las partículas.

El “*swelling*” puede causar graves problemas si tiene lugar una vez el intercambiador se encuentra confinado en la columna, y no se ha dejado espacio suficiente para alojarlo una vez ha incrementado su volumen.

- Etapa de carga

En esta etapa tiene lugar el intercambio de iones entre la disolución a tratar y la resina. La disolución a tratar se introduce en las columnas y fluye a través de las resinas. Las condiciones de operación (velocidad de flujo, pH de la disolución, etc.) dependerán del tipo de intercambiador utilizado, y es importante optimizarlas para obtener un buen rendimiento en cuanto a capacidad y selectividad.

Cuando el intercambiador comienza a estar saturado con los iones de la disolución que entra, se observa un aumento de la concentración de dichos iones en la disolución que sale de la columna. Esta descarga de iones se conoce

como “*breakthrough*” o punto de ruptura, e indica que el tratamiento de la disolución por el intercambiador ya no está siendo efectivo.

- Etapa de regeneración

La etapa de regeneración consiste en devolver el intercambiador saturado a su forma iónica inicial, empleando una disolución que contenga el ión originariamente asociado al intercambiador. Esta etapa es importante en el proceso de intercambio iónico ya que el buen funcionamiento del intercambiador en sucesivos procesos de carga depende de una regeneración eficiente.

La regeneración tiene dos inconvenientes importantes:

1. El gasto económico en regenerante.
2. La generación de residuos, ya que después de regenerar el intercambiador se obtienen disoluciones ácidas o básicas que deben ser tratadas o eliminadas.

En la instalación se dispone de dos pares de columnas, de forma que la disolución fluye continuamente a través de una columna de intercambio catiónico y posteriormente a través de otra de intercambio aniónico. Cuando se produzca la saturación de alguna de las dos resinas, la disolución se desvía a un segundo lecho (semejante al primero), comenzando la regeneración del primero. Para detectar la saturación de las resinas se instalan conductímetros a la salida de todas las columnas (ver punto 5.8 del presente documento).

Con esta disposición se consigue trabajar de forma continua, evitándose paradas en el proceso al tener que realizar la regeneración de las resinas.

Todas estas columnas de intercambio iónico poseen las siguientes características:

- Están construidas en acero inoxidable SS-316.

- Disponen de fondos semielípticos roscados (desmontables), de modo que las resinas puedan ser intercambiadas por otras nuevas cuando haya finalizado su vida útil.
- Cada columna incluye dos platos perforados, uno inferior y otro superior, para el correcto soporte de la resina en su interior. La distancia entre sí de estos platos de soporte es suficiente para albergar la resina, teniendo en cuenta el “*swelling*” correspondiente.
- Con el objetivo de evitar pérdidas de calor a través de las paredes de las columnas, se encamisan con un material aislante de espesor adecuado. Se ha elegido para ello fibra de vidrio de *Consortio termo-acústico S.A.*, “*tipo aishogar*” (ver anexo 4).<sup>[41]</sup>
- En las tuberías de entrada de todas las columnas se instalan boquillas difusoras, para conseguir que la disolución se distribuya uniformemente por todo el lecho de resina.

Con respecto al modo de operación, es en contracorriente, es decir, la disolución a tratar se introduce por la parte superior de la columna y las disoluciones de regeneración en sentido opuesto, es decir, por la parte inferior de la columna.

Este modo de operación utiliza el regenerante más eficientemente que si se introdujesen las disoluciones en el mismo sentido. Al pasar el regenerante de abajo a arriba, se fluidiza el lecho de intercambiador, de manera que se aumenta la superficie de contacto, la regeneración es más rápida y se necesita menos volumen de regenerante.

En la Figura 14 se muestra como varía la concentración de iones intercambiados de una disolución a la salida de una columna de intercambio iónico. Y en la Figura 15 se muestra cómo se traslada la zona de transferencia de materia (zona de t.m.), de saturación y la zona virgen (zona donde no ocurre transferencia de materia).

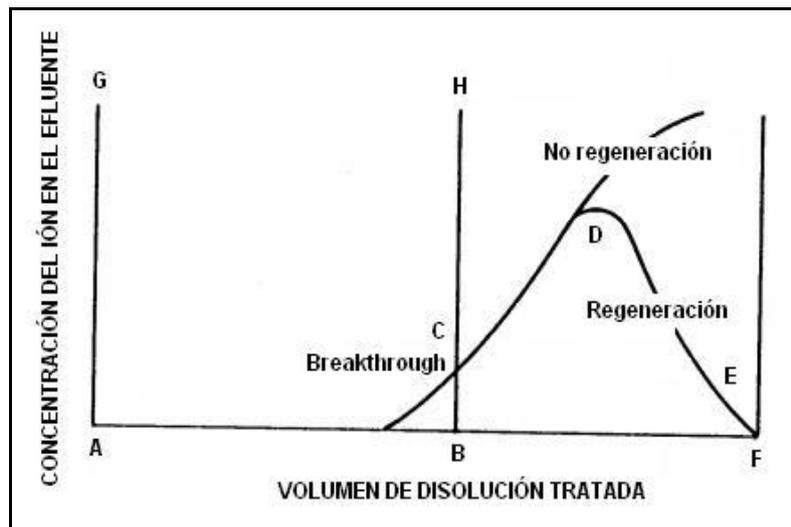


Figura 14. Concentración de iones intercambiados en el efluente en función del volumen tratado

- El área ABHG representa la cantidad de iones en el volumen de disolución tratados antes del punto de ruptura ("Breakthrough").
- El área ACHG representa la cantidad de iones eliminados en el intercambio.
- El área BCDEF representa la cantidad de iones eliminados del lecho durante la regeneración.

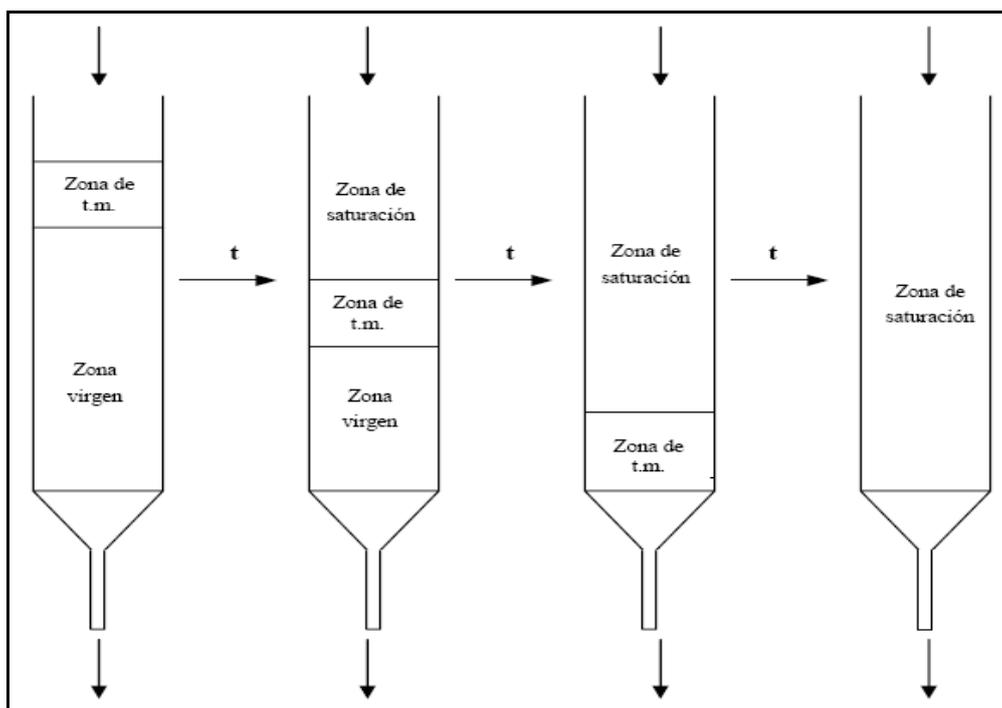


Figura 15. Evolución de la concentración en un lecho de intercambio iónico

#### 5.4.4. Elección de las resinas de intercambio iónico

En la primera etapa de intercambio se emplea una resina fuertemente ácida, intercambiándose el catión  $H^+$  de ésta con el catión  $K^+$  de la disolución a tratar.

Concretamente se utiliza la resina DOWEX HGR-W2, cuyas principales características proporcionadas por el suministrador se muestran a continuación:

Nombre del producto	Matriz	Grupo funcional
DOWEX HGR-W2	Tipo gel. Poliestireno-DVB	Ácido sulfónico

ESPECIFICACIONES	UNIDADES	HGR-W2
Capacidad de intercambio total, min.	eq/L	2,0
"Swelling" total ( $Na^+ \rightarrow H^+$ )	%	7
Densidad de partícula	g/mL	1,23
Peso específico	g/L	800
	lb/ft <sup>3</sup>	50
Máxima temperatura de operación	°C	130
Rango de pH		0-14

Tabla 11. Características de la resina catiónica (DOWEX HGR-W2) [38]

Para el segundo paso en el proceso de intercambio se emplea una resina cambiadora de aniones débilmente básica, de forma que el anión  $PO_4^{-3}$  de la disolución a tratar se reemplaza por el anión  $OH^-$  de la resina.

Se emplea la resina DOWEX MARATHON WBA-2 o de características similares:

Nombre del producto	Matriz	Grupo funcional
DOWEX MARATHON WBA-2	Tipo Macroporosa. Poliestireno-DVB	Amina terciaria

ESPECIFICACIONES	UNIDADES	MARATHON WBA-2
Capacidad de intercambio total, min.	eq/L	1,7
"Swelling" total (Base libre → HCl)	%	23
Densidad de partícula	g/mL	1,04
Peso específico	g/L	640
	lb/ft <sup>3</sup>	40
Máxima temperatura de operación	°C	100
Rango de pH		0-7

Tabla 12. Características de la resina aniónica (DOWEX MARATHON WBA-2) [38]

Ambas resinas pueden ser usadas y regeneradas cientos de veces, obteniéndose resultados satisfactorios. Además pueden soportar la temperatura de la corriente (353 K) e incluso temperaturas más elevadas. Toda la información proporcionada por el suministrador de las resinas se muestra en el anexo 4.

#### 5.4.5. Elección de las disoluciones regenerantes

El suministrador de las resinas ofrece información sobre las disoluciones regenerantes. La resina DOWEX HGR-W2 puede ser regenerada con disoluciones de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1-10%), HCl (4-8%) o NaCl (8-12%) [38]. Se utilizará una disolución comercial de HCl al 5%.

La resina DOWEX M-43 puede ser regenerada con disoluciones de NaOH (2-5%)<sup>[38]</sup>. Concretamente se usará una disolución comercial 1N de NaOH (disolución al 3,8 %).

Se han elegido las disoluciones de ácido clorhídrico e hidróxido sódico al 5 y 3,8%, respectivamente, tras tener en cuenta la disponibilidad y el precio de todas las disoluciones posibles (ver anexo 4).<sup>[39]</sup>

## **5.5. EVAPORACIÓN**

### **5.5.1. Introducción**

El objetivo de la evaporación en el presente proyecto es la eliminación del agua contenida en la corriente de glicerina, la cual se encuentra a 353 K, para lo que se emplea vapor de agua saturado a 398 K como medio de calefacción. Tras el proceso de evaporación se consigue glicerina técnica con una pureza del 99 % aproximadamente.

El vapor de calefacción, al igual que para el intercambiador de calor, es producido por la caldera de vapor. Este vapor se encuentra a una presión de 232,100 kPa.

La evaporación consiste en la separación de un disolvente volátil de un soluto no volátil por vaporización del disolvente, realizándose la calefacción por medio del vapor condensante. Las principales partes de un evaporador son la cámara de condensación y la cámara de ebullición, separadas por una superficie de calefacción. La forma y disposición de ambas cámaras varían de unos evaporadores a otros.

El papel de los evaporadores, así como de cualquier equipo de intercambio de calor, adquiere una gran importancia ante la necesidad de ahorrar energía y disponer de equipos óptimos no sólo en función de su análisis térmico y del rendimiento económico de la instalación, sino también en función de otros factores como el aprovechamiento energético del sistema, la disponibilidad y la cantidad de energía y de materias primas necesarias para cumplir una determinada función.

### **5.5.2. Tipos de evaporadores**

Los evaporadores se clasifican en dos grupos según el tipo de circulación: de circulación natural y de circulación forzada. El principio de funcionamiento de un sistema de circulación natural se distingue del de circulación forzada porque en el primero el fluido circula por sí mismo, es decir, debido a la diferencia de densidad producida al variar su temperatura.

En un sistema de circulación forzada el fluido circula bien por la instalación algún tipo de impulsor en la conducción central de bajada, o bien por una bomba de circulación en el exterior del cuerpo del evaporador.

Los evaporadores de circulación forzada se usan para líquidos viscosos, para los que forman sales y para las soluciones que tienden a incrustarse. Estos evaporadores pueden no ser tan económicos en operación como los evaporadores de circulación natural, pero con fluidos viscosos, como es el caso de la glicerina, no hay otra alternativa sino la de usar este tipo de evaporador.

Además se pueden distinguir distintos tipos de sistemas de alimentación: cuando el alimento líquido fluye en la misma dirección que el vapor (alimentación directa) y cuando el alimento lo hace en dirección contraria (alimentación en contracorriente). Desde el punto de vista del uso efectivo de los potenciales de temperatura, la alimentación directa es preferible.

Si los líquidos son muy viscosos hay una ventaja al usar la alimentación en contracorriente, ya que la temperatura del primer efecto es siempre la mayor al ser la presión mayor y la correspondiente viscosidad será menor. Cuando se emplean flujos a contracorriente se evita tener las soluciones más concentradas, más viscosas, en el último efecto. Aquí la alimentación, solución más diluida, entra en el efecto último y más frío, y sale concentrada en el primer evaporador que está a más alta temperatura. Por lo tanto, las altas temperaturas de los primeros efectos reducen la viscosidad y permiten coeficientes de transferencia de calor de valor razonable.

Una de las desventajas de la alimentación en contracorriente es que el alimento debe bombearse de efecto a efecto, lo que significa que el número de lugares para fugas o entradas de aire potenciales, tales como las bombas y bridas, aumentan, aumentando también el mantenimiento y el costo por potencia. Sin embargo, las relaciones de temperatura en los flujos a contracorriente usualmente contrarrestan en parte estas desventajas, puesto que el sistema está a contracorriente y la economía del vapor es mayor en estas condiciones. [3] [4]

En la siguiente figura se observan estos sistemas de alimentación:

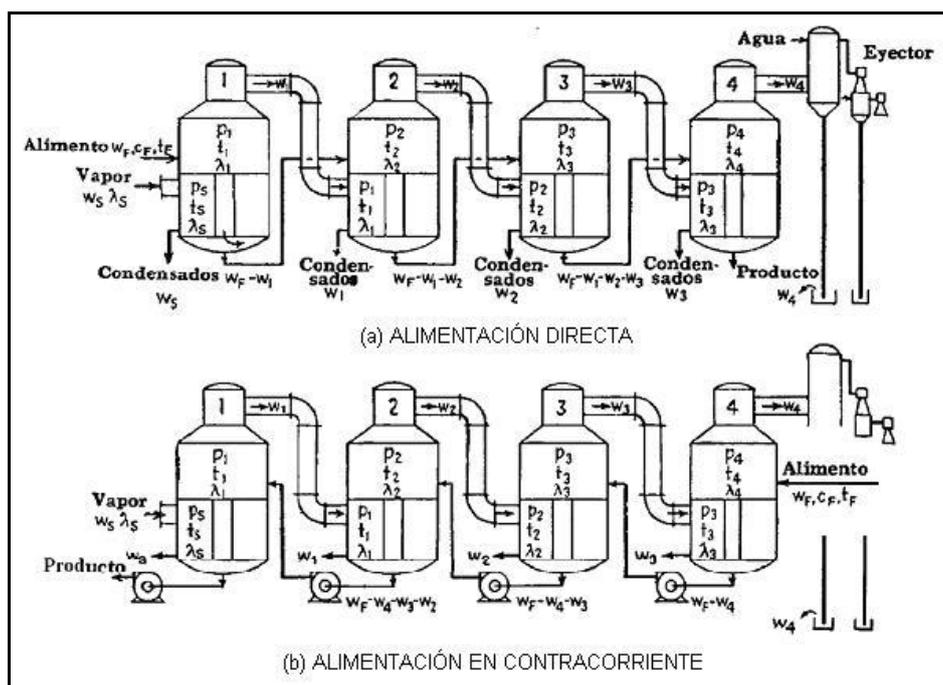


Figura 16. Sistemas de alimentación para un evaporador de efecto múltiple [3]

En estos sistemas se consigue un aumento de la economía del vapor de agua. Sin embargo, este aumento se logra a expensas de mayor inversión en el equipo.

Los evaporadores más utilizados en la industria, tanto para circulación natural como forzada, son los evaporadores de tubos largos verticales, tanto de película ascendente como descendente. Existen también los evaporadores de película agitada, que son muy útiles cuando se tratan fluidos difíciles de procesar. La evaporación con este tipo de equipos resulta muy exitosa con líquidos viscosos, sensibles a altas temperaturas, embarrosos o de alta temperatura de ebullición. Con este método se separan rápidamente los componentes volátiles de los componentes menos volátiles, usando transferencia de calor indirecta y agitación mecánica del producto, que fluye bajo condiciones controladas.

Sin embargo este tipo de evaporadores presenta una serie de desventajas <sup>[28]</sup>:

- Mayor coste del equipo que en evaporadores tubulares
- Requieren un mantenimiento periódico debido a las partes móviles que posee

### **5.5.3. Elección del evaporador**

Teniendo en cuenta que la corriente de entrada al evaporador posee una viscosidad elevada (11 cP aproximadamente) se elige un evaporador de tubos largos verticales de película descendente y de circulación forzada. Se ha elegido un evaporador de película descendente ya que proporciona buenos valores de los coeficientes globales de transmisión de calor, para cualquier valor de diferencias de temperaturas. Sin embargo este tipo de disposición causa una mala distribución del líquido, lo que se puede solucionar bien colocando unas placas metálicas perforadas sobre una placa tubular perfectamente nivelada, por medio de inserciones en los

extremos de los tubos, o bien instalando boquillas individuales de pulverización dentro de cada tubo.

Se decide elegir este evaporador ya que tiene un funcionamiento más simple, menor coste y menor mantenimiento en comparación del evaporador de película fina agitada.

Con respecto al número de efectos, se emplea un evaporador simple ya que la cantidad de agua que debe evaporar es pequeña, por lo que tanto el área de intercambio como la cantidad de vapor necesaria también son pequeñas (ver anexo 1).

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de evaporador simple con circulación forzada:

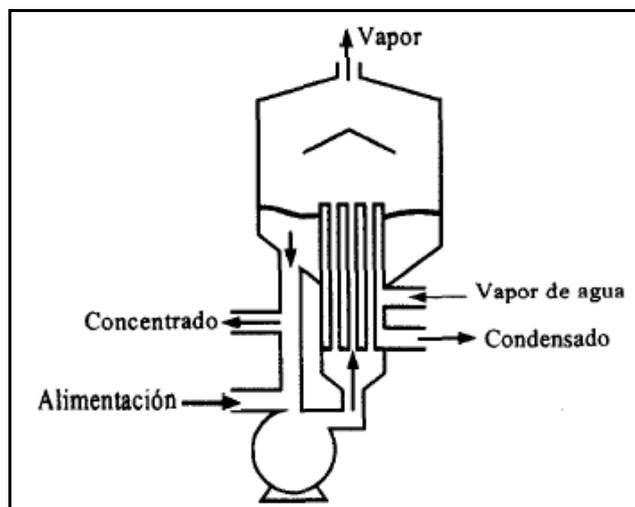


Figura 17. Evaporador de tubos largos verticales con circulación forzada

Concretamente se elige un intercambiador de calor *Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 4-36"* [40], al que se le instala una cámara de expansión para la correcta separación del disolvente puro de la solución concentrada. La carcasa del equipo de intercambio de calor tiene un diámetro de 4-1/8" y los tubos un diámetro de 1/4" y una altura de 36", ambos construidos en acero inoxidable SS-316 (ver anexo 4). Se

ha elegido el “*modelo 4-36*” porque es el que ofrece el área de intercambio (22,80 ft<sup>2</sup>) que más se ajusta a la calculada (ver anexo 1). Las características del equipo en unidades del SI se muestran en la tabla:

Especificación	Unidades	Valor
Diámetro carcasa	mm	104,77
Diámetro tubos	mm	6,35
Altura tubos	m	0,91
Área de intercambio	m <sup>2</sup>	2,12

Tabla 13. Especificaciones técnicas del intercambiador de calor *Basco/Whitlock*  
*Tipo AHT modelo 4-36*

## 5.6. CALDERA GENERADORA DE VAPOR

En la planta de producción de biodiesel proyectada con anterioridad hay ya instalada una caldera, capaz de proporcionar vapor de agua a una serie de equipos existentes en la planta (serpentines de calefacción en tanques, etc.). Esta caldera (*INSTANVAP “modelo CBC-300”*) genera hasta 300 kg/h de vapor aunque en la planta solo se requieren 275 kg/h.

Al realizar la ampliación de la planta de producción de biodiesel con la nueva instalación de purificación de la glicerina obtenida como subproducto (presente PFC), se requiere un mayor caudal másico de vapor al instalarse nuevos equipos que lo necesitan como fluido calefactor: intercambiador de calor y evaporador.

En la siguiente tabla aparecen los caudales másicos de vapor requeridos antes y después de la ampliación de la planta:

		Caudal másico de vapor requerido (kg/h)
ANTES DE LA AMPLIACIÓN	Calefacción en tanques, etc.	275,00
DESPUÉS DE LA AMPLIACIÓN <sup>1</sup>	Intercambiador de calor	192,65
	Evaporador	31,74
	TOTAL	224,40
1. Los caudales de vapor requeridos para el intercambiador de calor y para el evaporador han sido calculados en el anexo 1		

Tabla 14. Caudales de vapor requeridos antes y después de la ampliación de la planta de producción de biodiesel

En esta tabla se muestra que tras la ampliación de la planta se necesitan unos 224,40 kg/h de vapor adicionales. Para proporcionar este vapor se puede elegir entre dos opciones:

1. Instalar una nueva caldera, similar a la que hay ya instalada, que proporcione vapor solo para los nuevos equipos.
2. Cambiar la caldera ya instalada por otra que proporcione vapor a todos los equipos (los que había en la planta más los nuevos).

Se decide instalar una nueva caldera, *INSTANVAP "modelo CBC-300"* con una producción de vapor de hasta 300 kg/h (ver anexo 4), por lo que es capaz de proporcionar vapor al intercambiador de calor y al evaporador, a una temperatura de 398 K.

Esta caldera es de tipo horizontal pirotubular de hogar interior centrado, con tres pasos de gases. La combustión se realiza completamente en el interior del hogar y los humos generados y expulsados a la atmósfera tienen una contaminación

mínima, ya que se emplea como combustible el mismo biodiesel producido en la planta.

Se rechaza la segunda opción por varios motivos:

- Si se cambiase la caldera ya instalada por la nueva, habría que añadir el coste de tuberías (aisladas) y de más equipos de bombeo para llevar el vapor hasta los nuevos equipos.
- Con la instalación de una segunda caldera, se tiene la libertad de situarla lo más cerca posible del intercambiador de calor y del evaporador.
- Se tendría que dejar de utilizar la caldera ya instalada.

Las características técnicas del equipo se detallan en el punto 6 del presente documento.

## **5.7. ALMACENAMIENTO**

### **5.7.1. Introducción**

Una vez obtenida la corriente de glicerina técnica, se almacena en un tanque hasta el momento de su recogida por camiones. Este tanque se sitúa en el exterior de la instalación.

Por otro lado, las disoluciones de ácido clorhídrico y de hidróxido sódico se almacenan en pequeños tanques dentro de la planta, en una zona cercana a las columnas de intercambio iónico.

Las resinas (nuevas) se almacenan en sus recipientes originales, proporcionados por el suministrador.

## 5.7.2. Clasificación de tanques

Existen numerosos tipos de recipientes que se utilizan en las plantas industriales o de procesos. Algunos de estos tienen la finalidad de almacenar sustancias que se dirigen o convergen de algún proceso, este tipo de recipientes son llamados en general tanques.

Los tipos más comunes de recipientes pueden ser clasificados de acuerdo a su geometría como:

### 1. Tanques abiertos

Los recipientes abiertos son comúnmente utilizados como tanque igualador o de oscilación como tinas para dosificar operaciones donde los materiales pueden ser decantados como: desecadores, reactores químicos, depósitos, etc.

### 2. Recipientes cerrados

Fluidos combustibles o tóxicos o gases finos deben ser almacenados en recipientes cerrados. Sustancias químicas peligrosas, tales como ácidos o sosa cáustica son menos peligrosas si son almacenadas en recipientes cerrados.

La decisión de que un recipiente abierto o cerrado es usado dependerá del fluido a ser manejado y de la operación. Estos recipientes son fabricados de acero, hormigón, etc. Sin embargo en los procesos industriales son construidos de acero por su bajo coste inicial y fácil fabricación.

2.1. Tanques cilíndricos de fondo plano: El diseño en el tanque cilíndrico vertical operando a la presión atmosférica, es el tanque cilíndrico con un techo cónico y un fondo plano descansando directamente en una cimentación compuesta de arena, grava o piedra triturada. En los casos donde se desea

usar una alimentación de gravedad, el tanque es levantado arriba del terreno y el fondo plano debe ser incorporado por columnas y vigas de acero.

2.2. Recipientes cilíndricos horizontales y verticales con cabezas formadas: Son usados cuando la presión de vapor del líquido manejado puede determinar un diseño más resistente. Una gran variedad de cabezas formadas son usadas para cerrar los extremos de los recipientes cilíndricos. Las cabezas formadas incluyen la semiesférica, elíptica, toriesférica, cónica y toricónica. Para propósitos especiales las placas planas se usan para cerrar un recipiente abierto. Sin embargo las cabezas planas son de poco uso en recipientes grandes.

2.3. Recipientes esféricos: El almacenamiento de grandes volúmenes bajo presiones medias son normalmente de los recipientes esféricos, aunque las capacidades y presiones utilizadas varían enormemente. Puesto que la forma esférica es la forma natural que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna esta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión, sin embargo en la fabricación y, sobre todo, el montaje de estos es mucho más cara en comparación de los recipientes cilíndricos.

En general cuando para una masa dada, el recipiente esférico es más económico para grandes volúmenes y bajas presiones de operación. A presiones altas de operación de almacenamiento, el volumen de gas es reducido y por lo tanto en tipo de recipientes cilíndricos es más económico.

En el presente proyecto el tanque de almacenamiento de glicerina técnica trabaja a presión atmosférica. Se define tanque atmosférico como un recipiente diseñado para soportar una presión interna manométrica de hasta 15 kPa, pudiendo estar abiertos o cerrados. A continuación se describen los tipos de techos existentes en la industria para tanques atmosféricos:

1. Techo abierto: se utilizan para materiales que no se ven afectados por las condiciones ambientales.
2. Techo flotante: el techo del depósito asciende o desciende según se va llenando o vaciando. Este tipo de techos deben tener un sello entre el tejado y el cuerpo del tanque, drenajes para la eliminación de agua y vigas contra el viento, a fin de eliminar las distorsiones.
3. Techos fijo: este tipo de techos requieren venteos para evitar los cambios de presión que se producen al retirar líquido o debido a los cambios de temperatura.

### **5.7.3. Almacenamiento de glicerina técnica**

Para el almacenamiento de la glicerina purificada se opta por un tanque de tipo vertical cilíndrico con fondo y techo semielípticos. Estará situado en una zona exterior de la instalación.

El tanque cuenta con un sistema de venteo de tipo normalmente abierto, para evitar su deformación como consecuencia de llenados, vaciados o cambios de temperatura ambiente, etc. Este sistema se diseñará siguiendo las indicaciones de la Instrucción Técnica Complementaria MIE-APQ1 del RD 379/2001 de Almacenamiento de Productos Químicos.

Con respecto al material de construcción del tanque, este será acero inoxidable SS-316. Este tipo de material se elige por su mayor resistencia a la corrosión que otros, como por ejemplo un acero al carbono, el cual es un material de menor coste.

La glicerina técnica que sale del evaporador a 393,28 K es utilizada como fluido calefactor del primer intercambiador de calor, de modo que se almacena a una temperatura de 379,02 K. A esta temperatura la glicerina técnica no presenta peligro

para la instalación, ya que su temperatura de ebullición (563 K), de inflamación (433 K) y de autoignición (702 K) son bastante más altas. Sin embargo, para que la glicerina técnica sea transportada en los camiones a temperatura ambiente (298 K aproximadamente), el tanque dispone de un serpentín de refrigeración tipo espiral del mismo material que el tanque, por el que circula agua de red a 296 K aproximadamente (ver anexo 1). Además el tanque dispondrá de una bomba para su carga en las cisternas de transporte.

#### **5.7.4. Almacenamiento de disoluciones regenerantes de resinas**

Para el almacenamiento de las disoluciones regenerantes de las resinas de intercambio iónico, es decir, las disoluciones de ácido clorhídrico (al 5%) y de hidróxido sódico (1N), se utilizan dos pequeños tanques cilíndricos verticales con fondos superiores e inferiores planos y venteos de tipo normalmente abierto, tanques T-02 y T-03, respectivamente. Ambos estarán situados en el interior de la instalación, en una zona cercana a las columnas de intercambio iónico.

Además se utilizan otros dos tanques para almacenar las disoluciones de cloruro potásico (T-04) y de fosfato trisódico (T-05), resultantes tras la regeneración, cuyas dimensiones serán similares a los tanques T-02 y T-03, respectivamente. En el anexo 1 se definen las dimensiones de todos los tanques.

Estos cuatro tanques no requieren medidas de seguridad especiales (red de abastecimiento de agua para extinción de incendios, etc.), ya que se almacena poca cantidad de disoluciones y en unas concentraciones muy bajas.

Las medidas de seguridad tomadas para todos los tanques de la instalación se detallan en el anexo 2, referente a la seguridad industrial. Así mismo, las dimensiones de todos los tanques se justifican en el anexo 1 y se resumen en el punto 6 de este documento.

### **5.7.5. Almacenamiento de resinas**

Las resinas de intercambio iónico se almacenan en los envases originales que proporciona el suministrador. Las resinas requieren unas condiciones especiales de almacenamiento (ver anexo 4), temperatura entre 0 y 30 °C, lugar seco, etc., por lo que se guardan en una almacén interior de la planta de producción de biodiesel.

## **5.8. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO**

Con la instrumentación y el control de los equipos se consigue que las operaciones se realicen de manera más segura y económica. Además se logra una reducción de la mano de obra.

Un sistema de control puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor (punto de consigna) deseado, y efectúa una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente, sin que el operario intervenga en absoluto.

Sea cual sea la estrategia de control seleccionada, para implementar físicamente el sistema de control habrá que medir variables del proceso (niveles, caudales, temperaturas, etc.), calcular las acciones de control y manipular determinadas variables de entrada.

Un sistema de control se compone de los siguientes dispositivos o instrumentos:

- Medidor: instrumento de medida de la variable o condición a controlar.
- Controlador: dispositivo que calcula la diferencia entre la señal medida y el valor deseado (punto de consigna).

- Convertidor / transmisor: dispositivo que recibe la señal eléctrica del controlador, la convierte en señal neumática y la transmite al elemento final de control (válvula o actuador).
- Válvula o actuador: dispositivo que recibe la señal neumática del convertidor / transmisor. En función de la orden dada por el controlador se abre o se cierra.

La mayoría de las válvulas empleadas en la instalación son de tipo tres vías, que tendrán las siguientes utilidades:

- Desviar la corriente hacia una tubería u otra en función de la columna de intercambio que esté disponible o de la que necesite la regeneración de su resina (V-02, V-04, V-11 y V-14).
- Dirigir dos posibles corrientes hacia su tubería correspondiente (V-19).
- Unir dos corrientes (V-08 y V-10).
- Dividir una corriente en dos (V-09).
- Unir dos posibles corrientes en una. La corriente circulará por una tubería o por otra, ya que se trata de recorridos alternativos. Son las válvulas V-03, V-05, V-12 y V-15.

También se emplean otras válvulas para regular las corrientes de entrada de vapor al intercambiador de calor y al evaporador (V-01a y V-01b), y de entrada de agua de refrigeración al serpentín del tanque T-01 (V-17), son válvulas de globo. Así como válvulas para detener la entrada de glicerina técnica al tanque T-01 (V-06), para descargar el producto de los tanques (V-07, V-13 y V-16) o para impedir la salida del agua de refrigeración del serpentín (V-18), son válvulas de bola.

En las siguientes figuras se muestran los equipos y sistemas de tuberías, así como las válvulas existentes en la instalación (ver anexo 1, punto 7.1):

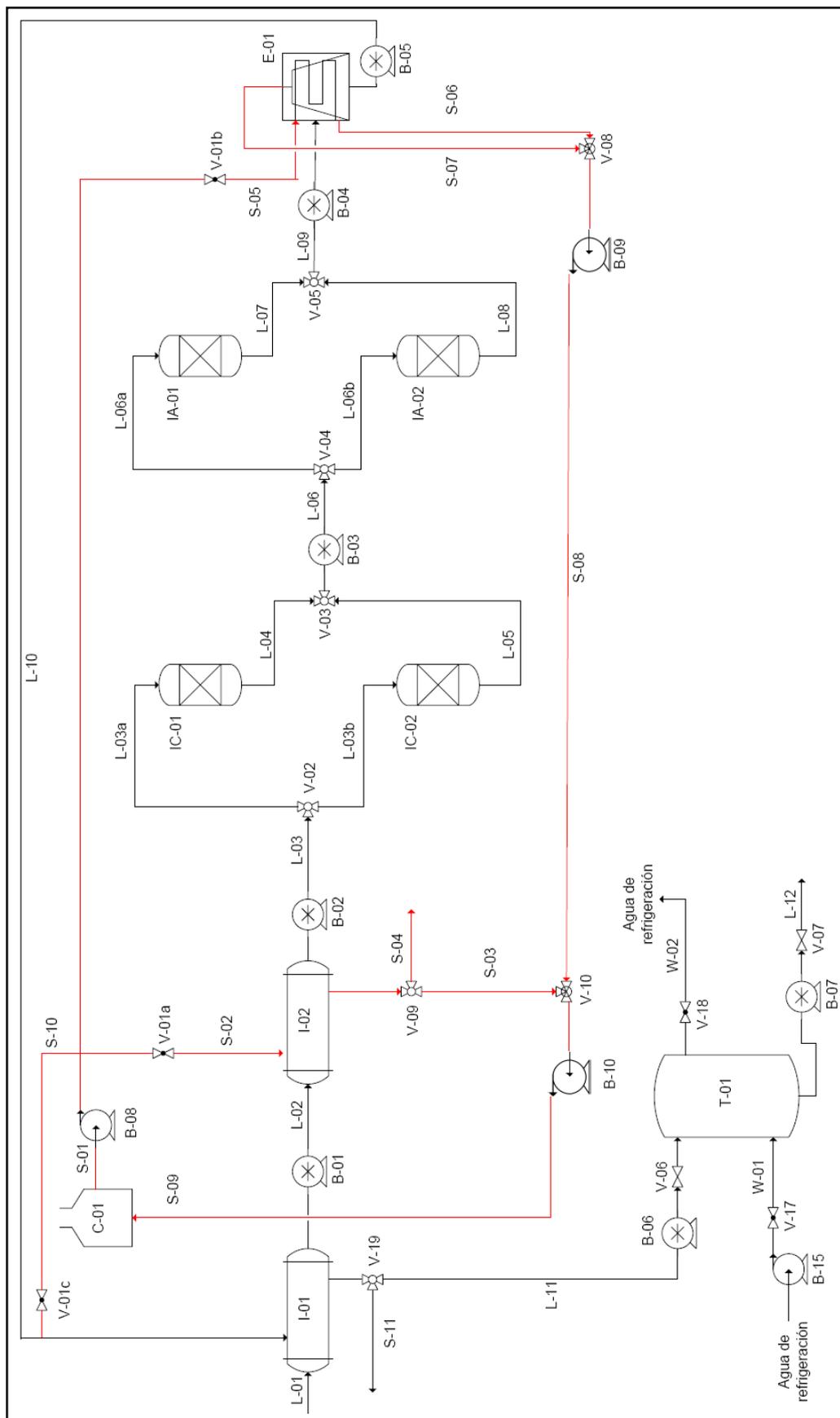


Figura 18. Sistemas de tuberías principal, de transporte de vapor y de transporte de agua

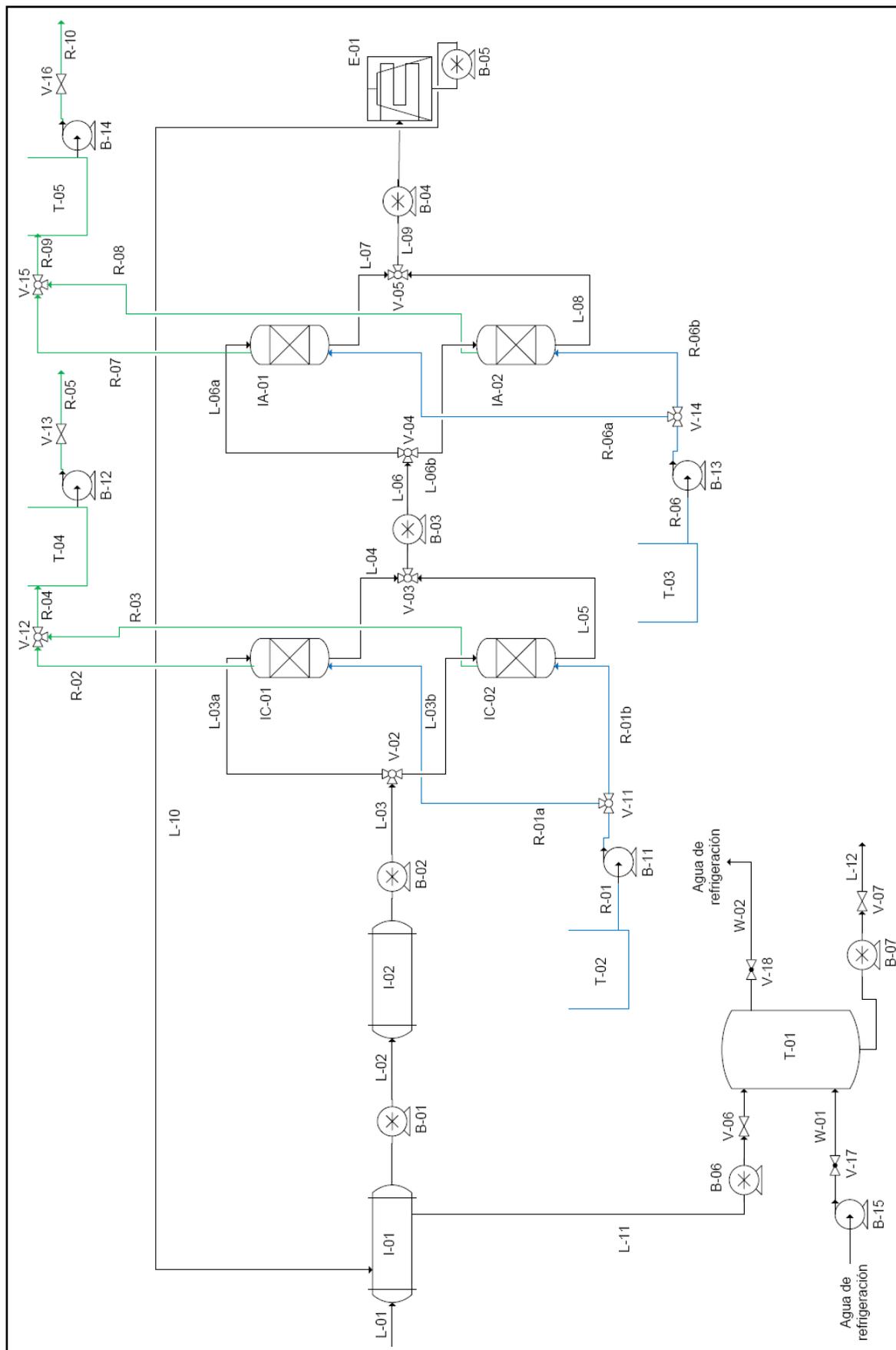


Figura 19. Sistemas de tuberías principal y de transporte de disoluciones de regeneración

Como se describe en el anexo 1, punto 7.1, la corriente de salida del segundo intercambiador de calor puede seguir cuatro recorridos alternativos para llegar al evaporador. Por lo tanto se distinguen cuatro posibles sistemas de tuberías principales:

- 1. Sistema principal 1** (disponibles columnas IC-1 y IA-1): L-01, L-02, L-03, L-03a, L-04, L-06, L-06a, L-07, L-09, L-10, L-11, L-12.
- 2. Sistema principal 2** (disponibles columnas IC-1 y IA-2): L-01, L-02, L-03, L-03a, L-04, L-06, L-06b, L-08, L-09, L-10, L-11, L-12.
- 3. Sistema principal 3** (disponibles columnas IC-2 y IA-2): L-01, L-02, L-03, L-03b, L-05, L-06, L-06b, L-08, L-09, L-10, L-11, L-12.
- 4. Sistema principal 4** (disponibles columnas IC-2 y IA-1): L-01, L-02, L-03, L-03b, L-04, L-06, L-06a, L-07, L-09, L-10, L-11, L-12.

Por otro lado, en la instalación se realizan la medición de las siguientes variables controladas:

#### Caudal

Se instalan medidores de caudal a la entrada y salida de las columnas de intercambio iónico y a la salida del evaporador, con el fin de conocer el grado de separación obtenido.

#### Temperatura

Se mide la temperatura a la entrada y salida de los intercambiadores de calor y del evaporador (sensores de temperatura), de modo que si existiese algún fallo en estos equipos se detecte lo más rápido posible. Además en función de la temperatura de la corriente de glicerina a la salida del segundo intercambiador y a la entrada del evaporador, el controlador correspondiente envía una orden para la apertura o cierre de las válvulas de regulación de vapor (V-01a y V-01b). Y en función de la temperatura a la salida del primer intercambiador de calor, el

controlador enviará una orden para la apertura o cierre de la válvula de regulación de vapor (V-01c) y de la válvula de tres pasos V-18.

Se mide también la temperatura en el tanque T-01, de manera que se abra o cierre la válvula de regulación de agua de refrigeración (V-17).

### Presión

Igualmente se mide la presión a la salida de las columnas de intercambio iónico y en el tanque de almacenamiento de glicerina, T-01. De modo que se puedan detectar las pérdidas de carga o la sobrepresión en el tanque.

### Nivel

También se realiza la medida del nivel en todos los tanques, mediante sensores:

- Medidores de nivel en la parte superior de los tanques de almacenamiento de glicerina (T-01), de la disolución de cloruro potásico (T-04) y de la disolución de fosfato trisódico (T-05). De modo que al llegar al 80% de la capacidad, el controlador ordene la parada de la corriente de entrada al tanque T-01 o active una alarma de aviso en los tanques T-04 y T-05.
- Medidores de nivel en la parte inferior de los tanques de almacenamiento de la disolución de ácido clorhídrico (T-02) y de la disolución de hidróxido sódico (T-03). De modo que al llegar al 20% de su capacidad se active una alarma de aviso para comenzar el llenado de cada tanque.

### Conductividad

Por último, se instalan sensores de conductividad a la salida de todas las columnas de intercambio iónico. Con ello se consigue detectar tanto la saturación de las resinas como la finalización de la regeneración.

Estos conductímetros se deben colocar en las tuberías de transporte de la corriente de glicerina (en la parte inferior de las columnas), L-03, L-04, L-06 y L-07. Y en las tuberías de transporte de las disoluciones regenerantes (en la parte superior de las columnas, ya que la regeneración se realiza a contracorriente), R-02, R-03, R-07 y R-08.

Los principales lazos de control establecidos en la instalación de purificación de glicerina aparecen en las Figuras 20, 21, 22 y 23.

En la Figura 21 se observa que en función de la conductividad de las corrientes a la salida de las columnas de intercambio iónico, cada controlador envía una orden u otra a las válvulas correspondientes. De este modo cuando la resina de una columna de intercambio catiónico llega al punto de saturación, la válvula de tres vías V-02 desviará la corriente hacia la otra columna catiónica y la válvula de tres vías V-03 abrirá el paso para la descarga de esta última columna, cerrando el paso para la descarga de la primera. Para las columnas de intercambio aniónico se ha instalado un sistema de control similar.

En las Figuras 22 y 23 se muestran los lazos de control instalados para la regeneración de las columnas de intercambio catiónico y aniónico. Así como los sistemas para el control del nivel en los tanques T-02, T-03, T-04 y T-05. En este caso, cuando el conductímetro situado a la salida de una columna de intercambio catiónico detecta que la resina está saturada, el controlador correspondiente envía una orden a la válvula V-11 de manera que se abra y comience la regeneración en dicha columna. Cuando el conductímetro nº 5 ó 6 detecte la finalización de la regeneración, el controlador correspondiente envía una orden a la válvula V-11 para su cierre. Para las columnas de intercambio aniónico se ha instalado un sistema de control similar.

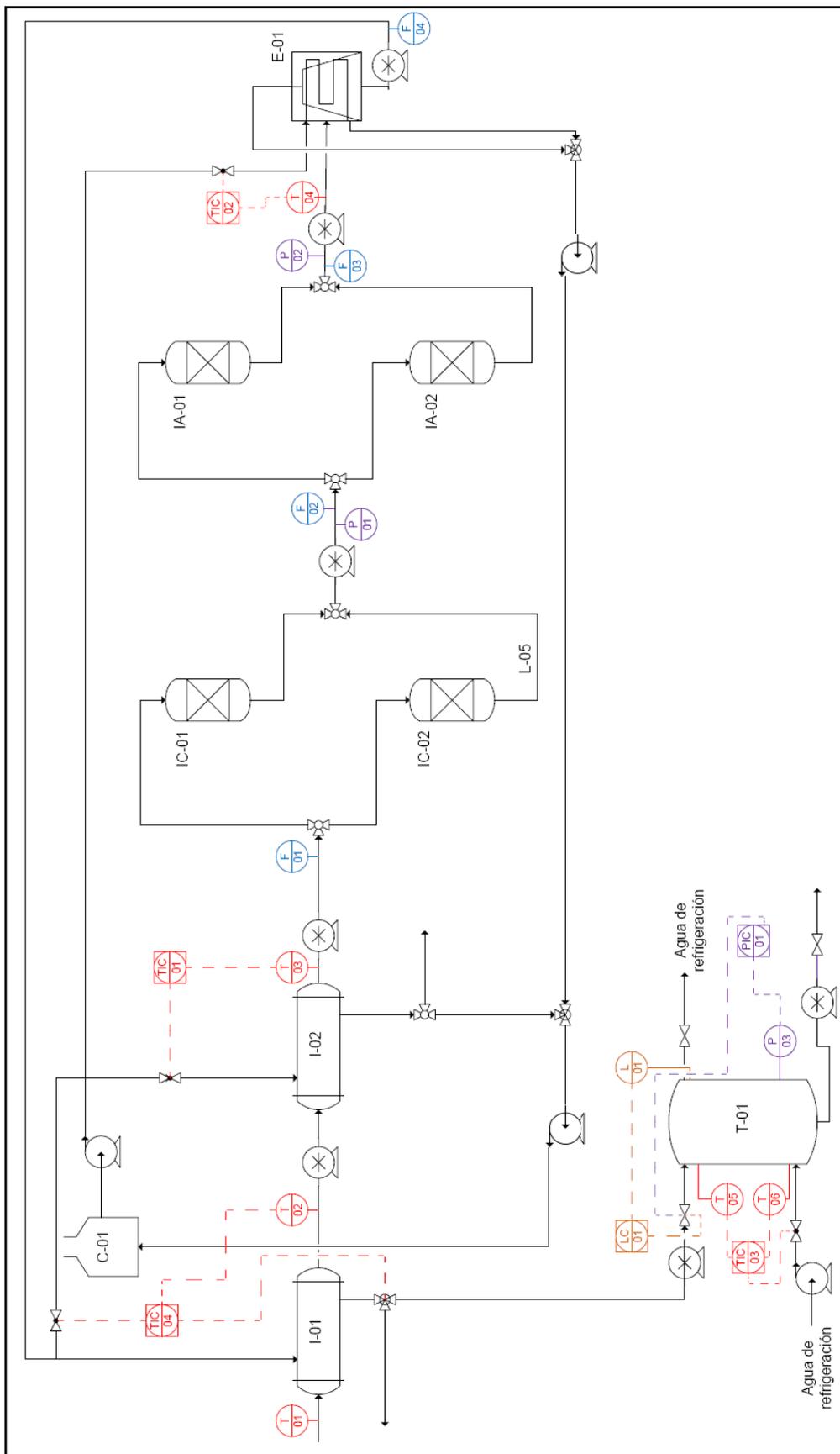


Figura 20. Instrumentos y lazos de control relacionados con el sistema de tuberías principal, de transporte de vapor y de transporte de agua de refrigeración

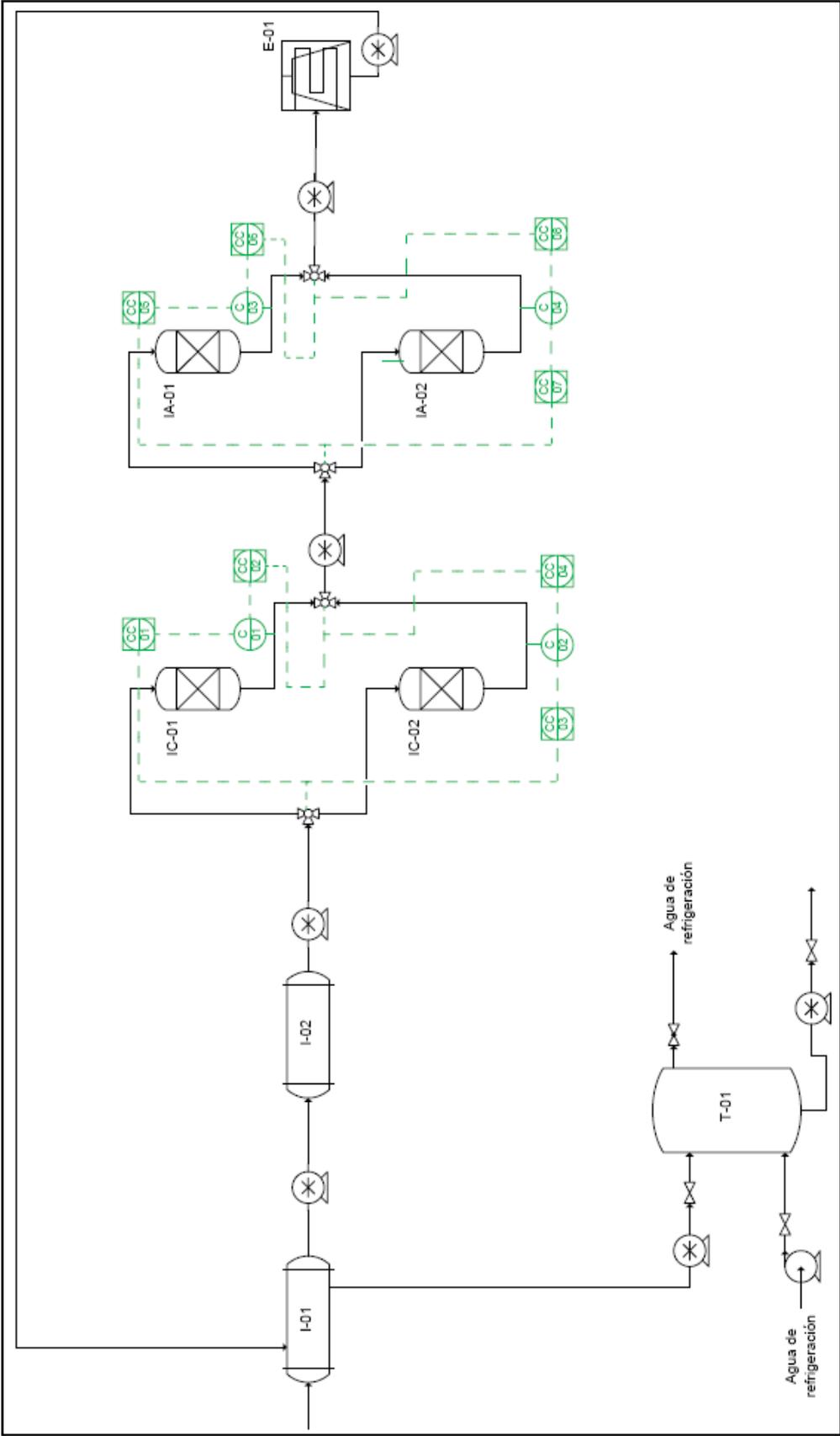


Figura 21. Instrumentos y lazos de control relacionados con los sistemas de tuberías principales

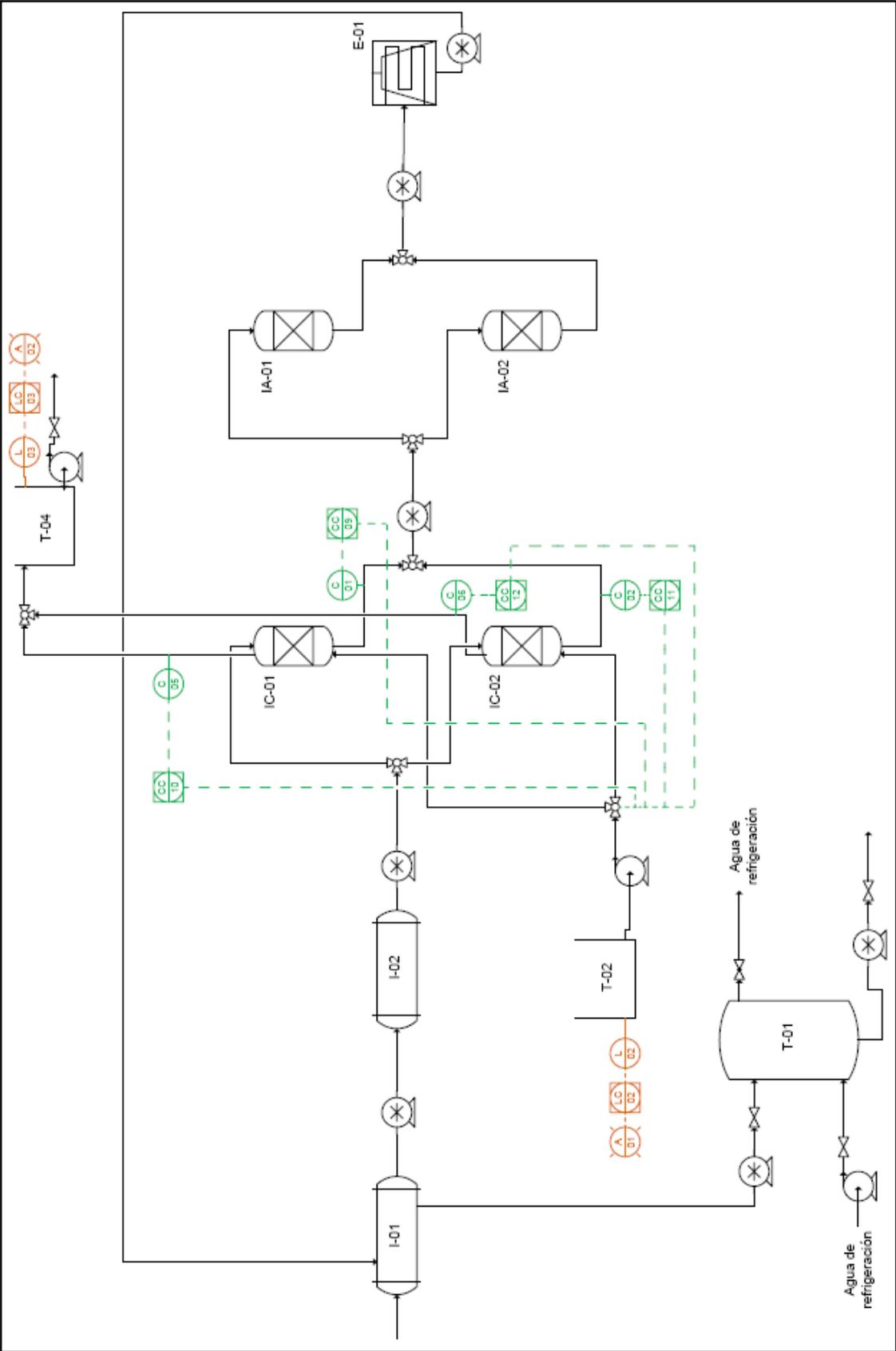


Figura 22. Instrumentos y lazos de control relacionados con la regeneración de las resinas catiónicas

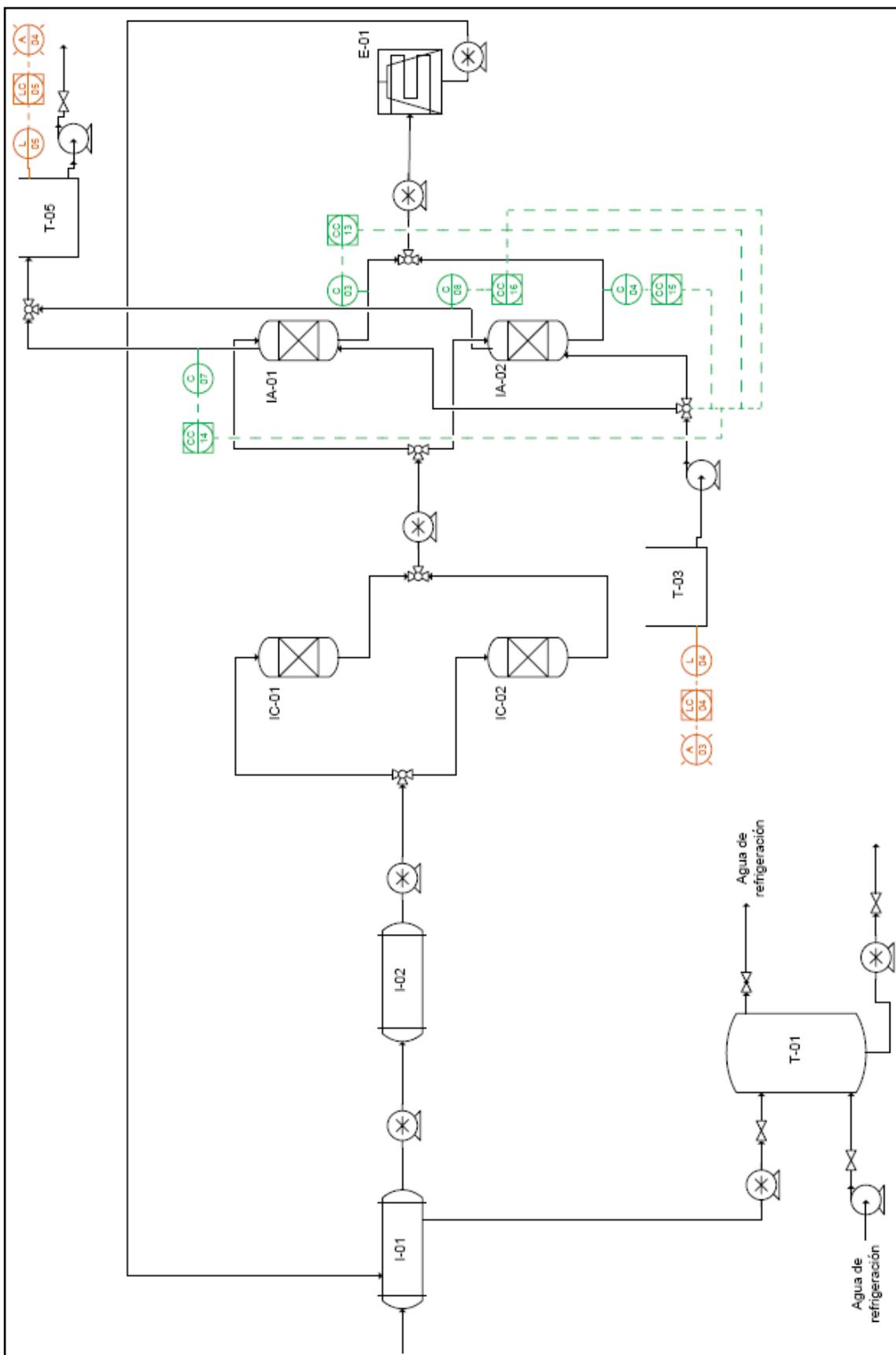


Figura 23. Instrumentos y lazos de control relacionados con la regeneración de las resinas aniónicas

## 6. MAQUINARIA Y EQUIPOS

En este apartado se resumen las características técnicas de los equipos empleados en la instalación. Los cálculos realizados para su diseño se detallan en el anexo 1.

### 6.1. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

#### TANQUE T-01

Tanque para el almacenamiento de glicerina técnica. Se trata de un depósito cilíndrico construido en acero inoxidable SS-316, con fondo y techo semielípticos, soportado por cuatro patas. El tanque cuenta con un sistema de venteo de tipo normalmente abierto y con un serpentín de refrigeración tipo espiral.

Dimensiones:

Volumen útil (m <sup>3</sup> )	8,05
Volumen total (m <sup>3</sup> )	14,40
Diámetro interno (m)	2,10
Volumen fondo (m <sup>3</sup> )	1,20
Volumen cabezal (m <sup>3</sup> )	1,20
Volumen parte cilíndrica (m <sup>3</sup> )	12,14
Altura parte cilíndrica (m)	3,50
Altura total (m)	4,55
Espesor carcasa (mm)	5,50
Espesor fondo y cabezal (mm)	4,10

### TANQUES T-02 Y T-04

Tanques para el almacenamiento de disolución de ácido clorhídrico y de cloruro potásico, respectivamente. Ambos están contruidos en acero inoxidable SS-316. Con fondos superiores e inferiores planos y sistemas de venteo de tipo normalmente abierto. Soportados por cuatro patas.

Dimensiones:

Volumen útil (m <sup>3</sup> )	2,43
Volumen total (m <sup>3</sup> )	2,92
Diámetro interno (m)	1,23
Altura total (m)	2,46
Espesor (mm)	4,70

### TANQUES T-03 Y T-05

Tanques para el almacenamiento de disolución de hidróxido sódico y de fosfato trisódico, respectivamente. Ambos están contruidos en acero inoxidable SS-316. Con fondos superiores e inferiores planos y sistemas de venteo de tipo normalmente abierto. Soportados por cuatro patas.

Dimensiones:

Volumen útil (m <sup>3</sup> )	3,38
Volumen total (m <sup>3</sup> )	4,05
Diámetro interno (m)	1,38
Altura total (m)	2,76
Espesor (mm)	4,80

## 6.2. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Intercambiador de calor de carcasa y tubos de *Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 3-8"*. Construido en acero inoxidable SS-316. Se utiliza para calentar la corriente de glicerina bruta procedente de la centrífuga, de 333 a 342,26 K, utilizando la glicerina técnica procedente del evaporador como fluido calefactor.

Dimensiones:

Diámetro carcasa (mm)	79,37
Diámetro tubos (mm)	6,35
Altura tubos (m)	0,20
Área de intercambio (m <sup>2</sup> )	0,26
Número de tubos	66

Intercambiador de calor de carcasa y tubos de *Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 2-8"*. Construido en acero inoxidable SS-316. Se utiliza para calentar la corriente de glicerina bruta procedente de la centrífuga, de 342,26 a 353 K, utilizando vapor saturado como fluido calefactor.

Dimensiones:

Diámetro carcasa (mm)	53,97
Diámetro tubos (mm)	6,35
Altura tubos (m)	0,20
Área de intercambio (m <sup>2</sup> )	0,12
Número de tubos	31

### 6.3. COLUMNAS DE INTERCAMBIO IONICO

Columnas catiónicas y aniónicas para la eliminación del fosfato potásico de la corriente de glicerina bruta.

Dimensiones:

Diámetro columnas catiónicas (m)	0,80
Diámetro columnas aniónicas (m)	0,80
Altura columnas catiónicas (m)	2,75
Altura columnas aniónicas (m)	2,50

### 6.4. EVAPORADOR

Evaporador para la eliminación del agua de la disolución de glicerina procedente de la columna de intercambio aniónica. Resulta glicerina técnica con una pureza del 99%.

El equipo comercial consiste en un intercambiador de calor de carcasa y tubos de *Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 4-36"* unido a una cámara de expansión para la separación del disolvente puro de la solución concentrada. Construidos en acero inoxidable SS-316.

Dimensiones:

Diámetro carcasa (mm)	104,77
Diámetro tubos (mm)	6,35
Altura tubos (m)	0,91
Área de intercambio (m <sup>2</sup> )	2,12
Número de tubos	117

## 6.5. CALDERA DE VAPOR

Caldera generadora de vapor *INSTANVAP "modelo CBC-300"*. Produce hasta 300 kg/h de vapor.

Dimensiones:

Longitud (m)	2,10
Ancho (m)	1,14
Altura (m)	1,44
Área de calefacción (m <sup>2</sup> )	6,70

## 6.6. CONDUCCIONES

Línea	Material	Longitud (m)	D <sub>NOMINAL</sub> (mm)	D <sub>EXT</sub> (mm)	Sch.	Espesor (mm)
L-01	SA-53-Gr.B	7	6,35	13,72	5S	1,24
L-02	SA-53-Gr.B	2	6,35	13,72	5S	1,24
L-03,L-03a	SA-53-Gr.B	7	6,35	13,72	5S	1,24

Línea	Material	Longitud (m)	D <sub>NOMINAL</sub> (mm)	D <sub>EXT</sub> (mm)	Sch.	Espesor (mm)
L-04,L-06,L-06a	SS-304	5	6,35	13,72	5S	1,24
L-07,L-09	SA-53-Gr.B	5	6,35	13,72	5S	1,24
L-10	SA-53-Gr.B	14	6,35	13,72	5S	1,24
L-11	SA-53-Gr.B	20	6,35	13,72	5S	1,24
1. Igual para línea alternativa (L-03,L-03b) 2. Igual para líneas alternativas (L-04,L-06,L-06a), (L-05,L-06,L-06a) o (L-05,L-06,L-06b) 3. Igual para línea alternativa (L-08,L-09)						

## 6.7. BOMBAS

Las seis bombas empleadas en el sistema de tuberías principal son semejantes, de tipo compactas de membrana *Abel CM, modelo "CM-G-A 171"* [42]. Especiales para fluidos difíciles de tratar, como son los fluidos viscosos.

Este modelo de bomba es capaz de impulsar un caudal máximo de 1,5 m<sup>3</sup>/h, y hasta una altura manométrica de 1,6 MPa (ver anexo 1, punto 8).

## 7. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

### 7.1. DIAGRAMA DE GANTT

El diagrama de Gantt es una popular herramienta gráfica cuyo objetivo es el de mostrar el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado. A pesar de que, en principio, el diagrama de Gantt no indica las relaciones existentes entre actividades, la posición de cada tarea a lo largo del tiempo hace que se puedan identificar dichas relaciones e interdependencias.

Desde su introducción los diagramas de Gantt se han convertido en una herramienta básica en la gestión de proyectos de todo tipo, con la finalidad de representar las diferentes fases, tareas y actividades programadas como parte de un proyecto o para mostrar una línea de tiempo en las diferentes actividades haciendo el método más eficiente.

Entre sus ventajas se encuentran su fácil construcción y comprensión, ofrece una visión global del proceso y una estructura sencilla.

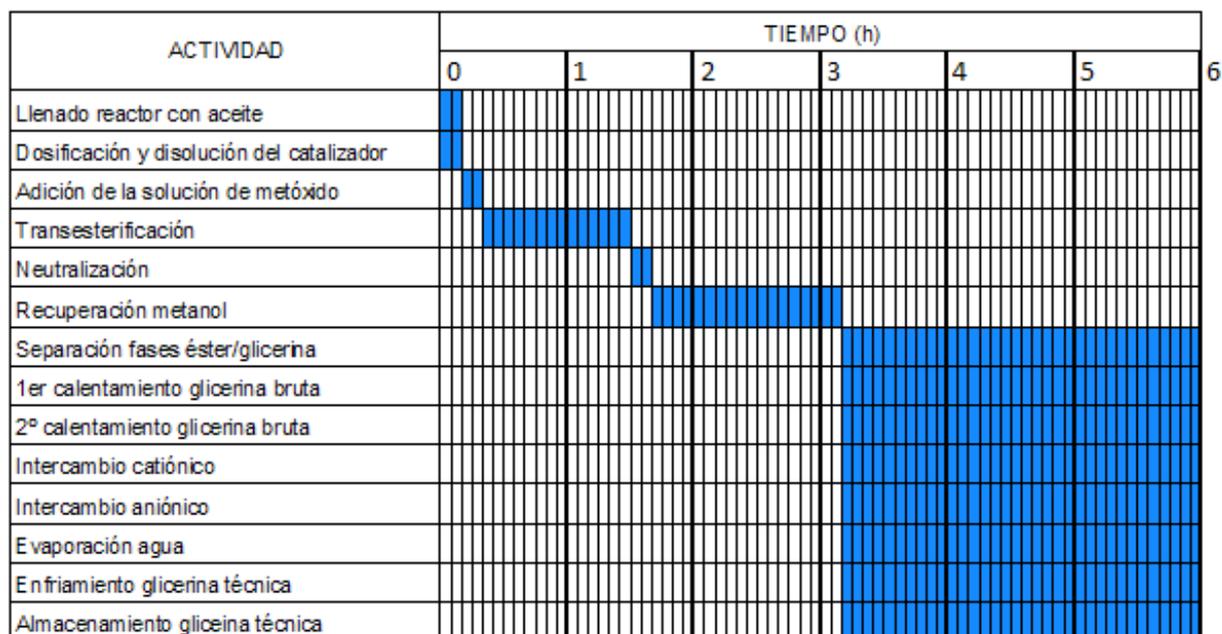
En el siguiente diagrama de Gantt se muestra la programación de actividades para un ciclo de producción, el cual incluye:

- Las etapas para la producción de biodiesel (6 horas):
  1. Llenado del reactor con aceite (10 min)
  2. Dosificación y disolución del catalizador (KOH) (10 min)
  3. Adición de la solución de metóxido (10 min)
  4. Transesterificación (70 min)

5. Neutralización (10 min)
6. Destilación del metanol (90 min)
7. Centrifugación (separación de fases éster/glicerina) (170 min)

- Las etapas del proceso de purificación de la glicerina, que se realizan de forma continua y de forma simultánea a la etapa de centrifugación. Las etapas son:

1. Primer calentamiento de la glicerina bruta (170 min)
2. Segundo calentamiento de la glicerina bruta (170 min)
3. Intercambio catiónico (170 min)
4. Intercambio aniónico (170 min)
5. Evaporación del agua (170 min)
6. Enfriamiento de la glicerina técnica (170 min)
7. Almacenamiento de la glicerina técnica (170 min)



## 7.2. MANO DE OBRA

La planta de producción de biodiesel está en funcionamiento las 24 horas del día, pero la instalación de purificación de glicerina solo 11,25 horas al día, en periodos de funcionamiento continuo de aproximadamente 2,81 horas cada uno, como se aprecia en el diagrama de Gantt.

Antes de la ampliación de la planta se prevé que será necesario el siguiente personal:

- 9 operarios, distribuidos en 3 turnos de trabajo diarios
- 1 técnico-mecánico
- 1 gerente o director

Debido al funcionamiento irregular de la instalación de purificación de glicerina y a sus pequeñas dimensiones, serán los mismos empleados de la planta de producción de biodiesel los que se ocupen de ella. Adicionalmente se contratará a un operario más por turno de trabajo que, además de trabajar en las actividades para la producción de biodiesel, ayude en las nuevas actividades tras la ampliación de la planta.

El gerente y el técnico-mecánico que se contrate para la planta de producción biodiesel se encargará también de la instalación de purificación de glicerina.

## 8. MERCADO DE LOS PRODUCTOS

### 8.1. MERCADO DEL BIODIESEL

La producción de biodiesel, y en general de otros biocarburantes en España, ha aumentado considerablemente en los últimos años. En 2005 se encontraban en España aproximadamente diez plantas productoras de biocarburantes y en la actualidad (2007) ya se cuentan con más de 60 plantas de producción de biodiesel y 7 plantas de producción de bioetanol (ver anexo 3, Figura 1.23).<sup>[32]</sup>

Así mismo, cada vez es mayor el número de gasolineras y centros de venta de biodiesel en España. En la siguiente tabla se muestra el número de gasolineras que suministran biodiesel en distintas provincias españolas:

Provincia	Nº gasolineras	Provincia	Nº gasolineras	Provincia	Nº gasolineras
Albacete	1	Ciudad Real	1	Navarra	2
Almería	1	Córdoba	6	La Rioja	3
Araba	3	Girona	14	Palencia	1
Asturias	3	Guadalajara	2	Salamanca	1
Ávila	3	Guipúzcoa	4	Segovia	4
Badajoz	4	Huelva	8	Sevilla	24
Barcelona	61	Huesca	2	Soria	3
Bizkaia	2	León	2	Tarragona	9
Burgos	8	Lleida	6	Valencia	1
Cádiz	6	Madrid	6	Valladolid	3
Cantabria	10	Málaga	5	Zamora	5
Castellón	1				

Tabla 15. Gasolineras suministradoras de biodiesel en España en 2005 [32]

Como se muestra en la tabla, en las provincias más cercanas a la planta de producción de biodiesel en la que se encuentra la instalación de purificación de glicerina (presente PFC), es decir, Cádiz, Sevilla, Málaga y Huelva, hay un total de 43 gasolineras que suministran biodiesel. En estos establecimientos es posible distribuir el biodiesel producido en la planta.

## **8.2. MERCADO DE LA GLICERINA**

La venta de la glicerina técnica (pureza del 99%) está destinada fundamentalmente a las industrias cosméticas y farmacéuticas. Teniendo en cuenta la situación de la planta de producción de biodiesel y purificación de glicerina, los clientes más importantes son los siguientes:

### Fabricación de jabones, detergentes y lejías

- Persam, S.A. (Sevilla)
- Merlim, S.A. (Sevilla)
- Agerul Industrias Químicas, S.L. (Sevilla)
- Tensioquímica, S.L. (Sevilla)
- Elaboraciones Químicas del Sur, S.A. (Málaga)
- Frem Química, S.L. (Granada)

### Fabricación de productos farmacéuticos

- Spyfarma, S.A. (Sevilla)

### Fabricación de jabones de tocador y otros productos de perfumería y cosmética

- De Ruy Perfumes, S.A. (Sevilla)
- Dermoestética del Sur, S.L. (Sevilla)

- Molding Clinic, S.L. (Málaga)
- Cosmewax, S.A. (Cádiz)

## 9. BIBLIOGRAFÍA

### A) LIBROS

- [1] Vian, A., "Introducción a la Química Industrial", Editorial Reverté, 2ª edición, Barcelona (1994).
- [2] Robert H. Perry, "Manual del Ingeniero Químico", Editorial Mc. Graw Hill, 7ª edición, Madrid (2001).
- [3] Donald Q. Kern, "Procesos de transferencia de calor", Editorial Continental S.A., 31ª edición, México (1999).
- [4] C. J. Geankoplis, "Procesos de transporte y operaciones unitarias", Editorial Continental S.A., 3ª edición, México (1998).
- [5] W. L. McCabe, J. C. Smith, P. Harriot, "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química", Editorial Mc. Graw Hill, 6ª edición, México (2002).
- [6] J. M. Coulson, J. F. Richardson, "Ingeniería Química. Operaciones básicas", Editorial Reverté, 3ª edición, Barcelona (1988).
- [7] Raymond Chang, "Química", Editorial Mc. Graw Hill, 6ª edición, México (1999).
- [8] Eugene F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión. Diseño y cálculo", Editorial Limusa, S.A., México (2001).
- [9] D. F. Rudd, Charles C. Watson, "Estrategia en Ingeniería de procesos", Editorial Alhambra, Madrid (1976).
- [10] Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus, "Plant design and economics for chemical engineers", Editorial Mc. Graw Hill, 4ª edición, New York (1991).
- [11] Enciclopedia de consulta Encarta (2004).
- [12] Tomás Delgado Pérez, "Diseño de una planta de producción de biodiesel a partir de aceites de fritura usados procedentes de de procesos industriales y de

hostelería”, Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz, Puerto Real (2005).

## B) PUBLICACIONES

[13] Jon Van Gerpen, “Biodiesel processing and production”, *Fuel Processing Technology* 86, 1097–1107 (2005).

[14] Fangrui Ma, Milford A. Hanna, “Biodiesel production: a review”, *Bioresource Technology* 70, 1–15 (1999).

[15] J. Van Gerpen, B. Shanks, R. Pruszko, “Biodiesel Production Technology”, Iowa State University (Julio 2004).

[16] Rodolfo J. Larosa, “Proceso para la producción de biodiesel” (Marzo 2001).

[17] José Aracil Mira, “Proceso UCM de producción de biodiesel”, Laboratorio de procesos químicos y bioquímicos integrados. Universidad Complutense de Madrid.

[18] “Planta de producción de biodiesel en Caparrosa (Navarra) promovida por EHN”, *Infoenviro* (Marzo/Abril 2005).

[19] “Planta prototipo de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales de Alcalá de Henares”, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), (Septiembre 2005).

[20] “Planta de producción de biodiesel en el Puerto de Bilbao. Proyecto básico”, Biocarburantes de Zierbana, S. A. (Abril 2005).

[21] “Informe sobre el marco regulatorio de los biocarburantes, con identificación de barreras para su desarrollo en España y especial consideración de los aspectos asociados a las actividades de logística y distribución”, Comisión Nacional de Energía (Septiembre 2005).

[22] “Una estrategia de biocarburantes para España (2005-2010)”, PricewaterhouseCoopers (Junio 2005).

[23] Jorge Ugolini, “Estudio para determinar la factibilidad técnica y económica del desarrollo del biodiesel” (Abril 2000).

[24] “Biocarburantes en el transporte”, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), Manuales de Energías Renovables 7 (Septiembre 2006).

[25] “Análisis y caracterización del biodiesel”, Centro Multidisciplinar de Innovación y Tecnología de Navarra (Febrero 2005).

[26] Andrés Alejandro Reynoso, Tomás Manuel Guozden, “Medición del calor específico del fosfato diácido de potasio (KDP)”, Universidad Nacional de Cuyo (2002).

[27] Garner, John Dail, “Numerical and experimental investigation of biodiesel/glycerin separation”, teshis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh (2005).

[28] William B. Glover, William L. Hyde, “Evaporación de productos difíciles de procesar”, Chemical Processing (Febrero 1997).

[29] Jonathan Fasson, Rebecca Gerard, Seung Jun Oh, Megan Renstrom, Margrit B. Rosado, “Viscosity of liquids”, Carnegie Mellon Transport Process Lab (Marzo 2003).

[30] Mirko Grágeda Zegarra, Mario Grágeda Zegarra, “Desarrollos actuales en tratamientos de riles por métodos electroquímicos”, (Mayo 2006).

[31] John Bonnardeaux, “Glycerin Overview”, Department of Agriculture and Food, Government of Western Australia, (Noviembre 2006).

### C) PÁGINAS WEB

[32] [www.biodieselpain.com](http://www.biodieselpain.com)

[33] [www.journeytoforever.com](http://www.journeytoforever.com)

[34] [www.biodiesel.org](http://www.biodiesel.org)

[35] [www.lcicorp.com](http://www.lcicorp.com)

[36] [www.tekniker.es](http://www.tekniker.es)

[37] [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)

[38] [www.dow.com](http://www.dow.com)

[39] [www.mollabs.com](http://www.mollabs.com)

[40] [www.apiheattransfer.com](http://www.apiheattransfer.com)

[41] [www.consorciotermoacustico.mx](http://www.consorciotermoacustico.mx)

[42] [www.abel.de](http://www.abel.de)

#### D) PROGRAMAS DE DISEÑO

- Simulador SuperPro Designer 5.5
- Simulador Microsoft Excel
- Programa de diseño gráfico AutoCad 2007



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE  
GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO EN LA  
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

ANEXO 1:  
MEMORIA TÉCNICA Y  
CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

## 0. ÍNDICE

<b>0. ÍNDICE</b>	<b>104</b>
<b>1. BALANCES DE MATERIA</b>	<b>107</b>
1.1. BASES DE DISEÑO. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	107
1.2. REACTOR DE TRANSESTERIFICACIÓN	109
1.3. ETAPA DE NEUTRALIZACIÓN	114
1.4. ETAPA DE RECUPERACIÓN DE METANOL	116
1.5. ETAPA DE SEPARACIÓN DE FASES ÉSTER / GLICERINA	116
<b>2. DISEÑO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR</b>	<b>121</b>
2.1. INTRODUCCIÓN	121
2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA	122
2.3. CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO DE CALOR DEL PRIMER EQUIPO (I-01)	123
2.3.1. Cálculo del calor intercambiado	124
2.3.2. Cálculo de la temperatura media logarítmica	128
2.3.3. Coeficiente global de transmisión de calor	128
2.4. CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO DE CALOR DEL SEGUNDO EQUIPO (I-02)	129
2.4.1. Cálculo del calor intercambiado y del caudal másico de vapor	129
2.4.2. Cálculo de la temperatura media logarítmica	130
2.4.3. Coeficiente global de transmisión de calor	131
<b>3. DISEÑO DEL PROCESO DE INTERCAMBIO IÓNICO</b>	<b>132</b>

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA A LAS COLUMNAS _____	132
3.2. VOLUMEN DE LAS RESINAS _____	133
3.2.1. Resina catiónica _____	133
3.2.2. Resina aniónica _____	134
3.3. COLUMNAS DE INTERCAMBIO IÓNICO _____	134
3.3.1. Columna de intercambio catiónico _____	135
3.3.2. Columna de intercambio aniónico _____	136
3.4. CAUDAL DE OPERACIÓN DE LAS DISOLUCIONES A TRATAR ____	137
3.5. CAUDAL DE OPERACIÓN DE LAS DISOLUCIONES REGENERANTES _____	138
3.6. CAIDAS DE PRESIÓN EN LAS COLUMNAS _____	141
3.7. AISLAMIENTO DE COLUMNAS _____	143
<b>4. DISEÑO DEL EVAPORADOR _____</b>	<b>144</b>
4.1. INTRODUCCIÓN _____	144
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CORRIENTE DE ENTRADA _____	144
4.3. CÁLCULO DEL ÁREA DE EVAPORACIÓN _____	145
<b>5. DISEÑO DE LA CALDERA DE VAPOR _____</b>	<b>153</b>
5.1. INTRODUCCIÓN _____	153
5.2. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO _____	153
<b>6. DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO _____</b>	<b>156</b>
6.1. INTRODUCCIÓN _____	156
6.2. SERPENTÍN DE REFRIGERACIÓN PARA TANQUE T-01 _____	157
6.2.1. Dimensiones del serpentín _____	159

6.3. DIMENSIONES DE LOS TANQUES	160
6.3.1. Tanque para glicerina técnica (T-01)	161
6.3.2. Tanque para la disolución de ácido clorhídrico (T-02)	163
6.3.3. Tanque para la disolución de hidróxido potásico (T-03)	165
6.4. ESPESORES DE LOS TANQUES	166
6.4.1. Tanque para glicerina técnica (T-01)	174
6.4.2. Tanque para la disolución de ácido clorhídrico (T-02)	176
6.4.3. Tanque para la disolución de hidróxido potásico (T-03)	177
<b>7. DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS DE PROCESO</b>	<b>179</b>
7.1. RED DE TUBERÍAS	179
7.2. DISEÑO HIDRAULICO DE LAS CONDUCCIONES	189
7.3. DISEÑO MECÁNICO DE LAS CONDUCCIONES	192
7.4. PÉRDIDAS DE CARGA	195
7.5. UNIONES	201
<b>8. DISEÑO DE BOMBAS</b>	<b>203</b>
8.1. INTRODUCCIÓN	203
8.2. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS BOMBAS	203
8.3. SELECCIÓN DE BOMBAS	209

## 1. BALANCES DE MATERIA

### 1.1. BASES DE DISEÑO. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Para el diseño de la instalación de purificación de glicerina y para conocer qué capacidad de producción tiene, se parte del dato de capacidad de producción de la planta de biodiesel, 750 kg/h de biodiesel, lo que suponen unas 4500 toneladas anuales. Además la planta de producción de biodiesel está operativa un total de 21 días al mes, durante 24 horas al día.

El régimen de operación en el que trabaja la planta es discontinuo, produciendo 4500 kg de biodiesel en cada uno de los ciclos, de 6 horas de duración cada uno, con un total de 4 ciclos al día (en el punto 7.1 de la memoria descriptiva se detalla que etapas forman parte de cada ciclo). Por lo tanto, el régimen de operación de la instalación de purificación dependerá del de la planta de producción de biodiesel.

Los pesos moleculares de los compuestos presentes en la planta son los siguientes:

Compuesto	Peso molecular (kg/kmol)
Triglicéridos	873,78
Ácidos grasos libres	278,59
Metanol	32,04
Hidróxido Potásico	56,10
Glicerina	92,09
Agua	18,01
Jabón Potásico	316,68

Compuesto	Peso molecular (kg/kmol)
Ésteres Metílicos	292,59
Ácido Fosfórico	97,99
Fosfato Potásico	136,08

Tabla 1.1. Pesos moleculares de los compuestos

Para calcular el peso molecular tanto de los triglicéridos como de los ácidos grasos libres se tiene en cuenta la composición en ácidos grasos de una muestra de aceite usado:

Ácido Graso		% en peso	Fórmula
Oleico (monoinsaturado)	C18:1	53	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Linoleico (poliinsaturado)	C18:2	33	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{12}\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$
Palmítico (saturado)	C16:0	12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Linolénico (poliinsaturado)	C18:3	1	-
Palmitoleico (monoinsaturado)	C16:1	0,8	-
Mirístico (saturado)	C14:0	-	-
Esteárico (saturado)	C18:0	-	-
Árquico (saturado)	C20:0	-	-

Tabla 1.2. Ácidos grasos presentes en una muestra de aceite usado

Se supone que el aceite únicamente está formado por los principales ácidos grasos (oleico, linoleico y palmítico), que componen el 98% del total, y sus respectivos triglicéridos. Así que el porcentaje de cada uno de ellos en base al 100% es el siguiente:

$$\% \text{ Oleico} = 53 \cdot 100/98 = 54,08$$

$$\% \text{ Linoleico} = 33 \cdot 100/98 = 33,67$$

$$\% \text{ Palmítico} = 12 \cdot 100/98 = 12,25$$

Conociendo el peso molecular de estos ácidos grasos y de sus respectivos triglicéridos y ésteres metílicos (kg/kmol):

Ácido Graso	PM Ácido	PM Triglicérido	PM Ester Metílico
Oleico	282,46	885,38	296,46
Linoleico	280,44	879,34	294,44
Palmítico	256,42	807,27	270,42

Tabla 1.3. Pesos moleculares (ácidos grasos, triglicéridos y ésteres metílicos)

El peso molecular promedio de cada uno de los compuestos son los siguientes:

$$\overline{PM} \text{ ac.grasos} = \sum_{j=1}^n PM_j X_j = 282,46 \cdot 0,5408 + 280,44 \cdot 0,3367 + 256,42 \cdot 0,1225 = 278,59 \text{ g/mol}$$

$$\overline{PM} \text{ triglic.} = \sum_{i=1}^n PM_i X_i = 885,38 \cdot 0,5408 + 879,34 \cdot 0,3367 + 807,27 \cdot 0,1225 = 873,78 \text{ g/mol}$$

$$\overline{PM} \text{ est.met.} = \sum_{k=1}^n PM_k X_k = 296,46 \cdot 0,5408 + 294,44 \cdot 0,3367 + 270,42 \cdot 0,1225 = 292,59 \text{ g/mol}$$

Siendo el peso molecular final del aceite:

$$PM_{\text{aceite}} = 0,99 \cdot PM_{\text{triglic.}} + 0,01 \cdot PM_{\text{ac.grasos}} = 0,99 \cdot 873,78 + 0,01 \cdot 278,59 = 867,83 \text{ g/mol}$$

## 1.2. REACTOR DE TRANSESTERIFICACIÓN

Igualmente los cálculos necesarios para conocer la cantidad y composición de glicerina bruta, la cual se tratará en la instalación de purificación, parten de las reacciones que ocurren en el reactor principal de la planta de producción de biodiesel.

En primer lugar se tienen en cuenta una serie de consideraciones:

- Los únicos componentes del aceite pretratado son triglicéridos (99%) y ácidos grasos libres (1%, máximo permitido).
- El 99,5% de los triglicéridos son transesterificados y el resto, 0,5%, son saponificados. De modo que no quedan triglicéridos sin convertir.
- La relación molar entre el metanol y el aceite neutro alimentado es de 6:1.
- La cantidad de catalizador es la necesaria para neutralizar la acidez del aceite, más 10 gramos por cada 100 de aceite alimentado.
- Para la producción de 1000 kg de biodiesel son necesarios 1010,6 kg de aceite usado pretratado.
- La planta de producción de biodiesel trabaja en régimen discontinuo; en cada ciclo o lote, los cuales tienen una duración de 6 horas cada uno, el reactor de transesterificación se alimenta con 4548 kg de aceite pretratado, produciéndose unos 4500 kg de biodiesel en cada ciclo.

A continuación se calcula la cantidad necesaria de metanol y de potasa según las consideraciones anteriores, tomando como base de cálculo 4548 kg de aceite:

Cantidad de metanol:

$$M_{\text{metanol}} = \frac{M_{\text{triglicéridos}} \cdot 6 \cdot PM_{\text{metanol}}}{PM_{\text{triglicéridos}}} = \frac{4502,52 \text{ (kg)} \cdot 6 \cdot 32,04 \text{ (kg/kmol)}}{873,78 \text{ (kg/kmol)}} = 990,598 \text{ kg}$$

Cantidad de hidróxido potásico:

$$M_{\text{KOH}} = \frac{M_{\text{ác. grasos libres}} \cdot PM_{\text{KOH}}}{PM_{\text{ác. grasos libres}}} + [M_{\text{aceite}} \cdot 0,01 \text{ (kg)}]$$

$$M_{\text{KOH}} = \frac{45,48 \text{ (kg)} \cdot 56,10 \text{ (kg/kmol)}}{278,59 \text{ (kg/kmol)}} + [4548 \text{ (kg)} \cdot 0,01 \text{ (kg)}] = 54,638 \text{ kg}$$

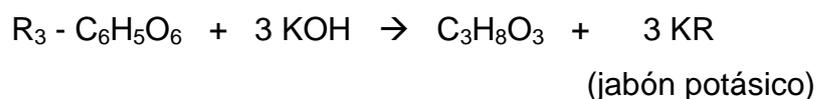
Estas cantidades de metanol y potasa más los 4548 kg de aceite pretratado se introducen en el reactor principal, donde tiene lugar la reacción de transesterificación y otras dos reacciones secundarias:

Reacción de transesterificación (reacción principal)



Conversión:  $X = 0,995$

Saponificación de triglicéridos (reacción secundaria)

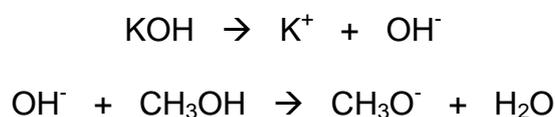


$$X = \frac{3 \cdot \text{moles triglicéridos}}{\text{moles KOH}} = 3 \cdot \frac{M_{\text{triglicéridos}}/PM_{\text{triglicéridos}}}{M_{\text{KOH}}/PM_{\text{KOH}}}$$

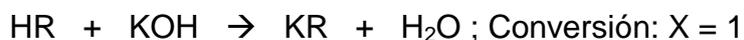
$$X = 3 \cdot \frac{22,51 \text{ (kg)} / 873,78 \text{ (kg/kmol)}}{54,638 \text{ (kg)} / 56,11 \text{ (kg/kmol)}} = 0,079$$

Esta reacción se produce debido a la disolución completa del hidróxido potásico, el cual se disocia y da lugar a la formación del ión metóxido y agua.

La formación de agua provoca la saponificación de una pequeña parte de los triglicéridos:



Neutralización de ácidos grasos libres (reacción secundaria)



Teniendo en cuenta todos los cálculos anteriores, la estequiometría y el reactivo limitante en cada caso, se comienzan a calcular los balances de materia relativos a cada componente.

Ecuación general de balance:

(acumulación del componente en el sistema) = (entrada del componente al sistema)  
– (salida del componente del sistema) + (generación del componente en el sistema)  
– (consumo del componente en el sistema)  $\rightarrow (A) = (E) - (S) + (G) - (C)$

a) Triglicéridos

$$(S) = (E) - (C) = 0 \text{ mol}$$

b) Ácidos grasos libres

$$(S) = (E) - (C) = 0 \text{ mol}$$

c) KOH

$$(S) = (E) - (C) = 973,946 - [(973,946 \cdot 0,079) + (163,251 \cdot 1)] = 733,410 \text{ mol}$$

d) Metanol

$$(S) = (E) - (C) = 30917,531 - (5127,160 \cdot 0,995 \cdot 3) = 15612,958 \text{ mol}$$

e) Ésteres metílicos

$$(S) = (G) = 5127,160 \cdot 0,995 \cdot 3 = 15304,573 \text{ mol}$$

f) Glicerina

$$(S) = (G) = (5127,160 \cdot 0,995) + (973,946 \cdot 0,079 \cdot (1/3)) = 5127,286 \text{ mol}$$

g) Jabón potásico

$$(S) = (G) = (973,946 \cdot 0,079) + (163,251 \cdot 1) = 240,536 \text{ mol}$$

h) Agua

$$(S) = (E) + (G) = 163,251 \cdot 1 = 163,251 \text{ mol}$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados de todos estos balances de materia, en unidades molares y máxicas:

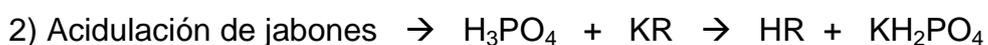
	Cantidades entrada etapa de reacción		Cantidades salida etapa de reacción	
	kmol/lote	kg/lote	kmol/lote	kg/lote
Triglicéridos	5,153	4502,520	0,000	0,000
Ác. grasos libres	0,163	45,480	0,000	0,000
KOH	0,974	54,638	0,733	41,144
Metanol	30,918	990,598	15,613	500,239
Éster metílico	0,000	0,000	15,305	4477,965
Glicerina	0,000	0,000	5,127	472,172
Jabón potásico	0,000	0,000	0,241	76,173
Agua	0,000	0,000	0,163	2,940

Tabla 1.4. Balances de materia en la etapa de reacción

### 1.3. ETAPA DE NEUTRALIZACIÓN

Tras realizarse la reacción de transesterificación se introduce en el reactor ácido fosfórico al 85%, con el fin de eliminar los restos de catalizador y de jabones.

Ocurren las siguientes reacciones:



A continuación se realizan los balances de materia correspondientes, teniendo en cuenta que el ácido fosfórico es el reactivo limitante, por lo que los moles necesarios de ácido serán iguales a los moles de catalizador (para la neutralización de KOH) o de jabones (para la acidulación de jabones) que es preciso eliminar. En la tabla 1.4 se muestran dichas cantidades molares.

Balances de materia de cada componente:

a) KOH

$$(S) = (E) - (C) = 733,410 - 733,410 = 0 \text{ mol}$$

b) Jabón potásico

$$(S) = (E) - (C) = 240,536 - 240,536 = 0 \text{ mol}$$

c)  $\text{H}_3\text{PO}_4$

$$(S) = (E) - (C) = (733,410 + 240,536) - (733,410 + 240,536) = \\ 973,946 - 973,946 = 0 \text{ mol}$$

Son necesarios 733,410 moles de ácido fosfórico puro para neutralizar el catalizador y 240,536 para los jabones, 71,867 y 23,570 kg respectivamente. El ácido fosfórico que se añade está al 85%, así que:

$$Pm_{H_3PO_4 (85\%)} = (Pm_{H_3PO_4 (PURO)} \cdot 0,85) + (Pm_{H_2O} \cdot 0,15) = 85,99 \text{ kg/kmol}$$

$$M_{H_3PO_4 (85\%) \text{ PARA KOH}} = 71,867 + (71,867 \cdot 0,15) = 82,647 \text{ kg} = 0,961 \text{ kmol} = 961,089 \text{ mol}$$

$$M_{H_3PO_4 (85\%) \text{ PARA JABÓN}} = 23,570 + (23,570 \cdot 0,15) = 27,106 \text{ kg} = 0,315 \text{ kmol} = 315,207 \text{ mol}$$

Se necesita un total de 109,753 kg de ácido fosfórico al 85% de pureza.

d) Agua

$$(S) = (E) + (G) = (163,251 + 598,558) + (733,410 \cdot 1) = 1495,219 \text{ mol}$$

En el término de entrada se incluye el agua procedente de la reacción de transesterificación y el agua añadida mediante el ácido fosfórico al 85%.

e) Ácidos grasos libres

$$(S) = (G) = 240,536 \text{ mol}$$

f) Fosfato potásico

$$(S) = (G) = (733,410 + 240,536) = 973,946 \text{ mol}$$

En la siguiente tabla se muestra el balance de materia para cada componente en la etapa de neutralización:

	Cantidades entrada etapa neutralización		Cantidades salida etapa neutralización	
	kmol/lote	kg/lote	kmol/lote	kg/lote
Metanol	15,613	500,239	15,613	500,239
Éster metílico	15,305	4477,965	15,305	4477,965
Glicerina	5,127	472,172	5,127	472,172
KOH	0,733	41,144	0,000	0,000
Jabón potásico	0,241	76,173	0,000	0,000
Ácido fosfórico	1,276	109,752	0,000	0,000
Agua	0,163	2,940	1,495	26,929
Ác. grasos libres	0,000	0,000	0,241	67,011
Fosfato potásico	0,000	0,000	0,974	132,535

Tabla 1.5. Balances de materia en la etapa de neutralización

#### 1.4. ETAPA DE RECUPERACIÓN DE METANOL

La recuperación del metanol también se realiza en el mismo reactor, el cual posee un circuito de calefacción en el que se introduce vapor a una temperatura máxima de 339 K. Los vapores de metanol se condensan y almacenan, de manera que se podrán volver a utilizar de nuevo en el sistema.

Se considera que se consigue recuperar totalmente el metanol, por lo que se obtienen aproximadamente 500,239 kg de alcohol en cada ciclo de producción.

#### 1.5. ETAPA DE SEPARACIÓN DE FASES ÉSTER / GLICERINA

En la planta de producción de biodiesel se utiliza una centrífuga continua autolimpiante para separar ambas fases, ya que es un método de separación muy efectivo, de fácil mantenimiento y limpio. Esta etapa de separación forma parte del ciclo de producción de la planta (ver punto 7.1 de la memoria descriptiva).

Por un lado quedará la fase éster, formada principalmente por el biodiesel y los ácidos grasos libres, además contiene trazas de glicerina y restos de otras impurezas. Por otro lado se obtiene la fase glicerina, formada principalmente por ésta, el agua y el fosfato potásico, además de trazas de biodiesel y de ácidos grasos libres.

Para el diseño de la instalación de purificación, se considera que tras la separación de fases tanto el agua como el fosfato potásico se encuentran en su totalidad junto a la glicerina, ya que la proporción que quedaría en la fase éster es despreciable. Con respecto al biodiesel y a los ácidos grasos libres, se considera que se encuentran en su totalidad en la fase éster, ya que la proporción que quedaría en la fase glicerina es igualmente despreciable.

En la siguiente tabla se muestran qué componentes y en qué cantidad quedan en cada fase:

	Cantidades en la fase éster			Cantidades en la fase glicerina		
	kmol/lote	kg/lote	l/lote	kmol/lote	kg/lote	l/lote
Éster metílico	15,305	4477,965	5088,597	0,000	0,000	0,000
Ácidos grasos libres	0,241	67,011	76,149	0,000	0,000	0,000
Glicerina	0,000	0,000	0,000	5,127	472,172	377,737
Agua	0,000	0,000	0,000	1,495	26,929	27,388
Fosfato potásico	0,000	0,000	0,000	0,974	132,535	56,639
TOTAL	5176,611 kg/lote					

Tabla 1.6. Composición de fase éster y de fase glicerina

Conocidas las densidades de los componentes a la salida del reactor, es decir, a una temperatura de 333 K aproximadamente (para la recuperación de metanol se llegó a un máximo de 339 K), se determinan también los litros obtenidos en cada lote. Las densidades a 333 K son las siguientes:

Componente	Densidad (g/ml)
Éster metílico	0,8384
Ácidos grasos libres	0,8384
Glicerina	1,2503
Agua	0,9832
Fosfato potásico	2,3400

Tabla 1.7. Densidades a 333 K

Por otro lado se conoce que la centrífuga continua autolimpiante admite un caudal máximo de 2500 l/h, aunque se establece uno de 2000 l/h para asegurar una buena separación de las fases. En el proceso, los 5626,509 litros que salen del reactor en cada ciclo se irán alimentando a la centrífuga a razón de 2000 l/h durante un periodo de 168,79 minutos.

Si la corriente de glicerina bruta supone el 8,21 % del volumen total, se obtiene un caudal de salida de la centrífuga de 164,139 l/h de glicerina bruta, la cual se irá alimentando continuamente en el primer intercambiador de calor.

Teniendo en cuenta lo anterior, que la duración de cada ciclo de producción de biodiesel es de 6 horas, que esta etapa de separación de fases forma parte del ciclo y que la planta trabaja las 24 horas al día, con un total de 4 ciclos diarios: la instalación de purificación se pondrá en funcionamiento cada 3,19 horas, 4 veces al día. En cada una de estos ciclos de funcionamiento, la instalación trabajará de forma continua durante 168,79 minutos, un total de 11 horas y 15 minutos al día.

En los siguientes puntos del presente anexo se van a diseñar los equipos necesarios para purificar la corriente de glicerina bruta. Además se determinará la composición de todas las corrientes resultantes en cada etapa del proceso.

A continuación se muestra un diagrama de flujo de todo el proceso de purificación de la glicerina, así como una tabla resumen donde aparece la composición de cada corriente principal.

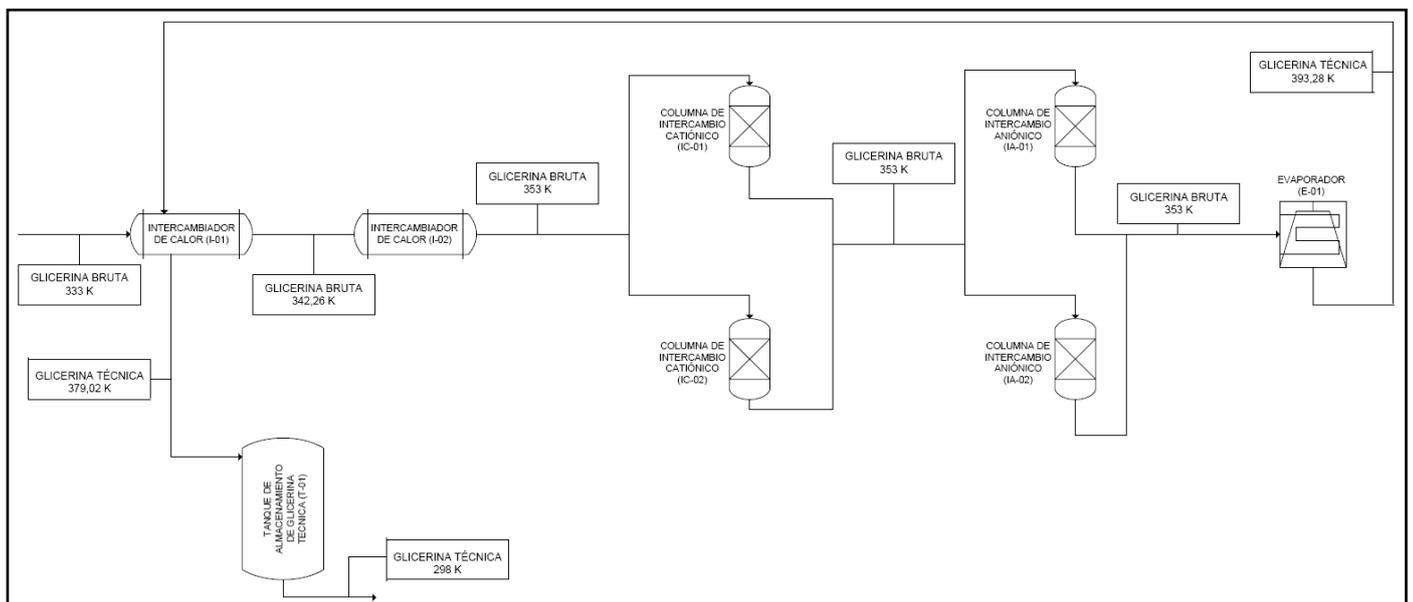


Figura 1.1. Diagrama de flujo del proceso de purificación de glicerina bruta

	Entrada primer intercambiador de calor		Entrada segundo intercambiador de calor		Entrada columna de intercambio catiónico		Entrada columna de intercambio aniónico		Entrada evaporador		Salida evaporador	
	kg/h	%	kg/h	%	kg/h	%	kg/h	%	kg/h	%	kg/h	%
Glicerina	180,070	74,75	180,070	74,75	180,070	74,75	180,070	84,28	180,070	88,61	180,070	99,00
Agua	10,270	4,26	10,270	4,26	10,270	4,26	10,270	4,81	23,135	11,39	1,819	1,00
Fosfato potásico	50,544	20,98	50,544	20,98	50,544	20,98	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00
Ácido fosfórico	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	23,328	10,92	0,000	0,00	0,000	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>240,884</b>	<b>100</b>	<b>240,884</b>	<b>100</b>	<b>240,884</b>	<b>100</b>	<b>212,291</b>	<b>100</b>	<b>203,205</b>	<b>100</b>	<b>181,889</b>	<b>100</b>

Tabla 1.8. Composición de las corrientes principales del proceso de purificación de glicerina

## 2. DISEÑO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Para el diseño de los intercambiadores de calor se realizará en primer lugar una estimación preliminar del tamaño de cada intercambiador, utilizando un coeficiente de transferencia de calor apropiado para los fluidos, el proceso y el equipo.

Por último se escogerá en cada caso un intercambiador comercial que satisfaga los requisitos del proceso al costo más bajo, el cual realmente incluye los costos de operación, de mantenimiento e inicial.

Se han escogido dos intercambiadores de carcasa y tubos, por ser de los más utilizados en la industria química y con las consideraciones de diseño mejor definidas.

El fluido calefactor para el primer intercambiador será la glicerina técnica procedente del evaporador, y vapor de agua para el segundo equipo. Ambos fluidos calefactores circularán por el lado de la carcasa, mientras que por el interior de los tubos circulará la glicerina bruta.

Para la producción de vapor se utiliza una caldera generadora de vapor, cuya función es proporcionar en total 224,396 kg/h de vapor de agua para el segundo intercambiador de calor y para el evaporador. En el caso de que el primer intercambiador de calor también necesite vapor de calefacción, la caldera podrá proporcionar hasta 300 kg/h de vapor.

## 2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA

En primer lugar se determina el caudal de entrada de glicerina bruta en unidades másicas, lo cual será útil para el posterior cálculo de las áreas de intercambio.

Para ello se conoce el caudal de glicerina bruta que entra al primer intercambiador, 164,139 l/h, la densidad de cada componente de la mezcla (a 333 K) y en qué porcentaje se encuentra.

### Cálculo de la densidad media (a 333 K)

$$\rho_{\text{MEDIA}} = \rho_{\text{GLICERINA}} \cdot \%_{\text{GLICERINA}} + \rho_{\text{AGUA}} \cdot \%_{\text{AGUA}} + \rho_{\text{FOSFATO POTÁSICO}} \cdot \%_{\text{FOSFATO POTÁSICO}} \quad [1]$$

$$\rho_{\text{MEDIA}} = 1,2503 \cdot 0,7475 + 0,9832 \cdot 0,0426 + 2,3400 \cdot 0,2098 = 1,4676 \text{ kg/l}$$

### Cálculo del caudal másico ( $m_F$ )

$$m_F = \rho_{\text{MEDIA}} \cdot Q_V \quad [2]$$

$$m_F = 1,4676 \cdot 164,139 = 240,884 \text{ kg/h}$$

Con respecto a la temperatura, la corriente se encuentra a 333 K y se precisa que a la salida del segundo intercambiador se alcancen los 353 K.

Para ello se emplea como fluido calefactor en el primer intercambiador la glicerina técnica procedente del evaporador, que se encuentra a una temperatura de 393,28 K. Para el segundo intercambiador, el vapor de agua procedente de la caldera, que se encuentra a 398 K.

A continuación se muestra un esquema de los intercambiadores:

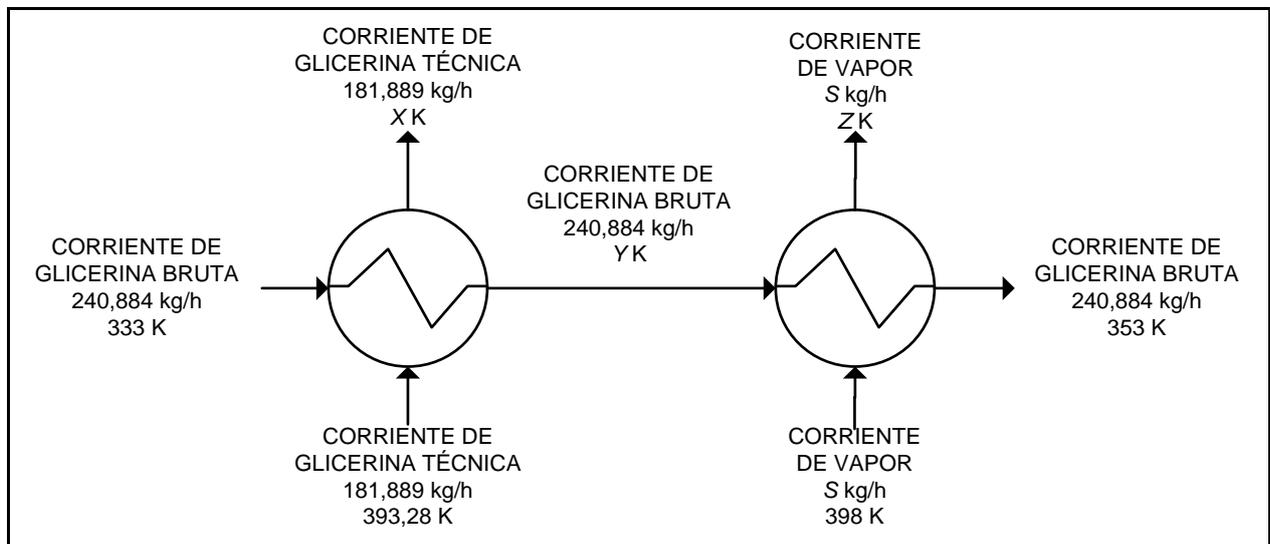


Figura 1.2. Esquema del proceso de intercambio de calor

### 2.3. CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO DE CALOR DEL PRIMER EQUIPO (I-01)

El principal objetivo del diseño del intercambiador es el cálculo del área de intercambio (A), para lo que se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ML} \quad [3]$$

Siendo:

Q: calor intercambiado entre los fluidos (kJ/h)

U: coeficiente global de transmisión de calor ( $W/m^2 \cdot K$ )

$\Delta T_{ML}$ : temperatura media logarítmica

Para ello será necesario calcular cada uno de estos términos.

### 2.3.1. Cálculo del calor intercambiado

El calor intercambiado entre los fluidos viene expresado por la siguiente ecuación general, resultante del balance de energía al intercambiador:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [4]$$

Resultando la siguiente ecuación para el fluido frío (glicerina bruta):

$$Q = m_F \cdot C_{PF} \cdot \Delta T_F \quad [5]$$

Y la siguiente para el fluido caliente (glicerina técnica):

$$Q = m_C \cdot C_{PC} \cdot \Delta T_C \quad [6]$$

Siendo:

$m_F$  y  $m_C$ : caudales máxicos de los fluidos frío y caliente (kg/h)

$C_{PF}$  y  $C_{PC}$ : calores específicos de los fluidos frío y caliente (kJ/kg · K)

$\Delta T_F$  y  $\Delta T_C$ : diferencias de temperatura experimentada por los fluidos frío y caliente (K)

En el esquema de los intercambiadores se observa que se desconoce la temperatura de salida de la glicerina bruta y de la técnica en el primer equipo, datos que deben ser conocidos para poder diseñar el intercambiador. Para ello se sigue la siguiente secuencia de cálculo:

- En primer lugar se supone que la temperatura de salida de la glicerina bruta es de 353 K (temperatura máxima).

- Para determinar la temperatura de salida de la glicerina técnica se evalúa la diferencia entre la temperatura de entrada del fluido caliente (393,28 K) y la de salida del frío (353 K), que es de 40,28 K. Así que se establecerá una diferencia entre la temperatura de salida del fluido caliente y la de entrada del frío (333 K) comprendida en ese rango ( $40,28 \pm 5$  K). Se supone entonces una temperatura de salida del fluido caliente de 368,28 K.
- Se determinan los calores específicos medios correspondientes y se aplica la ecuación [5], resultando el calor intercambiado, Q.
- Conocidos los términos necesarios, se calcula el caudal másico del fluido caliente mediante la ecuación [6].
- Por último se comprueba si el caudal másico del fluido caliente coincide o no con el ya fijado, es decir, si es igual a 181,889 kg/h.
- Si estos valores coinciden, se han supuesto correctamente las temperaturas de salida de las dos corrientes. Si no coinciden es necesario volver a suponer una nueva temperatura de salida de la glicerina bruta, siempre menor que 353 K, y volver a seguir todos los pasos de esta secuencia de cálculo.

Tras realizar los cálculos necesarios, se fija una temperatura de salida de la glicerina bruta de 342,26 K y una temperatura de salida de la glicerina técnica de 379,02 K, resultando un caudal másico de glicerina técnica de 181,872 kg/h ( $\approx 181,889$  kg/h).

Para llegar a estos resultados ha sido necesario conocer el valor de los calores específicos de las corrientes, a la temperatura media de cada una. Consultando la bibliografía se obtienen los siguientes valores para cada componente.

$$C_{P \text{ Glicerina}} \text{ (cal/mol}\cdot\text{K)} = 32,9 + 0,0761 \cdot T - 0,0000269 \cdot T^2 \quad [7]$$

$$C_{P \text{ Fosfato potásico}} = 0,639 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$$C_{P \text{ Agua}} \text{ (ver anexo 3, Figura 3.6)}$$

$C_{P \text{ Vapor}}$  (ver anexo 3, Figura 3.7)

	Glicerina técnica (386,15 K)	Glicerina (337,63 K)	Fosfato Potásico (337,63 K)	Agua (337,63 K)
$C_P$ (kJ/kg · K)	1,894	2,527	0,639	4,189

Tabla 1.9. Calor específico de los componentes de las corrientes

Teniendo en cuenta los valores anteriores y el porcentaje en que se encuentra cada componente de la corriente de glicerina bruta, se obtienen los calores específicos siguientes:

$$C_{P C} = 1,894 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$C_{P F} = 2,202 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Finalmente se obtiene el calor intercambiado entre las corrientes. Resolviendo la ecuación [5]:

$Q = 4911,051 \text{ kJ/h}$
-----------------------------

En el siguiente diagrama de flujo se muestra el algoritmo para el cálculo de las temperaturas de salida de las corrientes y del calor intercambiado entre ellas para el primer intercambiador de calor.

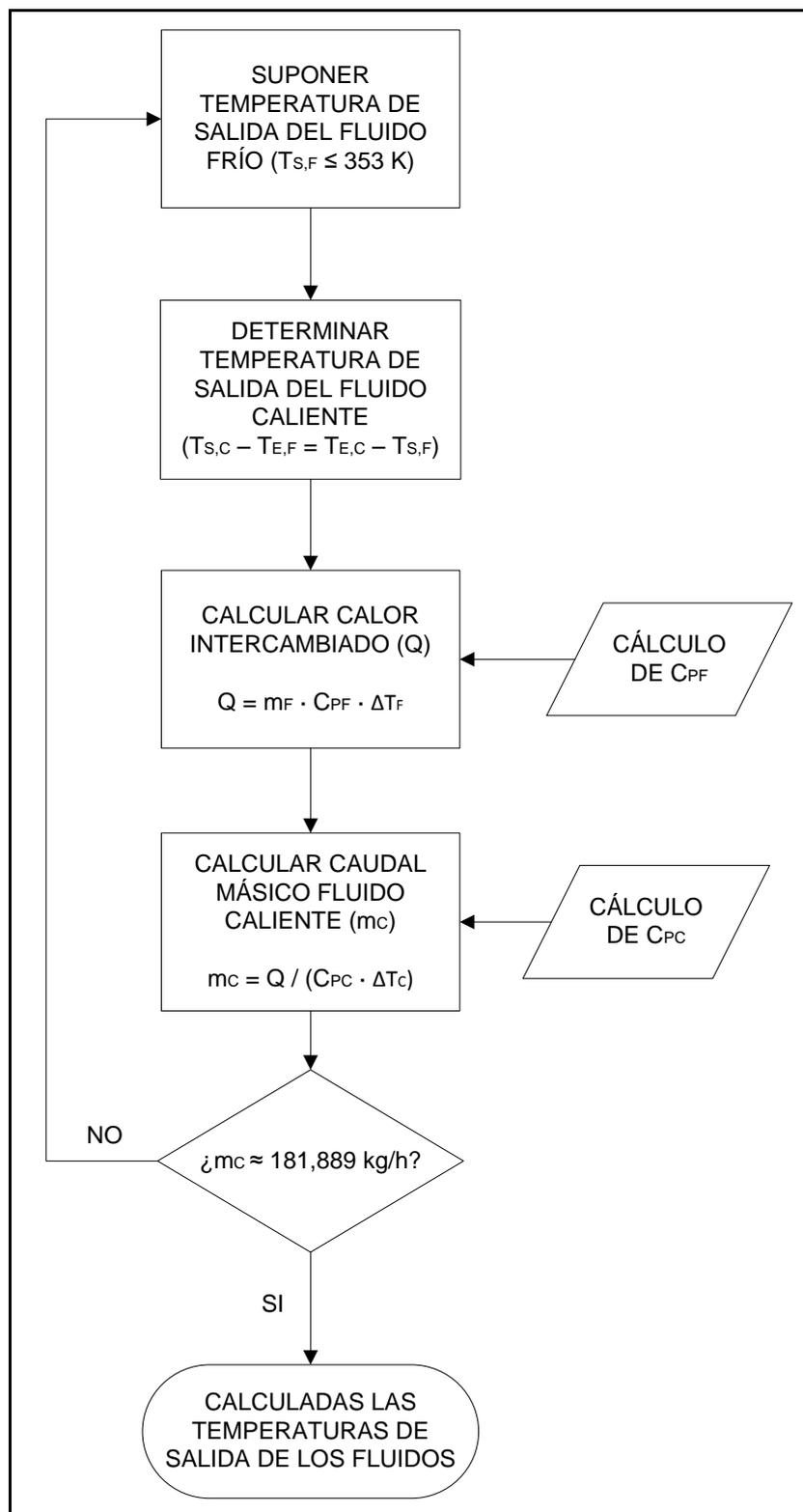


Figura 1.3. Algoritmo para el cálculo las temperaturas de salida de las corrientes y del calor intercambiado entre ellas para el intercambiador de calor I-01

### 2.3.2. Cálculo de la temperatura media logarítmica

El parámetro  $\Delta T_{ML}$  para un intercambio de calor en contracorriente viene definido por la siguiente ecuación:

$$\Delta T_{ML} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(T_{C,E} - T_{F,S}) - (T_{C,S} - T_{F,E})}{\ln \frac{(T_{C,E} - T_{F,S})}{(T_{C,S} - T_{F,E})}} \quad [8]$$

$$\Delta T_{ML} = 48,48 \text{ K}$$

### 2.3.3. Coeficiente global de transmisión de calor

El parámetro U es el coeficiente global de transmisión de calor, el cual se supone constante durante todo el proceso.

En los intercambiadores de calor tubulares hay que tener en cuenta que después de cierto tiempo de uso se producen depósitos en el interior y en el exterior de los tubos, lo que supone que disminuyan tanto la eficacia de la transmisión como el coeficiente global de transmisión de calor. Por ello se definen dos tipos de coeficientes globales de transmisión de calor:

$U_P$ : Coeficiente global de transmisión de calor limpio

$U_D$ : Coeficiente global de transmisión de calor sucio

Ambos se relacionan mediante el coeficiente de ensuciamiento  $R_S$ :

$$R_s = \frac{U_P - U_D}{U_P \cdot U_D} \quad [9]$$

Se necesita conocer el valor de  $U_D$  para el cálculo del área de intercambio teniendo en cuenta esta disminución de la eficacia. En la bibliografía existen directamente datos para el valor de  $U_D$ , en función del tipo de fluido caliente y de fluido frío (ver anexo 3, Figura 3.9). Se elige un valor de  $U_D$  de 20 BTU/(h·ft<sup>2</sup>·°F), en unidades del SI:

$$U_D = 408,835 \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Finalmente se calcula el área de intercambio de calor, ya conocidos todos los parámetros necesarios. Resolviendo la ecuación [3]:

$$A = 0,248 \text{ m}^2$$

Como equipo comercial se ha elegido un intercambiador de calor *Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 3-8"* <sup>[40]</sup> (ver anexo 4), como se describe más detalladamente en la memoria descriptiva.

## 2.4. CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO DE CALOR DEL SEGUNDO EQUIPO (I-02)

Para el diseño del segundo intercambiador de calor se emplean igualmente las ecuaciones [4], [5] y [6].

### 2.4.1. Cálculo del calor intercambiado y del caudal másico de vapor

En el esquema de los intercambiadores se observa que se desconoce la temperatura de salida del vapor y el caudal másico de esta corriente. Para el diseño del intercambiador es necesario fijar la temperatura de salida del vapor, para ello se observa la diferencia entre la temperatura de entrada del fluido caliente (398 K) y la de salida del frío (353 K), la cual es de 45 K. Así que se establecerá una diferencia entre la temperatura de salida del fluido caliente y la de entrada del frío (342,26 K) comprendida en ese rango, se supone entonces una temperatura de salida del vapor de 382,26 K.

El valor del calor específico de las corrientes se determina del mismo modo que para el primer intercambiador:

$$C_{P C} = 1,895 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$C_{P F} = 2,222 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Resolviendo las ecuaciones [5] y [6]:

$$Q = 5747,275 \text{ kJ/h}$$

$$m_C = 192,655 \text{ kg/h}$$

#### 2.4.2. Cálculo de la temperatura media logarítmica

Resolviendo la ecuación [8]:

$$\Delta T_{ML} = 42,45 \text{ K}$$

### 2.4.3. Coeficiente global de transmisión de calor

Para este caso se elige un valor de  $U_D$  de 100 BTU/(h·ft<sup>2</sup>·°F) (ver anexo 3, Figura 3.9), en unidades del SI:

$$U_D = 2044,175 \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Finalmente se calcula el área de intercambio de calor. Resolviendo la ecuación [3]:

$$A = 0,066 \text{ m}^2$$

Como equipo comercial se ha elegido un intercambiador de calor *Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 2-8"* [40] (ver anexo 4), como se describe más detalladamente en la memoria descriptiva.

### 3. DISEÑO DEL PROCESO DE INTERCAMBIO IÓNICO

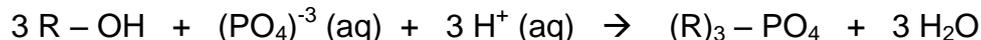
#### 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA A LAS COLUMNAS

En las columnas de intercambio iónico tienen lugar las siguientes reacciones de cambio entre resinas y disoluciones:

1) Intercambio catiónico



2) Intercambio aniónico



Mediante la estequiometría de ambas reacciones se determina la composición de la disolución a la salida y entrada de las columnas de intercambio iónico:

	Entrada columna Intercambio catiónico		Salida columna Intercambio catiónico <sup>1</sup>		Salida columna Intercambio aniónico	
	kg/h	%	kg/h	%	kg/h	%
Glicerina	180,070	74,75	180,070	84,28	180,070	88,61
Agua	10,270	4,26	10,270	4,81	23,135 <sup>2</sup>	11,39
Fosfato potásico	50,544	20,98	0,000	0,00	0,000	0,00
Ácido fosfórico	0,000	0,00	23,328	10,92	0,000	0,00
Total	240,884	100	212,291	100	203,205	100

1. También se refiere a la composición de la disolución a la entrada de la columna de intercambio aniónico  
2. Agua producida en la reacción (resina aniónica), más el agua que ya contenía la corriente

Tabla 1.10. Composición de la disolución a la entrada y salida de las columnas de intercambio iónico

## 3.2. VOLUMEN DE LAS RESINAS

### 3.2.1. Resina catiónica

Como se muestra en la Tabla 1.10, la corriente de entrada a la columna de intercambio catiónico contiene una concentración del 20,98% en fosfato potásico monobásico (50,544 kg/h).

Cada hora se deben tratar 50,544 kg de fosfato potásico, por lo tanto en equivalentes:

$$50,544 \text{ kg KH}_2\text{PO}_4 \cdot \frac{1 \text{ kmol KH}_2\text{PO}_4}{136,08 \text{ kg KH}_2\text{PO}_4} \cdot \frac{3 \cdot 10^3 \text{ equiv. KH}_2\text{PO}_4}{1 \text{ kmol KH}_2\text{PO}_4} = 1114,289 \text{ equiv. KH}_2\text{PO}_4$$

Consultando el catálogo de la resina (anexo 4) se observa que su capacidad total de intercambio es de 2 equivalentes por litro de resina. Resultando el siguiente volumen de resina:

$$1114,289 \text{ equivalentes} \cdot \frac{\text{litro resina}}{2 \text{ equivalentes}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ litros}} = 0,557 \text{ m}^3$$

Este volumen de resina es capaz de tratar la corriente durante una hora, tras la cual será necesaria su regeneración.

Consideramos finalmente un volumen de resina capaz de tratar la corriente durante 2 horas y 15 minutos:

$V_{\text{RESINA CATIONICA}} = 1,254 \text{ m}^3$
---

### 3.2.2. Resina aniónica

La corriente de entrada a la columna de intercambio aniónico contiene un 10,92% en ácido fosfórico (23,328 kg/h), como aparece en la Tabla 1.10.

Siguiendo el mismo método de cálculo que para el caso de la resina catiónica y teniendo en cuenta que en este caso la capacidad total de intercambio de la resina es de 1,7 equivalentes por litro de resina (ver Anexo 4):

$$23,328 \text{ kg H}_3\text{PO}_4 \cdot \frac{1 \text{ kmol H}_3\text{PO}_4}{97,97 \text{ kg H}_3\text{PO}_4} \cdot \frac{3 \cdot 10^3 \text{ equiv. H}_3\text{PO}_4}{1 \text{ kmol H}_3\text{PO}_4} = 714,337 \text{ equiv. H}_3\text{PO}_4$$

$$714,337 \text{ equivalentes} \cdot \frac{\text{litro resina}}{1,7 \text{ equivalentes}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ litros}} = 0,420 \text{ m}^3$$

Igualmente se considera el volumen de resina necesario para la tratar la corriente durante 2 horas y 15 minutos:

$V_{\text{RESINA ANIÓNICA}} = 0,945 \text{ m}^3$
--

Como se ha descrito en la memoria descriptiva, se dispone de un segundo par de columnas para usarlas cuando en las otras se estén regenerando sus resinas. Los volúmenes de resinas calculados son para una columna, de modo que en la instalación se debe disponer del doble de volumen de resinas, es decir, **2,507 m<sup>3</sup>** de resina catiónica y **1,891 m<sup>3</sup>** de resina aniónica.

### 3.3. COLUMNAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

El objetivo en el diseño de las columnas de intercambio iónico es determinar las dimensiones que deben tener para poder contener el volumen de resina correspondiente, calculado anteriormente. Para ello hay que considerar qué “swelling” se produce en cada resina, por lo que habrá que sobredimensionar las columnas.

Se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$S = \pi \cdot R^2 \quad [10]$$

$$V = S \cdot h \quad [11]$$

Siendo:

S: área transversal de la columna y del lecho de resina (m<sup>2</sup>)

R: radio de la columna y del lecho de resina (m)

V: volumen de resina (m<sup>3</sup>)

h: altura del lecho de resina (m)

Para diferenciar las columnas, estos parámetros llevan los subíndices 1 y 2 para las columnas catiónica y aniónica, respectivamente.

### 3.3.1. Columna de intercambio catiónico

Conocido el volumen de resina catiónica y suponiendo un área transversal (S<sub>1</sub>) de 0,50 m<sup>2</sup>, se determina el radio de la columna (y del lecho de resina) a partir de la ecuación [10] y la altura del lecho de resina a partir de la ecuación [11]:

$$R_1 = \sqrt{\frac{0,50 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,399 \text{ m}$$

$$h_1 = \frac{1,254 \text{ m}^3}{0,50 \text{ m}^2} = 2,507 \text{ m}$$

Siendo  $\Phi_1$  el diámetro de la columna de intercambio iónico (y del lecho de resina catiónica):

$$\Phi_1 = 0,798 \text{ m}$$

Consultando la información proporcionada por el suministrador (ver anexo 4), el “*swelling*” total de la resina catiónica es del 7%. Por lo tanto, la altura de la columna de intercambio catiónico ( $H_1$ ) debe ser un 7% superior a la altura del lecho de resina catiónica ( $h_1$ ):

$$H_1 = 2,683 \text{ m}$$

### 3.3.2. Columna de intercambio aniónico

Realizando los mismos cálculos que para la columna de intercambio catiónico y suponiendo un área transversal ( $S_2$ ) de  $0,50 \text{ m}^2$ :

$$R_2 = \sqrt{\frac{0,50 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,399 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{0,945 \text{ m}^3}{0,50 \text{ m}^2} = 1,891 \text{ m}$$

$$\Phi_2 = 0,798 \text{ m}$$

Para este caso el “swelling” total de la resina es del 23%, por lo que la altura de la columna ( $H_2$ ) debe ser un 23% superior a la altura del lecho de resina aniónica ( $h_2$ ):

$$H_2 = 2,326 \text{ m}$$

Para que las dimensiones de las columnas sean estándar, todas las columnas tendrán 0,80 m de diámetro. Las de intercambio catiónico tendrán una altura de 2,75 m y las de intercambio aniónico de 2,50 m. Resultando una sección transversal de 0,503 m<sup>2</sup> para todas las columnas.

$$H_1 = 2,75 \text{ m}$$

$$H_2 = 2,50 \text{ m}$$

$$\Phi_1 = \Phi_2 = 0,80 \text{ m}$$

$$S_1 = S_2 = 0,503 \text{ m}^2$$

### 3.4. CAUDAL DE OPERACIÓN DE LAS DISOLUCIONES A TRATAR

El suministrador de las resinas proporciona información sobre el caudal de operación que debe tener la disolución que se va a tratar (ver anexo 4). Para ambas resinas, el caudal de operación máximo es de 20 gpm/ft<sup>2</sup>. Por lo tanto, para una sección de 5,41 ft<sup>2</sup> (0,503 m<sup>2</sup>) resulta un caudal máximo de 108,2 gpm, en unidades del SI: 24,575 m<sup>3</sup>/h.

La disolución a tratar circula de forma continua a través de la columna de intercambio catiónico con un caudal de 0,165 m<sup>3</sup>/h, por lo que no se sobrepasa el máximo recomendado por el suministrador.

Para determinar este caudal volumétrico se considera el caudal másico (240,884 kg/h), la composición de la corriente (ver Tabla 1.10) y la densidad de cada componente a 353 K (ecuaciones [1] y [2]).

Componente	Densidad (g/ml)
Glicerina	1,2383
Agua	0,9718
Fosfato potásico	2,3400

Tabla 1.11. Densidades a 353 K

Por la columna aniónica la disolución circula continuamente con un caudal de 0,164 m<sup>3</sup>/h.

Componente	Densidad (g/ml)
Glicerina	1,2383
Agua	0,9718
Ácido fosfórico	1,8800

Tabla 1.12. Densidades a 353 K

Este caudal tampoco sobrepasa el máximo recomendado por el suministrador.

### **3.5. CAUDAL DE OPERACIÓN DE LAS DISOLUCIONES REGENERANTES**

Igualmente, el suministrador de las resinas proporciona información sobre el caudal de operación que debe tener la disolución regenerante (ver anexo 4). Para la resina catiónica, el rango de caudal de operación es de 0,4-4 gpm/ft<sup>2</sup> y para la resina aniónica de 2-8 gpm/ft<sup>2</sup>.

Con respecto a las disoluciones regenerantes empleadas, para la resina catiónica se trata de una disolución de ácido clorhídrico al 5% y para la aniónica una disolución de hidróxido sódico 1 N.

### Resina catiónica

Considerando un caudal de 2,2 gpm/ft<sup>2</sup> y una sección de 5,41 ft<sup>2</sup> (0,503 m<sup>2</sup>):

$$Q_{\text{DIS.HCl (5\%)}} = 2,2 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} \cdot 5,41 \text{ ft}^2 = 11,902 \text{ gpm}$$

$$Q_{\text{DIS.HCl (5\%)}} = 2,703 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para conocer el tiempo necesario para regenerar la resina catiónica, en el catálogo se indica que se necesita, como máximo, 5 lb de disolución por ft<sup>3</sup> de resina (80 kg/m<sup>3</sup>) (ver anexo 4). Se considera que la densidad de la disolución es de 1,03 kg/l.

$$80 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,254 \text{ m}^3 \cdot \frac{1 \text{ litro}}{1,03 \text{ kg}} = 97,365 \text{ litros de dis. HCl 5\%}$$

Se necesitan, como máximo, 97,365 litros de disolución de HCl al 5%, es decir, 0,097 m<sup>3</sup>.

Por último se tiene en cuenta el caudal de la disolución de ácido clorhídrico, anteriormente calculado.

$$\text{Tiempo de regeneración} = 0,097 \text{ m}^3 \cdot \frac{\text{h}}{2,703 \text{ m}^3} = 0,036 \text{ h}$$

Se requieren 2 minutos y 10 segundos para regenerar la resina catiónica.

### Resina aniónica

Considerando un caudal de 5 gpm/ft<sup>2</sup> y una sección de 5,41 ft<sup>2</sup>:

$$Q_{\text{DIS.NaOH (1N)}} = 5 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} \cdot 5,41 \text{ ft}^2 = 27,050 \text{ gpm}$$

$$Q_{\text{DIS.NaOH (1N)}} = 6,144 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para determinar el tiempo necesario para regenerar la resina aniónica, en el catálogo se indica que se necesitan, como máximo, 10 lb de disolución por ft<sup>3</sup> de resina (160 kg/m<sup>3</sup>). Se considera que la densidad de la disolución de sosa 1N (3,81%) es de 1,05 kg/l.

$$160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,945 \text{ m}^3 \cdot \frac{1 \text{ litro}}{1,05 \text{ kg}} = 135,064 \text{ litros de dis. NaOH 1N}$$

Considerando el caudal de disolución ya calculado de 6,144 m<sup>3</sup>/h:

$$\text{Tiempo de regeneración} = 0,135 \text{ m}^3 \cdot \frac{\text{h}}{6,144 \text{ m}^3} = 0,022 \text{ h}$$

Se necesita 1 minuto y 19 segundos para regenerar la resina aniónica.

Los tiempos calculados para regenerar ambas resinas se han obtenido teniendo en cuenta la cantidad máxima de regenerante por volumen de resina, que se indica en cada catálogo. Por lo tanto, como máximo se tardarían 0,036 horas y 0,022 horas en regenerar las resinas catiónica y aniónica, respectivamente.

El tiempo real de regeneración de cada resina se determinará una vez que el proceso esté en funcionamiento, ya que se instalan conductímetros a la salida de cada columna, detectándose así tanto la saturación de la resina como la finalización de su regeneración.

Los tiempos calculados anteriormente sirven para determinar qué volumen de disolución regenerante debe almacenarse en la instalación, para cada resina. El cálculo de estas cantidades se desarrolla en los puntos 6.2.2 y 6.2.3 del presente anexo.

### 3.6. CAÍDAS DE PRESIÓN EN LAS COLUMNAS

Es necesario determinar la caída de presión a través de las columnas de intercambio iónico, ya que si resultan ser considerables se deben de tener en cuenta a la hora de determinar las necesidades de bombeo de la corriente.

Para su cálculo se emplea la ecuación de Ergun (ecuación [12]):

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \cdot \frac{v \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon)^2}{D_p^2 \cdot \varepsilon^3} + 1,75 \cdot \frac{v^2 \cdot \rho \cdot (1 - \varepsilon)}{D_p \cdot \varepsilon^3} \quad [12]$$

Siendo:

$\Delta P$ : caída de presión (Pa)

L: longitud del lecho (m)

$\mu$ : viscosidad del fluido a la temperatura de operación (Pa·s), (ver anexo 3)

v: velocidad del fluido (m/s)

$D_p$ : diámetro partícula (m)

$\varepsilon$ : porosidad del lecho (0,4)

$\rho$ : densidad del fluido a la temperatura de operación ( $\text{kg/m}^3$ )

Para determinar la velocidad del fluido se emplea la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{S} \quad [13]$$

Siendo:

Q: caudal del fluido (m<sup>3</sup>/s)

S: sección de la columna (0,503 m<sup>2</sup> para todas las columnas)

El caudal volumétrico de cada corriente se determina según la ecuación [2]. Para el cálculo de la densidad media de cada corriente se tiene en cuenta el porcentaje en que se encuentra cada componente y la densidad de cada uno de ellos (en función de su temperatura) (ecuación [1]).

Con respecto al diámetro de partícula (D<sub>p</sub>), se realiza una media de los posibles diámetros que proporciona el suministrador (ver anexo 4). Resulta un diámetro de 719,125 · 10<sup>-6</sup> m.

En la siguiente tabla se muestran los resultados:

Columna	L (m)	Q (kg/h)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	v (m/s)	μ (Pa·s)	ΔP (Pa)
Intercambio Catiónico	2,683	240,884	1460	0,165	9,12 · 10 <sup>-5</sup>	3,75 · 10 <sup>-3</sup>	1497,264
Intercambio Aniónico	2,326	212,291	1300	0,164	9,02 · 10 <sup>-5</sup>	6,97 · 10 <sup>-3</sup>	2387,415

Tabla 1.13. Caídas de presión en las columnas de intercambio iónico

Como se observa en la tabla, las caídas de presión son muy pequeñas para ambas columnas, por lo que pueden considerarse despreciables.

### 3.7. AISLAMIENTO DE COLUMNAS

Todas las columnas de intercambio iónico llevan un encamisado con material aislante, con el objetivo de mantener la temperatura de la corriente.

Concretamente se utiliza manta de fibra de vidrio de baja densidad ya que es un material aislante adecuado para la temperatura de operación, además de ser uno de los materiales aislantes más usados. Se ha elegido una fibra de vidrio de *Consortio termo-acústico S.A., "tipo aislhogar"* (ver anexo 4).<sup>[41]</sup>

Con este aislamiento se consiguen una serie de mejoras:

- Se consigue que la viscosidad no aumente, al no descender la temperatura, lo que causaría un mayor gasto económico en bombeo de corrientes.
- La corriente de entrada al evaporador estará a mayor temperatura que en el caso de que no se hubiese usado aislante. Con ello se favorece la economía del vapor, ya que se necesita menos calor para calentar la corriente hasta la temperatura de ebullición en el evaporador.

Para conseguir mantener la temperatura de la corriente de salida del intercambiador de calor, durante todo el proceso de intercambio iónico, el aislante debe tener un espesor adecuado. Para ello se tiene en cuenta la información proporcionada por el suministrador (ver anexo 4), que recomienda un aislante de **5,1 cm** de espesor cuando la temperatura de operación se encuentra entre -18 y 92 °C. En este caso la temperatura de la corriente que circula por las columnas es de 353 K (80 °C).

## 4. DISEÑO DEL EVAPORADOR

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Para el diseño del evaporador se realizará en primer lugar una estimación preliminar del área de evaporación, utilizando un coeficiente de transferencia de calor apropiado para los fluidos, el proceso y el equipo.

Por último se escogerá un evaporador comercial que satisfaga los requisitos del proceso al costo más bajo, el cual realmente incluye los costos de operación, de mantenimiento e inicial.

### 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CORRIENTE DE ENTRADA

La corriente de salida de la columna de intercambio aniónico se introduce en el evaporador y posee las siguientes características:

$$T^a_{\text{ENTRADA}} = 353 \text{ K}$$

$$P_{\text{ENTRADA}} = 101,325 \text{ kPa}$$

$$F = 203,205 \text{ kg/h}$$

$$[\text{glicerina}]_{\text{ENTRADA}} = 88,61 \%$$

Se considera que se evapora la mayor parte del agua, resultando una disolución concentrada de glicerina al 99%. En la siguiente tabla se muestra un balance de materia al evaporador:

	ENTRADA AL EVAPORADOR		SALIDA DEL EVAPORADOR	
	kg/h	%	kg/h	%
Glicerina	180,070	88,61	180,070	99,00
Agua	23,135	11,39	1,819	1,00
TOTAL	203,205	100,00	181,889	100,00

Tabla 1.14. Balance de materia al evaporador

Con respecto al vapor de calefacción, se trata de vapor de agua saturado que se introduce al evaporador a 398 K y 232,1 kPa, procedente de la misma caldera que proporciona vapor de agua saturado a los intercambiadores de calor.

### 4.3. CÁLCULO DEL ÁREA DE EVAPORACIÓN

La expresión básica para determinar la capacidad de un evaporador de efecto simple es la ecuación [14]:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad [14]$$

Donde:

Q: cantidad de calor transferido (kJ/h)

U: coeficiente global de transmisión de calor ( $W/m^2 \cdot K$ )

A: área de evaporación ( $m^2$ )

$\Delta T$ : diferencia de temperatura entre las dos corrientes (K)

Para decidir el valor correcto de la diferencia de temperaturas hay que considerar la elevación del punto de ebullición (E.P.E).

El punto de ebullición de una disolución es la temperatura a la cual su presión de vapor iguala a la presión atmosférica externa. Debido a que la presencia de un soluto no volátil disminuye la presión de vapor de una disolución, también afecta al punto de ebullición de la misma, siendo el punto de ebullición de la disolución mayor que el del agua.

Por lo tanto, el aumento del punto de ebullición se define como el punto de ebullición de la disolución menos el punto de ebullición del disolvente puro <sup>[7]</sup>:

$$E.P.E = T_{\text{ebullición disolución}} - T_{\text{ebullición disolvente puro}} \quad [15]$$

En la bibliografía <sup>[2]</sup> existen gráficas para calcular la E.P.E de varias disoluciones acuosas a distintas concentraciones y temperaturas, pero sólo válidas para concentraciones del 0 al 60% (ver anexo 3, Figura 3.10) y en este caso la disolución de glicerina se concentra hasta un 99%. Así que se supone un valor aproximado de 36,5 °F, es decir:

$$E.P.E = 20,28 \text{ K}$$

De manera que la temperatura de ebullición de la disolución,  $T_1$ , y la diferencia de temperatura entre las corrientes,  $\Delta T$ , resultan:

$$T_1 = 393,28 \text{ K}$$

$$\Delta T = (T_s - T_1) = (398 - 393,28) = 4,72 \text{ K}$$

Para resolver la ecuación [14] y, por lo tanto, conocer el área de evaporación, es necesario determinar el valor de  $Q$  llevando a cabo un balance de energía y materia en el evaporador de la Figura 1.4.

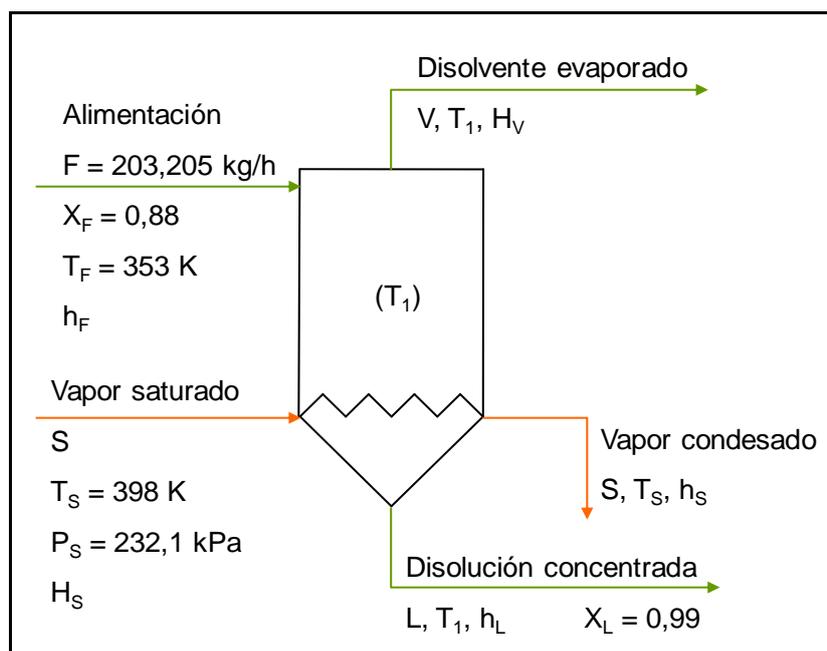


Figura 1.4. Diagrama de flujo de un evaporador de efecto simple

Donde:

F: caudal de alimentación (kg/h)

S: caudal de vapor saturado (kg/h)

V: caudal de disolvente evaporado (kg/h)

L: caudal de disolución concentrada (kg/h)

T: temperatura (K)

P: presión (kPa)

X: fracción en peso de soluto

H: entalpía del vapor (kJ/kg)

h: entalpía de líquido (kJ/kg)

Con respecto al valor del coeficiente global de transmisión de calor,  $U$ , en la bibliografía existen coeficientes típicos para diversos tipos de evaporadores:

<i>Tipo de evaporador</i>	<i>General U</i>	
	<i>W/m<sup>2</sup> · K</i>	<i>Btu/h · pie<sup>2</sup> · °F</i>
Tubo vertical corto, circulación natural	1100-2800	200-500
Tubo horizontal, circulación natural	1100-2800	200-500
Tubo vertical largo, circulación natural	1100-400	200-700
Tubo vertical largo, circulación forzada	2300-11000	400-2000
Película con agitación	680-2300	120-400

Tabla 1.15. Coeficientes globales de transmisión de calor para diversos tipos de evaporadores [4]

Se escoge el valor más desfavorable del intervalo:

$$U = 2300 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} = 8280 \text{ kJ/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Realmente el valor del coeficiente global de transmisión de calor se determinará experimentalmente una vez que el proceso esté en funcionamiento. Sin embargo, al no conocerse las características del equipo, se considera para el diseño el valor de U que aparece en la bibliografía.

### Balance de materia

Puesto que se trata de estado estacionario, la velocidad de entrada de masa = velocidad de salida de masa. Entonces, para un balance total y con respecto al soluto:

$$F = L + V \quad [16]$$

$$F \cdot X_F = L \cdot X_L \quad [17]$$

Resultando los siguientes caudales:

$$L = 181,889 \text{ kg/h}$$

$$V = 21,316 \text{ kg/h}$$

### Balance de energía

Puesto que el calor total que entra es igual al calor total que sale, y suponiendo que no hay pérdidas de calor por radiación o convección:

$$\begin{aligned} &\text{calor en la alimentación} + \text{calor en el vapor de agua} = \text{calor en el líquido concentrado} \\ &+ \text{calor en el vapor} + \text{calor en el vapor de agua condensado} \end{aligned} \quad [18]$$

Sustituyendo en la ecuación [18]:

$$F \cdot h_F + S \cdot H_S = L \cdot h_L + V \cdot H_V + S \cdot h_S \quad [19]$$

La diferencia ( $H_S - h_S$ ) es el calor latente de vaporización del vapor de agua, por lo tanto la ecuación queda como:

$$S \cdot \lambda_S = L \cdot h_L + V \cdot H_V - F \cdot h_F = Q_{\text{INTERCAMBIADO}} \quad [20]$$

El primer miembro de la ecuación anterior representa el calor por unidad de tiempo que cede el vapor a través de la superficie de calentamiento, mientras que el segundo representa el flujo de calor por unidad de tiempo que absorbe el líquido. Ambos flujos de calor son iguales ya que no se considera que existan pérdidas de calor.

Las entalpías del lado de la solución,  $H_V$ ,  $h_F$  y  $h_L$ , dependen de las características de la solución que se concentra. La mayor parte de las soluciones no desarrollan un gran efecto calorífico cuando se mezclan o diluyen. Así ocurre con las soluciones de sustancias orgánicas y con la mayor parte de las soluciones de sustancias inorgánicas de concentración moderada.

En este caso se considera que el calor de dilución es despreciable ya que se trata de una disolución de glicerina, un compuesto orgánico. De modo que las entalpías  $h_F$  y  $h_L$  se pueden calcular a partir de los calores específicos de la solución.

Se elige la temperatura de ebullición en el evaporador ( $T_1$ ) como temperatura de referencia, ya que tanto la disolución concentrada como el disolvente evaporado se encuentran a esta temperatura, al estar ambas corrientes en equilibrio. Por lo tanto, al elegir esta temperatura de referencia, la entalpía  $h_L$  se hace cero y la entalpía  $h_F$  se puede calcular a partir del calor específico. Por consiguiente:

$$S \cdot \lambda_S = V \cdot H_V + F \cdot C_{PF} (T_1 - T_F) = Q_{\text{INTERCAMBIADO}} \quad [21]$$

Consultando la bibliografía se determinan los calores específicos:

$$C_{P \text{ Glicerina}} (\text{cal/mol} \cdot \text{K}) = 32,9 + 0,0761 \cdot T - 0,0000269 \cdot T^2 \quad [22]$$

$$C_{P \text{ Glicerina}} (\text{a } 353 \text{ K}) = 56,411 \text{ cal/mol} \cdot \text{K} = 2,5167 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$C_{P \text{ Agua}} (\text{a } 353 \text{ K}) (\text{ver anexo 3, Figura 3.6}) = 4,199 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Por consiguiente, el calor específico de la alimentación se calcula como:

$$C_{PF} = C_{P \text{ GLICERINA}} \cdot \% \text{ glicerina} + C_{P \text{ AGUA}} \cdot \% \text{ agua} \quad [23]$$

$$C_{PF} (\text{a } 353 \text{ K}) = 2,753 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

La entalpía específica  $H_V$  es la entalpía del vapor menos la del agua líquida a la temperatura de referencia  $T_1$ . Si la elevación del punto de ebullición del líquido concentrado es despreciable, esta diferencia de entalpía es simplemente  $\lambda_V$ , el calor latente de vaporización del agua a la presión existente en el espacio de vapor. Pero en este caso la elevación del punto de ebullición de la solución concentrada es alto,

por lo que el disolvente evaporado que sale está sobrecalentado en una cantidad de grados igual a la elevación del punto de ebullición.

Desde un punto de vista riguroso, la entalpía específica  $H_V$  es la diferencia entre la del vapor sobrecalentado y la del agua líquida a la temperatura de referencia  $T_1$ . Sin embargo, en la práctica resulta suficientemente exacto utilizar para  $H_V$  el calor latente de vaporización  $\lambda_V$  del agua a la presión del espacio de vapor.

Resultando finalmente la ecuación [24]:

$$S \cdot \lambda_S = V \cdot \lambda_V + F \cdot C_{PF} (T_1 - T_F) = Q_{\text{INTERCAMBIADO}} \quad [24]$$

Así que los calores latentes  $\lambda_S$  y  $\lambda_V$  del vapor de agua a las temperaturas de saturación  $T_S$  (398 K) y  $T_1$  (393,28 K) respectivamente, se obtienen de las tablas de vapor de agua (ver anexo 3):

$$\lambda_S = (H_S - h_S) = (2713,5 - 524,99) = 2188,51 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda_V = (H_V - h_V) = (2706,7 - 504,90) = 2201,80 \text{ kJ/kg}$$

Por otro lado, la temperatura  $T_F$  de la disolución diluida que entra como alimentación al evaporador es menor que  $T_1$ , la temperatura de referencia, por lo que el término  $F \cdot C_{PF} (T_1 - T_F)$  es positivo, y para una evaporación dada se requiere un consumo adicional de vapor vivo con el fin de proporcionar esta entalpía.

Por lo tanto, la ecuación [24] establece que el calor de vaporización del vapor de agua se utiliza: (1) en vaporizar agua de la solución y (2) en calentar la alimentación hasta la temperatura de ebullición.

Con todos los términos ya conocidos es posible calcular el caudal másico de vapor de calefacción necesario y el calor intercambiado, despejando de la ecuación [24]:

$$S = 31,741 \text{ kg/h}$$

$$Q = 69465,973 \text{ kJ/h}$$

Resolviendo la ecuación [14]:

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T}$$

$$A = 1,777 \text{ m}^2$$

Como equipo comercial se elige un intercambiador de calor *Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 4-36"*<sup>[40]</sup> (ver anexo 4), como se describe más detalladamente en la memoria descriptiva. Se instalará también una cámara de expansión para conseguir la separación de la solución concentrada y del disolvente puro (ver documento de Planos).

## 5. DISEÑO DE LA CALDERA DE VAPOR

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Para proporcionar vapor al intercambiador de calor y al evaporador se instala una caldera generadora de vapor saturado a 398 K. Se trata de una caldera *INSTANVAP “modelo CBC-300”* (ver anexo 4), capaz de proporcionar hasta 300 kg/h de vapor aunque solo son necesarios 224,396 kg/h, como se detalla en la memoria descriptiva.

### 5.2. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO

Para obtener 224,396 kg/h de vapor a una temperatura de 398 K,  $T_S$ , es necesario suministrar un determinado flujo de calor al vapor procedente del segundo intercambiador de calor y del evaporador (se recirculan de nuevo a la caldera), que se encuentra inicialmente a 385,53 K aproximadamente (ver Tabla 1.24),  $T_{S_0}$ .

Este flujo de calor (calor útil) es realmente el calor necesario para aumentar la temperatura inicial del vapor hasta 398 K ( $Q_1$ ). Si en vez de vapor a 385,53 K se emplease agua, habría que sumar el calor necesario para vaporizar esta cantidad de agua ( $Q_2$ ). Para hallar estos flujos de calor se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Q_{\text{ÚTIL}} = Q_1 + Q_2 \quad [25]$$

$$Q_1 = S \cdot C_{PS_0} \cdot \Delta T \quad [26]$$

$$Q_2 = S \cdot \Delta H_{\text{VAP.}} \quad [27]$$

Siendo:

S: caudal másico de vapor de agua (kg/h)

$C_{PS0}$ : calor específico medio del vapor (kJ/kg · K)

$\Delta T$ : incremento de temperatura ( $T_S - T_{S0}$ ), (K)

$\Delta H_{VAP.}$ : incremento en la entalpía de vaporización (398 K, 232,1 kPa), (kJ/kg)

En la Tabla 1.16 se muestran todos los datos necesarios:

Temperatura del vapor, $T_S$ (K)	398
Temperatura inicial del vapor, $T_{S0}$ (K)	385,53
Incremento de temperatura, $\Delta T$ (K)	12,47
Caudal másico de vapor, S (kg/h)	224,396
Calor específico medio del vapor, $C_{PS0}$ (kJ/kg · K)	1,896

Tabla 1.16. Datos iniciales para el cálculo de calor útil

El valor de  $C_{PS0}$  se ha obtenido de la bibliografía (ver anexo 3, Figura 3.7).

Resolviendo la ecuación [26]:

$$Q_{\text{ÚTIL}} = Q_1 = 5304,352 \text{ kJ/h}$$

El calor útil calculado no es el calor necesario realmente, ya que las calderas trabajan con un rendimiento del 80% normalmente. Así que el calor que realmente se necesita para conseguir 224,396 kg/h de vapor se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{\text{REAL}} = \frac{Q_{\text{ÚTIL}}}{\eta} \quad [28]$$

$$Q_{\text{REAL}} = 6630,440 \text{ kJ/h}$$

## 6. DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO <sup>[8]</sup>

### 6.1. INTRODUCCIÓN

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, peso específico del fluido y la reglamentación, norma o código que debe cumplir el diseño del recipiente.

La norma más utilizada y la que se aplicará en el presente proyecto es el código ASME que, en su sección VIII división 1 y 2, indica los métodos de diseño y cálculo, así como los requisitos mínimos exigidos a los materiales y detalles constructivos que deben satisfacer los equipos.

En general los recipientes diseñados de acuerdo con el código ASME son diseñados por reglas que no requieren una evaluación detallada de todos los esfuerzos. Se reconoce que existen esfuerzos secundarios elevados flexionantes, pero al admitir un factor elevado de seguridad y las reglas del diseño estos esfuerzos serán compensados.

En la instalación es necesario diseñar un tanque de almacenamiento para la glicerina purificada o técnica (T-01), de tipo vertical cilíndrico, con fondo y cabezal semielípticos, ya que este tipo de fondos requieren un menor espesor del material. Además está construido en acero inoxidable SS-316 ya que es un material resistente a la corrosión. Está situado en una zona exterior de la instalación.

También son necesarios cuatro pequeños tanques, dos de ellos para almacenar las disoluciones regenerantes de resinas de intercambio iónico (T-02 y T-03), y otros

dos para almacenar las disoluciones de cloruro potásico (T-04) y de fosfato sódico (T-05), resultantes de la regeneración de las resinas catiónicas y aniónicas, respectivamente. Todos estos tanques son de tipo vertical cilíndrico, con fondo plano y techo abierto. Construidos también en acero inoxidable SS-316. Están situados en el interior de la instalación y en una zona cercana a las columnas de intercambio iónico.

La sujeción de estos cinco tanques se realiza mediante cuatro patas de apoyo, uniformemente distribuidas sobre el perímetro del tanque. Estos apoyos son perfiles comerciales IPN de acero al carbono SA-385 C, e irán soldados a los tanques mediante placas de refuerzo de acero inoxidable SS-316, mismo material que el de los recipientes.

Por otro lado, las resinas de intercambio iónico nuevas son almacenadas en sus envases originales, los que proporciona el suministrador. Deben ser almacenadas en un lugar seco, a una temperatura entre 0 y 30 °C. Además deben almacenarse en un lugar cerrado donde no se les exponga a las condiciones ambientales (viento, lluvia, etc.) (ver anexo 4). De modo que las resinas se guardan en un almacén de la planta.

En primer lugar se realiza el diseño del serpentín de refrigeración para el enfriamiento de la glicerina técnica almacenada en el tanque T-01, cuyas dimensiones influirán directamente sobre las de este tanque.

## **6.2. SERPENTÍN DE REFRIGERACIÓN PARA TANQUE T-01**

La glicerina técnica se almacena en el tanque T-01 a una temperatura de 379,02 K, por lo que no presenta peligro para la instalación, ya que su temperatura de ebullición, de inflamación y de autoignición son bastante más altas. Así que el

serpentín de refrigeración se instala con el objetivo de enfriar la glicerina técnica para su transporte en los camiones. Por lo tanto, el agua de refrigeración no circulará por el serpentín de forma continua, solo cuando haya terminado la jornada laboral de la semana (56 horas y 15 minutos) y la glicerina técnica vaya a ser recogida por el camión de transporte (recogida cada 5 días).

Para determinar el calor cedido ( $Q$ ) por la glicerina técnica (fluido caliente) se emplea la siguiente expresión:

$$Q = m_G \cdot C_{PG} \cdot (T_{G,1} - T_{G,2}) \quad [29]$$

Siendo:

$m_G$ : masa de glicerina técnica almacenada en el tanque, 10231,256 kg

$C_{PG}$ : calor específico medio de la glicerina, 2,529 kJ/kg · K (ecuación [7])

$T_{G,1}$ : temperatura inicial de la glicerina almacenada, 379,02 K

$T_{G,2}$ : temperatura que debe alcanzar la glicerina tras el enfriamiento, 298 K

Conocidos todos los términos necesarios, resulta el calor cedido por la glicerina técnica al fluido frío (agua a 296 K), considerando que las pérdidas de calor son despreciables:

$$Q = 2096380,142 \text{ kJ}$$

Este calor debe ser retirado de la glicerina técnica en un periodo de tiempo determinado,  $\Delta T$ , el cual se considera de 5 horas. Por lo tanto, el agua debe retirar **419276,030 kJ/h** del fluido caliente.

Se supone que la temperatura de salida del agua es de 373 K. Aplicando la ecuación [30] se obtiene el caudal de agua necesario. Siendo el calor específico medio de 4,182 kJ/kg · K (ver anexo 3, Figura 3.6).

$$Q = m_W \cdot C_{PW} \cdot (T_{W,2} - T_{W,1}) \quad [30]$$

$$m_W = 1300,278 \text{ kg/h}$$

Una vez que el agua de enfriamiento salga del serpentín a 373 K, puede ser almacenada en un tanque aislado térmicamente para su posterior uso en la caldera generadora de vapor de la planta de producción de biodiesel (este tanque no será diseñado en el presente proyecto).

### 6.2.1. Dimensiones del serpentín

Para determinar el área de intercambio del serpentín se emplea la siguiente expresión:

$$F \cdot Q = U_C \cdot A_C \cdot \Delta T_{ML} \quad [31]$$

Donde:

F: factor de seguridad basado en la confianza del diseño, (1,1)

$A_C$ : área de transferencia del serpentín,  $m^2$

$U_C$ : coeficiente global de transferencia de calor,  $W/(m^2 \cdot K)$

$\Delta T_{ML}$ : incremento de temperatura medio logarítmico

Para  $U_C$  se escoge un valor de 29 BTU/(h · ft<sup>2</sup> · °F) como se observa en la Figura 3.11 del anexo 3, para el caso de que por el interior del serpentín de acero circule agua fría y aceite vegetal por el exterior. Se escoge el valor menor del rango ya que no existe agitación. En unidades del S.I.:

$$U_C = 592,811 \text{ kJ/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Resolviendo la ecuación [8], resulta el incremento de temperatura medio logarítmico:

$$\Delta T_{ML} = 3,65 \text{ K}$$

Finalmente, resulta el área de intercambio del serpentín:

$$A = 213,260 \text{ m}^2$$

Los tubos que forman el serpentín tienen un DN de 3" y un diámetro exterior de 3,5" (0,089 m), y se encuentran sumergidos totalmente en el líquido. Por lo tanto la longitud total de la conducción puede ser calcula mediante la ecuación [32].

$$L = \frac{A}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad [32]$$

Resultando una longitud total (L) de **763,584 m** y un volumen ( $V_S$ ) de **4,740 m<sup>3</sup>** (ecuación [33]).

$$V_S = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad [33]$$

### 6.3. DIMENSIONES DE LOS TANQUES

El volumen total (V) para un tanque cilíndrico se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V = \pi \cdot H \cdot \frac{D^2}{4} \quad [34]$$

Siendo D el diámetro del tanque y H su altura.

Se recomienda que la relación “H/D” se encuentre en un rango entre 1 y 2,5. Se escoge una relación de 2, así que:

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 2 D \quad [35]$$

De modo que conocido el volumen necesario se podrá determinar su diámetro interno y altura.

En el caso del tanque T-01, tanto el fondo como el cabezal son semielípticos, resultando el volumen de estas partes bombeadas como:

$$V_F = V_T = 0,13 \cdot D_{INT}^3 \quad [36]$$

Por lo que habría que tener en cuenta que el volumen total del tanque (V) incluye el volumen de la parte cilíndrica ( $V_C$ ), el del fondo ( $V_F$ ) y el del cabezal ( $V_T$ ), además del volumen ocupado por el serpentín ( $V_S$ ):

$$V = V_C + V_F + V_T + V_S \quad [37]$$

Una vez determinados el volumen del fondo y del cabezal, se puede conocer el volumen de la parte cilíndrica, la cual incluye al serpentín, hallándose entonces la altura real de esta zona del tanque.

### 6.3.1. Tanque para glicerina técnica (T-01)

Para definir que volumen de glicerina se va a almacenar en el tanque, se tienen en cuenta una serie de aspectos:

- La recogida de glicerina por los camiones de transporte será cada cinco días.
- El caudal de salida de glicerina concentrada en el evaporador es de 181,889 kg/h (ver Tabla 1.14).
- La instalación de purificación está en funcionamiento 11 horas y 15 minutos al día.
- La glicerina sale del evaporador a 393,28 K y tras pasar por el intercambiador de calor su temperatura es de 379,02 K.

Por lo tanto, se necesita un tanque capaz de almacenar la glicerina producida en cinco días, a razón de 181,889 kg/h (0,143 m<sup>3</sup>/h):

$$V_{\text{ÚTIL}} = 8,05 \text{ m}^3$$

Considerando un volumen adicional del 20% como medida de seguridad, y el volumen del serpentín:

$V_{\text{TOTAL}} = 14,40 \text{ m}^3$
--

Resolviendo la ecuación [34] y teniendo en cuenta que la relación H/D es 2, el diámetro interior ( $D_{T-01}$ ) y la altura ( $H_{T-01}$ ) del tanque de almacenamiento de glicerina técnica son los siguientes:

$$D_{T-01} = 2,10 \text{ m}$$

$$H_{T-01} = 4,20 \text{ m}$$

Resolviendo la ecuación [36], se obtiene el volumen del fondo y de la tapa, ambos semielípticos e iguales:

$$V_F = V_T = 1,20 \text{ m}^3$$

Tanto el fondo como el cabezal tienen el mismo diámetro interior que la zona cilíndrica,  $D_{T-01}$ .

De la ecuación [37] resulta el volumen de la parte cilíndrica del tanque (la cual incluye el serpentín):

$$V_C + V_S = 12,14 \text{ m}^3$$

Por lo tanto las dimensiones reales de la parte cilíndrica del tanque son las siguientes:

$$H_C = 3,50 \text{ m}$$

$$D_C = 2,10 \text{ m}$$

### 6.3.2. Tanque para la disolución de ácido clorhídrico (T-02)

Par determinar el volumen del tanque T-02 se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- La instalación dispone de dos columnas de intercambio catiónico, las cuales estarán en funcionamiento de forma alternativa para evitar paradas debidas a la regeneración de las resinas.
- Cada una de estas columnas es capaz de tratar la corriente durante 2 horas y 15 minutos, por lo que son necesarias cinco etapas de regeneración al día.

- La disolución de ácido clorhídrico circula por cada una de estas columnas a razón de 2,703 m<sup>3</sup>/h, durante 0,036 horas como tiempo máximo (ver punto 3.5 de este anexo).
- El volumen de disolución de ácido almacenado en el tanque debe ser suficiente para regenerar las resinas durante cinco días.

De modo que en cada etapa de regeneración se utilizan 0,097 m<sup>3</sup> de disolución de ácido clorhídrico:

$$V_{\text{Dis.HCl en cada regeneración}} = 2,703 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,036 \text{ h} = 0,097 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que al día se realizan cinco etapas de regeneración y que se debe disponer de disolución de ácido para cinco días, el volumen útil del tanque es el siguiente:

$$V_{\text{ÚTIL}} = 2,43 \text{ m}^3$$

Considerando un volumen adicional del 20% como medida de seguridad:

$$V_{\text{TOTAL}} = 2,92 \text{ m}^3$$

Resolviendo la ecuación [29] y teniendo en cuenta que la relación H/D es 2, el diámetro interior ( $D_{T-02}$ ) y la altura ( $H_{T-02}$ ) del tanque de almacenamiento de disolución de ácido clorhídrico son los siguientes:

$$H_{T-2} = 2,46 \text{ m}$$

$$D_{T-2} = 1,23 \text{ m}$$

### 6.3.3. Tanque para la disolución de hidróxido potásico (T-03)

Al igual que para el tanque T-02, para definir que volumen debe tener el tanque de almacenamiento de disolución de hidróxido sódico, se considera lo siguiente:

- La instalación dispone de dos columnas de intercambio aniónico, las cuales estarán en funcionamiento de forma alternativa para evitar paradas debidas a la regeneración de las resinas.
- Cada una de estas columnas es capaz de tratar la corriente durante 2 horas y 15 minutos, por lo que son necesarias cinco etapas de regeneración al día.
- La disolución de hidróxido sódico circula por cada una de estas columnas a razón de 6,144 m<sup>3</sup>/h, durante 0,022 horas como tiempo máximo (ver punto 3.5 de este anexo).
- El volumen de disolución de ácido almacenado en el tanque debe ser suficiente para regenerar las resinas durante cinco días.

Realizando la misma secuencia de cálculo que la realizada para el tanque T-02, para el tanque T-03 resulta:

$$V_{\text{ÚTIL}} = 3,38 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{TOTAL}} = 4,05 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{T-03}} = 2,76 \text{ m}$$

$$D_{\text{T-03}} = 1,38 \text{ m}$$

Para determinar el volumen de los tanques T-02 y T-03 se han considerado los tiempos máximos de regeneración, pudiendo ser el tiempo real menor. De

manera que el volumen almacenado podría regenerar las resinas durante más de cinco días. Una vez esté la instalación en funcionamiento se podrá determinar cuánto tiempo tarda en vaciarse cada tanque.

#### 6.4. ESPESORES DE LOS TANQUES

Para determinar los espesores de los tanques, es decir, espesor de las carcasas, de fondos, etc., es necesario definir y determinar previamente una serie de términos:

- Temperatura de operación ( $T_O$ ): mayor temperatura a la que trabaja el recipiente.
- Temperatura de diseño ( $T_D$ ): debe ser superior a la máxima que se produzca durante la operación, siendo habitual adoptar como temperatura de diseño el valor de:

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

- Presión de operación ( $P_O$ ): presión a la que trabajan los tanques. En este caso todos trabajan a presión atmosférica.
- Presión de diseño ( $P_D$ ): esta presión debe ser en todo caso mayor a la máxima de operación o servicio. Su valor se puede fijar como el mayor de:

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

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

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

Para este caso, en el que  $P_0$  es  $1,033 \text{ kg/cm}^2$  (presión atmosférica) para todos los tanques, se considera  $3,5 \text{ kg/cm}^2$  como presión de diseño.

- Sobreespesor por corrosión (c): este valor debe añadirse a los espesores calculados ( $t_{\min}$ ). Su valor depende del material:

Acero inoxidable:  $c = 0,8 - 1,5 \text{ mm}$

Aceros al carbono:  $c = 1,5 - 3,0 \text{ mm}$

- Tensión máxima admisible (S): 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.

Según el código ASME VIII, Div. 1, la máxima tensión admisible (S) a la temperatura del proyecto o diseño es el mínimo de los siguientes valores:

$$S = \min\left(\frac{R'}{4}; \frac{5}{8}y; f_i; \frac{2}{3}f_r\right)$$

Siendo:

S = tensión máxima admisible a la temperatura de proyecto,  $\text{kg/cm}^2$

$R'$  = carga de rotura a la temperatura ambiente ( $20^\circ \text{C}$ ),  $\text{kg/cm}^2$

y = límite elástico o carga que produce una deformación permanente del 0,2% a la temperatura de diseño o proyecto,  $\text{kg/cm}^2$

$f_i$  = carga que produce un alargamiento del 1% en 100000 horas, por deformación viscosa, a la temperatura de diseño o proyecto,  $\text{kg/cm}^2$

$f_r$  = carga de rotura, por alargamiento en 100000 horas, a la temperatura de diseño o proyecto, kg/cm<sup>2</sup>

- 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 de la soldadura (E), cuyo valor varía según las normas o códigos, y de acuerdo a la soldadura y los controles efectuados sobre ella. En el anexo 3 se aportan las tablas necesarias para aplicar el coeficiente de eficiencia de soldadura E.

Para todos los tanques, las juntas son de tipo 1 y el nivel radiográfico por zonas (ver anexo gráfico, Figura 3.11).

- Efecto del viento en los recipientes: el viento produce unas tensiones en las paredes del recipiente que pueden producir la inestabilidad mecánica del mismo, por lo que se deben diseñar con unos coeficientes de seguridad con respecto al viento.

La acción del viento produce unas cargas distribuidas de forma uniforme a lo largo de toda la altura del tanque, que pueden determinarse con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{D_{EXT}}{10^3} \cdot P_W \quad [38]$$

Siendo:

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

$D_{EXT}$ : diámetro exterior del recipiente, mm

$P_W$ : presión de diseño del viento, en kg/m<sup>2</sup>

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

$$P_W = p \cdot c' \cdot K \cdot r \quad [39]$$

Siendo:

p: presión básica del viento, kg/m<sup>2</sup>

$c'$ : factor de forma

K: coeficiente de esbeltez

r: coeficiente de accesorios

A su vez estos términos son función de otros.

1. Presión básica del viento (p): la presión básica del viento es función de la velocidad del viento y de la elevación sobre el suelo.

$$p = p_0 \cdot K_A \quad [40]$$

Siendo:

$p_0$  = presión básica del viento a la altura del suelo, kg/m<sup>2</sup>

$K_A$  = factor de altura

La presión básica del viento se calcula como:

$$P_o = \frac{V}{201,4} \quad [41]$$

Siendo V la velocidad del viento en km/h (se consideran 120 km/h).

Como valor del factor de altura se adoptan usualmente los siguientes:

Altura sobre el suelo (mm)	$K_A$
0-15	1
16-25	1,15
26-40	1,3
> 40	1,5

Tabla 1.17 Valores de  $K_A$  (Código ASME)

2. Factor de forma ( $c'$ ): es función de la forma expuesta al viento (carcasa), y en las torres y recipientes su valor es:

Área expuesta	Factor de forma ( $c'$ )
Cilíndrica (superficie lisa)	0,6
Cilíndrica (superficie rugosa)	0,8
Esférica	0,45

Tabla 1.18. Valores de  $c'$  (Código ASME)

3. Coefficiente de esbeltez (K): el coeficiente de esbeltez es función de la relación entre la altura H y el diámetro exterior expuesto al viento (incluido aislamiento si existiese). Su valor se indica a continuación:

H/D <sub>EXT</sub>	Factor de esbeltez (K)
1-5	1
10	1,25
30	1,35
≥ 70	1,5

Tabla 1.19. Valores de K (Código ASME)

4. Coeficientes de accesorios (r): para tener en cuenta el efecto de suma de área que producen las tuberías soportadas, las plataformas, escaleras y, en general, cualquier accesorio exterior a las torres o recipientes, se introduce un coeficiente que compensa estas acciones y cuyo valor se obtiene a partir del siguiente cuadro:

D <sub>EXT</sub> (mm)	Coeficiente de accesorios (r)
< 399	1,4
400-599	1,3
600-999	1,2
> 1000	1,15

Tabla 1.20. Valores de r (Código ASME)

Una vez conocidos “P<sub>D</sub>”, “D<sub>INT.</sub>”, “S”, “E” y “c”, es posible calcular los distintos espesores.

#### Espesor de la carcasa en la línea de tangencia

Se utilizan las ecuaciones siguientes (ver anexo 3, Figura 3.14), ya que el tanque está sometido a tensiones longitudinales y circunferenciales. Siendo R<sub>INT</sub> el radio interior del tanque:

$$t_{\text{circunferencial}} = \frac{P_D \cdot R_{\text{INT}}}{SE - 0,6 P_D} + c \quad [42]$$

$$t_{\text{longitudinal}} = \frac{P_D \cdot R_{\text{INT}}}{(2 \cdot SE) - 0,4 P_D} + c \quad [43]$$

Además se utilizan estas otras ecuaciones, según especificación:

$$t_{\text{min1}} = 2,5 + c \text{ (mm)} \quad [44]$$

$$t_{\text{min2}} = \frac{D_{\text{INT}}}{1000} + 2,54 + c \text{ (mm)} \quad [45]$$

$$t_{\text{min3}} = 3 \text{ (mm) (Para acero inoxidable)} \quad [46]$$

$$t_{\text{min4}} = 5 + c \text{ (mm) (Para aceros al carbono)} \quad [47]$$

Se escogerá como espesor de la envolvente o carcasa de cada tanque el mayor de los calculados, mediante todas estas ecuaciones.

### Espesores de fondos y cabezal

Para determinar el espesor de los fondos de los tanques y del cabezal o tapa del tanque de almacenamiento de glicerina, hay que considerar de qué tipo son (ver anexo 3, Figura 3.15). Cada una de estos tipos es más recomendable a ciertas condiciones de operación y coste monetario. Todos los fondos/cabezales ASME se construyen a partir de chapa, a la que mediante estampación se le da la forma deseada, salvo en el caso de fondos cónicos y planos.

Los fondos y tapas de los tanques de almacenamiento de las disoluciones de regeneración son planos, por lo que consiste en una chapa plana soldada directamente a la carcasa, del mismo espesor que ésta.

Tanto el fondo como el cabezal del tanque de almacenamiento de la glicerina técnica son de tipo semielíptico, cuya silueta describe una elipse relación 2:1.

Para determinar el espesor se emplea la siguiente ecuación (ver anexo 3, Figura 3.14):

$$t_{\text{fondo semielíptico}} = \frac{P_D \cdot D_{\text{INT}}}{(2 \cdot SE) - 0,2 P_D} + c \quad [48]$$

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, por lo que éste resulta ser el punto más débil de todo el recipiente.

Por esta razón no es aconsejable realizar la soldadura de unión fondo (o cabezal)-carcasa a lo largo de esta línea. Para evitar esta coincidencia, los fondos bombeados (y algunos cónicos) se construyen con una parte cilíndrica, denominada pestaña o faldilla, cuya altura mínima “h” deberá ser, en general, no menor que el mayor de los siguientes valores (con un valor máximo de h de 100 mm):

$$h \geq 0,3 \cdot \sqrt{D_{\text{EXT}} \cdot t_F}$$

$$h \geq 3 \cdot t_F$$

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

Siendo:

$D_{\text{EXT}}$ : Diámetro exterior de la carcasa, mm

$t_F$ : espesor de pared del fondo, mm

### 6.4.1. Tanque para glicerina técnica (T-01)

Datos iniciales:

Presión de operación ( $P_O$ ) = 10330 kg/m<sup>2</sup> (14,69 psi)

Presión de diseño ( $P_D$ ) = 35000 kg/m<sup>2</sup> (49,78 psi)

Temperatura de operación ( $T_O$ ) = 379,02 K

Temperatura de diseño ( $T_D$ ) = 399,02 K

Tensión máxima admisible ( $S$ ) = 13217700 kg/m<sup>2</sup> (18800 psi)

Eficiencia de la soldadura ( $E$ ) = 0,85

Diámetro interior ( $D_{INT.}$ ) = 2,10 m (82,68 in)

Radio interior ( $R_{INT.}$ ) = 1,05 m (41,34 in)

Sobreespesor de corrosión ( $c$ ) = 0,8 mm (0,03 in)

En la siguiente tabla se muestran los valores calculados para el espesor de la carcasa, según las ecuaciones [42], [43], [44], [45] y [46]:

$t_{\text{circunferencial}}$ (mm)	4,039
$t_{\text{longitudinal}}$ (mm)	2,388
$t_{\text{min1}}$ (mm)	3,300
$t_{\text{min2}}$ (mm)	5,440
$t_{\text{min3}}$ (mm)	3,000

Tabla 1.21. Posibles espesores mínimos para la carcasa del tanque T-01

El espesor mayor de los calculados es de 5,440 mm. Para mayor seguridad se incrementa este valor en un 2% aproximadamente, por lo que el espesor final de la carcasa del tanque T-01 es el siguiente:

$$t_c(T-01) = 5,5 \text{ mm}$$

Por lo que se puede conocer el diámetro exterior de la parte cilíndrica del tanque:

$$D_{\text{EXT.C (T-01)}} = D_{\text{INT.}} + 2 \cdot t_{\text{C (T-01)}} \quad [49]$$

$$D_{\text{EXT.C (T-01)}} = 2,111 \text{ m}$$

Resolviendo la ecuación [48], los espesores del fondo ( $t_{f(T-01)}$ ) y del techo ( $t_{t(T-01)}$ ) resultan ser ambos de 4,039 mm, para mayor seguridad se incrementa en un 2% aproximadamente:

$$t_{f(T-01)} = t_{t(T-01)} = 4,1 \text{ mm}$$

Resultando los siguientes diámetros exteriores para fondo y cabezal:

$$D_{\text{EXT.F (T-01)}} = D_{\text{EXT.T (T-01)}} = 2,108 \text{ m}$$

La altura (h) de las pestañas o faldillas son iguales para el fondo y el cabezal, ambas de **27,96 mm**.

Por último se calcula la carga unitaria debida al viento para el tanque T-01, los valores de los coeficientes necesarios para el cálculo son los siguientes:

$$p_0 \text{ (ecuación [41])} = 0,596 \text{ kg/m}^2$$

$$K_A \text{ (Tabla 1.17)} = 1$$

$$p \text{ (ecuación [40])} = 0,596 \text{ kg/m}^2$$

$$c' \text{ (Tabla 1.18)} = 0,6$$

$$K \text{ (Tabla 1.19)} = 1$$

$$r \text{ (Tabla 1.20)} = 1,15$$

$$P_w \text{ (ecuación [39])} = 0,411 \text{ kg/m}^2$$

Resolviendo la ecuación [38] resulta la siguiente carga debida al viento, por metro lineal de altura:

$$Q = 0,001 \text{ kg/m}$$

#### 6.4.2. Tanque para la disolución de ácido clorhídrico (T-02)

##### Datos iniciales:

Presión de operación ( $P_O$ ) = 10330 kg/m<sup>2</sup> (14,69 psi)

Presión de diseño ( $P_D$ ) = 35000 kg/m<sup>2</sup> (49,78 psi)

Temperatura de operación ( $T_O$ ) = 298 K

Temperatura de diseño ( $T_D$ ) = 318 K

Tensión máxima admisible ( $S$ ) = 13217700 kg/m<sup>2</sup> (18800 psi)

Eficiencia de la soldadura ( $E$ ) = 0,85

Diámetro interior ( $D_{INT.}$ ) = 1,23 m (48,42 in)

Radio interior ( $R_{INT.}$ ) = 0,61 m (24,21 in)

Sobreespesor de corrosión ( $c$ ) = 0,8 mm (0,03 in)

Realizando los mismos cálculos que para el tanque T-01:

$t_{\text{circunferencial}}$ (mm)	2,692
$t_{\text{longitudinal}}$ (mm)	1,727
$t_{\text{min1}}$ (mm)	3,300
$t_{\text{min2}}$ (mm)	4,570
$t_{\text{min3}}$ (mm)	3,000

Tabla 1.22. Posibles espesores mínimos para la carcasa del tanque T-02

El espesor mayor de los calculados es de 4,570 mm. Para mayor seguridad se incrementa este valor en un 2%, de modo que:

$$t_{c(T-02)} = 4,7 \text{ mm}$$

Por lo que se puede conocer el diámetro exterior del tanque:

$$D_{EXT.C(T-02)} = 1,239 \text{ m}$$

Todas las dimensiones del tanque T-02 (espesor de chapa, altura, volumen, etc.) serán las mismas que para el tanque T-04 de almacenamiento de disolución de cloruro potásico, resultante de la regeneración de las resinas de intercambio catiónico. Su recogida por camiones de transporte será cada cinco días.

### 6.4.3. Tanque para la disolución de hidróxido sódico (T-03)

#### Datos iniciales:

Presión de operación ( $P_O$ ) = 10330 kg/m<sup>2</sup> (14,69 psi)

Presión de diseño ( $P_D$ ) = 35000 kg/m<sup>2</sup> (49,78 psi)

Temperatura de operación ( $T_O$ ) = 298 K

Temperatura de diseño ( $T_D$ ) = 318 K

Tensión máxima admisible ( $S$ ) = 13217700 kg/m<sup>2</sup> (18800 psi)

Eficiencia de la soldadura ( $E$ ) = 0,85

Diámetro interior ( $D_{INT.}$ ) = 1,38 m (54,33 in)

Radio interior ( $R_{INT.}$ ) = 0,69 m (27,17 in)

Sobreespesor de corrosión ( $c$ ) = 0,8 mm (0,03 in)

Realizando los mismos cálculos que para el tanque T-01 y T-02:

$t_{\text{circunferencial}}$ (mm)	2,921
$t_{\text{longitudinal}}$ (mm)	1,829
$t_{\text{min1}}$ (mm)	3,300
$t_{\text{min2}}$ (mm)	4,720
$t_{\text{min3}}$ (mm)	3,000

Tabla 1.23. Posibles espesores mínimos para la carcasa del tanque T-03

El espesor mayor de los calculados es de 4,720 mm. Para mayor seguridad se incrementa este valor en un 2%, de modo que:

$$t_{\text{C(T-03)}} = 4,8 \text{ mm}$$

Por lo que se puede conocer el diámetro exterior del tanque:

$$D_{\text{EXT.C(T-03)}} = 1,389 \text{ m}$$

Como se ha explicado anteriormente, los fondos y tapas de los tanques T-02, T-03, T-04 y T-05 son planos. Consiste en una chapa soldada directamente a la carcasa del mismo espesor que esta.

Para los tanques T-02 y T-03 no se calcula la carga unitaria debida al viento, ya que ambos tanques están situados en el interior de la instalación.

Al igual que para el tanque T-04, todas las dimensiones del tanque T-03 (espesor de chapa, altura, volumen, etc.) serán las mismas que para el tanque T-05 de almacenamiento de disolución de fosfato trisódico, resultante de la regeneración de las resinas de intercambio aniónico. Su recogida por camiones de transporte será cada cinco días.

## 7. DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS DE PROCESO <sup>[8]</sup>

Los sistemas de tuberías representan, aproximadamente, un tercio del coste del material en una planta de proceso, requieren de un 30% a un 40% del trabajo de montaje, consumen del 40% al 48% de las horas-hombre de ingeniería y ocupan un 60% del volumen de material.

Por lo tanto, es importante la correcta elección tanto de las tuberías, por las que son transportados los fluidos, como de los accesorios y válvulas, que también forman parte del sistema de tuberías en la instalación. Para ello se tiene en cuenta una serie de aspectos:

- Esfuerzo a las temperaturas de trabajo
- Tiempo de vida útil
- Períodos de mantenimiento
- Facilidad de instalación y reparación
- Adecuada resistencia a la corrosión y erosión
- Coste de los equipos

En este punto se detallarán todas las tuberías existentes en la instalación, así como su material de construcción. Posteriormente se diseñará hidráulica y mecánicamente el sistema de tuberías principal.

### 7.1. RED DE TUBERÍAS

#### Sistema de tuberías principal

- Línea L-01: tubería de descarga de glicerina bruta (a 333 K) desde la centrífuga hasta el primer intercambiador de calor (I-01), de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea L-02: tubería de descarga de glicerina bruta (a 342,26 K) desde el primer intercambiador de calor (I-01) al segundo (I-02), de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea L-03: tubería de descarga de glicerina bruta (a 353 K) desde el segundo intercambiador de calor (I-02) hasta la válvula de tres vías V-02, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea L-03a: tubería de entrada de glicerina bruta (a 353 K) a la primera columna de intercambio catiónico (IC-01), desde la válvula de tres vías V-02, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea L-03b: tubería de entrada de glicerina bruta (a 353 K) a la segunda columna de intercambio catiónico (IC-02), desde la válvula de tres vías V-02, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea L-04: tubería de descarga de glicerina bruta (a 353 K) desde la primera columna de intercambio catiónico (IC-01) hasta la válvula de tres vías V-03, de acero inoxidable A-304.
- Línea L-06a: tubería de entrada de glicerina bruta (a 353 K) desde la válvula de tres vías V-04 hasta la primera columna de intercambio aniónico (IA-01), de acero inoxidable A-304.
- Línea L-05: tubería de descarga de glicerina bruta (a 353 K) desde la segunda columna de intercambio catiónico (IC-02) hasta la válvula de tres vías V-03, de acero inoxidable A-304.
- Línea L-06b: tubería de entrada de glicerina bruta (a 353 K) desde la válvula de tres vías V-04 hasta la segunda columna de intercambio aniónico (IA-02), de acero inoxidable A-304.

- Línea L-06: tubería de transporte de glicerina bruta (a 353 K) desde la válvula de tres vías V-03 hasta la V-04, de acero inoxidable A-304.
- Línea L-07: tubería de descarga de glicerina bruta (a 353 K) desde la primera columna de intercambio aniónico (IA-01) hasta la válvula de tres vías V-05, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea L-08: tubería de descarga de glicerina bruta (a 353 K) desde la segunda columna de intercambio aniónico (IA-02) hasta la válvula de tres vías V-05, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea L-09: tubería de entrada de glicerina bruta (a 353 K) al evaporador (E-01), desde la válvula de tres vías (V-05), de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea L-10: tubería de descarga de glicerina técnica (a 393,28 K) desde el evaporador (E-01) hasta el primer intercambiador de calor, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea L-11: tubería de descarga de glicerina técnica (a 379,02 K) desde el segundo intercambiador de calor hasta el tanque de almacenamiento T-01, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea L-12: tubería de descarga de glicerina técnica (a 298 K) desde el tanque de almacenamiento T-01 hasta los camiones de transporte, de acero al carbono ASTM A53 grado B.

La mayoría de las tuberías del sistema principal están aisladas térmicamente, con lo que se evita un aumento en la viscosidad de la corriente de glicerina si descendiera su temperatura.

Las líneas L-11 y L-12 son las únicas tuberías del sistema principal que no están calorifugadas, ya que la primera es la tubería de descarga de glicerina técnica hasta el tanque de almacenamiento final T-01 y la segunda es la tubería de descarga del tanque T-01 hasta los camiones de transporte.

En el sistema principal el fluido no circula por todas las tuberías a la vez, sino que puede seguir cuatro caminos alternativos, según estén disponibles unas columnas de intercambio u otras. Los recorridos posibles son los siguientes:

- 1. Sistema principal 1** (disponibles columnas IC-1 y IA-1): L-01, L-02, L-03, L-03a, L-04, L-06, L-06a, L-07, L-09, L-10, L-11, L-12.
- 2. Sistema principal 2** (disponibles columnas IC-1 y IA-2): L-01, L-02, L-03, L-03a, L-04, L-06, L-06b, L-08, L-09, L-10, L-11, L-12.
- 3. Sistema principal 3** (disponibles columnas IC-2 y IA-2): L-01, L-02, L-03, L-03b, L-05, L-06, L-06b, L-08, L-09, L-10, L-11, L-12.
- 4. Sistema principal 4** (disponibles columnas IC-2 y IA-1): L-01, L-02, L-03, L-03b, L-04, L-06, L-06a, L-07, L-09, L-10, L-11, L-12.

#### Sistema de tuberías de transporte de vapor

- Línea S-01: tubería de descarga de vapor saturado (a 398 K) desde la caldera de vapor (C-01) hasta las válvulas de regulación V-01a y V-01b, de acero al carbono ASTM A106 grado B.
- Línea S-02: tubería de entrada de vapor saturado (a 398 K) al segundo intercambiador de calor (I-02) desde la válvula de regulación V-01a, de acero al carbono ASTM A106 grado B.
- Línea S-03: tubería de descarga de vapor enfriado (a 382,26 K) desde el segundo intercambiador de calor (I-02) hasta la válvula mezcladora V-10, de acero al carbono ASTM A106 grado B.
- Línea S-04: tubería de descarga de una parte de vapor condensado procedente del segundo intercambiador de calor, desde la válvula de tres vías V-09, de acero al carbono ASTM A106 grado B.
- Línea S-05: tubería de entrada de vapor saturado (a 398 K) al evaporador (E-01) desde la válvula de regulación V-01b, de acero al carbono ASTM A106 grado B

- Línea S-06: tubería de descarga de vapor desde el evaporador (E-01) hasta la válvula mezcladora V-08, de acero al carbono ASTM A106 grado B.
- Línea S-07: tubería de descarga de disolvente evaporado (vapor de agua a 393,28 K) desde el evaporador (E-01) hasta la válvula mezcladora V-08, de acero al carbono ASTM A106 grado B.
- Línea S-08: tubería de transporte de vapor desde la válvula mezcladora V-08 hasta la V-10, de acero al carbono ASTM A106 grado B.
- Línea S-09: tubería de recirculación de vapor (procedente del segundo intercambiador de calor y del evaporador) a la caldera de vapor (C-01), desde la válvula mezcladora V-10, de acero al carbono ASTM A106 grado B.
- Líneas S-10: tubería de entrada de vapor saturado al primer intercambiador de calor (I-01) desde la válvula de regulación V-01c, de acero al carbono ASTM A106 grado B.
- Líneas S-11: tubería de salida de vapor condensado del primer intercambiador de calor (I-01) desde la válvula de tres vías V-19, de acero al carbono ASTM A106 grado B.

Todas las tuberías del sistema para el transporte de vapor están calorifugadas.

#### Sistema de tuberías de transporte de agua de refrigeración

Se trata del serpentín de refrigeración instalado en el tanque de almacenamiento de glicerina técnica (T-01).

En el siguiente diagrama de flujo se muestran los equipos principales y los sistemas de tuberías principal, de transporte de vapor y de transporte de agua de refrigeración:

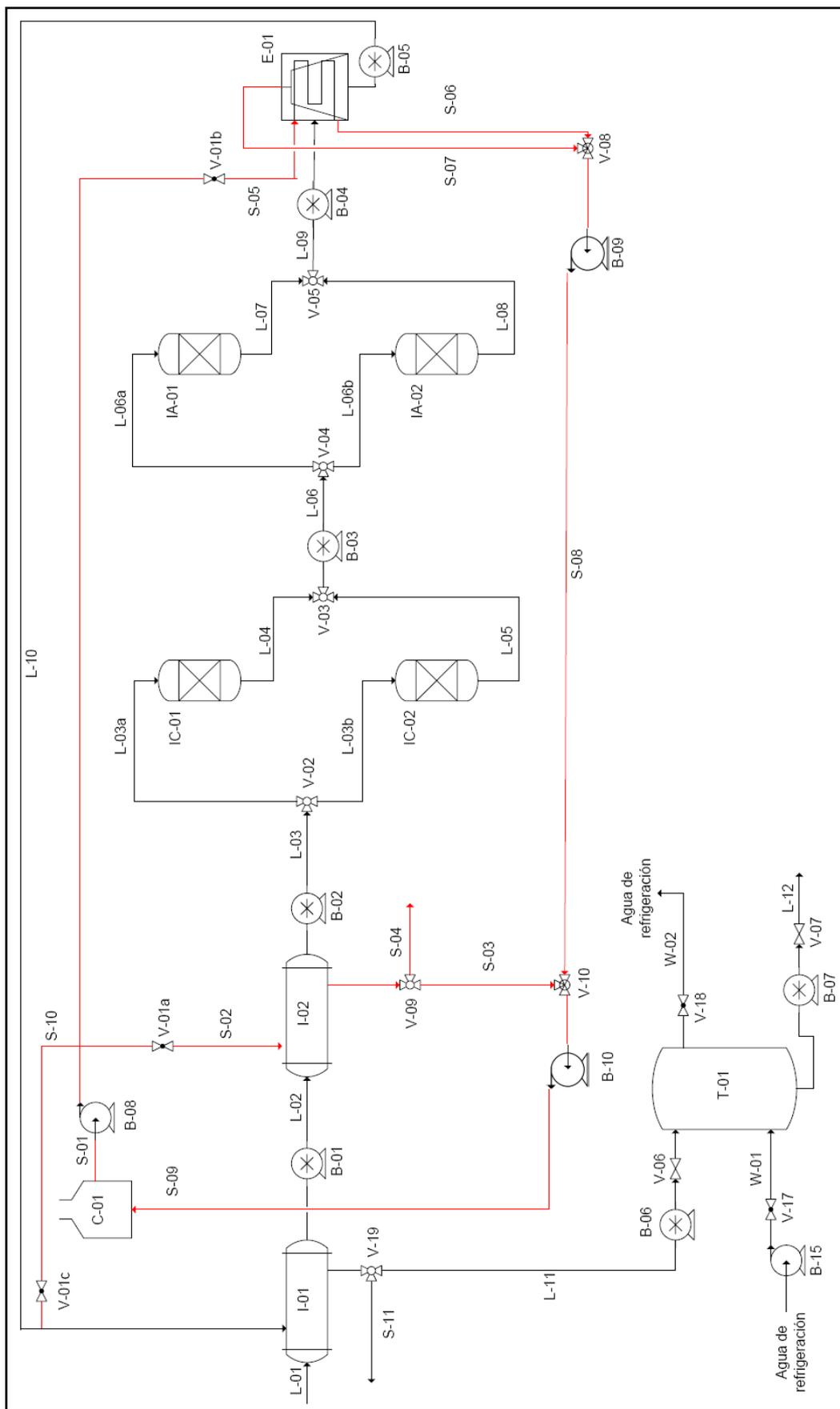


Figura 1.5. Sistemas de tuberías principal, de transporte de vapor y de transporte de agua

Al recircular todas las corrientes de vapor hasta la caldera, en esta se introduciría mayor caudal que el necesario para los equipos (224,396 kg/h). Para solucionar este inconveniente, se decide instalar otra válvula de tres vías (V-09) en la tubería S-03, de manera que divida la corriente dejando pasar hasta la tubería S-09 solo el caudal necesario (171,343 kg/h). Se decide instalar esta válvula en la tubería S-03 ya que el fluido se encuentra a menor temperatura que en las tuberías S-06 y S-07. El vapor condensado sobrante (21,312 kg/h) se transporta por la tubería S-04, pudiéndose ser utilizado igualmente en la caldera de la planta de producción de biodiesel.

En la siguiente tabla se muestra el caudal y la temperatura del fluido en cada tubería del sistema de transporte de vapor:

Línea	Fluido	T <sub>OP.</sub> (K)	Q <sub>M</sub> (kg/h)	
S-01	Vapor Saturado	398	224,396	
S-02	Vapor Saturado	398	192,655	
S-03	Vapor Condensado	382,26	Total	192,655
			Para S-09	171,343
S-05	Vapor Saturado	398	31,741	
S-06	Vapor	398	31,741	
S-07	Disolvente Evaporado	393,28	21,316	
S-08	Vapor Sobrecalentado	396,10	53,057	
S-09	Vapor Sobrecalentado	385,53	224,396	

Tabla 1.24. Propiedades de los fluidos transportados en el sistema de tuberías de vapor

Para determinar la temperatura de los fluidos en las tuberías S-08 y S-09, se tiene en cuenta la temperatura de los fluidos de los que proceden, así como el caudal de cada uno de ellos.

### Sistema de tuberías de transporte de disoluciones regenerantes

- Línea R-01: tubería de descarga de disolución de ácido clorhídrico, desde el tanque de almacenamiento T-02 hasta la válvula de tres vías V-11, de acero inoxidable A-304.
- Línea R-01a: tubería de entrada de disolución de ácido clorhídrico a la primera columna de intercambio catiónico (IC-01), desde la válvula de tres vías V-11, de acero inoxidable A-304.
- Línea R-01b: tubería de entrada de disolución de ácido clorhídrico a la segunda columna de intercambio catiónico (IC-02), desde la válvula de tres vías V-11, de acero inoxidable A-304.
- Línea R-02: tubería de descarga de disolución de cloruro potásico, desde la primera columna de intercambio catiónico (IC-01) hasta la válvula de tres vías V-12, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea R-03: tubería de descarga de disolución de cloruro potásico, desde la segunda columna de intercambio catiónico (IC-02) hasta la válvula de tres vías V-12, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea R-04: tubería de entrada de disolución de cloruro potásico al tanque de almacenamiento T-04, desde la válvula de tres vías V-12, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea R-05: tubería de descarga del tanque de almacenamiento T-04, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea R-06: tubería de descarga de disolución de hidróxido sódico, desde el tanque de almacenamiento T-03 hasta la válvula de tres vías V-14, de acero inoxidable A-304.
- Línea R-06a: tubería de entrada de disolución de hidróxido sódico a la primera columna de intercambio aniónico (IA-01), desde la válvula de tres vías V-14, de acero inoxidable A-304.

- Línea R-06b: tubería de entrada de disolución de hidróxido sódico a la segunda columna de intercambio aniónico (IA-02), desde la válvula de tres vías V-14, de acero inoxidable A-304.
- Línea R-07: tubería de descarga de disolución de fosfato sódico, desde la primera columna de intercambio aniónico (IA-01) hasta la válvula de tres vías V-15, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea R-08: tubería de descarga de disolución de fosfato sódico, desde la segunda columna de intercambio aniónico (IA-02) hasta la válvula de tres vías V-15, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea R-09: tubería de entrada de disolución de fosfato sódico al tanque de almacenamiento T-05, desde la válvula de tres vías V-15, de acero al carbono ASTM A53 grado B.
- Línea R-10: tubería de descarga del tanque de almacenamiento T-05, de acero al carbono ASTM A53 grado B.

En este caso, ninguna tubería necesita estar aislada térmicamente.

Los materiales empleados en las tuberías de la instalación son acero al carbono ASTM A53 grado B, acero al carbono ASTM A106 grado B y acero inoxidable A304, ya que son los materiales recomendados para cada caso (en función de la temperatura, corrosión, etc.).

Con respecto al material aislante de las tuberías, se trata de fibra de vidrio de *Consorcio termo-acústico S.A.*, “*tipo Vitroform ASJ PLUS*”, especial para tuberías de proceso y servicio (ver anexo 4). El espesor de aislante recomendado por el suministrador es función del diámetro nominal de la tubería y de la temperatura de operación, de modo que el espesor de aislante para cada línea se determinará una vez elegido el diámetro nominal de cada una de ellas (solo se calculará para las tuberías del sistema principal).

En la Figura 1.6 se muestra el sistema de tuberías para llevar a cabo el proceso de regeneración de las resinas de intercambio iónico:

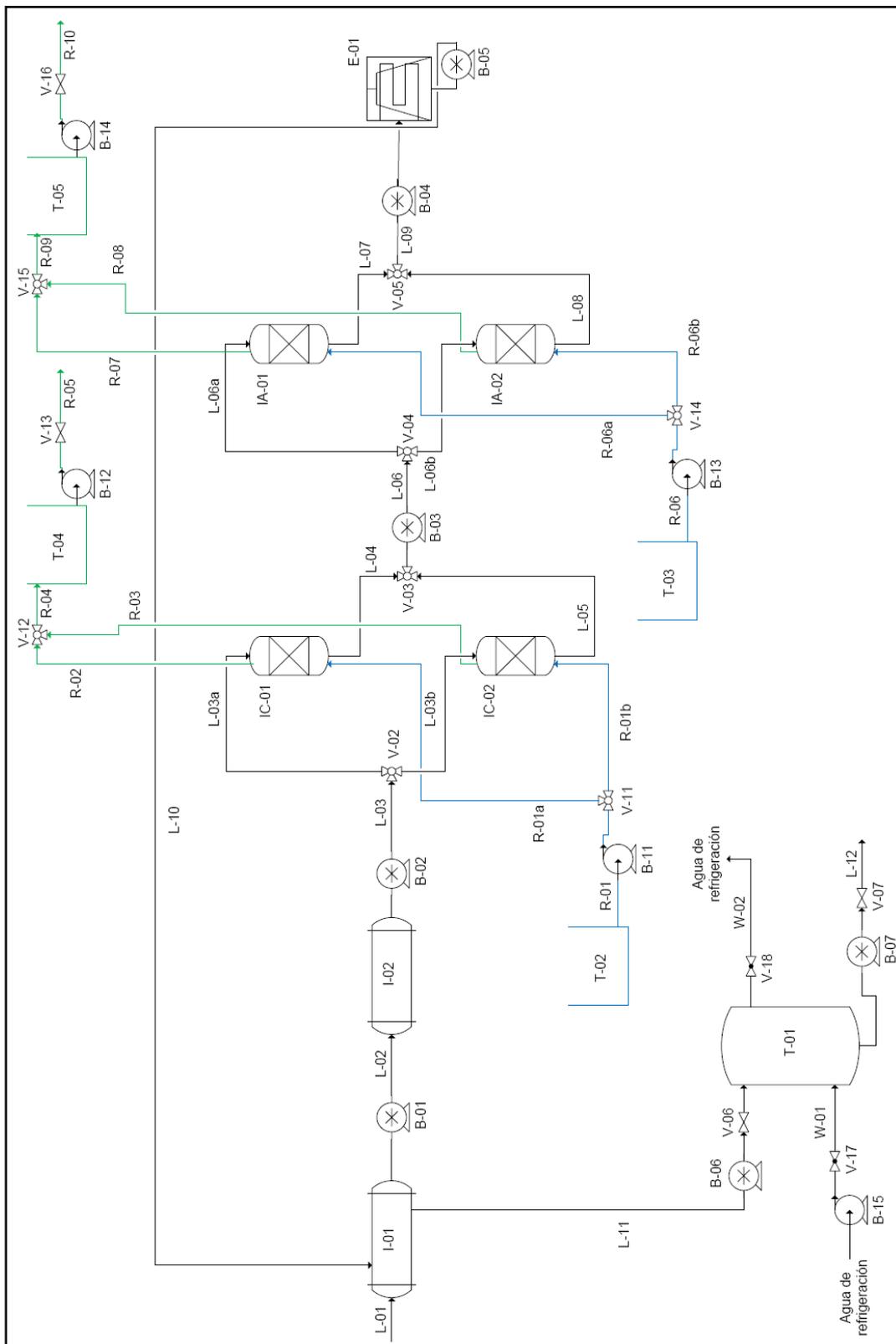


Figura 1.6. Sistemas de tuberías principal y de transporte de disoluciones de regeneración

En las Figuras 1.5 y 1.6 se muestran las válvulas existentes en la instalación, usadas para que la corriente siga una dirección u otra en un determinado punto (V-02, V-11, etc.) o para que dos posibles corrientes lleguen a una línea en común (V-03, V-05, etc.). Otras para dividir el flujo en dos (V-09), para cortar el flujo (V-06, etc.) o para descargar los tanques (V-07, etc.).

Todas estas válvulas, así como el resto de instrumentos y sistemas de control empleados, están descritos más detalladamente en el punto 5.8 de la memoria descriptiva.

## 7.2. DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS CONDUCCIONES

El estándar de tuberías más importante y de uso más frecuente es el Código para Tuberías a Presión ANSI B.31. Las normas ANSI rigen el diseño de las tuberías, en lo que se refiere exclusivamente al dimensionado geométrico y las clasifica, así como también a las válvulas, bridas y accesorios.

Para cada tamaño de tubería, es decir, para cada diámetro nominal, se dispone de una gama de tuberías de distintos espesores de pared, aunque con igual diámetro nominal y exterior, designados mediante un número de serie o “*Schedule number*” (Sch. N°). (Ver anexo 3, Figura 3.16).

Mediante el diseño hidráulico se puede determinar el diámetro nominal de cada tubería del sistema principal. Para ello se sigue el siguiente procedimiento de cálculo:

1. El diámetro interior de cada tubería se establece inicialmente en función del caudal del fluido que por ella ha de circular, y de la elección de una velocidad del fluido. Se aplica la siguiente ecuación:

$$Q = v \cdot S = v \cdot \pi \cdot \frac{D_{INT}^2}{4} \quad [50]$$

Donde:

Q: caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/h)

v: velocidad del fluido (m/h)

S: sección de la conducción (m<sup>2</sup>)

D<sub>INT</sub>: diámetro interior de la conducción (m)

2. Se elige una velocidad del fluido inicial, según la tabla de velocidades medias de circulación de fluidos <sup>[8]</sup> (ver anexo 3, Figura 3.17).

Para el caso de glicerina se elige la velocidad media de circulación para los aceites, de 1,5 m/s.

3. Conocidos el caudal y la velocidad del fluido es posible calcular el diámetro interior, D<sub>INT</sub>, empleando la ecuación [50].
4. Este diámetro teórico calculado normalmente no coincidirá con un diámetro comercial (nominal) y será necesario elegir, desde un punto de vista práctico, el diámetro comercial correspondiente inmediatamente superior (ver anexo 3, Figura 3.16).

El caudal volumétrico de cada corriente se determina según la ecuación [2]. Para el cálculo de la densidad media de cada corriente se tiene en cuenta el porcentaje en que se encuentra cada componente y la densidad de cada uno de ellos (en función de su temperatura) (ecuación [1]).

En la Tabla 1.25 se muestran las características del fluido que circula por cada tubería del sistema principal:

Tubería	Fluido	T <sub>OP.</sub> (K)	Composición	ρ <sub>MEDIA</sub> (g/ml)	Q <sub>M</sub> (kg/h)	Q <sub>V</sub> (m <sup>3</sup> /h)
L-01	Glicerina Bruta	333	Glicerina (74,75%) Agua (4,26%) Fosfato potásico (20,98%)	1,47	240,884	0,164
L-02	Glicerina Bruta	342,26	Glicerina (74,75%) Agua (4,26%) Fosfato potásico (20,98%)	1,47	240,884	0,164
L-03 L-03a L-03b	Glicerina Bruta	353	Glicerina (74,75%) Agua (4,26%) Fosfato potásico (20,98%)	1,46	240,884	0,165
L-04 L-05 L-06 L-06a L-06b	Glicerina Bruta	353	Glicerina (84,28%) Agua (4,81%) Ácido Fosfórico (10,92%)	1,30	212,291	0,164
L-07 L-08 L-09	Glicerina Bruta	353	Glicerina (88,61%) Agua (11,39%)	1,21	203,205	0,168
L-10	Glicerina Técnica	393,28	Glicerina (99%) Agua (1%)	1,21	181,889	0,150
L-11	Glicerina Técnica	379,02	Glicerina (99%) Agua (1%)	1,22	181,889	0,149

Tabla 1.25. Características de las corrientes del sistema principal de tuberías

Una vez conocido el caudal volumétrico de todas las corrientes, es posible conocer el diámetro de cada tubería (ecuación [50]) y posteriormente el diámetro

comercial (nominal) correspondiente. En la siguiente tabla se muestran los resultados:

Tubería	Q (m <sup>3</sup> /h)	v (m/s)	D <sub>INT</sub> (in)	D <sub>NOMINAL</sub> (in)	D <sub>EXT</sub> (in)
L-01	0,164	1,5	0,245	1/4	0,540
L-02	0,164	1,5	0,245	1/4	0,540
L-03					
L-03a	0,165	1,5	0,246	1/4	0,540
L-03b					
L-04					
L-05					
L-06	0,164	1,5	0,245	1/4	0,540
L-06a					
L-06b					
L-07					
L-08	0,168	1,5	0,248	1/4	0,540
L-09					
L-10	0,150	1,5	0,234	1/4	0,540
L-11	0,149	1,5	0,233	1/4	0,540

Tabla 1.26. Diámetros nominales y exteriores de las tuberías, en pulgadas

Como se comentó anteriormente, el espesor de aislante recomendado por el suministrador se elige en función del diámetro nominal de la tubería y de la temperatura de operación (ver anexo 4). Para este caso, se elige un espesor de aislante de **1" (25,4 mm)** para todas las tuberías del sistema principal.

### 7.3. DISEÑO MECÁNICO DE LAS CONDUCCIONES

A partir de las condiciones de servicio se determina el espesor mínimo ( $t_m$ ) necesario para cada conducción, eligiéndose el “*Schedule number*” que mejor se adapte conforme al diámetro nominal y exterior elegidos anteriormente (1/4” y 0,540”, respectivamente). Finalmente quedan determinado el diámetro interior real (restando el espesor o Schedule elegido).

Teniendo en cuenta el sobreespesor de corrosión y la tolerancia de fabricación, el espesor mínimo resulta:

$$t_m = \left( \frac{P_D \cdot D_{EXT}}{2 \cdot (S \cdot E + P_D \cdot Y)} + c \right) \cdot M \quad [51]$$

Siendo:

$P_D$ : Presión de diseño (psi). Como en el caso de los tanques, se escoge como presión de diseño 49,78 psi para todas las tuberías.

$D_{EXT}$ : Diámetro exterior de la tubería (in), 0,540 in para todas.

$S$ : Coeficiente básico de trabajo o tensión admisible del material a la temperatura de diseño.

$E$ : es el factor de eficiencia de la soldadura. Este valor viene indicado para cada tipo de tubería, en la norma ASME B 31.3. Para tubo sin costura se toma  $E = 1$ .

$Y$ : coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura. Los valores de dicho Coeficiente vienen dados asimismo en la norma ASME B 31.1. Se toma el valor de 0,4 (ver anexo 3, Figura 3.22).

$M$ : tolerancia de fabricación. Para tuberías de acero sin costura se toma un valor de -12,5%.

$c$ : tolerancia de corrosión admisible (in)

En general, el sobreespesor para corrosión ( $c$ ) normal se estimará de la siguiente manera:

- Acero al carbono: 1,5 – 3,0 mm.
- Acero aleado hasta un 9% Cr y 1% Mo: 1,5 – 3,0 mm.
- Acero inoxidable 0,8 – 1,5 mm.

Para acero al carbono A53 se escoge un valor de 1,5 mm (0,059 in) y para acero inoxidable A304 de 0,8 mm (0,031 in).

Con respecto al valor de la tensión máxima admisible, S, se toman los siguientes valores (ver anexo 3):

MATERIAL	Temperaturas (°F)		
	Hasta 100	200	300
Acero al carbono A53	20000	20000	20000
Acero inoxidable A304	18800	16100	14600

Tabla 1.27. Valores de la tensión máxima admisible S (psi), en función del material y la temperatura

En la Tabla 1.28 se muestran los resultados:

Tubería	Material	T <sub>D</sub> (°F)	S (psi)	D <sub>EXT</sub> (in)	D <sub>NOMINAL</sub> (in)	t <sub>m</sub> (in)	Sch.	t (in)	D <sub>INT</sub> (in)
L-01	SA-53	140	20000	0,540	1/4	0,007	5S	0,049	0,491
L-02	SA-53	156,7	20000	0,540	1/4	0,007	5S	0,049	0,491
L-03	SA-53	176	20000	0,540	1/4	0,007	5S	0,049	0,491
L-03a									
L-03b									
L-04	SS-304	176	16748	0,540	1/4	0,007	5S	0,049	0,491
L-05									
L-06									
L-06a									
L-06b									

Tubería	Material	T <sub>D</sub> (°F)	S (psi)	D <sub>EXT</sub> (in)	D <sub>NOMINAL</sub> (in)	t <sub>m</sub> (in)	Sch.	t (in)	D <sub>INT</sub> (in)
L-07	SA-53	176	20000	0,540	1/4	0,007	5S	0,049	0,491
L-08									
L-09									
L-10	SA-53	248,5	20000	0,540	1/4	0,007	5S	0,049	0,491
L-11	SA-53	222,8	20000	0,540	1/4	0,007	5S	0,049	0,491

Tabla 1.28. Espesor de las tuberías del sistema principal

Siendo t el espesor final según el correspondiente Schedule (ver anexo 3, Figura 3.16) y T<sub>D</sub> la temperatura de diseño, calculada en función de la temperatura de operación (T<sub>O</sub>):

$$T_D = T_O + 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Como se muestra en la tabla anterior, todas las tuberías tienen el mismo espesor, 0,049 in, y el mismo diámetro interno, 0,491 in. En unidades del sistema internacional, **1,244 mm de espesor y 12,471 mm de diámetro interno.**

## 7.4. PÉRDIDAS DE CARGA

Una vez establecido el diámetro será necesario comprobar la aceptabilidad del mismo, estudiando que la pérdida de carga que se producirá en el sistema es aceptable y que no se presentarán problemas mecánicos debido a ello.

### Pérdida de carga debida a la fricción

Al circular un fluido por una tubería se genera una pérdida de carga, debida a la fricción producida entre ambos elementos. Esta pérdida de carga se calcula mediante la Ecuación de Fanning:

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L}{D_{INT}} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [52]$$

Siendo:

$h_f$ : pérdida de carga (metros de columna de líquido)

$4f$ : factor de fricción de Darcy, adimensional

$L$ : longitud total de la tubería (m)

$D_{INT}$ : diámetro interior (m)

$v$ : velocidad media de circulación del fluido por la tubería (m/s)

$g$ : aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

El factor ( $4f$ ) se calcula gráficamente (ver anexo 3, Figura 3.18) en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería, que depende del tipo de material y del diámetro interior de la tubería (ver anexo 3, Figura 3.19).

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad [53]$$

Siendo:

$Re$ : Número de Reynolds

$v$ : velocidad media de circulación del fluido por la tubería (m/s)

$D$ : diámetro interior de la tubería (m)

$\rho$ : densidad (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$ : viscosidad absoluta o dinámica (Pa·s), (ver anexo 3, Figura 3.4)

La velocidad de circulación del fluido se recalcula mediante la ecuación [50], tomando el nuevo diámetro interior real, 0,491 in (12,47 mm), para todas las tuberías.

En la Tabla 1.29 aparecen los resultados.

Tubería	$\rho_{\text{MEDIA}}$ (g/ml)	$\mu_{\text{MEDIA}}$ (Pa·s)	$D_{\text{INT}}$ (m)	$D_{\text{INT}}$ (in)	v (m/s)	Re	$\epsilon/D$	4f
L-01	1,47	$6,52 \cdot 10^{-3}$	0,01247	0,491	0,373	1048,708	0,0003	0,060
L-02	1,47	$4,95 \cdot 10^{-3}$	0,01247	0,491	0,373	1381,329	0,0003	0,042
L-03								
L-03a	1,46	$3,75 \cdot 10^{-3}$	0,01247	0,491	0,376	1824,420	0,0003	0,031
L-03b								
L-04								
L-05								
L-06	1,30	$6,97 \cdot 10^{-3}$	0,01247	0,491	0,373	866,733	0,0003	0,084
L-06a								
L-06b								
L-07								
L-08	1,21	$9,96 \cdot 10^{-3}$	0,01247	0,491	0,383	579,633	0,0003	0,1
L-09								
L-10	1,21	$1,74 \cdot 10^{-3}$	0,01247	0,491	0,342	2961,389	0,0003	0,021
L-11	1,22	$9,87 \cdot 10^{-3}$	0,01247	0,491	0,339	522,667	0,0003	0,1

Tabla 1.29. Factor de Darcy (4f) para cada tramo de tubería

### Pérdida de carga debida a los accesorios

La influencia de accidentes en tuberías (codos, reducciones en sección, válvulas y otros accesorios) se tienen en cuenta asignando una longitud equivalente de tubería recta a cada accidente, según tabulaciones realizadas en base de datos experimentales (ver anexo 3, Figura 3.20).

La longitud equivalente es la longitud de tubería recta que produciría la misma caída de presión que un accesorio si lo reemplazara por este. Por lo tanto, en el término L de la ecuación [52] quedan englobados no solo la longitud de tubería, sino la suma

de longitud real ( $L_t$ ) y todas las longitudes equivalentes ( $\Sigma L_{eq}$ ) de accesorios. La pérdida de carga total ( $H$ ) por efecto de los accesorios y por tubería recta (sin accesorios) resulta:

$$H = (4f) \cdot \frac{L_t + \Sigma L_{eq}}{D_{INT}} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [54]$$

Para realizar el cálculo correctamente y contabilizar la longitud equivalente de todos los accesorios, se agrupan algunos tramos de tuberías (en líneas) según el camino alternativo que siga la corriente. Como se describió en el punto 7.1, se diferencian cuatro posibles recorridos: sistema principal 1, sistema principal 2, sistema principal 3 y sistema principal 4.

#### Sistema principal 1

Línea	Accesorios	Unidades	$L_{eq}/und$	$L_{eq}$ (m)	$L_t$ (m)	$L_{TOTAL}$ (m)
L-01	Codo 90°	3	0,30	0,90	7	7,90
L-02	-	-	-	-	2	2,00
L-03,L-03a	Codo 90°	4	0,30	1,20	7	9,60
	Válvula 3 vías, paso angular	1	1,40	1,40		
L-04,L-06,L-06a	Codo 90°	6	0,30	1,80	5	9,60
	Válvula 3 vías, paso angular	2	1,40	2,80		
L-07,L-09	Codo 90°	5	0,30	1,50	5	7,90
	Válvula 3 vías, paso angular	1	1,40	1,40		
L-10	Codo 90°	7	0,30	2,10	14	16,10
L-11	Codo 90°	5	0,30	1,50	20	22,07
	Válvula compuerta (abierta)	1	0,13	0,13		
	Válvula 3 vías, paso recto	1	0,44	0,44		

Tabla 1.30. Longitud equivalente y de tubería de cada línea del sistema principal 1

### Sistema principal 2

Línea	Accesorios	Unidades	$L_{eq}/und$	$L_{eq}$ (m)	$L_t$ (m)	$L_{TOTAL}$ (m)
L-01	Codo 90°	3	0,30	0,90	7	7,90
L-02	-	-	-	-	2	2,00
L-03,L-03a	Codo 90°	4	0,30	1,20	7	9,60
	Válvula 3 vías, paso angular	1	1,40	1,40		
L-04,L-06,L-06b	Codo 90°	6	0,30	1,80	5	9,60
	Válvula 3 vías, paso angular	2	1,40	2,80		
L-08,L-09	Codo 90°	5	0,30	1,50	5	7,90
	Válvula 3 vías, paso angular	1	1,40	1,40		
L-10	Codo 90°	7	0,30	2,10	14	16,10
L-11	Codo 90°	5	0,30	1,50	20	22,07
	Válvula compuerta (abierta)	1	0,13	0,13		
	Válvula 3 vías, paso recto	1	0,44	0,44		

Tabla 1.31. Longitud equivalente y de tubería de cada línea del sistema principal 2

### Sistema principal 3

Línea	Accesorios	Unidades	$L_{eq}/und$	$L_{eq}$ (m)	$L_t$ (m)	$L_{TOTAL}$ (m)
L-01	Codo 90°	3	0,30	0,90	7	7,90
L-02	-	-	-	-	2	2,00
L-03,L-03b	Codo 90°	4	0,30	1,20	7	9,60
	Válvula 3 vías, paso angular	1	1,40	1,40		
L-05,L-06,L-06b	Codo 90°	6	0,30	1,80	5	9,60
	Válvula 3 vías, paso angular	2	1,40	2,80		

Línea	Accesorios	Unidades	$L_{eq}/und$	$L_{eq}$ (m)	$L_t$ (m)	$L_{TOTAL}$ (m)
L-08,L-09	Codo 90°	5	0,30	1,50	5	7,90
	Válvula 3 vías, paso angular	1	1,40	1,40		
L-10	Codo 90°	7	0,30	2,10	14	16,10
L-11	Codo 90°	5	0,30	1,50	20	22,07
	Válvula compuerta (abierta)	1	0,13	0,13		
	Válvula 3 vías, paso recto	1	0,44	0,44		

Tabla 1.32. Longitud equivalente y de tubería de cada línea del sistema principal 3

#### Sistema principal 4

Línea	Accesorios	Unidades	$L_{eq}/und$	$L_{eq}$ (m)	$L_t$ (m)	$L_{TOTAL}$ (m)
L-01	Codo 90°	3	0,30	0,90	7	7,90
L-02	-	-	-	-	2	2,00
L-03,L-03b	Codo 90°	4	0,30	1,20	7	9,60
	Válvula 3 vías, paso angular	1	1,40	1,40		
L-05,L-06,L-06a	Codo 90°	6	0,30	1,80	5	9,60
	Válvula 3 vías, paso angular	2	1,40	2,80		
L-07,L-09	Codo 90°	5	0,30	1,50	5	7,90
	Válvula 3 vías, paso angular	1	1,40	1,40		
L-10	Codo 90°	7	0,30	2,10	14	16,10
L-11	Codo 90°	5	0,30	1,50	20	22,07
	Válvula compuerta (abierta)	1	0,13	0,13		
	Válvula 3 vías, paso recto	1	0,44	0,44		

Tabla 1.33. Longitud equivalente y de tubería de cada línea del sistema principal 4

Finalmente se determina la pérdida de carga total (H), según la ecuación [54]. En la Tabla 1.34 se muestran los resultados, siendo la longitud L igual a la suma de la longitud de tubería y de la longitud equivalente de cada accesorio.

Línea	L (m)	4f	D <sub>INT</sub> (m)	v (m/s)	H (m)
L-01	7,90	0,060	0,01247	0,373	0,270
L-02	2,00	0,042	0,01247	0,373	0,048
L-03,L-03a	9,60	0,031	0,01247	0,376	0,172 <sup>1</sup>
L-04,L-06,L-06a	9,60	0,084	0,01247	0,373	0,459 <sup>2</sup>
L-07,L-09	7,90	0,100	0,01247	0,383	0,474 <sup>3</sup>
L-10	16,10	0,021	0,01247	0,342	0,162
L-11	22,07	0,100	0,01247	0,339	1,037
1. Igual para línea alternativa (L-03,L-03b) 2. Igual para líneas alternativas (L-04,L-06,L-06b), (L-05,L-06,L-06a) o (L-05,L-06,L-06b) 3. Igual para línea alternativa (L-08,L-09)					

Tabla 1.34. Pérdidas de carga en cada línea del sistema principal de tuberías

## 7.5. UNIONES

Todas las uniones entre tuberías o tuberías con accesorios, con válvulas, etc. se realizan mediante bridas roscadas "SCREWED FLANGES", ya que este tipo de brida es la empleada para tuberías pequeñas. La unión entre brida y tubería se realiza por medio de una unión roscada.

Además se trata de bridas tipo cara resaltada, construidas en hierro de fundición. En las bridas de fundición, cuyas dimensiones vienen definidas por la norma ANSI B16.1, se establecen cuatro series adecuadas a diferentes presiones.

Estas series reciben las siguientes denominaciones:

25 lbs, 125 lbs, 250 lbs y 800 lbs

Las bridas de 25 lbs y 125 lbs son de cara plana (adecuadas a presiones relativamente bajas) y las de 250 lbs y 800 lbs son de cara resaltada (adecuadas a presiones más altas).

## 8. DISEÑO DE BOMBAS

### 8.1. INTRODUCCIÓN

El objeto del bombeo de cualquier líquido es transportarlo de un punto más bajo a otro más alto, venciendo presiones, resistencias en las conducciones y desniveles, mediante una bomba.

En este caso, para la impulsión de los fluidos que son transportados en el sistema principal de tuberías, se eligen bombas compactas de membrana ya que son las más adecuadas para fluidos viscosos, además se adaptan bien a las necesidades requeridas en la instalación (ver anexo 4).

### 8.2. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS BOMBAS

#### ALTURA ÚTIL

La altura útil ( $H_{\text{ÚTIL}}$ ) es la energía neta que la bomba debe transmitir al fluido. Su cálculo se realiza mediante la ecuación de Bernuilli (ecuación [55]), aplicada a los puntos de aspiración y descarga de la bomba.

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + H_{\text{ÚTIL}} = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + H_{1-2} \quad [55]$$

Resultando la siguiente expresión al despejar  $H_{\text{ÚTIL}}$ :

$$H_{\text{ÚTIL}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + H_{1-2} \quad [56]$$

Donde:

$(z_2 - z_1)$ : diferencia de altura entre los puntos 1 y 2

$\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}$ : diferencia de presiones entre los puntos 1 y 2

$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g}$ : diferencia de velocidades entre los puntos 1 y 2

$H_{1-2}$ : pérdidas de carga totales externas a la bomba, entre los puntos 1 y 2

$g$ : aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$\rho$ : densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

Las principales bombas que se necesitan en la instalación son las siguientes:

- Bomba B-01

Punto 1: conducción de salida del intercambiador de calor (C-01), tubería L-02.

Punto 2: punto de entrada al segundo intercambiador de calor (C-02).

- Bomba B-02

Punto 3: conducción de salida del segundo intercambiador de calor (C-02), tubería L-03.

Punto 4: punto de entrada a la primera columna de intercambio catiónico (IC-01), o punto de entrada a la segunda (IC-02), en el caso de que en una u otra se esté regenerando la resina catiónica.

- Bomba B-03

Punto 5: tubería L-06 (tubería de salida de la válvula V-03).

Punto 6: punto de entrada a la primera columna de intercambio aniónico (IA-01) o punto de entrada a la segunda (IA-02), en el caso de que en una u otra se esté regenerando la resina aniónica.

- Bomba B-04

Punto 7: tubería L-09 a la salida de la válvula V-05.

Punto 8: punto de entrada al evaporador (E-01).

- Bomba B-05:

Punto 9: salida del evaporador (E-01).

Punto 10: punto de entrada al primer intercambiador de calor (I-01).

- Bomba B-06

Punto 11: conducción de salida del primer intercambiador de calor (L-11).

Punto 12: punto de entrada al tanque de almacenamiento de glicerina técnica (T-01).

Además de estas bombas, se instalan otras a la salida de los tanques T-01, T-04 y T-05, para la descarga en los camiones de transporte. Y otras para impulsar las disoluciones regenerantes desde los tanques T-02 y T-03 hasta la columna de intercambio iónico correspondiente, y posteriormente hasta los tanques de almacenamiento T-04 y T-05. Estas bombas no serán diseñadas en el presente proyecto.

En la Tabla 1.35 se muestran los datos necesarios para resolver la ecuación [51], determinándose la altura útil para las bombas principales de la instalación.

Bomba	H (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Punto	P (Pa)	v (m/s)	z (m)	H <sub>ÚTIL</sub> (m)
B-01	0,048	1470	1	101325,000	0,373	0,00	0,048
			2	101325,000	0,373	0,00	
B-02	0,172	1460	3	101325,000	0,376	0,00	2,922
			4	101325,000	0,376	2,75	
B-03	0,315	1300	5	101325,000	0,373	0,00	2,815
			6	101325,000	0,373	2,50	
B-04	0,294	1210	7	101325,000	0,383	0,00	1,294
			8	101325,000	0,383	1,00	
B-05	0,162	1210	9	101325,000	0,342	0,00	1,762
			10	101325,000	0,342	1,60	
B-06	1,016	1220	11	101325,000	0,339	0,00	6,016
			12	101325,000	0,339	5,00	

Tabla 1.35. Altura útil para las bombas

Para el cálculo de H (pérdidas de carga), se sigue el mismo procedimiento de cálculo que el descrito en el punto 7.4 del presente anexo.

### ALTURA DE ASPIRACIÓN NETA POSITIVA

En la aspiración de la bomba la presión nunca debe estar por debajo de la presión de vapor para evitar que se produzca cavitación. La energía disponible para que el fluido circule por la tubería de aspiración y que entre a la bomba es siempre la altura de aspiración menos la presión de vapor a la temperatura de bombeo, y suele expresarse en metros de columna del líquido. Este concepto es lo que se llama NPSH (altura de aspiración neta positiva).

Se distinguen dos NPSH diferentes:

- NPSHr o requerido por la bomba: es el valor mínimo de la presión a la cual puede funcionar la bomba sin cavitación. Es un dato característico de cada bomba y lo suministra el fabricante.
- NPSHd o disponible: es la energía que tiene un líquido en la toma de aspiración de la bomba (independientemente del tipo de ésta) por encima de la energía del líquido, debido a su presión de vapor. Es un dato que depende de la instalación de la bomba y es por tanto calculable.

Para que no exista cavitación y la bomba funcione correctamente ha de cumplirse que el NPSH disponible en la instalación sea igual o mayor que el NPSH requerido por la bomba.

$$\text{NPSHd} \geq \text{NPSHr}$$

Como medida de seguridad, se recomienda añadir 0,5 metros al valor del NPSH requerido, resultando:

$$\text{NPSHd} \geq \text{NPSHr} + 0,5 \text{ m (aprox.)}$$

Para el cálculo del NPSH disponible se emplea la siguiente expresión:

$$\text{NPSHd} = \frac{P_1 - P^v}{\rho \cdot g} - \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g} - H_{1-2} \quad [57]$$

Siendo  $P^v$  la presión de vapor del líquido en el punto 2, de descarga de la bomba. Se considera la presión de vapor de la disolución de glicerina (teniendo en cuenta el % en glicerina, ver Tabla 1.25) a 373 K para las bombas B-01, B-02, B-03 y B-04, a 413,28 K para la B-05 y a 399,02 K para la B-06 (ver anexo 3, Figura 3.5). Realmente las temperaturas serían 342,26 K para la bomba B-01, 353 K para las bombas B-02, B-03 y B-04, 393,28 K para la B-05 y 379,02 K para la B-06, en condiciones de operación normales, pero se aumentan en 20 grados para una mayor seguridad, ya que pueden ocurrir fallos en el intercambiador y/o en el evaporador.

En la siguiente tabla se muestran los resultados para las principales bombas de la instalación:

Bomba	H (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Punto	P (Pa)	v (m/s)	NPSHd (m)
B-01	0,048	1470	1	101325,000	0,373	2,795
			2	60328,386	0,373	
B-02	0,172	1460	3	101325,000	0,376	2,690
			4	60328,386	0,376	
B-03	0,315	1300	5	101325,000	0,373	4,117
			6	44806,992	0,373	
B-04	0,294	1210	7	101325,000	0,383	5,218
			8	35895,723	0,383	
B-05	0,162	1210	9	101325,000	0,342	8,339
			10	411,833	0,342	
B-06	1,016	1220	11	101325,000	0,339	7,438
			12	143,055	0,339	

Tabla 1.36. Altura de aspiración neta positiva disponible para las bombas

### POTENCIA ÚTIL

La potencia útil de una bomba es la potencia neta que comunica al fluido para elevarlo a un caudal determinado hasta una altura determinada. Para su cálculo se emplea la siguiente expresión:

$$P_{\text{ÚTIL}} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_{\text{ÚTIL}} \quad [58]$$

Siendo:

$P_{\text{ÚTIL}}$ : potencia útil (W)

Q: caudal volumétrico ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

g: aceleración de la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$\rho$ : densidad del fluido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$H_{\text{ÚTIL}}$ : altura útil (m)

En la Tabla 1.37 se muestran los resultados para las principales bombas de la instalación:

Bomba	Q ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	$\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$H_{\text{ÚTIL}}$ (m)	$P_{\text{ÚTIL}}$ (W)
B-01	0,164	1470	0,048	0,032
B-02	0,165	1460	2,922	1,918
B-03	0,164	1300	2,815	1,635
B-04	0,168	1210	1,294	0,717
B-05	0,150	1210	1,762	0,871
B-06	0,149	1220	6,016	2,980

Tabla 1.37. Potencia útil de las bombas

### 8.3. SELECCIÓN DE BOMBAS

Todas las bombas diseñadas son de tipo compactas de membrana, en concreto son bombas *Abel CM, modelo "CM-G-A 171"* (ver anexo 4, cuadro de selección CM).<sup>[42]</sup>

Para la elección del modelo se ha tenido en cuenta el caudal volumétrico en cada bomba, en  $\text{m}^3/\text{h}$ , y la altura útil, en MPa. Este modelo de bomba es capaz de

impulsar un caudal máximo de  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , y hasta una altura de  $1,6 \text{ MPa}$  ( $163,154 \text{ m.c.a.}$ ).



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE  
GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO EN LA  
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

ANEXO 2:  
ESTUDIO DE SEGURIDAD  
INDUSTRIAL

## 0. ÍNDICE

<b>0. ÍNDICE</b>	<b>212</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>213</b>
<b>2. SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS</b>	<b>216</b>
<b>3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN</b>	<b>220</b>
<b>4. SEÑALIZACIÓN</b>	<b>222</b>
<b>5. SEGURIDAD EN EL ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS</b>	<b>230</b>
5.1. CUBETO DE RETENCIÓN PARA TANQUE T-01	232
5.1.1. Diseño del cubeto de retención	233
<b>6. FICHAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL</b>	<b>235</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este anexo es el de describir los sistemas de prevención de incendios y de seguridad contra accidentes usados en la industria, que además se tienen en cuenta a la hora de diseñar la instalación de purificación de glicerina.

Para ello se aplica la siguiente legislación:

- Norma UNE 23035, de Marzo 1995. Seguridad contra incendios.
- Ley 31/1995, de 8 de Noviembre. Prevención de Riesgos Laborales.
- RD 487/1997, de 14 de Abril. Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud relativas a la manipulación de cargas.
- RD 1215/1997, de 18 de Julio. Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud relativas a la utilización de los equipos de trabajo.
- RD 485/1997, de 14 de Abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de Seguridad y Salud en el trabajo.
- RD 773/1997, de 17 de Enero. Disposiciones mínimas sobre utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- RD 374/2001, de 6 de Abril. Disposiciones mínimas relativas a la protección de la seguridad y salud de los trabajadores contra los riesgos relacionados con agentes químicos.
- RD 614/2001, de 8 de Junio. Disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- RD 379/2001, de 6 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.
- RD 2267/2004, de 3 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

### Seguridad en el trabajo

Los accidentes de trabajo y su prevención constituyen el objetivo de la Seguridad en el trabajo. Sin embargo, lo que justifica la Seguridad en el trabajo no son los accidentes en sí, sino las consecuencias que de ellos se derivan. Si los accidentes no tuvieran consecuencias, la Seguridad perdería su razón de ser. Evitar y controlar las consecuencias de los accidentes es la finalidad de la Seguridad en el trabajo. De modo que la identificación de las causas de los accidentes para intervenir sobre ellas es la metodología racional que utiliza la Seguridad para evitar y controlar las consecuencias de aquellos.

Así pues, la Seguridad en el trabajo es una disciplina autónoma de carácter Técnico, dedicada al control de las consecuencias derivadas de los accidentes de trabajo, y se relaciona íntimamente con otras disciplinas y especialidades:

- Con la Medicina del trabajo: la ST utiliza los datos epidemiológicos de la medicina laboral para intuir los riesgos específicos de cada ocupación y planificar los sistemas de prevención.
- Con la Higiene industrial: La HI tiene como objetivo la prevención de las enfermedades laborales que se producen por agresiones ambientales de baja intensidad pero de elevada frecuencia. Aunque los planteamientos tácticos y estratégicos pueden ser diferentes, su filosofía prevencionista es idéntica. En algunos casos la relación es tan estrecha que es imposible separar Seguridad e Higiene.
- Con la Psicología: el conocimiento de la conducta humana y las técnicas de influencia sobre ella (motivación, adiestramiento, formación...) son puntos importantes a tener en cuenta en la misión preventiva de la ST.
- Con la Ergonomía: los diseños ergonómicos facilitan la percepción de los riesgos y el uso de los medios de protección personal. Al minimizar las situaciones de fatiga se reducen las situaciones de riesgo.

- Con las Disciplinas básicas de la ingeniería: el conocimiento de las distintas tecnologías aplicadas en un trabajo concreto permite intuir sus riesgos específicos y planificar su prevención.
- Con las Ciencias empresariales y económicas: el técnico de seguridad ha de saber cuantificar el coste real de los accidentes, los planteamientos costos/beneficios y los problemas organizativos de la gestión empresarial.
- Con el Derecho: en casi todas sus ramas: Penal (responsabilidades), Civil (indemnizaciones), Mercantil (suministros), Laboral, Internacional.
- Con la Estadística: por la necesidad de tratamiento estadístico de los accidentes para identificar sus causas y evaluar sus consecuencias.
- Con la Ética: los valores humanos imponen barreras que la Seguridad ha de respetar en todo momento.

## 2. SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS

La presencia del riesgo de incendio en los establecimientos industriales determina la probabilidad de que se desencadenen incendios, generadores de daños y pérdidas para las personas y los patrimonios, que afectan tanto a ellos como a su entorno.

De modo que son necesarias una serie de medidas para la prevención del incendio, que tendrán como finalidad limitar la presencia del riesgo de fuego y las circunstancias que pueden desencadenar el incendio. Así como unas medidas de respuesta al incendio, que tendrán como finalidad controlar o luchar contra el incendio, para extinguirlo y minimizar los daños o pérdidas que pueda generar.

En la instalación de purificación de glicerina el riesgo de incendio es bajo, ya que los productos que se almacenan no poseen características de peligrosidad, es decir, no son altamente inflamables ni combustibles. Además se toman las medidas de seguridad necesarias para la protección de los equipos.

### Medidas de prevención del incendio

En general, para evitar un incendio se deben separar los elementos que lo provocan, es decir, combustible, aire y fuente de ignición.

Además si se tienen en cuenta los peligros relativos a escapes de gas y a explosiones, se eliminan una de las fuentes de incendios más peligrosas de cualquier planta química.

Se toman las siguientes medidas de prevención:

- El tanque de almacenamiento de glicerina técnica se coloca dentro de un cubeto de retención, el cual retiene el contenido del tanque ante posibles

derrames, evitando así la expansión del producto y controlando un posible incendio del mismo.

- El tanque de almacenamiento de glicerina está situado en una zona restringida y separada del resto de los equipos. Así que si se produce un incendio, estará localizado.
- La instalación debe tener una adecuada ventilación.
- Todos los motores y equipos eléctricos de la instalación son antideflagantes. Los cierres de las bombas, válvulas, etc., han de tener garantía de estanqueidad.
- Tanto las herramientas que se utilicen como las prendas de trabajo, en particular el calzado, están desprovistas de elementos metálicos férricos que puedan dar lugar a chispas.
- De forma genérica, el equipo eléctrico se hallará en perfecto estado y no se sobrecargará la red con potencia superior a aquella para la que fue diseñada.
- Prohibición de fumar. Se prohíbe de forma expresa y se señala con letreros de fácil visibilidad y clara expresión.
- Reparaciones. La realización del trabajo se efectuará conforme a un plan que impida la posibilidad de ignición, y deberá obtenerse un permiso de trabajo adecuado. En general, siempre que sea posible, la reparación se llevará a cabo en lugar apartado y seguro. Antes de comenzar la reparación propiamente dicha, se ha de eliminar la posible atmósfera explosiva por los medios adecuados (ventilación, inertización) y comprobar mediante explosímetros la inexistencia de la misma. Por último, hay que considerar que una vez concluido el trabajo no deberá admitirse la nueva puesta en servicio del equipo hasta que se enfríe suficientemente.

- Electricidad estática. Hay que evitar la acumulación de cargas estáticas sobre cuerpos aislados en los que se produce una fricción. La forma más frecuente de lograrlo es mediante la interconexión eléctrica de los cuerpos entre sí y con tierra. De esta forma se produce una descarga de la electricidad generada, de forma que la intensidad circulante es muy baja.
- Son necesarios orden y limpieza en la instalación, así como un mantenimiento preventivo.

### Medidas de respuesta al incendio

- Según la ITC MIE-APQ 1 del RD 379/2001, de 6 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias, para el caso de la glicerina (producto de clase D), únicamente es obligatorio el sistema de extinción siguiente:
  - En todos los accesos al cubeto existen extintores de clase adecuada al riesgo, para este caso serán de CO<sub>2</sub>.

Se instalan también otros sistemas de extinción, para que la instalación disponga de una mayor seguridad. De modo que la instalación dispone de dos hidrantes que cubren esta zona de riesgo, que además están ubicados convenientemente para actuar de forma alternativa en caso de que un siniestro pueda afectar a uno de ellos.

Cerca de estos hidrantes se colocarán mangueras, guardadas en cajas especiales y con una longitud suficiente para poder extinguir posibles incendios tanto en el tanque de almacenamiento de glicerina técnica, como en el interior de la instalación.

Además se instalan detectores automáticos fijos, con alarma, de mezclas explosivas (de forma directa o mediante la concentración) en la zona.

- Para el almacenamiento de las disoluciones de regeneración únicamente se instalan extintores adecuados al tipo de fuego, ya que se trata de disoluciones muy diluidas y en pequeñas cantidades.
- En el resto de la instalación existen extintores adecuados al tipo de incendio, además de más detectores automáticos fijos con alarmas.
- Se tendrá redactado un Plan de emergencia que recoja:
  - Procedimientos de detección y comunicación de la emergencia
  - Alarma interior y exterior: cuándo y cómo se disparan
  - Evacuación de las zonas peligrosas: cuándo y cómo se llevan a cabo
  - Actuaciones concretas para el control de la emergencia, según el tipo
- Las salidas de la instalación serán lo suficientemente amplias para que los empleados puedan salir con seguridad en caso de peligro.

### 3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN

Se entiende por equipo de protección personal (EPI) “cualquier equipo destinado a ser llevado o sujeto por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar a su seguridad o salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin”.

Los EPIs sólo deben utilizarse una vez que se haya intentado eliminar el riesgo mediante el estudio del puesto de trabajo, con resguardos o dispositivos de seguridad, o bien como medida complementaria a los mismos. La Ley de Prevención de Riesgos Laborales especifica adoptar medidas que antepongan la protección colectiva frente a la individual.

Los empleados usarán los siguientes equipos de protección:

- Protección de la cabeza: usarán siempre casco de protección. Se elegirán de color para facilitar la visibilidad y la rápida identificación de los diversos grupos.
- Protección del oído: en la instalación, la mayor parte de los ruidos serán ocasionados por los equipos en funcionamiento. Los empleados usarán cuando fuese necesario los equipos de protección adecuados, tales como tapones, orejeras, etc.
- Protección de los ojos y de la cara: las agresiones más importantes a cubrir son el impacto de partículas y las salpicaduras. Los empleados llevarán siempre gafas de protección y cuando fuese necesario, pantallas.
- Protección de las vías respiratorias: protegen fundamentalmente contra riesgos no mecánicos. La vía respiratoria es la entrada más frecuente de contaminantes en el cuerpo. Las protecciones de vía respiratorias deben

proporcionar aire en las condiciones higiénicas necesarias, libre de contaminantes y con un contenido en oxígeno mínimo del 17%. Los empleados usarán equipos filtrantes (boquilla, etc.) cuando fuese necesario, aunque también se dispondrá de equipos respiratorios (bombonas de oxígeno).

- Protección de manos y brazos: los empleados siempre usarán guantes.
- Protección de pies y piernas: los empleados siempre usarán botas de seguridad y pantalón largo de trabajo.
- Protección de tronco y abdomen: no serán necesarias protecciones especiales para estas zonas.
- Protecciones contra caídas de altura: la instalación contará con medios de protección colectiva, como barandillas o redes de seguridad.

## 4. SEÑALIZACIÓN

La normativa española sobre señalización de seguridad se recoge en el R.D. 485/1997 de 14 de abril. En él se define la señalización como: “la técnica de prevención que pretende, mediante estímulos sensoriales, condicionar la actuación de la persona que los recibe, frente a riesgos o peligros que desean ser resaltados para que sean eludidos”.

Para que sea eficaz debe cumplir con las siguientes características:

1. Atraer la atención de quien la recibe
2. Dar a conocer el peligro con suficiente antelación
3. Poner de manifiesto el peligro sin equívocos (interpretación única)
4. Informar sobre la forma de actuar en cada caso concreto (conocimiento previo)
5. Evitar la saturación de estímulos (muchas señales) y circunstancias que dificulten su percepción
6. La señalización deberá permanecer mientras persista la situación que la motiva
7. Conexión y coherencia de señales entre sí y con la normativa
8. Las señales deben conservarse y renovarse
9. Si necesitan suministro eléctrico, tendrán toma de emergencia para casos de cortes de electricidad

### Clases de señalización

La clasificación más sencilla de señales es la basada en el sentido que estimulan. Así que se puede hablar de 5 tipos de señales: ópticas, auditivas, olfativas, gustativas y táctiles.

La normativa cita expresamente los siguientes tipos de señales:

- Señal en forma de panel
- Señal adicional: señal utilizada junto a otra señal en forma de panel y que facilita informaciones complementarias
- Señal luminosa: señal que aparezca por sí misma como una superficie luminosa
- Señal acústica: señal sonora codificada, emitida y difundida por medio de un dispositivo adecuado, sin intervención de voz humana o sintética
- Comunicación verbal: mensaje verbal predeterminado, en el que se utiliza voz humana o sintética
- Señal gestual: movimiento o disposición de los brazos o de las manos en forma codificada para guiar a las personas que estén realizando maniobras que constituyan un riesgo para los trabajadores

Todos estos tipos de señales se emplearán en la instalación cuando fuera necesario. A continuación se detalla la señalización visual usada en la instalación, la cual se basa en la utilización y apreciación del color y la forma de los objetos.

### Colores de Seguridad

Son colores de uso especial y restringido, a los que se atribuye una significación determinada en relación con la seguridad. Están normalizados.

COLOR	SIGNIFICADO	INDICACIONES Y PRECISIONES
<b>ROJO</b>	Señal de prohibición	Comportamientos peligrosos
	Peligro. Alarma	Alto, parada, dispositivos de desconexión de emergencia.
	Material y equipos de lucha contra incendios	Identificación y localización
<b>AMARILLO</b>	Señal de advertencia	Atención, precaución. Verificación
<b>AZUL</b>	Señal de obligación	Comportamiento o acción específica Obligación de utilizar un EPI
<b>VERDE</b>	Señal de salvamento o de auxilio	Puertas, salidas, puestos de salvamento o socorro.
	Situación de seguridad	Vuelta a la normalidad

Tabla 2.1. Colores de seguridad

### Colores de contraste

Sirven para resaltar la visibilidad de las señales con respecto al entorno y de los símbolos con respecto a la propia señal y evitar confusiones. También están normalizados.

Color de seguridad	Color de contraste	Color de los símbolos
Rojo	Blanco	Negro
Amarillo	Negro	Negro
Verde	Blanco	Blanco
Azul	Blanco	Blanco

Tabla 2.2. Colores de contraste

### Señales en forma de panel

Son la aplicación de colores de seguridad y de contraste sobre superficies con formas, tamaños y símbolos normalizados. Las clases y formas de las señales se indican en la siguiente tabla:

					
ROJO	Prohibición			Información sobre equipos de lucha contra incendios	
AMARILLO			Advertencia		
VERDE				Información sobre: -salida de socorro -primeros auxilios	
AZUL		Obligación			

Tabla 2.3. Señales en forma de panel

### Señales de advertencia

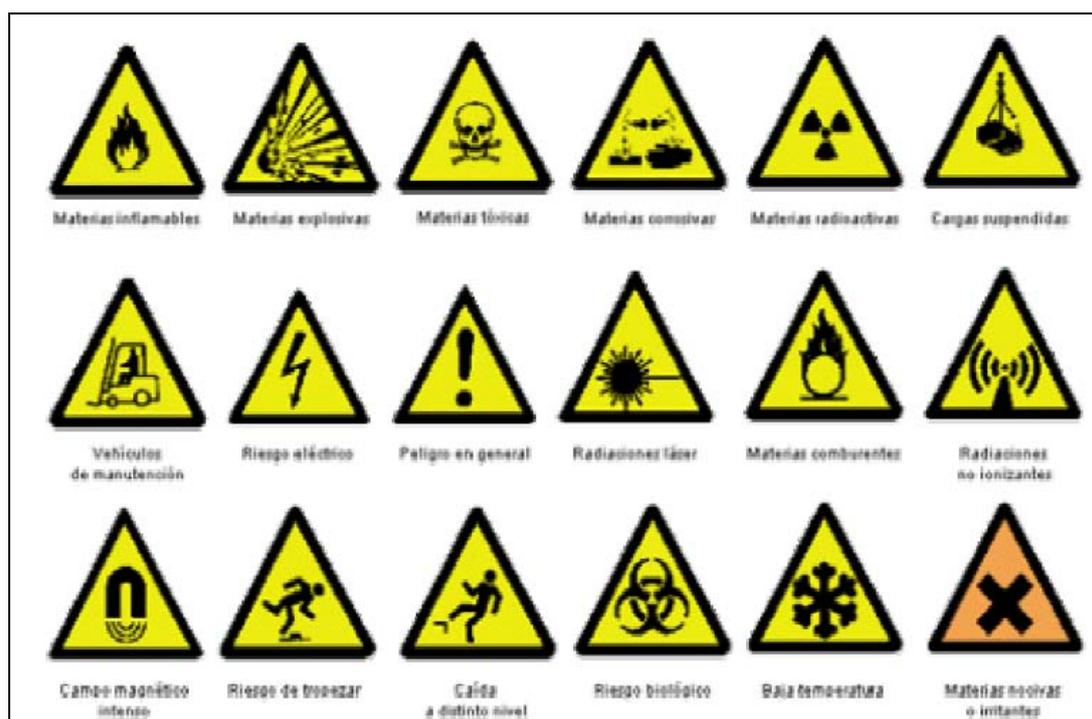


Figura 2.1. Señales de advertencia

### Señales de prohibición



Figura 2.2. Señales de prohibición

### Señales de obligación



Figura 2.3. Señales de obligación

### Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios



Figura 2.4. Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios

### Señales de salvamento o socorro



Figura 2.5. Señales de salvamento o socorro

### Colores de señalización

Además de los ya mencionados colores de seguridad, cuyo uso está perfectamente reglamentado y normalizado, se pueden utilizar los colores para señalar algunas situaciones relacionadas con la seguridad:

- Gases comprimidos y tuberías de gases: los colores de las caperuzas o las propias tuberías dan indicación sobre su contenido.
- Conductores eléctricos: mediante un código de colores se indica la fase, neutro y tierra.
- Mandos de emergencia: el mando de parada de emergencia siempre va en color rojo y en un lugar destacado. La puesta en marcha se pinta en color verde.

En estos casos no existe una normalización universal.

### Balizamientos

Balizar una zona es delimitarla a fin de no rebasar sus límites. Para evitar la repetición de señales o por los perfiles particulares del terreno, se recurre a los balizamientos, que pueden ser:

- Barandillas: indican un límite. Pintadas en amarillo/negro o rojo/blanco.
- Barreras: acotan zonas de corta longitud (hasta 10 m). Pueden ser fijas, móviles o extensibles. Colores: amarillo/negro o rojo/blanco.
- Cintas de delimitación: normalmente de plástico, 50 mm de ancho. Pintadas en amarillo/negro o rojo/blanco.
- Indicadores luminosos. Para señalización en situaciones de escasa visibilidad.

### Señales luminosas

Aparecen como superficies luminosas, bien porque estén iluminadas posteriormente, bien porque estén pintadas en material fotoluminiscente. En el primero de los casos, la fuente de alimentación ha de ser independiente del alumbrado general.

### Alumbrado de emergencia

Es necesario que la instalación disponga de alumbrado de emergencia que actúe automáticamente cuando falle el alumbrado general. Debe tener una potencia mínima de  $0,5 \text{ W/m}^2$  y cumplir las funciones de alumbrado ambiental, de circulación y de reconocimiento de obstáculos. Sobre el difusor de luz se pueden colocar indicadores de seguridad.

## 5. SEGURIDAD EN EL ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS

La forma de almacenar la glicerina técnica se hará conforme a la ITC MIE-APQ 1, referente a líquidos inflamables y combustibles, del RD 379/2001, de 6 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.

En primer lugar se tienen en cuenta dos consideraciones:

- El almacenamiento se realiza en una zona restringida y separada del resto de equipos, como se comentó anteriormente
- El tanque contiene aproximadamente 8 m<sup>3</sup> de glicerina

Además es importante conocer qué tipo de producto es la glicerina. El RD 379/2001 clasifica los productos según su punto de inflamación:

- Clase A: Productos licuados cuya presión absoluta de vapor a 15 °C sea superior a 1 bar.

Según la temperatura a la que se los almacena pueden ser considerados como:

- Subclase A: Productos de la clase A que se almacenan licuados a una temperatura inferior a 0 °C
  - Subclase A2: Productos de la clase A que se almacenan licuados en otras condiciones
- 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:

- Subclase B1: Productos de clase B cuyo punto de inflamación es inferior a 38 °C.
- Subclase B2.-Productos de clase B cuyo punto de inflamación es igual o superior a 38 °C e inferior a 55°C.
  
- Clase C: Productos cuyo punto de inflamación está comprendido entre 55 °C y 100 °C.
  
- Clase D: Productos cuyo punto de inflamación es superior a 100 °C.

El punto de inflamación de la glicerina es de 160 °C, por lo que se trata de un producto de clase D.

Conocidos todos los datos anteriores, se puede definir cómo debe ser el almacenamiento, según el RD 379/2001.

Por otro lado, las disoluciones de regeneración de ácido clorhídrico y de hidróxido sódico no requieren medidas de seguridad especiales en su almacenamiento, ya que se utilizan para regenerar las resinas, por lo que prácticamente no existe peligro de derrame. Con respecto a las disoluciones de cloruro potásico y de fosfato trisódico, se trata de disoluciones de sales, por lo que tampoco suponen un riesgo para la instalación.

Como medidas de seguridad para estos cuatro tanques, únicamente se instalan extintores adecuados al tipo de fuego.

## 5.1. CUBETO DE RETENCIÓN PARA EL TANQUE T-01

Para una mayor seguridad en el almacenamiento del producto, el RD 379/2001 exige la instalación de un cubeto de retención que contenga el recipiente.

Se detallan las consideraciones más relevantes a tener en cuenta para el diseño del cubeto de retención:

1. La distancia en proyección horizontal entre la pared del recipiente y el borde interior inferior del cubeto será, como mínimo, de 1 metro. Para productos de la clase D, esta distancia puede reducirse dejando una anchura mínima útil de paso de 0,8 metros.
2. El fondo del cubeto tendrá una pendiente de forma que todo el producto derramado escurra rápidamente hacia una zona del cubeto lo más alejada posible de la proyección de los recipientes, de las tuberías y de los órganos de mando de la red de incendios.
3. Las paredes de los cubetos deberán ser de materiales no combustibles, estancas y resistir la altura total del líquido a cubeto lleno.
4. Los cubetos deben permanecer estancos incluso durante un incendio, admitiéndose un tratamiento especial del suelo, si es preciso.
5. En todos los casos deben existir accesos normales y de emergencia con un mínimo de dos y un número tal que no haya que recorrer una distancia superior a 50 metros hasta alcanzar el acceso desde cualquier punto del interior del cubeto.
6. Las paredes del cubeto deben tener una altura máxima de 1,8 metros, con respecto al nivel interior, para lograr una buena ventilación.

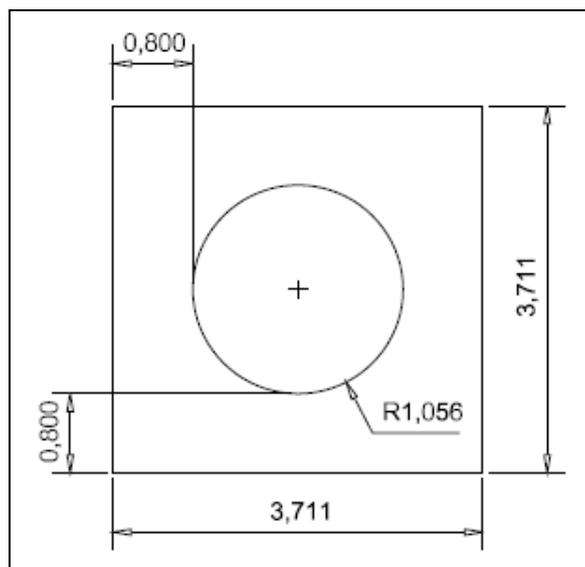
7. Como mínimo, la cuarta parte de la periferia del cubeto debe ser accesible por dos vías diferentes. Estas vías deberán tener una anchura de 2,5 metros y una altura libre de 4 metros, como mínimo, para permitir el acceso de vehículos de lucha contra incendios.
8. Se prohíbe, en el interior de los cubetos, el empleo permanente de mangueras flexibles. Su utilización se limitará a operaciones de corta duración.
9. Las tuberías no deben atravesar más cubeto que el del recipiente o recipientes a los cuales estén conectadas.
10. El paso de las tuberías a través de las paredes de los cubetos deberá hacerse de forma que su estanquidad e integridad quede asegurada mediante dispositivos resistentes al fuego.

### **5.1.1. Diseño del cubeto**

Se trata de un diseño básico, donde se definen la capacidad y dimensiones del cubeto.

#### Dimensiones del cubeto

Conocido el diámetro externo del tanque,  $D_{EXT} = 2,111$  m (ver anexo 1), y la distancia que debe haber entre las paredes del tanque y las paredes interiores del cubeto (0,8 m), se definen sus dimensiones, las cuales se muestran en el esquema.



### Capacidad del cubeto

Para definir la capacidad o volumen ( $v$ ) del cubeto, no se considera la pendiente del suelo ni la inclinación de sus paredes. Además se tiene en cuenta que la altura de las paredes del cubeto es de 0,8 metros. El volumen del cubeto será:

$$v = (3,711 \cdot 3,711 \cdot 0,80) = 11,02 \text{ m}^3$$

Si la altura de las paredes del cubeto fuera mayor, el volumen real de este se calcularía restándole el volumen del tanque que quedaría sumergido en el cubeto (ver Plano nº 8).

El volumen del cubeto resultante es suficiente para contener todo el producto almacenado en el tanque,  $8,05 \text{ m}^3$  (ver anexo 1).

## 6. FICHAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

A continuación se muestran las fichas técnicas de seguridad de los compuestos que se manejan en la instalación de purificación.



Fichas Internacionales de Seguridad Química

### GLICEROL

ICSC: 0624

GLICEROL  
Glicerina  
1,2,3-Propanotriol  
1,2,3-Trihidroxipropano  
 $C_3H_8O_3/CH_2OH-CHOH-CH_2OH$   
Masa molecular: 92.09

Nº CAS 56-81-5  
Nº RTECS MA8050000  
Nº ICSC 0624

**TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION  
PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS  
PREVENCION  
PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS**

#### INCENDIO

Combustible.  
Evitar llama abierta.  
Polvos, espuma resistente al alcohol, pulverización de agua, dióxido de carbono.

#### EXPLOSION

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.

#### EXPOSICION

¡EVITAR LA PRODUCCION DE NIEBLAS!

- **INHALACION**

Tos, dificultad respiratoria.

Ventilación.

Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someter a atención médica.

- **PIEL**

Piel seca.

Guantes protectores.

Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.

- **OJOS**

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.

- **INGESTION**

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.

## **DERRAMES Y FUGAS ALMACENAMIENTO ENVASADO Y ETIQUETADO**

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.

### **DATOS IMPORTANTES**

#### **ESTADO FISICO; ASPECTO**

Líquido incoloro viscoso, higroscópico.

#### **PELIGROS QUIMICOS**

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.

#### **LIMITES DE EXPOSICION**

TLV (como TWA): 10 mg/m<sup>3</sup> (nieblas) (ACGIH 1990-1991).

#### **VIAS DE EXPOSICION**

La sustancia se puede absorber por inhalación de sus nieblas.

#### **RIESGO DE INHALACION**

La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire por pulverización.

#### **EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION**

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.

**EFFECTOS DE EXOSICION PROLONGADA O REPETIDA: No hallado**

**PROPIEDADES FISICAS**

Punto de ebullición (se descompone): 290°C  
Punto de fusión: 18-20°C  
Densidad relativa (agua = 1): 1.261  
Solubilidad en agua: Muy buena  
Presión de vapor, Pa a 20°C: <0.1  
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.17  
Punto de inflamación: 160°C  
Temperatura de autoignición: 400°C  
Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 0.9-?

**NOTAS**

La alerta por el olor es insuficiente cuando se supera el valor límite de exposición.

Código NFPA: H 1; F 1; R 0;

**ICSC: 0624**

**GLICEROL**

© CCE, IPCS, 1994

**Ficha de Datos de Seguridad**  
**Según Directiva 2001/58/CE**

## Potasio *di*-Hidrógeno Fosfato

### 1. Composición/Información de los componentes

Denominación: Potasio di-Hidrógeno Fosfato  
Fórmula:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  M.=136,09 CAS [7778-77-0]  
Número CE (EINECS): 231-913-4

### 2. Identificación de los peligros

Sustancia no peligrosa según Directiva 67/548/CEE.

### 3. Primeros auxilios

#### 3.1 Indicaciones generales:

En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.

#### 3.2 Inhalación:

Trasladar a la persona al aire libre.

#### 3.3 Contacto con la piel:

Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas.

#### 3.4 Ojos:

Lavar con agua abundante manteniendo los párpados abiertos.

#### 3.5 Ingestión:

Beber agua abundante. En caso de malestar, pedir atención médica.

### 4. Medidas de lucha contra incendio

#### 4.1 Medios de extinción adecuados:

Los apropiados al entorno.

#### 4.2 Medios de extinción que NO deben utilizarse:

-----

#### 4.3 Riesgos especiales:

Incombustible.

#### 4.4 Equipos de protección:

-----

### 5. Medidas a tomar en caso de vertido accidental

#### 5.1 Precauciones individuales:

-----

**5.2 Precauciones para la protección del medio ambiente:**

-----

**5.3 Métodos de recogida/limpieza:**

Recoger en seco y depositar en contenedores de residuos para su posterior eliminación de acuerdo con las normativas vigentes.

Limpiar los restos con agua abundante.

**6. Controles de exposición/protección personal**

**6.1 Medidas técnicas de protección:**

-----

**6.2 Control límite de exposición:**

-----

**6.3 Protección respiratoria:**

En caso de formarse polvo, usar equipo respiratorio adecuado.

**6.4 Protección de las manos:**

Usar guantes apropiados

**6.5 Protección de los ojos:**

-----

**6.6 Medidas de higiene particulares:**

Quitarse las ropas contaminadas. Lavarse las manos antes de las pausas y al finalizar el trabajo.

**6.7 Controles de la exposición del medio ambiente:**

Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente.

El proveedor de los medios de protección debe especificar el tipo de protección que debe usarse para la manipulación del producto, indicando el tipo de material y, cuando proceda, el tiempo de penetración de dicho material, en relación con la cantidad y la duración de la exposición.

**7. Propiedades físicas y químicas**

Aspecto: Sólido blanco.

Olor: Inodoro.

~4,4(50g/l)

Punto de fusión: >252°C (desc.)

Densidad: 2,34

Solubilidad: 222 g/l en agua a 20°C

**8. Estabilidad y reactividad**

**8.1 Condiciones que deben evitarse:**

-----

**8.2 Materias que deben evitarse:**

-----

**8.3 Productos de descomposición peligrosos:**

-----

**8.4 Información complementaria:**

-----

**9. Información toxicológica**

**9.1 Toxicidad aguda:**

-----

**9.2 Efectos peligrosos para la salud:**

Baja toxicidad.

Por absorción de grandes cantidades: náuseas, vómitos, dolores de estómago, desarreglos intestinales.

Por contacto ocular: Irritaciones.

Observar las precauciones habituales en el manejo de productos químicos.

**10. Información Ecológica**

**10.1 Movilidad :**

-----

**10.2 Ecotoxicidad :**

-----

**10.3 Degradabilidad :**

-----

**10.4 Acumulación :**

-----

**10.5 Otros posibles efectos sobre el medio natural :**

Manteniendo las condiciones adecuadas de manejo no cabe esperar problemas ecológicos. Debido a la presencia de fósforo puede favorecer la eutrofia en las zonas de vertido.

**11. Consideraciones sobre la eliminación**

**11.1 Sustancia o preparado:**

En la Unión Europea no están establecidas pautas homogéneas para la eliminación de residuos químicos, los cuales tienen carácter de residuos especiales, quedando sujetos su tratamiento y eliminación a los reglamentos internos de cada país. Por tanto, en cada caso, procede contactar con la autoridad competente, o bien con los gestores legalmente autorizados para la eliminación de residuos.

2001/573/CE: Decisión del Consejo, de 23 de julio de 2001, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE de la Comisión en lo

relativo a la lista de residuos.

Directiva 91/156/CEE del Consejo de 18 de marzo de 1991 por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos.

En España: Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. Publicada en BOE 22/04/98.

ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. Publicada en BOE 19/02/02.

#### **11.2 Envases contaminados:**

Los envases y embalajes contaminados de sustancias o preparados peligrosos, tendrán el mismo tratamiento que los propios productos contenidos.

Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases.

En España: Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. Publicada en BOE 25/04/97.

Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. Publicado en BOE 01/05/98.

### **12. Información relativa al transporte**

-----

### **13. Información reglamentaria**

Etiquetado según Directiva de la CE

-----

### **14. Otras informaciones**

Número y fecha de la revisión: 0 18.12.02

Los datos consignados en la presente Ficha de Datos de Seguridad, están basados en nuestros actuales conocimientos, teniendo como único objeto informar sobre aspectos de seguridad y no garantizándose las propiedades y características en ella indicadas.

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

### HIDROXIDO DE SODIO

ICSC: 0360



**HIDROXIDO DE SODIO**  
 Hidróxido sódico  
 Sosa cáustica  
 Sosa  
 NaOH  
 Masa molecular: 40.0

Nº CAS 1310-73-2  
 Nº RTECS WB4900000  
 Nº ICSC 0360  
 Nº NU 1823  
 Nº CE 011-002-00-6



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar el suficiente calor para producir la ignición de sustancias combustibles.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
<b>EXPLOSION</b>			
<b>EXPOSICION</b>		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
<b>INHALACION</b>	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
<b>PIEL</b>	Corrosivo. Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.

<b>OJOS</b>	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
<b>INGESTION</b>	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.	No comer, ni beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.
<b>DERRAMAS Y FUGAS</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>	
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente adecuado, eliminar el residuo con agua abundante. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de ácidos fuertes, metales, alimentos y piensos, materiales combustibles. Mantener en lugar seco y bien cerrado (véanse Notas).	No transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 35 S: (1/2-)-26-37/39-45 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II	
<b>VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE</b>			
<b>ICSC: 0360</b>	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994		

<b>D A T O S  I M P O R T A N T E S</b>	<b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b>	<b>VIAS DE EXPOSICION</b>
	<b>PELIGROS FISICOS</b>	<b>RIESGO DE INHALACION</b>
	<b>PELIGROS QUIMICOS</b>	<b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b>
	<b>LIMITES DE EXPOSICION</b>	<b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b>
	Sólido blanco, deliquescente en diversas formas e inodoro.	La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.
		La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.
	La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva en ambientes húmedos para metales tales como cinc, aluminio, estaño y plomo originando hidrógeno (combustible y explosivo). Ataca a algunas formas de plástico, de caucho y de recubrimientos. Absorbe rápidamente dióxido de carbono y agua del aire. Puede generar calor en contacto con la humedad o el agua.	Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).
	TLV: 2 mg/m <sup>3</sup> (valor techo) (ACGIH 1992-1993). PDK no establecido. MAK: clase G	El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	Punto de ebullición: 1390°C Punto de fusión: 318°C Densidad relativa (agua = 1): 2.1	Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 Presión de vapor, kPa a 739°C: 0.13
<b>DATOS AMBIENTALES</b>	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.	
<b>NOTAS</b>		
<p>El valor límite de exposición laboral aplicable no debe superarse en ningún momento de la exposición en el trabajo. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Almacenar en una área que disponga de un suelo de hormigón, resistente a la corrosión.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-121 Código NFPA: H 3; F 0; R 1;</p>		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
FISQ: 3-134 HIDROXIDO DE SODIO		
ICSC: 0360		<b>HIDROXIDO DE SODIO</b>
© CCE, IPCS, 1994		
<b>NOTA LEGAL 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).	

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

**CLORURO DE HIDROGENO**

**ICSC: 0163**





**CLORURO DE HIDROGENO**  
 Acido clorhídrico, anhidro  
 Cloruro de hidrógeno, anhidro  
 HCl  
 Masa molecular: 36.5

Nº CAS 7647-01-0  
 Nº RTECS MW4025000  
 Nº ICSC 0163  
 Nº NU 1050  
 Nº CE 017-002-00-2



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
<b>EXPLOSION</b>			En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
<b>EXPOSICION</b>		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
<b>INHALACION</b>	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta. (Síntomas no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
<b>PIEL</b>	Corrosivo. Quemaduras cutáneas graves, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.

<b>OJOS</b>	Corrosivo. Dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
<b>INGESTION</b>			
<b>DERRAMAS Y FUGAS</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>	
Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar gas con agua pulverizada. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes, metales. Mantener en lugar bien ventilado.	CE: símbolo C símbolo T R: 23-35 S: (1/2)-9-26-36/37/39-45 Clasificación de Peligros NU: 2.3 Riesgos Subsidiarios NU: 8 	
<b>VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE</b>			
<b>ICSC: 0163</b>		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

<b>D A T O S  I M P O R T A N T E S</b>	<p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Gas licuado comprimido incoloro, de olor acre.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS</b> El gas es más denso que el aire.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b> La disolución en agua es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva. Reacciona violentamente con oxidantes formando gas tóxico de cloro. En contacto con el aire desprende humos corrosivos de cloruro de hidrógeno. Ataca a muchos metales formando hidrógeno.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV: 5 ppm; 7.5 mg/m<sup>3</sup> (valor techo) (ACGIH 1993-1994).</p>	<p><b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b> Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> Corrosivo. La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de altas concentraciones del gas puede originar edema pulmonar (véanse Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> La sustancia puede afectar el pulmón, dando lugar a bronquitis crónica. La sustancia puede causar erosiones dentales.</p>
---	--	---

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	Punto de ebullición a 101.3 kPa: -85°C Punto de fusión: -114°C Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 72	Solubilidad en agua: Elevada Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.3 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.25
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
<b>NOTAS</b>		
<p>El valor límite de exposición laboral aplicable no debe superarse en ningún momento de la exposición en el trabajo. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. NO pulverizar con agua sobre la botella que tenga un escape (para evitar la corrosión de la misma). Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-135 Código NFPA: H 3; F 0; R 0;</p>		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
FISQ: 3-072 CLORURO DE HIDROGENO		
<b>ICSC: 0163</b>		<b>CLORURO DE HIDROGENO</b>
© CCE, IPCS, 1994		
<b>NOTA LEGAL 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).	

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO ORTOFOSFORICO

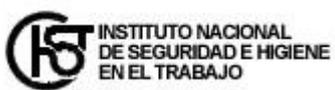
ICSC: 1008








MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA



**ACIDO ORTOFOSFORICO**  
 Acido fosfórico  
 $H_3PO_4$   
 Masa molecular: 98.0

Nº CAS 7664-38-2  
 Nº RTECS TB6300000  
 Nº ICSC 1008  
 Nº NU 1805  
 Nº CE 015-011-00-6



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. En contacto con metales produce gas de hidrógeno el cual forma mezclas inflamables con el aire.	NO poner en contacto con metales, aldehídos, cianidas, mercaptanos y sulfuros.	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
<b>EXPLOSION</b>			En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
<b>EXPOSICION</b>		¡EVITAR TODO CONTACTO!	

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

<b>INHALACION</b>	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta, pérdida del conocimiento. (Síntomas no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y proporcionar asistencia médica. Respiración artificial si estuviera indicada.
<b>PIEL</b>	Enrojecimiento, dolor, ampollas.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
<b>OJOS</b>	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
<b>INGESTION</b>	Calambres abdominales, sensación de quemazón, confusión, dificultad respiratoria, dolor de garganta, pérdida del conocimiento, debilidad.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, guardar reposo y proporcionar asistencia médica.

<b>DERRAMAS Y FUGAS</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, neutralizar cuidadosamente el residuo, recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).	Separado de alimentos y piensos, metales, alcoholes, aldehídos, ésteres, fenoles, cetonas, sulfuros, cianuros, peróxidos orgánicos. Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado.	No transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 34 S: (1/2-)26-45 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: III CE:



**VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE**

**ICSC: 1008**

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

<b>D A T O S I M P O R T A N T E S</b>	<p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Cristales higroscópicos, incoloros.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS</b></p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b> La sustancia polimeriza violentamente bajo la influencia de compuestos azo, epóxidos y otros compuestos polimerizables. Por combustión, formación de humos tóxicos (óxidos de fósforo). La sustancia se descompone en contacto con metales, alcoholes, aldehídos, cianuros, cetonas, fenoles, ésteres, sulfuros, halogenados orgánicos, produciendo humos tóxicos. La sustancia es moderadamente ácida. Ataca a los metales formando gas inflamable de hidrógeno.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV(como TWA): 1 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH 1995-1996). TLV (como STEL): 3 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH 1995-1996). MAK no establecido.</p>	<p><b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b> Por evaporación de esta sustancia a 20°C no se alcanza, o se alcanza sólo muy lentamente, una concentración nociva en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar (véanse Notas). La exposición puede producir la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b></p>
	<p><b>PROPIEDADES FISICAS</b></p> <p>Punto de fusión: 42°C Densidad relativa (agua = 1): 1.88 Solubilidad en agua: Muy elevada</p>	<p>Presión de vapor, Pa a 20°C: 4 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4</p>
<b>DATOS AMBIENTALES</b>	<p>Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial al agua y al aire.</p>	
<b>NOTAS</b>		
<p>Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadir MUY LENTAMENTE el ácido al agua mezclando continuamente.</p> <p style="text-align: right;">Código NFPA: H 2; F 0; R 0;</p>		

<b>INFORMACION ADICIONAL</b>	
FISQ: 4-012 ACIDO ORTOFOSFORICO	
<b>ICSC: 1008</b>	<b>ACIDO ORTOFOSFORICO</b>
© CCE, IPCS, 1994	
<b>NOTA LEGAL 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).

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

**CLORURO DE POTASIO**

**ICSC: 1450**



KCl  
Masa molecular: 74.6

Nº ICSC 1450  
Nº CAS 7447-40-7  
Nº RTECS TS8050000

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
<b>INHALACION</b>	Tos. Dolor de garganta.	Extracción localizada.	Aire limpio, reposo.
<b>PIEL</b>		Guantes protectores.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
<b>OJOS</b>	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
<b>INGESTION</b>	Diarrea. Náuseas. Vómitos. Debilidad. Convulsiones.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!). Dar a beber agua abundante. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente. Recoger cuidadosamente el residuo, trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: respirador de filtro P1 contra partículas inertes).	Mantener en lugar seco.	NU (transporte): No clasificado  CE: No clasificado
<b>VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE</b>		
<b>ICSC: 1450</b>	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2003	

<b>D A T O S I M P O R T A N T E S</b>	<p><b>ESTADO FISICO: ASPECTO:</b> Cristales incoloros,higroscópicos.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS:</b></p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS:</b></p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION:</b> TLV no establecido.</p>	<p><b>VIAS DE EXPOSICION:</b> La sustancia se puede absorber por ingestión .</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION:</b> La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire cuando se dispersa, especialmente si está en forma de polvo.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION:</b> La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio . La sustancia puede causar efectos en sistema cardiovascular, dando lugar a arritmia cardíaca, cuando se ingiere en grandes cantidades.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA:</b></p>
--	--	---

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	Punto de sublimación: 1500°C Punto de fusión: 770-773°C Densidad: 1.98 g/cm <sup>3</sup>	Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: elevada
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
<b>NOTAS</b>		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: <a href="http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm">http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm</a>		Última revisión IPCS: 2003 Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003
<b>ICSC: 1450</b>		<b>CLORURO DE POTASIO</b>
© CE, IPCS, 2003		
<b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b>	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

ORTOFOSFATO DE TRISODIO

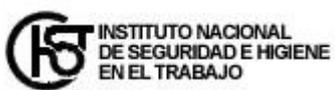
ICSC: 1178








**MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA**



**ORTOFOSFATO DE TRISODIO**  
 Fosfato sódico tribásico  
 Fosfato trisódico  
 $\text{Na}_3\text{PO}_4$   
 Masa molecular: 163.9

Nº CAS 7601-54-9  
 Nº RTECS TC9490000  
 Nº ICSC 1178

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
<b>EXPLOSION</b>			
<b>EXPOSICION</b>		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
<b>INHALACION</b>	Sensación de quemazón, tos, jadeo, dolor de garganta.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y proporcionar asistencia médica.
<b>PIEL</b>	Quemaduras cutáneas, dolor, ampollas.	Traje de protección.	Aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa y proporcionar asistencia médica.

<b>OJOS</b>	Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
<b>INGESTION</b>	Dolor abdominal, sensación de quemazón, shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber agua abundante, reposo y proporcionar asistencia médica.
<b>DERRAMAS Y FUGAS</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>	
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de ácidos fuertes. Mantener en lugar seco y bien cerrado.		
<b>VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE</b>			
<b>ICSC: 1178</b>	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994		

<b>D A T O S I M P O R T A N T E S</b>	<p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Cristales entre incoloro y blancos.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS</b></p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b> La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo humos tóxicos y corrosivos, incluyendo óxidos de fósforo. La disolución en agua es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva. Ataca a muchos metales en presencia de agua.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV no establecido.</p>	<p><b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b> La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire cuando se dispersa.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del polvo puede originar edema pulmonar (véanse Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b></p>	
	<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	Punto de fusión (se descompone): 75°C      Solubilidad en agua, g/100 ml: 8.8 Densidad relativa (agua = 1): 2.5	
	<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
	<b>NOTAS</b>		
<p>Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada.</p>			
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>			
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">FISQ: 5-148 ORTOFOSFATO DE TRISODIO</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>		FISQ: 5-148 ORTOFOSFATO DE TRISODIO	
FISQ: 5-148 ORTOFOSFATO DE TRISODIO			

**ICSC: 1178**

**ORTOFOSFATO DE TRISODIO**

© CCE, IPCS, 1994

**NOTA LEGAL  
IMPORTANTE:**

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).



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN  
DE GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO  
EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

ANEXO 3:  
ANEXO GRÁFICO

Solubility of Various Compounds in Glycerine					Solubility of Various Compounds in Glycerine				
Substance	Glycerine Concentration % Weight	Temp. °C	Solubility in Parts per 100 Parts of solvent	Ref.†	Substance	Glycerine Concentration % Weight	Temp. °C	Solubility in Parts per 100 Parts of solvent	Ref.†
Alum	NS	15	40	6	Phenylethyl alcohol	NS	15	1.5	1
Ammonium carbonate	NS	15	20	8	Phosphorus	NS	15	ca. 0.25	8
	99.04	20	19.8	9	Potassium arsenate	NS	15	50.13	8
	87.27	20	13.7	9	Potassium bromide	NS	15	25	6
Ammonium chloride	NS	15	20.06	8		98.5	-	17.15	4
Anisic aldehyde	NS	15	0.1	1		86.5	-	20.59	4
Arsenic acid	NS	15	20	6	Potassium chlorate	NS	15	3.54	8
Arsenious acid	NS	15	20	6		98.5	-	1.03	4
Atropine	NS	15	3	5		86.5	-	1.32	4
Atropine sulfate	99.04	20	45.2	9	Potassium chloride	NS	15	3.72	8
	87.27	20	45.8	9	Potassium cyanide	NS	15	31.84	8
Barium chloride	NS	15	9.73	8	Potassium iodate	NS	15	1.9	5
Benzoic acid	98.5	-	2	4	Potassium iodide	NS	15	39.72	8
	95.1	23	2.01	—		98.5	-	50.7	4
	90	23	1.74	—		86.5	-	58.27	4
	86.5	-	1.18	4	Quinine	NS	15	0.47	8
	75	23	1.02	—	Quinine sulfate	98.5	-	1.32	4
	50	23	0.06	—		86.5	-	0.72	4
Benzyl acetate	NS	15	0.1	1	Quinine tannate	NS	15	0.25	5
Boric acid	98.5	20	24.8	4		99.04	20	2.8	9
	86.5	20	13.79	4		87.27	20	2.45	9
Brucine	NS	15	2.25	5	Salicin	NS	15	12.5	5
Calcium hydroxide	35	25	1.3	2	Salicylic acid	98.5	-	1.63	4
Calcium hypophosphite	99.04	20	2.5	9		86.4	-	0.985	4
	87.27	20	3.2	9	Santonin	NS	15	6	5
Calcium oleate	45	15	1.18	6	Sodium arsenate	NS	15	50	8
Calcium sulfate	NS	15	5.17	8		99.04	20	64	9
Calcium sulfide	NS	15	5	6		87.27	20	44	9
Cinchonine	NS	15	0.3	5	Sodium bi-borate	98.5	-	111.15	4
Cinchonine sulfate	NS	15	6.7	5		86.5	-	89.36	4
Cinnamic aldehyde	NS	15	0.1	1	Sodium bicarbonate	NS	15	8.06	8
Codeine hydrochloride	99.04	20	11.1	9	Sodium tetraborate (borax)	NS	15	60	8
	87.27	20	4.7	9	Sodium carbonate (crystals)	NS	15	98.3	8
Copper acetate	NS	15	10	6	Sodium chlorate	NS	15	20	5
Copper sulfate	NS	15	30	6	Sodium hypophosphite	99.04	20	32.7	9
Ethyl acetate	99.04	20	1.9	9		87.27	20	42.2	9
	87.27	20	1.8	9	Sodium pyrophosphate	87.27	20	9.6	9
Ethyl ether	99.04	20	0.65	9	Sodium sulfate - 12H <sub>2</sub> O	100	25	8.1	10
	87.27	20	0.38	9	Stearic acid	99.04	20	0.089	9
Eugenol	NS	15	0.1	1		87.27	20	0.066	9
Ferrous sulfate	NS	15	25	6	Strychnine	NS	15	0.25	5
Guaiacol	99.04	20	13.1	9	Strychnine nitrate	NS	15	4	5
	87.27	20	9.05	9	Strychnine sulfate	NS	15	22.5	5
Guaiacol carbonate	99.04	20	0.043	9	Sulfur	NS	15	ca. 0.1	8
	87.27	20	0.039	9	Tannic acid	NS	15	48.8	6
Iodine	NS	15	2	8	Tannin	NS	15	48.83	8
Iodoform	95	15	0.12	3	Tartar emetic	NS	15	5.5	5
Iron and potassium tartrate	NS	15	8	5	Theobromine	99.04	20	0.028	9
Iron lactate	NS	15	16	5		87.27	20	0.017	9
Iron oleate	45	15	0.71	8	Urea	NS	15	50	5
Lead acetate	NS	15	10	8	Zinc chloride	NS	15	49.87	8
	98.5	-	143	4	Zinc iodide	NS	15	39.78	8
	86.5	-	129.3	4	Zinc sulfate	NS	15	35.18	8
Lead sulfate	NS	15	30.3	8	Zinc valerate	99.04	20	0.336	9
Magnesium oleate	45	15	0.94	6		87.27	20	0.382	9
Mercuric chloride	NS	15	8	8					
Mercurous chloride	NS	15	7.5	5					
Mercurous cyanide	NS	15	27	5					
Morphine	NS	15	0.45	5					
Morphine acetate	NS	15	20	5					
Morphine hydrochloride	NS	15	20	5					
Novocaine	99.04	20	11.2	9					
	87.27	20	7.8	9					
Oxalic acid	NS	15	15.1	6					
Pentaerythritol	100	100	9.3	Anon.					
Phenacetin	99.04	20	0.47	9					
	87.27	20	0.3	9					
Phenol	99.04	20	276.4	9					
	87.27	20	361.8	9					

NS - Glycerine content not specified, probably 95 to 100 percent.

†References for Table

- (1) Allen's Commercial Organic Analysis, Fourth ed, p. 461. P. Blakiston's Son & Co., Philadelphia (1923).
- (2) Cameron, F.K., and Patten, H.E., *J. Phys. Chem.* 15, 67-72 (1911).
- (3) Chiara, P., *Giorn. farm. chim.*, 66, 94-96 (1917).
- (4) Holm, K., *Pharm. Weekblad*, 58, 860-862 (1921); *ibid.* 1033-1037 (1921)
- (5) Lawrie, J.W., "Glycerol and the Glycols," p. 232. New York, The Chemical Catalog Co. Inc. (Reinhold Publishing Corp.) 1928.
- (6) Lewkowitzsch, J., "Chemical Technology and Analysis of Fats and Waxes," Sixth ed., p. 254. London, MacMillan & Co. Ltd. (1921).
- (7) Noble, M. V., and Garrett, A. B., *J. Am. Chem. Soc.*, 66, 231-235 (1944).
- (8) Ossendovsky, A. M., *J. Russ. Phys. Chem. Soc.*, 37, 1071 (1906). Through Mac Artile, D. W., "The Use of Solvents in Organic Chemistry," p. 80. New York, D. van Nostrand Co., Inc. (1925).
- (9) Roborgh, J. A., *Pharm. Weekblad*, 64, 1205-1209 (1927).
- (10) Schnellbach, W. and Rosin, J., *J. Am. Pharm. Assoc.*, 18, 1230-1235 (1929).

Figura 3.1. Solubilidad de varios compuestos en glicerina [39]

COMPUESTOS SOLUBLES	EXCEPCIONES
Compuestos que contengan iones de metales alcalinos ( $\text{Li}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Rb}^+$ , $\text{Cs}^+$ ) y el ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ )	
Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y cloratos ( $\text{ClO}_3^-$ )	
Haluros ( $\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{I}^-$ )	Haluros de $\text{Ag}^+$ , $\text{Hg}_2^{2+}$ , y $\text{Pb}^{2+}$
Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	Sulfatos de $\text{Ag}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ y $\text{Pb}^{2+}$
COMPUESTOS INSOLUBLES	EXCEPCIONES
Carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), cromatos ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), sulfuros ( $\text{S}^{2-}$ )	Compuestos que contengan iones de metales alcalinos y el ion amonio
Hidróxidos ( $\text{OH}^-$ )	Compuestos que contengan iones de metales alcalinos y el ion $\text{Ba}^{2+}$

Figura 3.2. Reglas de solubilidad para compuestos iónicos en agua a 25°C [7]

Glycerine % Wt.	20°C	25°C <sup>(2)</sup>	40°C	60°C	80°C	100°C
0	80.37	78.50	73.12	66.62	60.58	55.10
10	77.55	75.70	70.41	63.98	58.31	—
20	74.72	72.90	67.70	61.56	56.01	—
30	71.77	70.00	64.87	58.97	53.65	—
40	68.76	67.10	62.03	56.24	51.17	—
50	65.63	64.00	59.55	53.36	48.52	—
60	62.03	60.00	55.48	50.17	45.39	41.08
70	57.06	55.60	51.41	46.33	41.90	38.07
80	52.27	50.60	46.92	42.32	38.30	34.70
90	46.98	45.50	42.26	38.19	34.47	31.34
96	43.50	42.30	39.30	35.60	32.20	29.30
100	41.14	40.10	37.30	33.82	30.63	27.88

<sup>(1)</sup>Current Frequency =  $2 \times 10^6$  cycles/s.  
<sup>(2)</sup>Note: The data for 25°C were obtained by interpolation.

Figura 3.3. Constante dieléctrica de disoluciones acuosas de glicerina [39]

Viscosity of Aqueous Glycerine Solutions in Centipoises/mPa s											
Glycerine per cent weight	Temperatur e (°C)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0 <sup>(1)</sup>	1.792	1.308	1.005	0.8007	0.6560	0.5494	0.4688	0.4061	0.3565	0.3165	0.2838
10	2.44	1.74	1.31	1.03	0.826	0.680	0.575	0.500	-	-	-
20	3.44	2.41	1.76	1.35	1.07	0.879	0.731	0.635	-	-	-
30	5.14	3.49	2.50	1.87	1.46	1.16	0.956	0.816	0.690	-	-
40	8.25	5.37	3.72	2.72	2.07	1.62	1.30	1.09	0.918	0.763	0.668
50	14.6	9.01	6.00	4.21	3.10	2.37	1.86	1.53	1.25	1.05	0.910
60	29.9	17.4	10.8	7.19	5.08	3.76	2.85	2.29	1.84	1.52	1.28
65	45.7	25.3	15.2	9.85	6.80	4.89	3.66	2.91	2.28	1.86	1.55
67	55.5	29.9	17.7	11.3	7.73	5.50	4.09	3.23	2.50	2.03	1.68
70	76	38.8	22.5	14.1	9.40	6.61	4.86	3.78	2.90	2.34	1.93
75	132	65.2	35.5	21.2	13.6	9.25	6.61	5.01	3.80	3.00	2.43
80	255	116	60.1	33.9	20.8	13.6	9.42	6.94	5.13	4.03	3.18
85	540	223	109	58	33.5	21.2	14.2	10.0	7.28	5.52	4.24
90	1310	498	219	109	60.0	35.5	22.5	15.5	11.0	7.93	6.00
91	1590	592	259	127	68.1	39.8	25.1	17.1	11.9	8.62	6.40
92	1950	729	310	147	78.3	44.8	28.0	19.0	13.1	9.46	6.82
93	2400	860	367	172	89	51.5	31.6	21.2	14.4	10.3	7.54
94	2930	1040	437	202	105	58.4	35.4	23.6	15.8	11.2	8.19
95	3690	1270	523	237	121	67.0	39.9	26.4	17.5	12.4	9.08
96	4600	1580	624	281	142	77.8	45.4	29.7	19.6	13.6	10.1
97	5770	1950	765	340	166	88.9	51.9	33.6	21.9	15.1	10.9
98	7370	2460	939	409	196	104	59.8	38.5	24.8	17.0	12.2
99	9420	3090	1150	500	235	122	69.1	43.6	27.8	19.0	13.3
100	12070	3900	1410	612	284	142	81.3	50.6	31.9	21.3	14.8

<sup>(1)</sup>Viscosity of water taken from "Properties of Ordinary Water-Substance." N.E. Dorsey, p. 184. New York (1940)

Figura 3.4. Viscosidad de disoluciones acuosas de glicerina [39]

Volatility Properties of Glycerine-Water Solutions		
Parts by Weight of Glycerine in 100 Parts of Aqueous Solution	Boiling Point at 760 mm Hg (°C) <sup>(1)</sup>	Vapor Pressure of Glycerine Solution at 100°C (mm) Hg <sup>(1)</sup>
100	290.0	64
99	239.0	87
98	208.0	107
97	188.0	126
96	175.0	144
95	164.0	162
94	156.0	180
93	150.0	198
92	145.0	215
91	141.0	231
90	138.0	247
89	135.0	263
88	132.5	279
87	130.5	295
86	129.0	311
85	127.5	326
84	126.0	340
83	124.5	355
82	123.0	370
81	122.0	384
80	121.0	396
79	120.0	408
78	119.0	419
77	118.2	430
76	117.4	440
75	116.7	450
74	116.0	460
73	115.4	470
72	114.8	480
71	114.2	489
70	113.6	496
65	111.3	553
60	109.0	565
55	107.5	593
50	106.0	618
45	105.0	639
40	104.0	657
35	103.4	675
30	102.8	690
25	102.3	704
20	101.8	717
10	100.9	740
0	100.0	760

<sup>(1)</sup>1 mm Hg = 0.1333 kPa

Vapor Pressure of Pure Glycerine										
mm Hg	1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
°C	125.5	153.8	167.2	182.2	198.0	208.0	220.1	240.0	263.0	290.0

Figura 3.5. Punto de ebullición y presión de vapor de disoluciones acuosas de glicerina [39]

**A.2.5 Capacidad calorífica del agua líquida a 101.325 kPa (1 atm)**

Temperatura		Capacidad calorífica, $c_p$		Temperatura		Capacidad calorífica, $c_p$	
°C	K	cal/g · °C	kJ/kg · K	°C	K	cal/g · °C	kJ/kg · K
0	273.15	1.0080	4.220	50	323.15	0.9992	4.183
10	283.15	1.0019	4.195	60	333.15	1.0001	4.187
20	293.15	0.9995	4.185	70	343.15	1.0013	4.192
25	298.15	0.9989	4.182	80	353.15	1.0029	4.199
30	303.15	0.9987	4.181	90	363.15	1.0050	4.208
40	313.15	0.9987	4.181	100	373.15	1.0076	4.219

Referencia: N. S. Osborne, H. F. Stimson y D. C. Ginnings, *Bur. Standards J. Res.*, 23, 197 (1939).

Figura 3.6. Capacidad calorífica del agua líquida a 1 atm [4]

**A.2-12 Propiedades de transferencia de calor del vapor de agua a 101.32 kPa (1 atm abs)**

**UNIDADES SI**

$T$ (°C)	$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg·K)	$\mu \times 10^3$ (Pa·s, o kg/m·s)	$k$ (W/m·K)	$N_{Pr}$	$\beta \times 10^3$ (1/K)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/K·m <sup>3</sup> )
100.0	373.2	0.596	1.888	1.295	0.02510	0.96	2.68	$0.557 \times 10^8$
148.9	422.1	0.525	1.909	1.488	0.02960	0.95	2.38	$0.292 \times 10^8$
204.4	477.6	0.461	1.934	1.682	0.03462	0.94	2.09	$0.154 \times 10^8$
260.0	533.2	0.413	1.968	1.883	0.03946	0.94	1.87	$0.0883 \times 10^8$
315.6	588.8	0.373	1.997	2.113	0.04448	0.94	1.70	$52.1 \times 10^5$
371.1	644.3	0.341	2.030	2.314	0.04985	0.93	1.55	$33.1 \times 10^5$
426.7	699.3	0.314	2.068	2.529	0.05556	0.92	1.43	$21.6 \times 10^5$

Figura 3.7. Propiedades de transferencia de calor del vapor de agua a 1 atm [4]

Temperatura (°C)	Presión de vapor (kPa)	Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)		Entalpía (kJ/kg)		Entropía (kJ/kg · K)	
		Líquido	Vapor saturado	Líquido	Vapor saturado	Líquido	Vapor saturado
0.01	0.6113	0.0010002	206.136	0.00	2501.4	0.0000	9.1562
3	0.7577	0.0010001	168.132	12.57	2506.9	0.0457	9.0773
6	0.9349	0.0010001	137.734	25.20	2512.4	0.0912	9.0003
9	1.1477	0.0010003	113.386	37.80	2517.9	0.1362	8.9253
12	1.4022	0.0010005	93.784	50.41	2523.4	0.1806	8.8524
15	1.7051	0.0010009	77.926	62.99	2528.9	0.2245	8.7814
18	2.0640	0.0010014	65.038	75.58	2534.4	0.2679	8.7123
21	2.487	0.0010020	54.514	88.14	2539.9	0.3109	8.6450
24	2.985	0.0010027	45.883	100.70	2545.4	0.3534	8.5794
25	3.169	0.0010029	43.360	140.89	2547.2	0.3674	8.5580
27	3.567	0.0010035	38.774	113.25	2550.8	0.3954	8.5156
30	4.246	0.0010043	32.894	125.79	2556.3	0.4369	8.4533
33	5.034	0.0010053	28.011	138.33	2561.7	0.4781	8.3927
36	5.947	0.0010063	23.940	150.86	2567.1	0.5188	8.3336
40	7.384	0.0010078	19.523	167.57	2574.3	0.5725	8.2570
45	9.593	0.0010099	15.258	188.45	2583.2	0.6387	8.1648
50	12.349	0.0010121	12.032	209.33	2592.1	0.7038	8.0763
55	15.758	0.0010146	9.568	230.23	2600.9	0.7679	7.9913
60	19.940	0.0010172	7.671	251.13	2609.6	0.8312	7.9096
65	25.03	0.0010199	6.197	272.06	2618.3	0.8935	7.8310
70	31.19	0.0010228	5.042	292.98	2626.8	0.9549	7.7553
75	38.58	0.0010259	4.131	313.93	2635.3	1.0155	7.6824
80	47.39	0.0010291	3.407	334.91	2643.7	1.0753	7.6122
85	57.83	0.0010325	2.828	355.90	2651.9	1.1343	7.5445
90	70.14	0.0010360	2.361	376.92	2660.1	1.1925	7.4791
95	84.55	0.0010397	1.9819	397.96	2668.1	1.2500	7.4159
100	101.35	0.0010435	1.6729	419.04	2676.1	1.3069	7.3549
105	120.82	0.0010475	1.4194	440.15	2683.8	1.3630	7.2958
110	143.27	0.0010516	1.2102	461.30	2691.5	1.4185	7.2387
115	169.06	0.0010559	1.0366	482.48	2699.0	1.4734	7.1833
120	198.53	0.0010603	0.8919	503.71	2706.3	1.5276	7.1296
125	232.1	0.0010649	0.7706	524.99	2713.5	1.5813	7.0775
130	270.1	0.0010697	0.6685	546.31	2720.5	1.6344	7.0269
135	313.0	0.0010746	0.5822	567.69	2727.3	1.6870	6.9777
140	316.3	0.0010797	0.5089	589.13	2733.9	1.7391	6.9299
145	415.4	0.0010850	0.4463	610.63	2740.3	1.7907	6.8833
150	475.8	0.0010905	0.3928	632.20	2746.5	1.8418	6.8379
155	543.1	0.0010961	0.3468	653.84	2752.4	1.8925	6.7935
160	617.8	0.0011020	0.3071	675.55	2758.1	1.9427	6.7502
165	700.5	0.0011080	0.2727	697.34	2763.5	1.9925	6.7078
170	791.7	0.0011143	0.2428	719.21	2768.7	2.0419	6.6663
175	892.0	0.0011207	0.2168	741.17	2773.6	2.0909	6.6256
180	1002.1	0.0011274	0.19405	763.22	2778.2	2.1396	6.5857
190	1254.4	0.0011414	0.15654	807.62	2786.4	2.2359	6.5079
200	1553.8	0.0011565	0.12736	852.45	2793.2	2.3309	6.4323
225	2548	0.0011992	0.07849	966.78	2803.3	2.5639	6.2503
250	3973	0.0012512	0.05013	1085.36	2801.5	2.7927	6.0730
275	5942	0.0013168	0.03279	1210.07	2785.0	3.0208	5.8938
300	8581	0.0010436	0.02167	1344.0	2749.0	3.2534	5.7045

Figura 3.8. Propiedades del vapor saturado y del agua (tablas de vapor) [4]

Enfriadores		
Fluido caliente	Fluido frío	$U_D$ total
<b>Agua</b>	<b>Agua</b>	250500 †
Metanol	<b>Agua</b>	<b>250-500 †</b>
Amoniaco	<b>Agua</b>	250500 †
Soluciones acuosas	<b>Agua</b>	<b>250-500 †</b>
Sustancias orgánicas ligeras 1	<b>Agua</b>	75-150
Sustancias orgánicas medias 2	<b>Agua</b>	<b>50-125</b>
Sustancias orgánicas pesadas 3	<b>Agua</b>	<b>5-75</b>
Gases	<b>Agua</b>	2-50
<b>Agua</b>	<b>Salmuera</b>	<b>100-200</b>
Sustancias orgánicas ligeras	<b>Salmuera</b>	<b>40-100</b>

Calentadores		
Fluido caliente	Fluido frío	$U_D$ total
Vapor de agua	Agua	<b>200-700 †</b>
Vapor de agua	Metanol	<b>200-700 †</b>
<b>Vapor</b> de agua	Amoniaco	<b>200-700 †</b>
Vapor de agua	Soluciones acuosas :	
Vapor de agua	menos de 2.0 cp	<b>200-700</b>
Vapor de <b>agua</b>	Más de 2.0 cp	<b>100-500 †</b>
Vapor de agua	Sustancias orgánicas ligeras	50-100
Vapor de agua	Sustancias orgánicas medias	<b>100-200</b>
Vapor de agua	Sustancias <b>orgánicas pesadas</b>	S-50
Vapor de agua	Gases	<b>5-50 †</b>

Intercambiadores		
Fluido caliente	Fluido frío	$U_D$ total
<b>Agua</b>	Agua	<b>250-500 †</b>
Soluciones acuosas	Soluciones acuosas	<b>250-500 †</b>
Sustancias orgánicas ligeras	Sustancias orgánicas ligeras	40-75
Sustancias orgánicas medias	Sustancias orgánicas medias	20-60
Sustancias orgánicas pesadas	Sustancias orgánicas pesadas	<b>10-40</b>
Sustancias orgánicas pesadas	Sustancias <b>orgánicas</b> ligeras	30-60
Sustancias orgánicas ligeras	Sustancias orgánicas pesadas/	10-40

† Las **sustancias orgánicas** ligeras son fluidos con viscosidades menores de 0.5 centipoises e incluyen benceno, tolueno, acetona, etanol, **metil-etil-cetona**, gasolina, **kerosén** y nafta.  
 ‡ Las **sustancias orgánicas** medias tienen viscosidades de 0.5 a 1.0 centipois e incluyen **kerosén**, **strawoil**, **gasoil** caliente, aceite de **absorbedor** caliente y algunos crudos.  
 § **Sustancias orgánicas pesadas** tienen viscosidades mayores de 1.0 centipois e incluyen **gasoil frío**, aceites lubricantes, **petróleo** combustible, **petróleo crudo** reducido, breas y asfaltos.  
 † Factor de **obstrucción** 0.001.  
 ‡ Caída de presión de 20 a 30 lb/plg<sup>2</sup>.  
 § Estas tasas **están** influenciadas grandemente por la presión de **operación**.

Figura 3.9. Valores aproximados del coeficiente total de transmisión de calor ( $U_D$ ) [3]

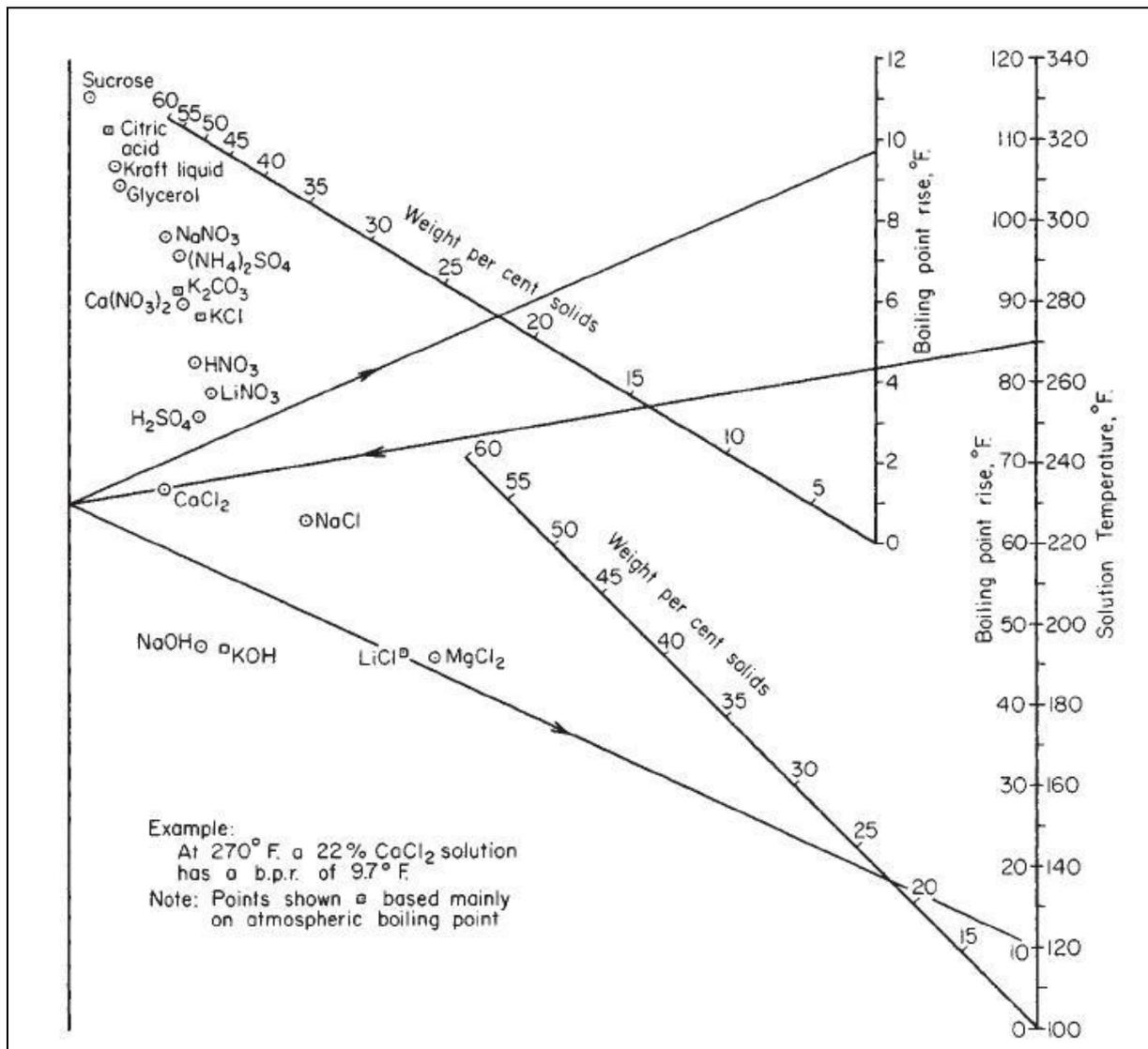


Figura 3.10. Gráfica para determinar la elevación de punto de ebullición de disoluciones acuosas a distintas concentraciones y temperaturas [2]

Coeficientes globales de transmisión de calor para serpentines sumergidos en líquidos				
U expresado en Btu/(h · ft <sup>2</sup> · °F)				
Fluido en el interior del serpentín	Fluido en el exterior del serpentín	Material del serpentín	Agitación	U
Vapor de agua	Agua	Plomo	Agitado	70
Vapor de agua	Disoluciones de azúcar y melazas	Cobre	Ninguna	50-240
Vapor de agua	Disoluciones acuosas en ebullición			600
Agua fría	Intermedio de tinte orgánico diluido	Plomo	Turboagitador a 95 rpm	300
Agua fría	Agua tibia	Hierro forjado	Burbujas de aire en el agua que rodea al serpentín	150-300
Agua fría	Agua caliente	Plomo	Agitador de aspas a 0,40 rpm	90-360
Salmuera	Aminoácidos		30 rpm	100
Agua fría	25 por 100 de óleum a 60 °C	Hierro forjado	Agitado	20
Agua	Disolución acuosa	Plomo	Hélice de manguito a 500 rpm	250
Agua	NaOH al 8 por 100		22 rpm	155
Vapor de agua	Ácidos grasos	Cobre (torta)	Ninguna	96-100
Leche	Agua		Agitado	300
Agua fría	Agua caliente	Cobre	Ninguna	105-180
Agua a 60 °F	Disolución acuosa de azúcar al 50 por 100	Plomo	Ligera	50-60
Vapor e hidrógeno a 150 lb/in <sup>2</sup>	Agua a 60 °F	Acero		100-165
Vapor 110-146 lb/in <sup>2</sup> manométrica	Aceite vegetal	Acero	Ninguna	23-29
Vapor	Accite vegetal	Acero	Diversas	39-72
Agua fría	Accite vegetal	Acero	Diversas	29-72

*Nota:* Chilton, Dew y Jebens [Ind. Eng. Chem., 36, 510 (1944)] ofrecen coeficientes de película para calentamiento y enfriamiento de fluidos agitados con un serpentín en un recipiente calorifugado.

Debido a los muchos factores que afectan a la transmisión de calor, como viscosidad, diferencia de temperaturas y tamaño del serpentín, los valores de esta tabla deben utilizarse, fundamentalmente, para estimaciones preliminares de diseño y verificación de coeficientes calculados.

°C = (°F - 32)/1,8; para convertir unidades térmicas británicas por hora-pie cuadrado-grados Fahrenheit a joules por metro cuadrado-segundo-kelvins, multiplíquese por 5,6783.

Figura 3.11. Coeficientes globales de transmisión de calor para serpentines sumergidos en líquidos [2]

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS				
TIPOS NORMA UW-12	EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es:	a. b. c.		
		Radiografiada totalmente	Examinada por zonas	No Examinada
<p>1</p>  <p>Junta a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70	
<p>2</p>  <p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar. En juntas circunferenciales únicamente</p>	0.90	0.80	0.65	
<p>3</p>  <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60	
<p>4</p>  <p>Junta a traslape de doble filete completo</p>	—	—	0.55	
<p>5</p>  <p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	—	—	0.50	
<p>6</p>  <p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	—	—	0.45	

Figura 3.12. Valor de la eficiencia de soldadura, en función del tipo de junta soldada (Código ASME)

Valores de la eficiencia de la junta, E, y esfuerzo admisible, S*																
Grado de la radiografía	Caso 1				Caso 2				Caso 3				Caso 4			
	Cabezal sin costura		Casco sin costura		Cabezal sin costura		Casco soldado		Cabezal soldado		Casco sin costura		Cabezal soldado		Casco soldado	
	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
Total (RT-1)	1.0	100%	1.0	100%	1.0	100%	1.0	100%	1.0	100%	1.0	100%	1.0	100%	1.0	100%
Punto (RT-3)	1.0	85%	1.0	85%	1.0	85%	.85	100%	.85	100%	1.0	85%	.85	100%	.85	100%
Combinación**	1.0	100%	1.0	100%	1.0	100%	.85	100%	1.0	100%	1.0	100%	1.0	100%	.85	100%
Ninguna	1.0	80%	1.0	80%	1.0	80%	.7	100%	.7	100%	1.0	85%	.7	100%	.7	100%

\* Véase nota 1  
\*\* Véase nota 2

**Notas**

En la tabla 1 las eficiencias de las juntas y los esfuerzos admisibles para los cascos son únicamente para las juntas longitudinales. Se supone que todas las juntas son solamente de tipo 1. Donde se muestre una radiografía de combinación se supone que se cumplen todos los requisitos para el cabezal para una radiografía completa y para el casco es técnica de radiografía por puntos.

Radiografía en combinación: se aplica a recipientes que no son radiografiados totalmente cuando el diseñador desea aplicar una eficiencia en la junta de 1.0 según el código ASME, tabla UW-12, sólo para una parte específica del recipiente. Para que cualquier parte cumpla específicamente este requisito, debe llevarse a cabo lo siguiente:

- (Código ASME, sección UW-11 (5)): Tomar radiografía completamente a cualquier soldadura a tope categoría A o D.
- (Código ASME, sección UW-11 (5)(b)): Tomar radiografía en punto a cualquier soldadura a tope categoría B o C que esté unida a la parte.
- (Código ASME, sección UW-11 (5)(a)): Todas las juntas a tope deben ser de tipo 1.

Cualquier soldadura a tope de categoría B o C en una boquilla o cámara de comunicación de un recipiente o en una parte de recipiente que deba tener una eficiencia de la junta de 1.0 y que exceda ya sea un tamaño nominal de tubo de 10 in o 1 1/8 de in (pulgada) de espesor de la pared debe ser radiografiada completamente. Véase código ASME, Sección UW-11(a)(4).

Figura 3.13. Valores de la eficiencia de la soldadura, E, y de la tensión máxima admisible, S. (Código ASME)

**Fórmulas generales para recipientes**

Parte	Fórmula del esfuerzo	Espesor, t		Presión, P		Esfuerzo, S	
		Diámetro interior	Diámetro exterior	Diámetro interior	Diámetro exterior	Diámetro interior	Diámetro exterior
<b>Casco</b>							
Longitudinal [Sección UG-27(c)(2)]*	$\sigma_t = \frac{PR_m}{2t}$	$\frac{PR}{2SE + 1.4P}$	$\frac{PR_m}{2SE + 1.4P}$	$\frac{2SE}{R_i - .4t}$	$\frac{2SE}{R_o - 1.4t}$	$\frac{P(R_i - .4t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - 1.4t)}{2Et}$
Circunferencial [Sección UG-27(c)(1); Sección 1-1 (a)(1)]*	$\sigma_t = \frac{PR_m}{t}$	$\frac{PR}{SE - .6P}$	$\frac{PR_m}{SE + .4P}$	$\frac{SE}{R_i + .6t}$	$\frac{SE}{R_o - .4t}$	$\frac{P(R_i + .6t)}{Et}$	$\frac{P(R_o - .4t)}{Et}$
<b>Cabezales</b>							
Semiesférico [Sección 1-1(a)(2); Sección UG-27(d)]*	$\sigma_t = \sigma_s = \frac{PR_m}{2t}$	$\frac{PR}{2SE - .2P}$	$\frac{PR_m}{2SE + .8P}$	$\frac{2SE}{R_i + .2t}$	$\frac{2SE}{R_o - .8t}$	$\frac{P(R_i + .2t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - .8t)}{2Et}$
Elipsoidal [Sección 1-4(c)]*	Véase PROCEDIMIENTO 2	$\frac{PD,K}{2SE - .2P}$	$\frac{PD,K}{2SE + 2P(K - .1)}$	$\frac{2SE}{KD + .2t}$	$\frac{2SE}{KD_o - 2t(K - .1)}$	Véase PROCEDIMIENTO 2	Véase PROCEDIMIENTO 2
2:1 SE [Sección UG-32(d)]*	*	$\frac{PD}{2SE - .2P}$	$\frac{PD_o}{2SE + 1.8P}$	$\frac{2SE}{D_i + .2t}$	$\frac{2SE}{D_o - 1.8t}$	*	*
100% - 6% Torisférica [Sección UG-32(e)]*	*	$\frac{.885PL}{SE - .1P}$	$\frac{.885PL_o}{SE + .8P}$	$\frac{SE}{.885L_i + .1t}$	$\frac{SE}{.685L_o - .8t}$	*	*
Torisférica $L_i < 1.6 t$ [Sección 1-4(d)]*	*	$\frac{PL,M}{2SE - .2P}$	$\frac{PL,M}{2SE + P(M - .2)}$	$\frac{2SE}{L_i M + .2t}$	$\frac{2SE}{L_o M - t(M - .2)}$	*	*
<b>Cono</b>							
Longitudinal	$\sigma_t = \frac{PR_m}{2t \cos \alpha}$	$\frac{PD}{4 \cos \alpha (SE + .4P)}$	$\frac{PD_o}{4 \cos \alpha (SE + 1.4P)}$	$\frac{4SE \cos \alpha}{D_i - .8t \cos \alpha}$	$\frac{4SE \cos \alpha}{D_o - 2.8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i - .8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - 2.8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$
Circunferencial [Sección 1-4(e); Sección UG-32(g)]*	$\sigma_t = \frac{PR_m}{t \cos \alpha}$	$\frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - .6P)}$	$\frac{PD_o}{2 \cos \alpha (SE + .4P)}$	$\frac{2SE \cos \alpha}{D_i + 1.2t \cos \alpha}$	$\frac{2SE \cos \alpha}{D_o - .8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i + 1.2t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - .8t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$

\* ASME Boiler and Pressure Vessel Code, sección VIII, división 1, edición de 1983, American Society of Mechanical Engineers.

Figura 3.14. Fórmulas generales para recipientes (Código ASME)

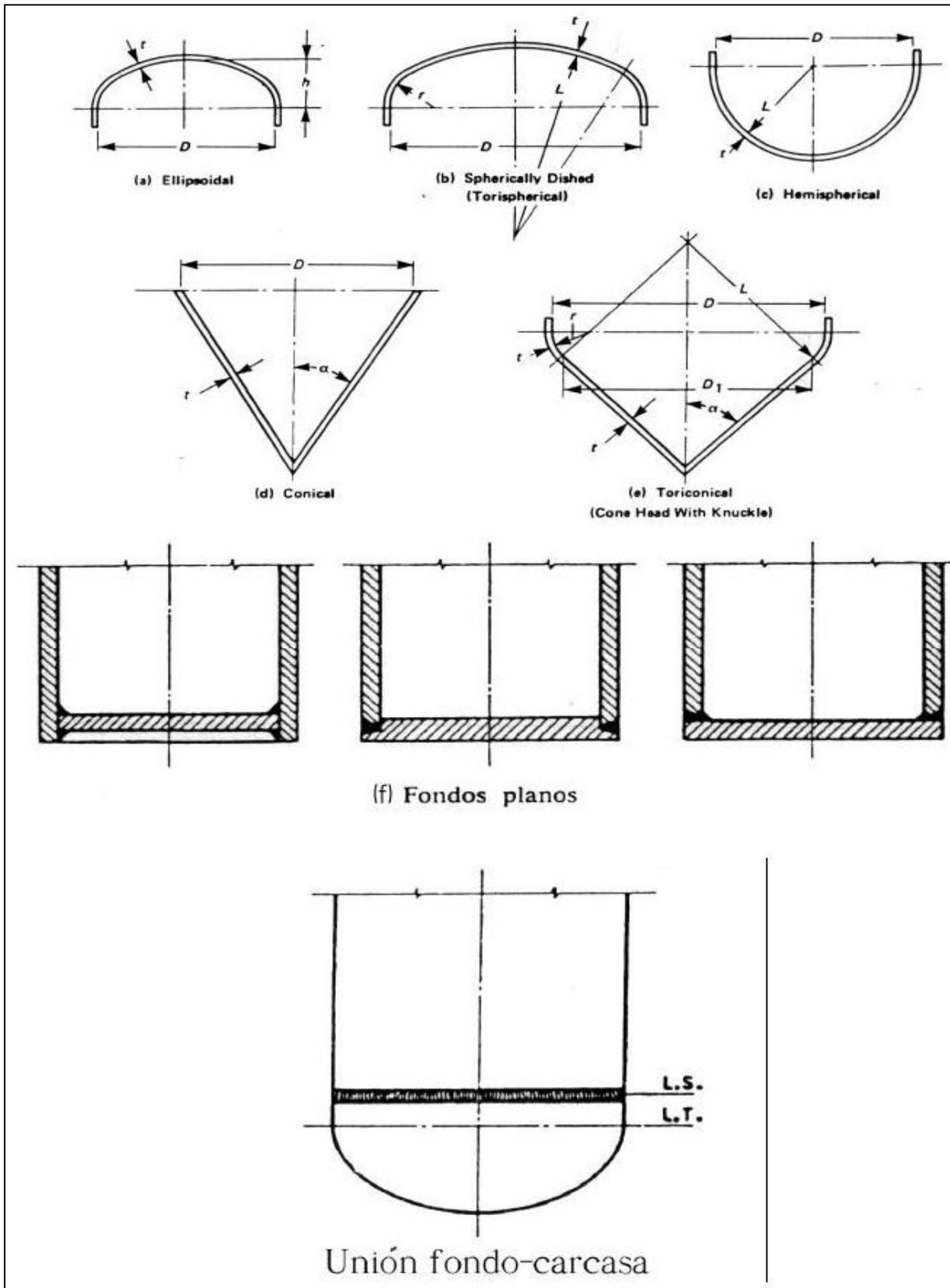


Figura 3.15. Tipos de cabezales o fondos de tanques (Código ASME)

**TABLA 1-1** Tamaños de tubo y espesores de pared nominales generalmente disponibles

Tamaño nominal del tubo	Diámetro exterior (in)	Unidades convencionales								
		Cédula o designación								
		5S	10S	Std	40	XS	80	120	160	XXS
1/8	0.405	0.035	0.049	0.068	0.068	0.095	0.095			
→ 1/4	0.540	0.049	0.065	0.088	0.088	0.119	0.119			
3/8	0.675	0.065	0.065	0.091	0.091	0.126	0.126			
1/2	0.840	0.065	0.083	0.109	0.109	0.147	0.147			
3/4	1.050	0.065	0.083	0.113	0.113	0.154	0.154		0.187	0.294
1	1.315	0.065	0.109	0.133	0.133	0.179	0.179		0.218	0.308
1 1/4	1.660	0.065	0.109	0.140	0.140	0.191	0.191		0.250	0.358
1 1/2	1.900	0.065	0.109	0.145	0.145	0.200	0.200		0.281	0.382
2	2.375	0.065	0.109	0.154	0.154	0.218	0.218		0.281	0.400
2 1/2	2.875	0.083	0.120	0.203	0.203	0.276	0.276		0.344	0.436
3	3.500	0.083	0.120	0.216	0.216	0.276	0.276		0.375	0.552
3 1/2	4.000	0.083	0.120	0.226	0.226	0.300	0.300		0.438	0.600
4	4.500	0.083	0.120	0.237	0.237	0.318	0.318			0.636
5	5.563	0.109	0.134	0.258	0.258	0.337	0.337	0.438	0.531	0.674
6	6.625	0.109	0.134	0.280	0.280	0.375	0.375	0.500	0.625	0.750
8	8.625	0.109	0.148	0.322	0.322	0.432	0.432	0.562	0.719	0.864
10	10.75	0.109	0.148	0.322	0.322	0.500	0.500	0.594	0.906	0.875
12	12.75	0.134	0.165	0.365	0.365	0.500	0.594	0.719	1.125	1.000
14	14.00	0.156	0.165	0.375	0.406	0.500	0.688	0.844	1.312	1.000
16	16.00	0.156	0.250	0.375	0.438	0.500	0.750	1.094	1.406	
18	18.00	0.165	0.250	0.375	0.500	0.500	0.844	1.219	1.594	
20	20.00	0.165	0.188	0.375	0.562	0.500	0.938	1.375	1.781	
24	24.00	0.188	0.250	0.375	0.594	0.500	1.219	1.500	1.969	
>24	24.00	0.218	0.250	0.375	0.688	0.500	1.219	1.812	2.344	
				0.375		0.500				

Figura 3.16. Tamaños de tubos y espesores de pared nominales generalmente disponibles (Sch. N°)

— Vapor de agua saturado o ligeramente recalentado a presión de 0 a 2 Kg/cm <sup>2</sup> ... ..	20 m/seg
— Vapor de agua saturado o ligeramente recalentado a presión de > 2 Kg/cm <sup>2</sup> ... ..	30 m/seg
— Vapor de agua recalentado a presión < 14 Kg/cm <sup>2</sup> ... ..	50 m/seg
— Vapor de agua recalentado a presión > 14 Kg/cm <sup>2</sup> ... ..	50-70 m/seg
— Agua, en servicios normales ... ..	1,2 ÷ 1,8 m/seg
— Amoníaco líquido ... ..	1,8 m/seg
— Amoníaco gas ... ..	30 m/seg
— Aceites ... ..	1,5 m/seg
— Cloro líquido ... ..	1,5 m/seg
— Gas natural ... ..	30 m/seg
— Hidrógeno ... ..	20 m/seg
— Aire (0-2 Kg/cm <sup>2</sup> ) ... ..	20 m/seg
— Oxígeno (temp. ambiente) ... ..	10 m/seg
— Acido sulfúrico ... ..	1,2 m/seg
— Agua de mar (en tubería recubierta de goma) ...	1,5 ÷ 2,4 m/seg
— Agua de mar (en tubería recubierta de cemento).	1,5 ÷ 3,5 m/seg

Figura 3.17. Velocidades medias de circulación de fluidos

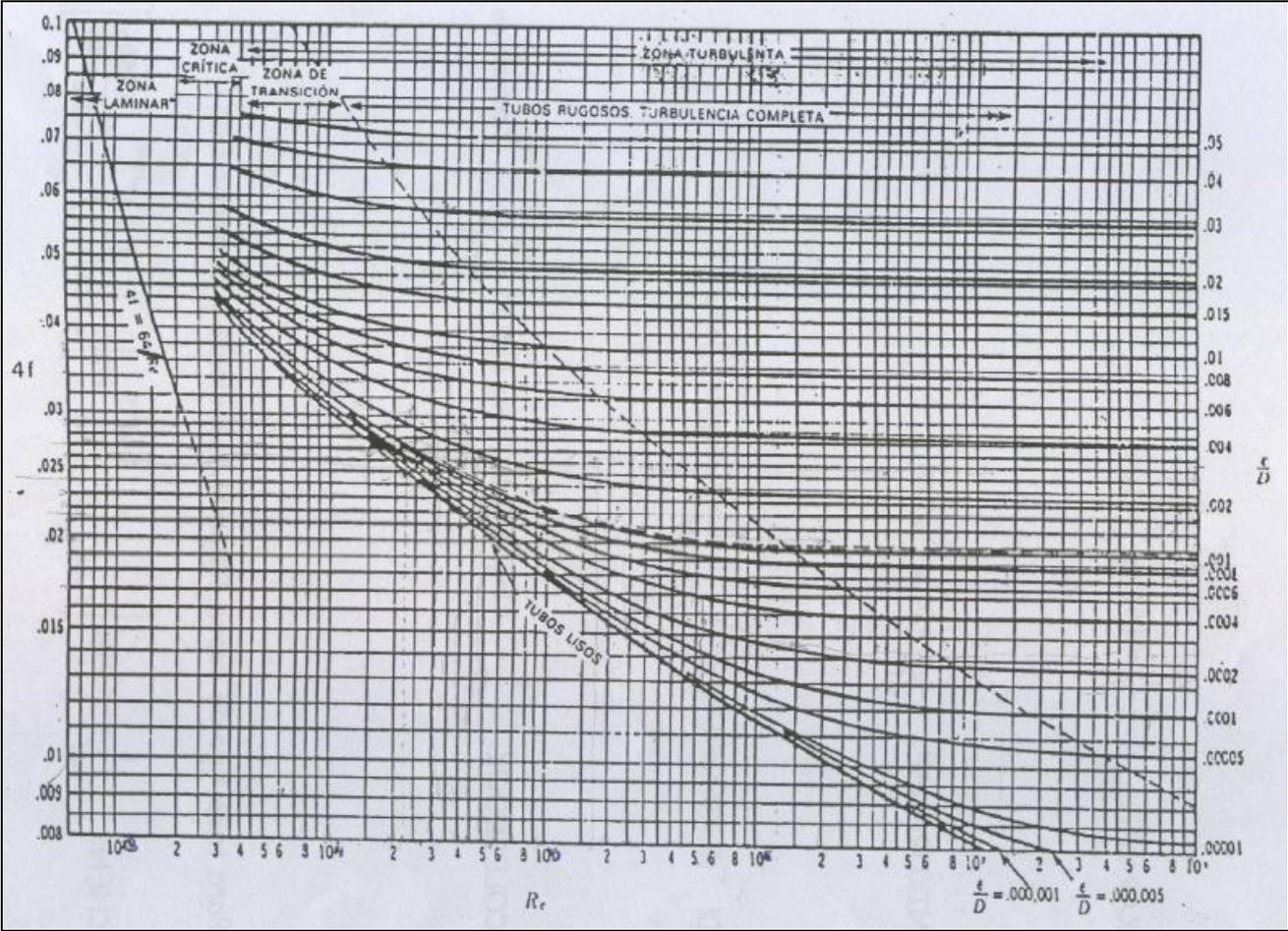


Figura 3.18. Gráfica de Moody para determinar el factor de Darcy ( $4f$ )

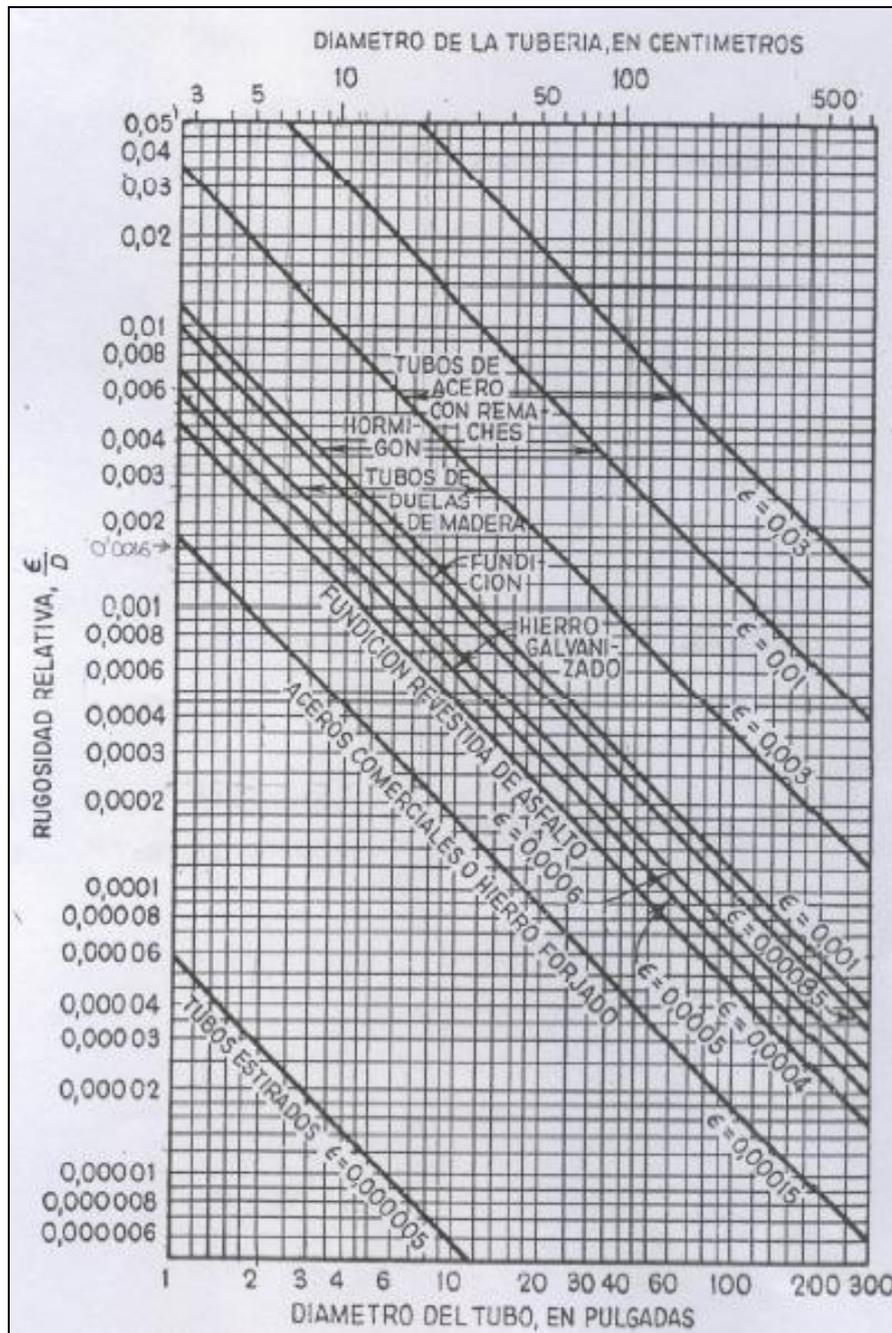


Figura 3.19. Rugosidad relativa

Pérdidas de carga por válvulas y accesorios		Paso																		
		200	150	125	100	80	65	50	40	32	25	20	15	10						
		8"	6"	5"	4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	1"	3/4"	1/2"	1/4"						
Tipo		Paso																		
		200	150	125	100	80	65	50	40	32	25	20	15	10						
<b>COMPUERTA</b>																				
Totally abierta	7.8	6.5	5.85	5.2	4.55	3.9	3.25	2.6	2.0	1.4	0.845	0.65	0.52	0.416	0.325	0.26	0.195	0.13		
3/4 abierta	21	17.5	15.75	14	12.25	10.3	8.75	7	5.4	3.8	2.27	1.75	1.4	1.12	0.87	0.7	0.52	0.35		
1/2 abierta	36	30	27	24	21	18	16	14	12.2	10.4	8	6.4	5.12	4	3.2	2.4	1.6	1.0		
1/4 abierta	54	45	40.5	36	31.5	27	22.5	18	13.5	11.25	9	7.2	5.8	4.64	3.6	2.7	1.8	1.1		
<b>ASIENTO</b>																				
De tapón o bisel	204	170	153	136	119	102	85	68	51	42.5	34	27.2	22.1	17	13.6	10.88	8.5	6.8	5.1	3.4
Con guías	270	225	202.5	180	157.5	135	112.5	90	67.5	56.25	45	36	28	22.5	18	14.4	11.52	9.2	7	5.2
Husillo inclinado 60°	105	87.5	78.75	70	61.25	52.5	43.75	35	26.25	21.87	17.5	14	11.375	9	7.125	5.6	4.37	3.5	2.62	1.75
De ángulo	120	100	90	80	70	60	50	40	30	25	20	16	13.375	10.8	8.64	6.75	5.4	4.32	3.24	2.4
<b>RETENCIÓN</b>																				
De clapeta oscilante	81	67.5	60.75	54	47.25	40.5	33.75	27	20.25	16.81	13.5	10.8	8.77	6.75	5.4	4.32	3.375	2.7	2.02	1.35
De pistón	270	225	202.5	180	157.5	135	112.5	90	67.5	56.25	45	36	28.125	22.5	18	14.4	11.52	9	6.75	5.1
<b>MARIPUSA</b>																				
Totally abierta	19.5	16.25	13	9.75	8.125	6.5	5.2	4.22	3.25	2.6	2.08	1.62	1.3	0.975	0.65	0.6	0.57	0.43	0.25	-
<b>GRIFOS</b>																				
De dos vías	10.8	9	8.1	7.2	6.3	5.4	4.5	3.6	2.7	2.25	1.8	1.44	1.17	0.9	0.72	0.57	0.45	0.36	0.27	0.18
Tres vías, paso recto	26.4	22	19.8	17.6	15.4	13.2	11	8.8	6.6	5.5	4.4	3.52	2.86	2.2	1.76	1.4	1.1	0.83	0.66	0.44
Tres vías, paso angular	84	70	63	56	49	42	35	28	21	17.5	14	11.2	9.1	7	5.6	4.48	3.5	2.8	2.1	1.4
<b>DE PIE</b>																				
Obturador doble ascendente	252	210	189	168	147	126	105	84	63	52.5	42	33.6	27.3	21	16.8	13.44	10.5	8.4	6.3	4.2
Obturador oscilante	45	37.5	33.75	30	26.25	22.5	18.75	15	11.25	9.37	7.5	6	4.87	3.75	3	2.4	1.87	1.12	1.15	0.75
<b>ACCESORIOS</b>																				
Codo a 90°	18	15	13.5	12	10.5	9	7.5	6	4.5	3.75	3	2.4	1.95	1.5	1.2	0.96	0.75	0.6	0.45	0.3
Codo a 45°	9.6	8	7.2	6.4	5.6	4.8	4.0	3.2	2.4	2.0	1.6	1.28	1.04	0.8	0.64	0.51	0.4	0.32	0.24	0.16
T. paso recto	12	10	9	8	7.0	6	5	4	3.0	2.5	2.0	1.6	1.3	1	0.8	0.64	0.5	0.4	0.3	0.2
T. paso angular	36	30	27	24	21	18	15	12	9	7.5	6	4.8	3.9	3	2.4	1.92	1.5	1.2	0.9	0.6
U (codo a 180°)	30	25	22.5	20	17.5	15	12.5	10	7.5	6.25	5	4	3.25	2.5	2.0	1.6	1.25	1.0	0.75	0.5

Las pérdidas de carga están dadas en longitud equivalente en metros de tubería.

Figura 3.20. Pérdidas de carga por accesorios. Longitud equivalente

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)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Min. Temp.		
						Tensile	Yield	to 100	200	300
<b>Carbon Steel</b>										
<b>Pipes and Tubes (2)</b>										
A 285 Gr. A	A 134	1	...	(8b)(57)	B	45	24	15.0	14.6	14.2
A 285 Gr. A	A 672	1	A45	(57)(59)(67)	B	45	24	15.0	14.6	14.2
Butt weld	API 5L	S-1	A25	(8a)	-20	45	25	15.0	15.0	14.5
Smls & ERW	API 5L	S-1	A25	(57)(59)	B	45	25	15.0	15.0	14.5
...	A 179	1	...	(57)(59)	-20	47	26	15.7	15.0	14.2
Type F	A 53	1	Gr. A	(8a)(77)	20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 139	S-1	A	(8b)(77)	A	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 587	1	...	(57)(59)	-20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 53	1	A	(57)(59)	} B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 106	1	A	(57)						
...	A 135	1	A	(57)(59)						
...	A 369	1	FPA	(57)						
...	API 5L	S-1	A	(57)(59)(77)						
A 285 Gr. B	A 134	1	...	(8b)(57)	B	50	27	16.7	16.4	16.0
A 285 Gr. B	A 672	1	A50	(57)(59)(67)	B	50	27	16.7	16.4	16.0
A 285 Gr. C	A 134	1	...	(8b)(57)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A 524	1	Gr. II	(57)	-20	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A 333	1	1	} (57)(59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A 334	1	1							
A 285 Gr. C	A 671	1	CA55	(59)(67)	} A	55	30	18.3	18.3	17.7
A 285 Gr. C	A 672	1	A55	(57)(59)(67)						
A 516 Gr. 55	A 672	1	C55	(57)(67)						
A 516 Gr. 60	A 671	1	CC60	(57)(67)	C	60	32	20.0	19.5	18.9
A 515 Gr. 60	A 671	1	CB60	} (57)(67)	} B	60	32	20.0	19.5	18.9
A 515 Gr. 60	A 672	1	B60							
A 516 Gr. 60	A 672	1	C60							
...	A 139	S-1	B	(8b)	A	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 135	1	B	(57)(59)	} B	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 524	1	Gr. 1	(57)						
...	A 53	1	B	(57)(59)	} B	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 106	1	B	(57)						
...	A 333	} 1	6	(57)						
...	A 334									
...	A 369	1	FPB	(57)						
...	A 381	S-1	Y35	...						
...	API 5L	S-1	B	(57)(59)(77)	} B					

*(continued)*

Table A-1

**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)

400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	Grade	Spec. No.
Carbon Steel														
Pipe and Tubes (2)														
13.7	13.0	11.8	11.6	11.5	10.3	9.0	7.8	6.5	...	...	...	...	...	A 134
13.7	13.0	11.8	11.6	11.5	10.3	9.0	7.8	6.5	4.5	2.5	1.6	1.0	A45	A 672
13.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A25	API 5L
13.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A25	API 5L
13.5	12.8	12.1	11.8	11.5	10.6	9.2	7.9	6.5	4.5	2.5	1.6	1.0	...	A 179
16.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Gr. A	A 53
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A	A 139
16.0	16.0	14.8	14.5	14.4	10.7	9.3	7.9	...	...	...	...	...	...	A 587
16.0	16.0	14.8	14.5	14.4	10.7	9.3	7.9	6.5	4.5	2.5	1.6	1.0	A	A 53
													A	A 106
													A	A 135
													FPA	A 369
													A	API 5L
15.4	14.6	13.3	13.1	13.0	11.2	9.6	8.1	6.5	...	...	...	...	...	A 134
15.4	14.6	13.3	13.1	13.0	11.2	9.6	8.1	6.5	4.5	2.5	1.6	1.0	A 50	A 672
17.2	16.2	14.8	14.5	14.4	12.0	10.2	8.3	6.5	...	...	...	...	...	A 134
17.2	16.2	14.8	14.5	14.4	12.0	10.2	8.3	6.5	4.5	2.5	...	...	Gr. II	A 524
17.2	16.2	14.8	14.5	14.4	12.0	10.2	8.3	6.5	4.5	2.5	1.6	1.0	1	A 333
													1	A 334
													CA55	A 671
													A55	A 672
													C55	A 672
18.3	17.3	15.8	15.5	15.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	...	...	CC60	A 671
18.3	17.3	15.8	15.5	15.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	1.6	1.0	CB60	A 671
													B60	A 672
													C60	A 672
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	B	A 139
20.0	18.9	17.3	17.0	16.5	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	...	...	B	A 135
													Gr. 1	A 524
20.0	18.9	17.3	17.0	16.5	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	1.6	1.0	B	A 53
													B	A 106
													6	A 333
													6	A 334
													FPB	A 369
													Y35	A 381
													B	API 5L

Figura 3.21. Tensión máxima admisible, S, en función del material y de la temperatura

VALUES OF COEFFICIENT Y FOR $t < D/6$						
Materials	Temperature, °C (°F)					
	≤ 482 (900 & Lower)	510 (950)	538 (1000)	566 (1050)	593 (1100)	≥ 621 (1150 & Up)
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.0	...	...	...	...	...

Figura 3.22. Coeficiente Y para el cálculo de espesores mínimos en tuberías



Figura 3.23. Plantas de biodiesel y bioetanol en España en 2007 [31]

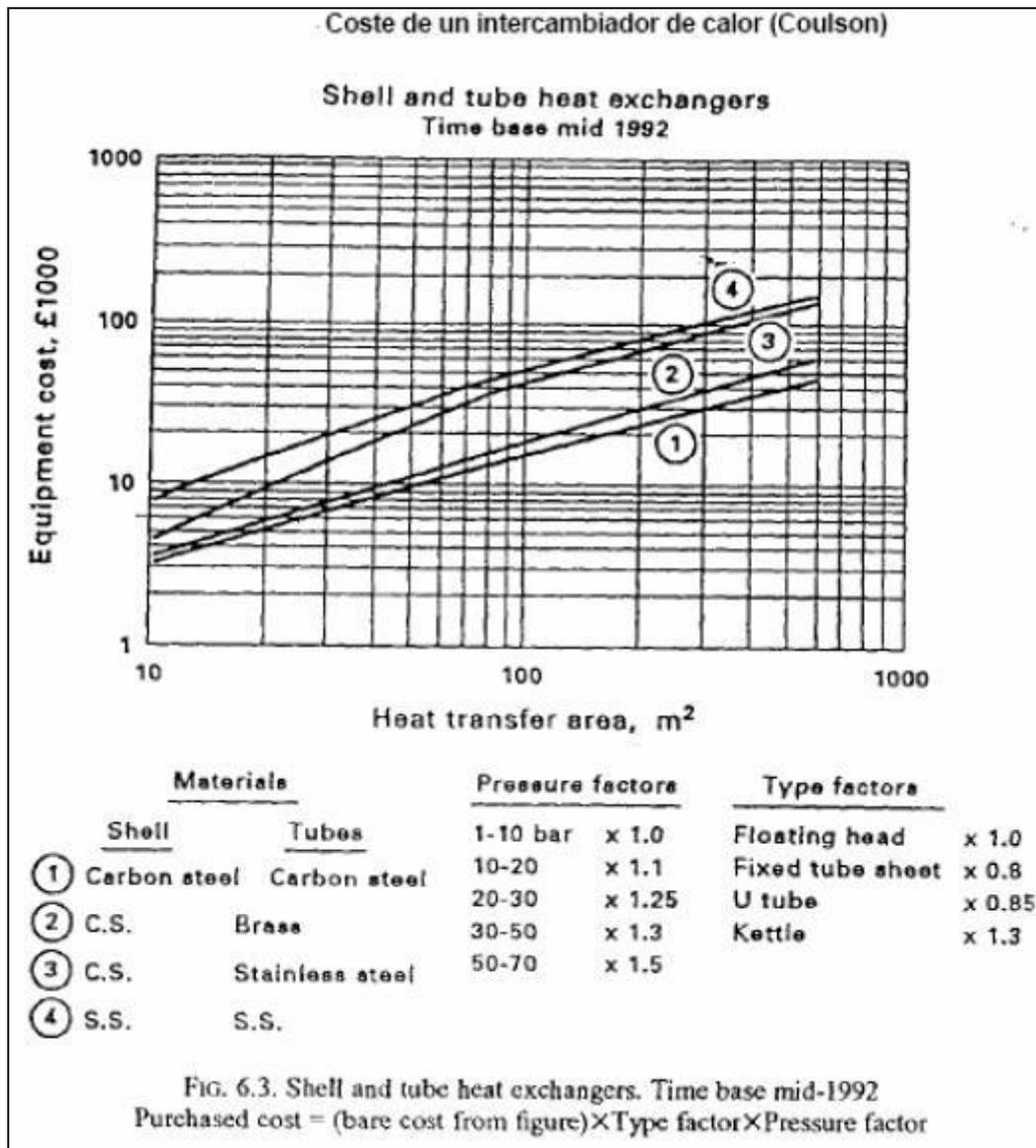


Figura 3.24. Gráfica de costes de intercambiadores de calor de carcasa y tubos [6]

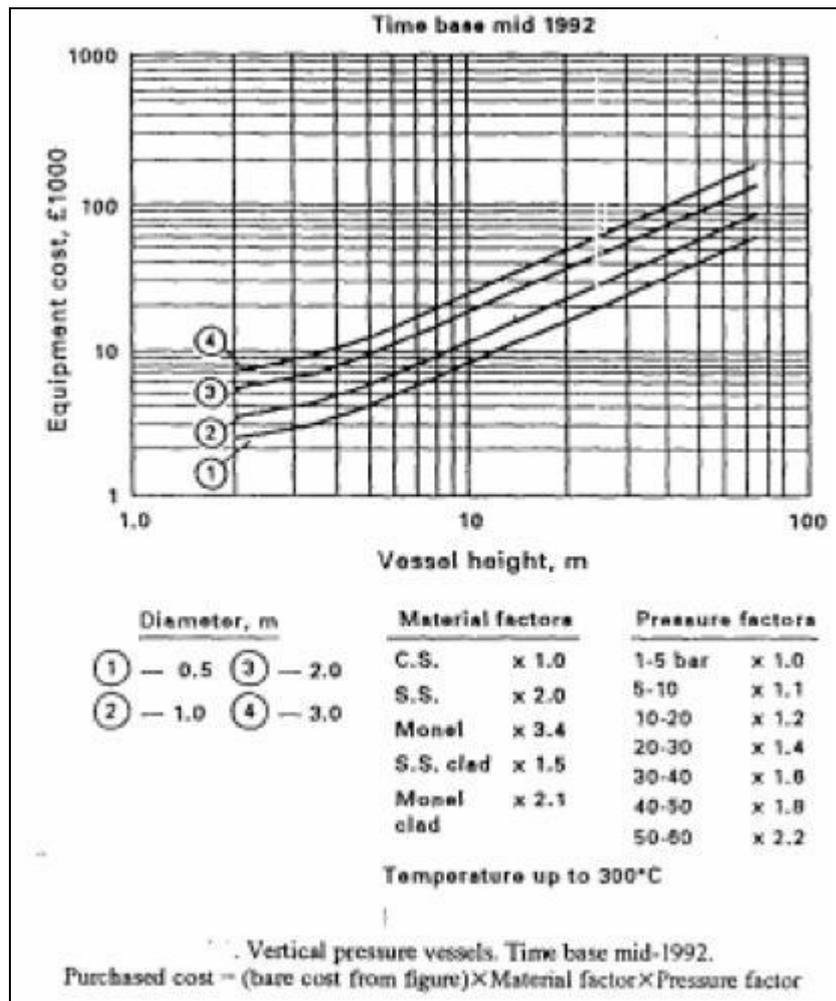


Figura 3.25. Gráfica de costes de recipientes verticales [6]

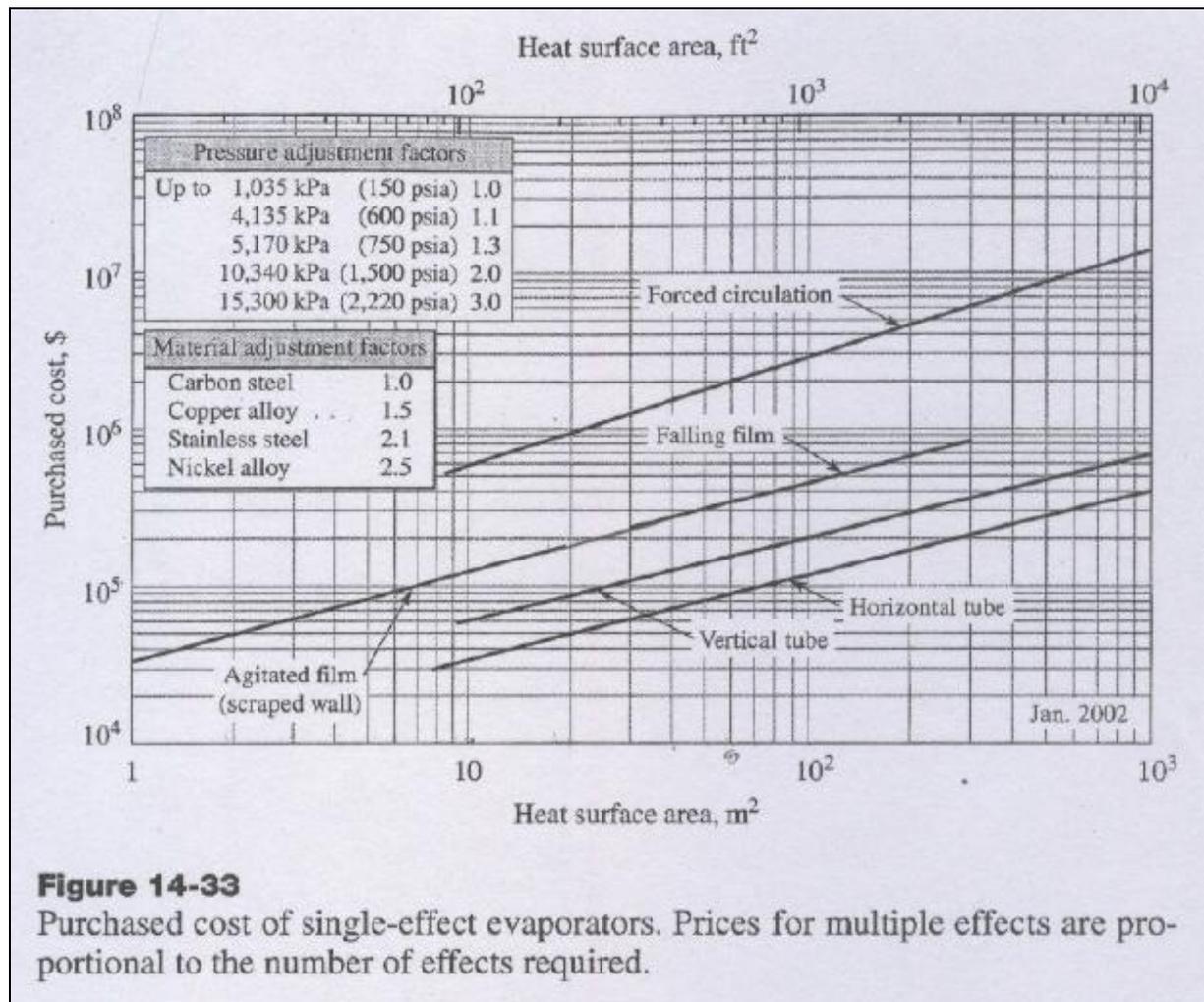


Figura 3.26. Gráfica de costes de evaporadores [10]

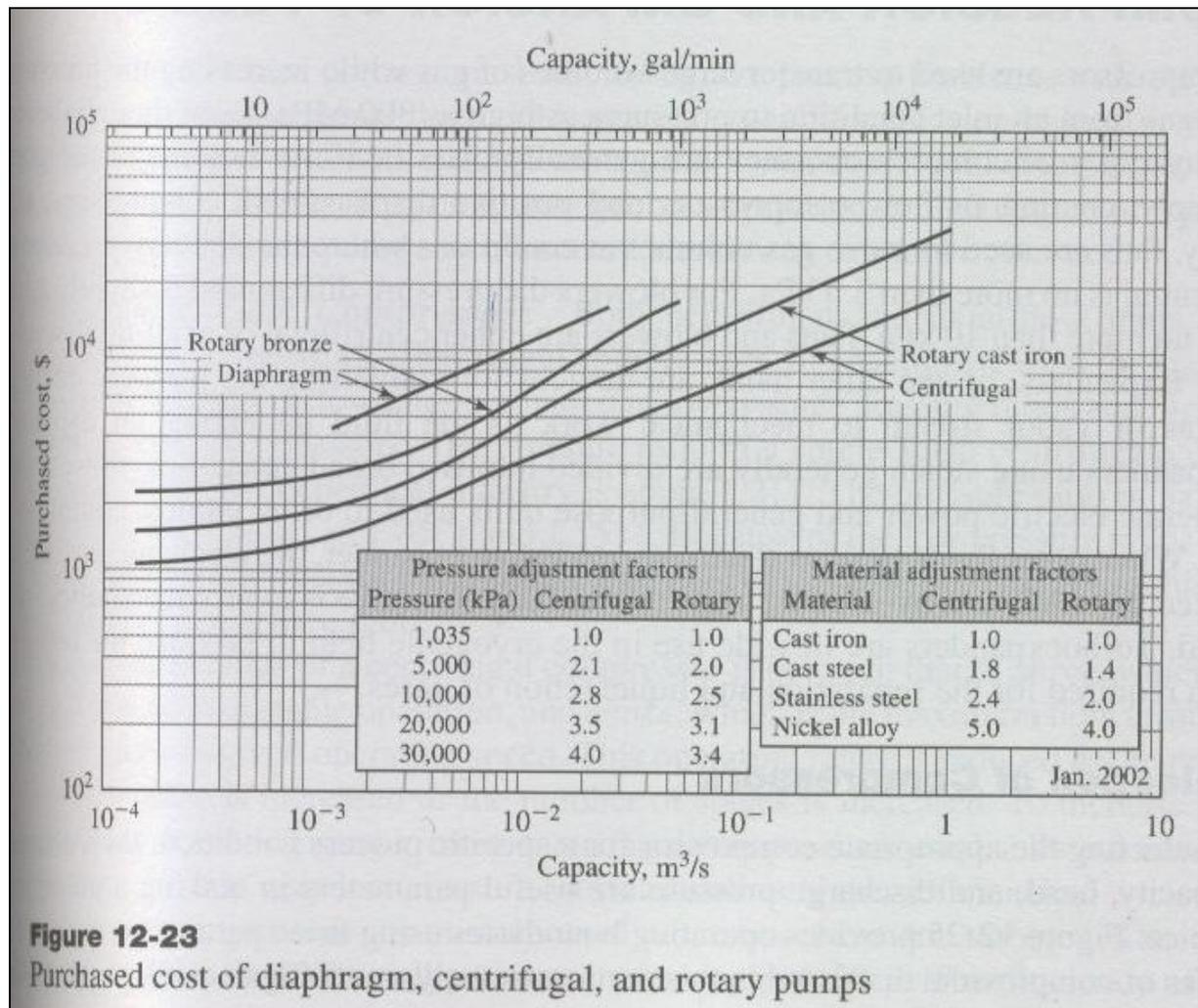


Figura 3.27. Gráfica de costes de bombas [10]

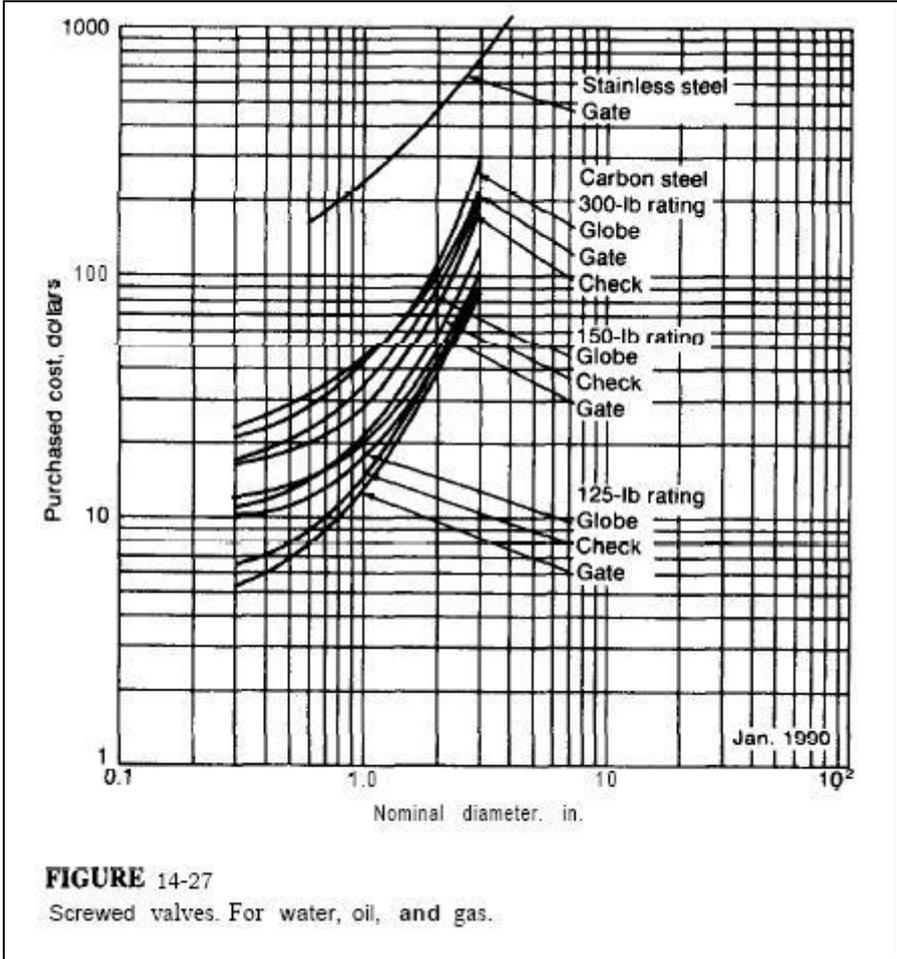


Figura 3.28. Gráfica de costes de válvulas [10]



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN  
DE GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO  
EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

ANEXO 4:  
CATÁLOGOS

## 0. ÍNDICE

<b>0. ÍNDICE</b>	<b>288</b>
<b>1. CATÁLOGO DE LOS EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR</b>	<b>289</b>
<b>2. CATÁLOGO DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO</b>	<b>290</b>
2.1. ALMACENAMIENTO DE LAS RESINAS	290
2.2. TAMAÑOS DE PARTÍCULAS	292
2.3. RESINA CATIONICA	293
2.4. RESINA ANIÓNICA	306
2.5. PRECIOS RESINAS	313
<b>3. CATÁLOGO DISOLUCIONES REGENERANTES</b>	<b>314</b>
<b>4. CATÁLOGO DE AISLANTES DE FIBRA DE VIDRIO</b>	<b>316</b>
<b>5. CATÁLOGO DE LA CALDERA DE VAPOR</b>	<b>323</b>
<b>6. CATÁLOGO DE BOMBAS</b>	<b>325</b>

## 1. CATÁLOGO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

### Basco/Whitlock Type AHT

**API Heat Transfer**

All 316 Stainless Steel, Straight Tube, Fixed Tube Sheet



Basco/Whitlock Type AHT Stainless Steel Heat Exchangers are available from 2" thru 12" in diameter and up to 96" long.

#### High Efficiency - Low Cost

Type AHT heat exchangers feature all 316 Stainless Steel shell construction. They are especially suited for applications involving corrosive vapors and liquids and offers high strength and thermal efficiency. Available in fixed or removable U-tube designs. Models available with ASME Code Stamp.

#### Product Nomenclature

Size...

**5 - Y - 14**

Shell Tube Tube  
Dia. OD Length

Type...

**AHT - 1 - A - SS**

Core Tube Baffle Bonnet  
Assy Pass Space Matl

#### Materials of Construction

Shell ..... 316 Stainless Steel  
Tubes ..... 316 Stainless Steel  
Tube Sheet ..... 316 Stainless Steel  
Bonnets ..... Cast 316 Stainless Steel  
Cast Iron, Cast Bronze  
Baffles ..... 316 Stainless Steel  
Bolting ..... Alloy Steel  
Gaskets ..... Compressed Fiber  
Brackets ..... Steel

#### Standard Ratings

**Design Pressure** Std Units 10" & 12"

Shell Side ..... 240 psi ..... 150 psi

Tube Side ..... 200 psi ..... 150 psi

**Design Temp** ..... 400°F ..... 400°F

**Test Pressure**

Shell Side ..... 360 psi, 2,482 kPa

Tube Side ..... 300 psi, 2,068 kPa

#### Common Specifications...

#### Type AHT Heat Exchangers

Model	Shell Dia.	Tube Length	Surface			Connection Size			
			1/4"	3/8"	5/8"	Shell	1-Pass	2-Pass	4-Pass
2-8	2-1/8"	8	1.3			3/4	3/4	N/A	N/A
2-12		12	2.0						
2-18		18	3.0						
2-24		24	4.0						
3-8	3-1/8"	8	2.8	1.8		1	1-1/2	1	3/4
3-12		12	4.1	2.8					
3-14		14	4.9	3.2					
3-18		18	6.2	4.1					
3-24		24	8.4	5.5					
3-30	30	10.4	6.9						
4-12	4-1/8"	12	7.6	5.1		1-1/2	2	1-1/4	1
4-14		14	8.8	5.9					
4-18		18	11.4	7.6					
4-24		24	15.2	10.2					
4-30		30	19.0	12.7					
4-36		36	22.8	15.3					
5-12	5-1/8"	12	12.0	8.2		1-1/2	2-1/2	1-1/2	1
5-14		14	14.1	9.6					
5-18		18	18.1	12.4					
5-24		24	24.1	16.5					
5-36		36	36.2	24.7					
6-18	6-1/8"	18	27.9	18.3		2	3	2	1-1/2
6-24		24	37.2	24.4	11.8				
6-36		36	55.8	36.5	17.7				
6-48		48	74.4	48.7	23.6				
6-60		60	93.0	60.8	29.4				
8-24	8-1/8"	24	62.4	42.4	24.8	3	4	2-1/2	2
8-36		36	93.5	63.6	37.3				
8-48		48	124.7	84.8	49.7				
8-72		72	187.1	127.2	74.6				
8-96		96	249.4	169.6	99.5				
10-36	10-3/4	36		103.7	54.9	4	5	3	2-1/2
10-48		48		138.3	73.3				
10-60		60		172.8	91.6				
10-72		72		207.4	109.9				
12-36	12-3/4	36		155.5	90.3	4	6	3	2-1/2
12-48		48		207.4	120.4				
12-60		60		259.2	150.5				
12-72		72		311.1	180.6				

## 2. CATÁLOGOS DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

### 2.1. ALMACENAMIENTO DE LAS RESINAS

Tech Facts



#### DOWEX Ion Exchange Resins

Proper Storage Conditions for DOWEX Ion Exchange Resins

##### Storage of New, Unused Resin

Unused resins, in their original packaging, can be stored under proper conditions for longer than their recommended shelf life without experiencing a decline in their physical properties, in most cases. Standard demineralizing and softening resins experience minimal change in chemical properties over a two-year shelf life. For more sensitive applications, shorter storage times are recommended as shown in the following table. It is recommended to check the resin after the recommended shelf life for standards characteristics.

Resin	Ionic Form	Softening	Application		
			Demineralization	Nuclear	Ultrapure Water
Cation	Na	2 years	2 years		
Cation	H		2 years	2 years	1 year
Cation	NH <sub>4</sub>			1 year	
Anion types 1/2	Cl		2 years		
Anion type 1	OH		2 years	1 year	0.5 years
Ready to use mixed bed	H/OH		1 year	1 year	0.25 years desired 0.5 years acceptable

Resins should be stored in their original unopened packaging in a cool dry area. An indoor storage facility with climate control between 0-30° C (32-90° F) should be used for the best results.

Storage temperatures above 30° C (90° F) can cause premature loss of capacity for anion resins, particularly those stored in the OH-form. While cation resins can withstand higher temperatures (up to 50° C (120° F)), it is best to store all resins under similar conditions. Storage temperatures below 0° C (32° F) can cause resin freezing and temperatures below -18° C (0° F) should be avoided. Tests of DOWEX\* resins under repeated freeze-thaw cycles show that bead damage can occur, so frozen resin must be thawed before safe loading can take place. Frozen resin should be thawed our completely under room temperature conditions before loading and use.

##### Storage of Used Resins

As with new resins, used resins should be stored under climate controlled conditions, where feasible, to maximize the life of the resins.

Additionally, care should be taken that resins are not exposed to air, as they will dry out and shrink. When re-hydrated, these resins are susceptible to bead breakage due to rapid re-swelling. The salt can then be removed by successive dilutions, to prevent rapid change in osmotic pressures and resulting bead breakage.

Biological growth problems can be caused by inactivity of the resin during extended storage. In order to minimize the potential for biofouling, inactive systems should be stored in a biostatic solution such as concentrated NaCl. In addition to minimizing biogrowth, the concentrated brine solution will prevent freezing. The recommended procedure for resins used for water demineralization is as follows:

- After exhaustion and a thorough backwash, the resin is ready for lay-up.
- Apply a 15-25% NaCl solution to the bed and fill the vessel so that no air is present.
- Upon reactivation of the vessel, the resin will need to be re-hydrated by successive washes of less concentrated salt to minimize osmotic shock.
- Prior to service, the beds must undergo a double or triple regeneration.

For mixed bed resins in condensate polishing and other ultrapure water applications, the resins should be left in a regenerated condition as follows:

- Separate the resins and carry out a double regeneration.
- Rinse out the regenerants and leave the resins in the rinse water.
- Flush the resins periodically down-flow (about once per week) to remove any TOC (Total Organic Carbon) leachate.
- Prior to start-up, rinse and regenerate as normal.

**DOWEX Ion Exchange Resins**  
For more information about DOWEX resins, call the Dow Liquid Separations business:

North America: 1-800-447-4369  
Latin America: (+55) 11-5188-9277  
Europe: (+32) 3-450-2240  
Japan: (+81) 3-5460-2100  
Australia: (+61) 3-9226-3545  
<http://www.dowex.com>

Warning: Oxidizing agents such as nitric acid attack organic ion exchange resins under certain conditions. This could lead to anything from slight resin degradation to a violent exothermic reaction (explosion). Before using strong oxidizing agents, consult sources knowledgeable in handling such materials.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.



## 2.2. TAMAÑOS DE PARTÍCULAS

Product Information			
			
<b>DOWEX Ion Exchange Resins</b>			
Particle Size Distribution			
Cross Reference Chart			
U.S. Standard Mesh	Sieve Opening	Distribution	Microns
10			2,000
12			1,680
14			1,410
16			1,190
18			1,000
20			841
25			707
30			595
35			500
40			420
45			354
50			297
60			250
Fine Mesh			
100			150
200			74
400			38

\*Trademark of The Dow Chemical Company

DOWEX® Ion Exchange Resins

## 2.3. RESINA CATIONICA



**Dow  
Liquid Separations**

**DOWEX HCR-W2 and HGR-W2  
Ion Exchange Resins**

**Engineering Information**

**September 2005**

## **DOWEX HCR-W2 and HGR-W2 Strong Acid Cation Exchange Resin**

### **General Information**

DOWEX™ HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 strong acid cation exchange resins are premium quality gel-type produced by the sulfonation of styrene divinylbenzene copolymers. The resins are designed to combine a high operational capacity with superior physical stability. This quality is assured by the specifications which call for average friability of over 350 g/bead (for beads in the size fraction between 0.6 and 0.85 mm) and a whole uncracked bead count of at least 95% after a quality control check of every production batch of resin. The amount of coarse and fine resin particles in the polydispersed particle size distribution are also closely controlled in the manufacturing process. Specifications assure that no more than 2% of the resin beads are larger than 16 mesh (1.2 mm) and no more than 1% are finer than 40 mesh (0.42 mm). This results in good hydraulic characteristics and enables effective separation from the anion resin when used in mixed bed applications. The combination of such characteristics make DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 the resins of choice whenever high performance is required in continuous operation modes and where resin transfer is necessary for external regeneration, crud removal or resin separation.

Many years of very successful field experience have made DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins a standard in industrial water treatment applications. The products are particularly suited for deep bed condensate polishing, where high capacity, physical stability and ion removal kinetics are important. For this and other mixed bed applications, the particle size and density characteristics of these resins assure fast and sharp separations when used in combination with DOWEX SBR C and DOWEX SBR-P C gel anion resins.

DOWEX HGR-W2 resin has a higher degree of cross-linking and is the preferred resin for more aggressive polisher conditions or when a higher resistance to oxidation by dissolved oxygen or chlorine is required. For optimal separation in mixed beds, especially in combination with an inert interface, DOWEX HGR-W2 resin is recommended because of its higher density. In other instances its higher total exchange capacity makes it the preferred resin for a particular application.

This brochure relates to water demineralization, using HCl or H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as regenerant in co-current and counter-current operation. The presented data allow the calculation of operational capacities and sodium leakages for different water qualities at different temperatures and levels of regeneration. Resins are available in both the sodium and hydrogen forms. The physical and chemical characteristics of the resins are listed in the table shown on page 3.

<b>Guaranteed sales specifications</b>				<b>HCR-W2</b>		<b>HGR-W2</b>	
Ionic form as delivered				H <sup>+</sup>		H <sup>+</sup>	
Total exchange capacity, min.		eq/L		1.8		2.0	
		kg/ft <sup>3</sup> as CaCO <sub>3</sub>		39.3		43.7	
Water content		%		48 - 54		47 - 51	
Bead size distribution†							
> 1.2 mm, max. (16 mesh)		%		2		2	
< 0.42 mm, max. (40 mesh)		%		1		1	
Whole uncracked beads, min.		%		95		95	
Crush strength							
Average, min.		g/bead		350		350	
> 200 g/bead, min.		%		95		95	
Ionic conversions, H <sup>+</sup> form, min.		%		99		99	
Trace metals, ppm dry resin, max. (H <sup>+</sup> form)							
Na	Fe	Cu	Al	Mg	Ca	Heavy metals (as Pb)	
50	50	10	50	50	50	10	

<b>Typical physical and chemical properties</b>				<b>HCR-W2</b>		<b>HGR-W2</b>	
Total swelling (Na <sup>+</sup> → H <sup>+</sup> )		%		8		7	
Particle density		g/mL		1.22		1.23	
Shipping weight		g/L		785		800	
		lbs./ft <sup>3</sup>		49		50	

<b>Recommended operating conditions</b>		<b>HCR-W2</b>		<b>HGR-W2</b>	
Maximum operating temperature		120°C (250°F)		130°C (265°F)	
pH range		0 - 14		0 - 14	
Bed depth, min.		450 mm (1.5 ft)		450 mm (1.5 ft)	
Flow rates:					
Service/fast rinse		5 - 50 m/h (2 - 20 gpm/ft <sup>2</sup> )		5 - 50 m/h (2 - 20 gpm/ft <sup>2</sup> )	
Service/condensate polishing		40 - 150 m/h (16 - 60 gpm/ft <sup>2</sup> )		40 - 150 m/h (16 - 60 gpm/ft <sup>2</sup> )	
Backwash		See Figure 1		See Figure 1	
Regeneration/displacement rinse		1 - 10 m/h (0.4 - 4 gpm/ft <sup>2</sup> )		1 - 10 m/h (0.4 - 4 gpm/ft <sup>2</sup> )	
Total rinse requirement		3 - 6 bed volumes		3 - 6 bed volumes	
Regenerant		1 - 10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> or 4 - 8% HCl		1 - 10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 4 - 8% HCl or 8 - 12% NaCl	

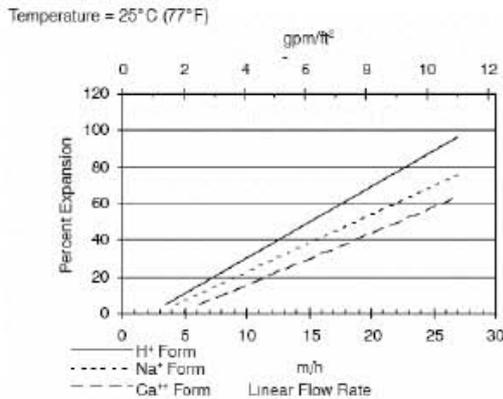
† For additional particle size information, please refer to the Particle Size Distribution Cross Reference Chart (Form no. 177-01775)

## Hydraulic Characteristics

### Backwash Expansion

Under the up-flow conditions of backwashing the resin will expand its volume (see Figures 1(a) and 1(b)). Such expansion allows the regrading of the resin, fines removal and avoids channeling during the subsequent service cycle. An efficient backwash will require an expansion of over 50% of the original resin volume. At the same time, accumulated particulates are removed. In co-current operation, the resin is backwashed for a few minutes before every regeneration. Occasionally a longer backwash may be needed to fully remove the particulates. In counter-current operation the strainers are cleaned by the regenerant flow. To retain the advantages of counter-current ration it is essential not to disturb the resin. Backwashing is only desirable if accumulated debris causes an excessive increase in pressure drop or to decompact the bed. Usually a backwash is performed every 15 to 30 cycles in conventional countercurrent regeneration.

**Figure 1(a). Backwash expansion data for DOWEX HCR-W2 resin**

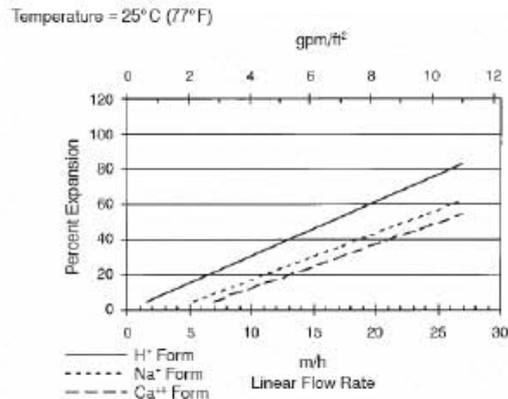


**For other temperatures use:**

$$F_T = F_{25^\circ\text{C}} [1 + 0.008 (1.8T_c - 45)], \text{ where } F = \text{m/h}$$

$$F_T = F_{77^\circ\text{F}} [1 + 0.008 (T_f - 77)], \text{ where } F = \text{gpm/ft}^2$$

**Figure 1(b). Backwash expansion data for DOWEX HGR-W2 resin**



**For other temperatures use:**

$$F_T = F_{25^\circ\text{C}} [1 + 0.008 (1.8T_c - 45)], \text{ where } F = \text{m/h}$$

$$F_T = F_{77^\circ\text{F}} [1 + 0.008 (T_f - 77)], \text{ where } F = \text{gpm/ft}^2$$

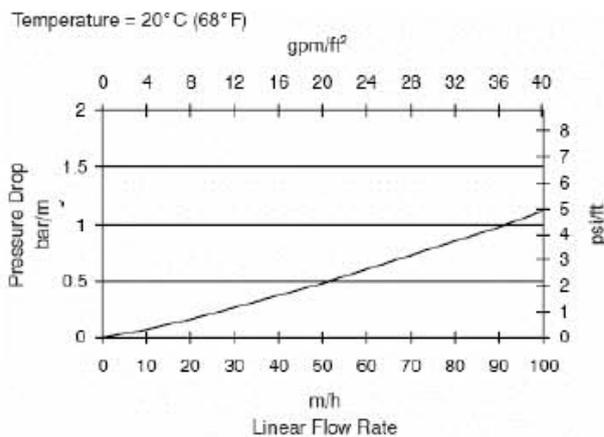
### Pressure Drop Data

The pressure drop across a resin bed can vary depending on a number of factors. These include resin type, bead size and distribution, interstitial space (bed voidage), flow rate and temperature.

The data in Figure 2 shows the pressure drop per unit bed depth as a function of both flow velocity and water temperature for both DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins. This data refers to new resin after backwashing and settling and should be considered indicative. The total head loss of a unit in operation will also depend on its design. It is substantially affected by the contribution of the strainers surrounded by the resin.

DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins exhibit low pressure drop due to their optimized size distribution. This makes them particularly suitable for operation at high flow rates.

**Figure 2. Pressure drop data**



**For other temperatures use:**

$$P_T = P_{20^\circ\text{C}} (0.026T_c + 0.48), \text{ where } P = \text{bar/m}$$

$$P_T = P_{68^\circ\text{F}} (0.014T_f + 0.05), \text{ where } P = \text{psi/ft}$$

### Operating Characteristics

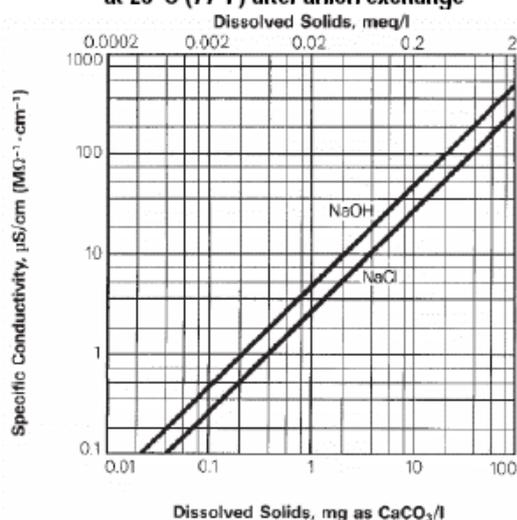
The suggested operating conditions in the table shown on page 3 are intended as a guide and should not be found restrictive. The engineering design of an ion exchange unit will be influenced by certain factors such as the operational flow rates, so the compatibility of the design with the needs of an efficient regeneration need to be considered and may change the suggested operating conditions given in the table in order to obtain an optimal system.

The performance of the cation exchange resin will be evaluated on the basis of the regeneration efficiency and the sodium leakage. Figure 3 indicates the contribution to conductivity due to sodium leakage. This leakage is expressed as NaOH as it appears in the effluent of a strong base anion resin. When a weak base anion resin follows the cation exchange unit, sodium will leak as NaCl and contribute to the conductivity accordingly. In this case conductivity will also be due in part to CO<sub>2</sub>, and this must be taken into account.

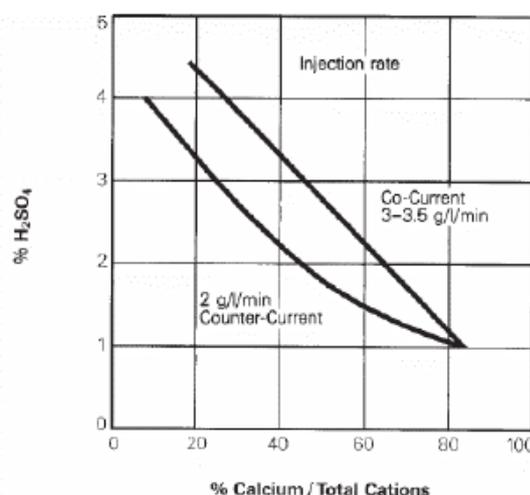
Any sodium leakage will not only affect the conductivity of the final effluent, but also influence the silica leakage from a strong base anion resin. Data related to this influence are presented in the relevant engineering brochures of these anion exchange resins. Silica leakage and conductivity are the important features of the final demineralized water. The correct design of the cation exchange unit will therefore have a critical impact on the overall performance of the ion exchange plant.

When H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> is used as regenerant, the permitted concentration of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> is determined by the percentage of calcium in the feed water as shown in Figure 4. If the regenerant concentration is too high or the regeneration is performed too slowly, calcium sulfate will be deposited in the resin bed. A step-wise regeneration may be used to improve the regeneration efficiency. As this applies especially to high regeneration levels, it may be more attractive to use counter-current techniques in such cases. Concentrations of sulfuric acid recommended for stepwise regeneration are given in Figure 5. At a constant presentation rate of regenerant, a higher flow rate will thus be used when regenerating at a low acid concentration. At a presentation rate of 3 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/min per liter of resin (0.2 lbs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/min per ft<sup>3</sup>) at a concentration of 1% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, this will amount to a regenerant flow rate of 18 m<sup>3</sup>/h per m<sup>3</sup> (2.2 gpm/ft<sup>3</sup>) of resin.

**Figure 3. Na leakage expressed as conductivity at 25°C (77°F) after anion exchange**



**Figure 4. Permitted H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentration**



**Figure 5. Permitted H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrations (step-wise)**

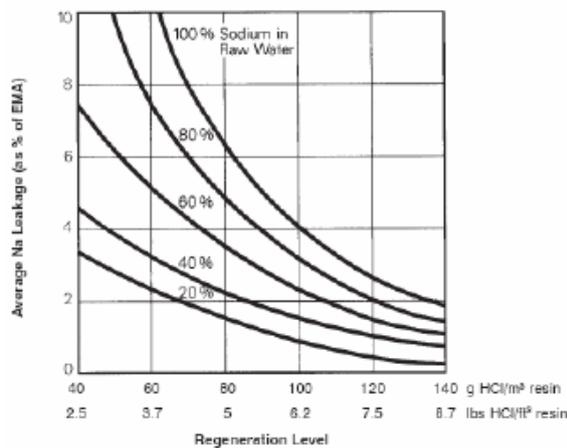
Calcium % in feed water	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> % permitted
Ca % < 15	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3%
15 < Ca % < 50	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1.5% for 30% 3% for 70%
50 < Ca % < 70	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1.5% for 50% 3% for 50%
Ca % > 70	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1% or use HCl

Hydrochloric acid may be used at concentrations of 4 to 8% irrespective of the calcium content in the feed water. High concentrations of HCl and long regeneration times will be preferred when calcium and magnesium predominate. When sodium is the main constituent, HCl at 4 to 5% will give the best efficiency.

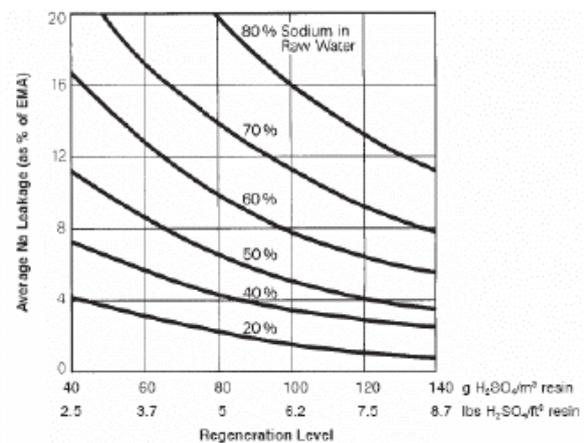
**Co-Current Operation**

Co-current operation gives a lower quality water with poorer regeneration than counter-current operation. It may nevertheless be preferred, especially when high sodium leakage levels are acceptable. Figures 6 and 7 show the average sodium leakage from DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins relative to different regeneration levels and using HCl or H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as regenerants. These leakages are expressed as percentages of equivalent mineral acidity (EMA). Leakage levels will be higher at the beginning and towards the end of the cycle. When very high regeneration levels are required to obtain the desired leakage, it is advisable to consider counter-current operation.

**Figure 6. Average Na leakage from DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins in co-current operation with HCl as regenerant**



**Figure 7. Average Na leakage from DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins in co-current operation with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as regenerant**



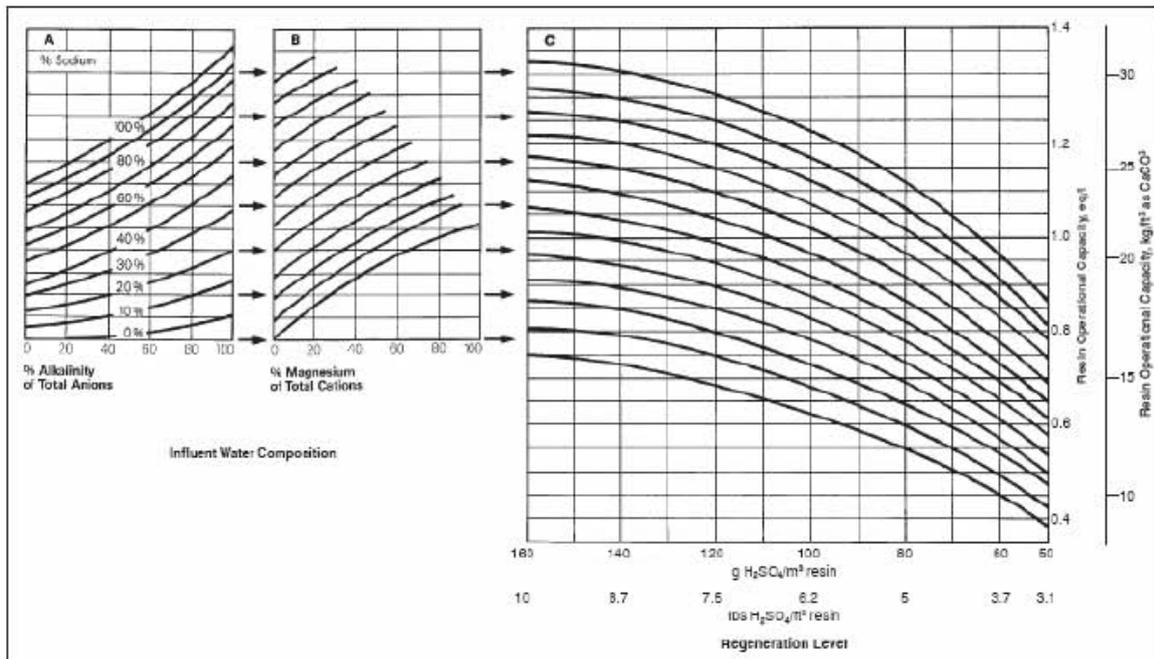
Data on co-flow operational capacities for DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins using HCl or H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> for different water qualities are given in Figures 8 and 9.

**Co-current operational capacity data** (Step-wise concentration in  $H_2SO_4$  regeneration)

Instructions:

1. Locate a point on the ordinate of graph A from % sodium and % alkalinity.
2. Transfer the ordinate point from graph A horizontally to graph B and follow the guideline to locate a new point on the ordinate according to the % magnesium.
3. Transfer the ordinate point from graph B horizontally to graph C and repeat the procedure under point 2 according to chosen regeneration level. Read off the operational capacity on the right hand side of the diagram corresponding to this new ordinate.

**Figure 8. Co-current operational capacity data**

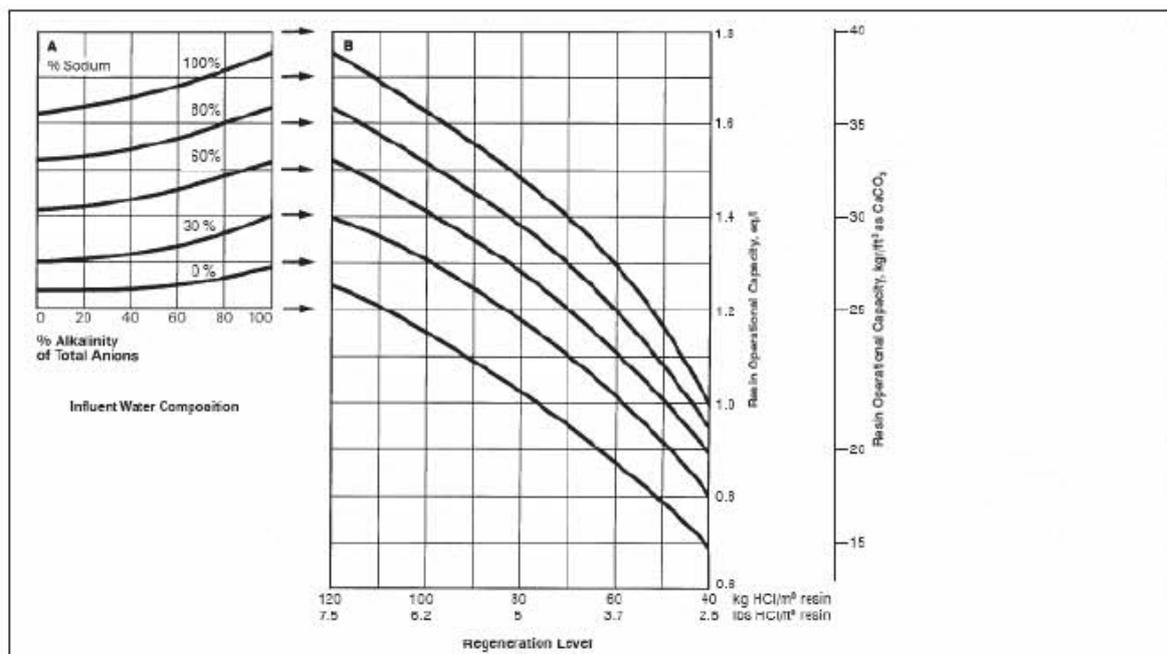


**Co-current operational capacity data (HCl regeneration)**

Instructions:

1. Locate a point on the ordinate of graph A from % sodium and % alkalinity.
2. Transfer the ordinate point from graph A horizontally to graph B and follow the guideline to the chosen regeneration level thus establishing a new ordinate.
3. Read off operational capacity on the right hand side of the diagram corresponding to this new ordinate.

**Figure 9. Co-current operational capacity data (HCl regeneration)**



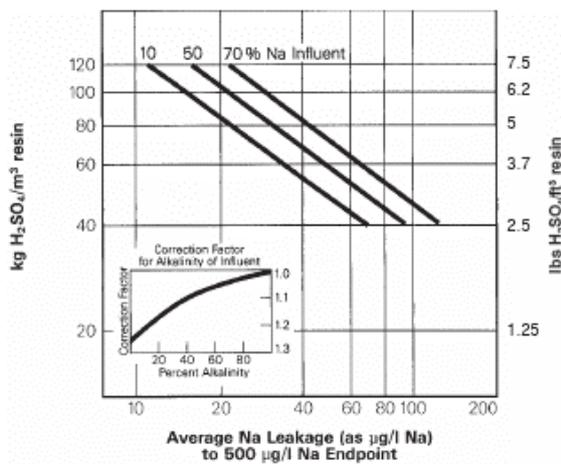
**Counter-Current Operation**

The advantages of counter-current operation over co-current operation are well-known to be improved chemical efficiency (better capacity usage and decreased regenerant waste) and lower sodium leakage. Initial capital costs can be higher for a counter-current operation and more care has to be taken in the design of a unit as it has to be able to give the highest quality of treated water. Also, treated (or at least decationized) water must be used for diluting the regeneration chemicals and for the displacement rinse. The design must ensure that the chemicals contact the resin at the correct concentration by avoiding any excessive dilution. In conventional counter-current regeneration, a presentation rate of 2 gram regenerant per minute and per liter resin (0.1 lbs/min per ft<sup>3</sup>) has shown the best results for optimum regeneration efficiency. This results in a regenerant flow rate 3 m<sup>3</sup>/h per m<sup>3</sup> (0.4 gpm/ft<sup>3</sup>) of resin when a 4% regenerant concentration is used.

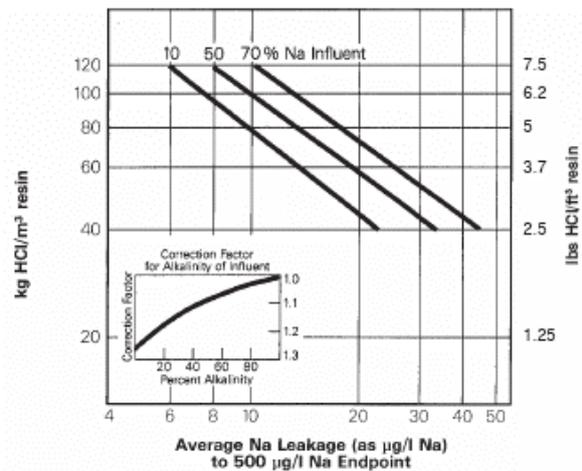
Average sodium leakage levels can be calculated from data presented in Figures 10 and 11. The desired leakage level is divided by the alkalinity correction factor, which takes into account the alkalinity percentage of the influent. This corrected leakage value together with the percentage Na in the influent is now used to establish the required regeneration level. Conversely, the sodium leakage for a given regeneration level can be established by reading off a value taking into account again the percentage Na in the influent and by multiplying this value with the alkalinity correction factor.

Data on operational capacities for DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins using HCl or H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> are given in Figures 10 and 11.

**Figure 10. Average Na leakage for DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins in counter-current operation and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as regenerant (step-wise concentrations)**



**Figure 11. Average Na leakage for DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins in counter-current operation and HCl as regenerant**



**Counter-current operational capacity data (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> regeneration)**

Instructions:

1. Locate a point on the ordinate of graph A from % sodium and % alkalinity.
2. Transfer the ordinate point from graph A horizontally to graph B and follow the guideline to the chosen regeneration level thus establishing a new ordinate.
3. Read off operational capacity on the right hand side of the diagram corresponding to this new ordinate.

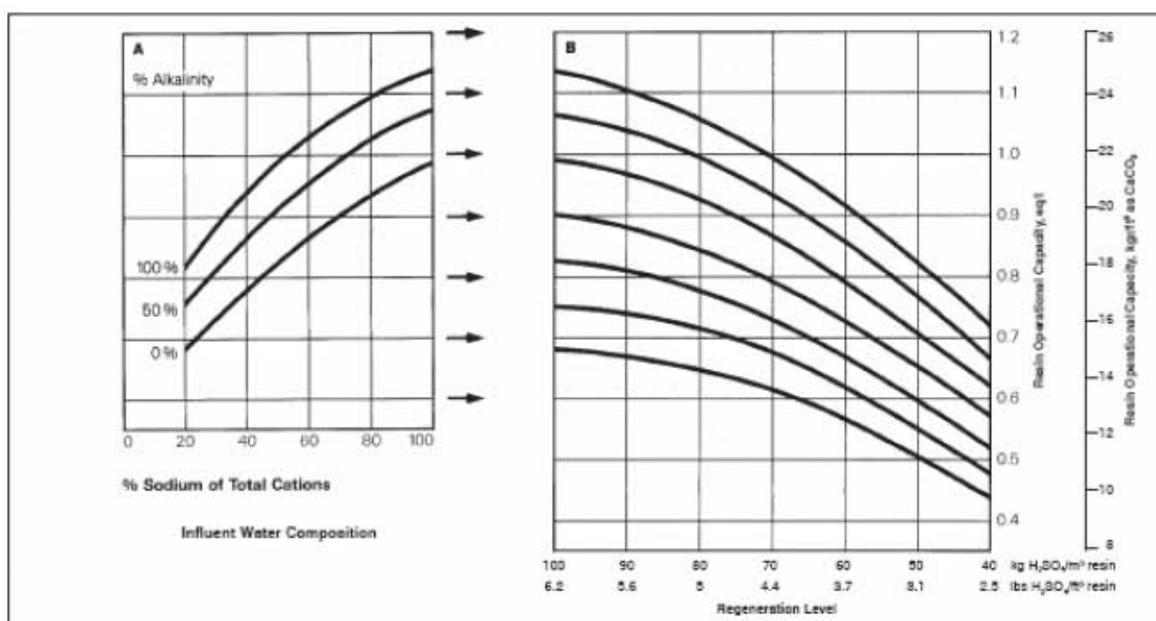
Important:

See correction graph for resin bed depth of less than 2 meters (6.5 ft).

Standard conditions:

- BV/H × salinity (meq/l) = 200
- gpm/ft<sup>3</sup> × salinity (kgr/ft<sup>3</sup>) = 0.55
- Temp. 15°C (60°F)

**Figure 12. Counter-current operational capacity data (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> regeneration)**



**Counter-current operational capacity data (HCl regeneration)**

Instructions:

1. Locate a point on the ordinate of graph A from % sodium and % alkalinity.
2. Transfer the ordinate point from graph A horizontally to graph B and follow the guideline to the chosen regeneration level thus establishing a new ordinate.
3. Read off operational capacity on the right hand side of the diagram corresponding to this new ordinate.

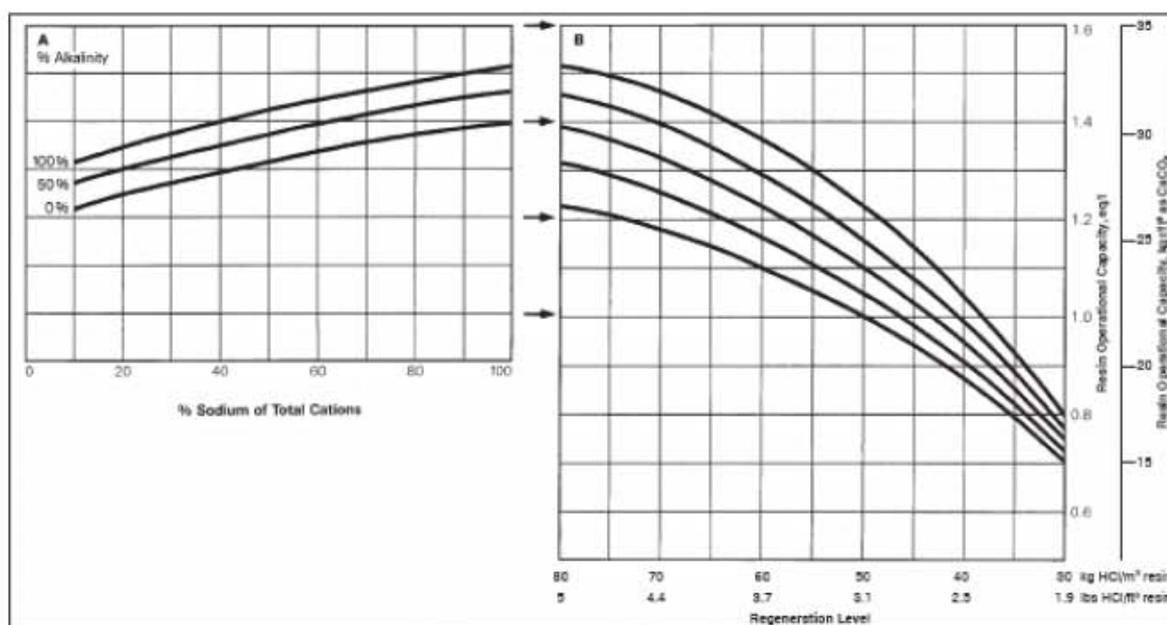
Important:

If alkalinity is less than 30%, use 1.5 m (5 ft) bed depth or not less than 50 g/l (3 lbs/ft<sup>3</sup> HCl).

Standard conditions:

- $BV/H \times \text{salinity (meq/l)} = 200$
- $\text{gpm/ft}^3 \times \text{salinity (kgr/ft}^3) = 0.55$
- Temp. 15°C (60°F)

**Figure 13. Counter-current operational capacity data (HCl regeneration)**



**The Bed Depth Effect**

The geometry of an ion exchange plant affects the plant capacity and the quality of the produced water. A bed depth of about 1 m (3.3 ft) is ideal for co-current operation but little difference exists going from 0.75 m to 2 m bed depth (30" to 6.5 ft). A flow velocity of 20-30 m/h (8-12 gpm/ft<sup>2</sup>) may give slightly better performance than operating at 50-60 m/h (20-24 gpm/ft<sup>2</sup>). On the other hand, there is great advantage to gain from using a deep bed in counter-current operation with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as regenerant. The high physical strength of DOWEX HCR-W2 and DOWEX HGR-W2 resins allow them to be used in deep beds, thereby obtaining better capacity usage and water quality.

The bed depth effect is given in Figure 14.

**Effect of bed depth on capacity (counter-current)**

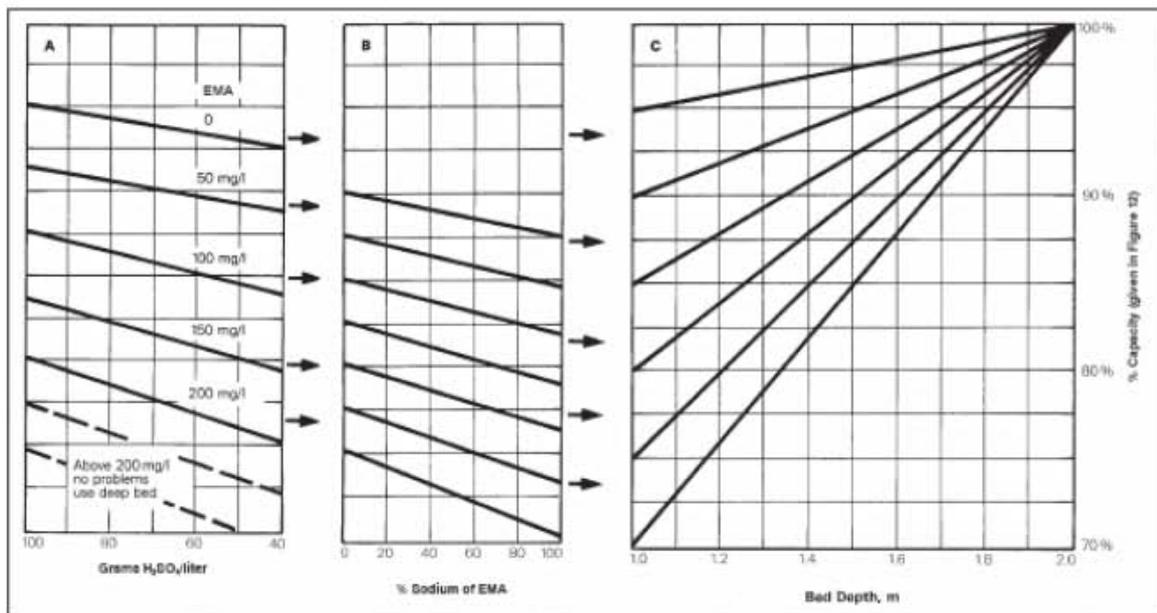
Instructions:

1. Locate a point on the ordinate of graph A from amount of EMA and chosen regeneration level.
2. Transfer the ordinate point from graph A horizontally to graph B and follow the guideline to locate a new point according to the % sodium of EMA.
3. Transfer the ordinate point from graph B horizontally to graph C and repeat the procedure under point 2 according to the desired bed depth and read off the reduction in capacity.

Important:

The minimum bed depth when using 60 g/l (2.7 lbs/ft<sup>3</sup>) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> is 1.5 m (5 ft).

**Figure 14. Effect of bed depth on capacity**



**Dow Liquid Separations Offices.**

**For more information call Dow Liquid Separations:**

**Dow Europe**

Dow Customer Information Group  
Liquid Separations  
Prins Boudewijnlaan 41  
B-2650 Edegem  
Belgium  
Tel. +32 3 450 2240  
Tel. +800 3 694 6367 †  
Fax +32 3 450 2815  
E-mail: [dowcig@dow.com](mailto:dowcig@dow.com)

**Dow Japan**

Dow Chemical Japan Ltd.  
Liquid Separations  
Tennoz Central Tower  
2-24 Higashi Shinagawa 2-chome  
Shinagawa-ku, Tokyo 140-8617  
Japan  
Tel. +81 3 5460 2100  
Fax +81 3 5460 6246

**Dow China**

Dow Chemical (China) Investment Company Ltd.  
Liquid Separations  
23/F, One Corporate Avenue  
No. 222, Hu Bin Road  
Shanghai 200021  
China  
Tel. +86 21 2301 9000  
Fax +86 21 5383 5505

**Dow Pacific**

Customer Information Group – Liquid Separations  
All countries except Indonesia and Vietnam:  
Toll free phone: +800 7776 7776  
Toll free fax: +800 7779 7779  
  
All countries:  
Tel. +60 3 7958 3392  
Fax +60 3 7958 5598  
E-mail: [dowcig@dow.com](mailto:dowcig@dow.com)

**Dow Latin America**

Dow Quimica S.A.  
Liquid Separations  
Rua Alexandre Dumas, 1671  
Sao Paulo – SP – Brazil  
CEP 04717-903  
Tel. 55-11-5188 9277  
Fax 55-11-5188 9919

**Dow North America**

The Dow Chemical Company  
Liquid Separations  
Customer Information Group  
P.O. Box 1206  
Midland, MI 48641-1206  
USA  
Tel. 1-800-447-4369  
Fax (989) 832-1465

**Internet**

<http://www.dowex.com>

† Toll-free telephone number for the following countries: Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Hungary, Ireland, Italy, The Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, and the United Kingdom

Notice: Oxidizing agents such as nitric acid attack organic ion exchange resins under certain conditions. This could lead to anything from slight resin degradation to a violent exothermic reaction (explosion). Before using strong oxidizing agents, consult sources knowledgeable in handling such materials.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.



## 2.4. RESINA ANIÓNICA



**Dow  
Liquid Separations**

**DOWEX  
Ion Exchange Resin**

**DOWEX MARATHON WBA-2 Engineering Information**

**July 2003**

## DOWEX MARATHON WBA-2 Weak Base Anion Exchange Resin

### General Information

DOWEX<sup>®</sup> MARATHON<sup>®</sup> WBA-2 resin is a high capacity, macroporous, weak base anion exchange resin of uniform bead size distribution. It is based on a styrene-divinylbenzene copolymer matrix with dimethylamine functional groups. DOWEX MARATHON WBA-2 is specifically designed to give high throughput and economical operation in both water and non-water applications. It is particularly effective when used at flow rates of 25 bed volumes/hour (3 gpm/ft<sup>2</sup>) or less, providing high capacity of up to 1.25 eq/l (30 kgr/ft<sup>3</sup>) or more. In addition, its high physical strength and small bead size make it more resistant to bead breakage.

Weak base anion resins are used in demineralizer systems for two reasons:

1. They have a higher total exchange capacity and regenerate more efficiently than strong base anion resins. This makes weak base resins more economical to operate on waters containing significant levels of chloride and sulfate.
2. They have better elution of naturally occurring organic species relative to strong base resins. The high reversibility to organics, aided by the absence of large beads, leads to a good resistance to fouling with adequate caustic (> 80 g/l or 5 lbs/ft<sup>3</sup>) and gives protection to the strong base anion resin typically used downstream.

DOWEX MARATHON WBA-2 may be used in a simple two stage plant giving good quality water but without removal of silica or carbon dioxide. For full demineralization, the resin may be used in combination with a strong base anion resin such as DOWEX MARATHON A in a separate vessel, or combined with DOWEX MARATHON A LB in a single vessel as a layered bed. The tailored bead sizes of DOWEX MARATHON WBA-2 and DOWEX MARATHON A LB result in an excellent separation of the two resins. With such a combination of weak and strong base anion resins, a very high level of regenerant chemical efficiency can be achieved. Further information is given in the *Operating Characteristics* section of this leaflet.

The swelling of DOWEX MARATHON WBA-2 in the operational cycle is important and must be considered in the engineering design. The maximum operational swelling of DOWEX MARATHON WBA-2 is 23% when converted from the free amine form to the fully exhausted state. Operational swelling is around 20%.

The physical and chemical stability allows DOWEX MARATHON WBA-2 to be used to treat organic solvents or highly concentrated solutions.

Guaranteed Sales Specifications		FB (free base) form
Total exchange capacity, min.	eq/l	1.7
Water content	%	40 – 51
Uniformity coefficient, max.		1.1

Typical Physical and Chemical Properties		FB (free base) form
Mean particle size <sup>†</sup>	µm	550 ± 50
Whole beads	%	95 – 100
Total swelling (FB → HCl)	%	23
Particle density	g/ml	1.04
Shipping weight	g/l	640
	lbs/ft <sup>3</sup>	40

<sup>†</sup> For additional particle size information, please refer to the Particle Size Distribution Cross Reference Chart (Form No. 177-01775).

Recommended Operating Conditions	
Maximum operating temperature	100°C (212°F)
pH range	0 – 7
Bed depth, min.	800 mm (2.6 ft)
Flow rates:	
Service/fast rinse	5 – 30 m/h (2 – 12 gpm/ft <sup>2</sup> )
Backwash	See figure 1
Co-current regeneration/displacement rinse	1 – 10 m/h (0.4 – 4 gpm/ft <sup>2</sup> )
Counter-current regeneration/displacement rinse	5 – 20 m/h (2 – 8 gpm/ft <sup>2</sup> )
Total rinse requirement	2 – 4 bed volumes
Regenerant	2 – 5% NaOH

## Hydraulic Characteristics

### Backwash Expansion

Backwash expansion of the resin to accomplish reclassification of the bed and removal of accumulated fine particles should be done at flowrates sufficient to expand the bed between 50 and 100% of its original height in the free base form. Figure 1 details percent bed expansion for DOWEX MARATHON WBA-2 resin when backwashed at various flowrates. It includes data for two different bases:

1. Regenerated - The percent expansion is determined relative to the bed depth in the regenerated (free base) form. This is the data to use for backwashing new or completely regenerated resin.
2. Exhausted - Resin in the exhausted form swells by up to 20% of its original volume. This is the data to use for backwashing completely exhausted resin relative to the bed depth in the free base form.

### Example

Resin depth is 1.5 m (5 ft) in the free amine form. The goal is to expand the bed to 3.0 m (9.9 ft) during backwash. Bed depth in the exhausted form is 20% more at 1.8 m (5.9 ft). Temperature of the backwash water is 15°C (60°F).

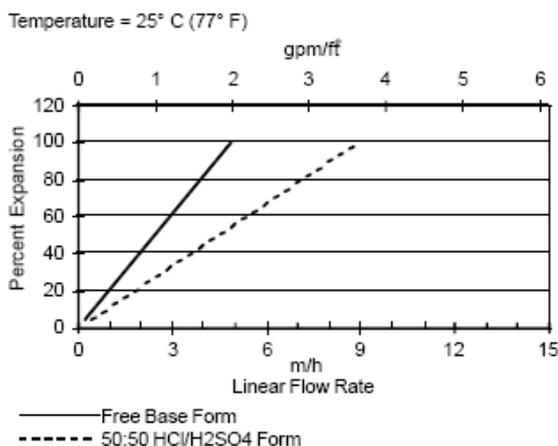
The target expansion of the exhausted resin is:

$$[(3.0\text{m} - 1.5\text{m})/1.5\text{m}] \times 100 = 100\% \text{ relative to the free base form bed depth.}$$

From Figure 1, the flowrate required for 100% expansion in the regenerated form is shown to be 9.0 m/h (3.7 gpm/ft<sup>2</sup>) at 25°C (77°F). The temperature correction factor is then applied to determine the required flowrate at 15°C (60°F):

$$9.0 \text{ m/h} [1 + 0.008 \{(1.8 \times 15) - 45\}] = 7.7 \text{ m/h} (3.1 \text{ gpm/ft}^2)$$

Figure 1. Backwash expansion vs. flow rate



### For other temperatures use:

$$F_T = F_{77°F} [1 + 0.008 (T_F - 77)], \text{ where } F \equiv \text{gpm/ft}^2$$

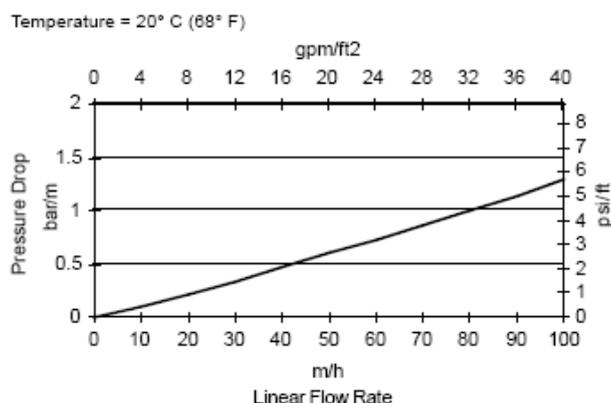
$$F_T = F_{25°C} [1 + 0.008 (1.8T_C - 45)], \text{ where } F \equiv \text{m/h}$$

### Pressure Drop

The pressure drop across a resin bed can vary depending on a number of factors. These include resin type, bead size, interstitial space (bed voidage), flow rate, temperature and degree of bed contamination. The presence of smaller beads in conventional resins results in filling of the interstitial spaces between the larger beads, thereby increasing the pressure drop. Compared to conventional resins, uniform beads have a higher bed voidage which compensates for the smaller mean bead diameter, resulting in similar pressure drop characteristics to the conventional resins.

The data in Figure 2 shows the pressure drop per unit bed depth as a function of both flow velocity and water temperature for the resin. These figures refer to a new resin bed at the beginning of the operational cycle with the resin in the free amine form (i.e., regenerated) in a backwashed, settled condition and should be considered indicative. The total pressure drop of a unit in operation will also depend on the design, in addition to other factors such as level of fines and suspended solids. Vessel geometry is also an important consideration, as in very small diameter units, particularly with deep beds, bed compaction may occur which could substantially increase the pressure drop.

Figure 2. Pressure drop



#### For other temperatures use:

$$P_T = P_{20^\circ\text{C}} / (0.026 T_{\circ\text{C}} + 0.48), \text{ where } P \equiv \text{bar/m}$$

$$P_T = P_{68^\circ\text{F}} / (0.014 T_{\circ\text{F}} + 0.05), \text{ where } P \equiv \text{psi/ft}$$

### Operating Characteristics

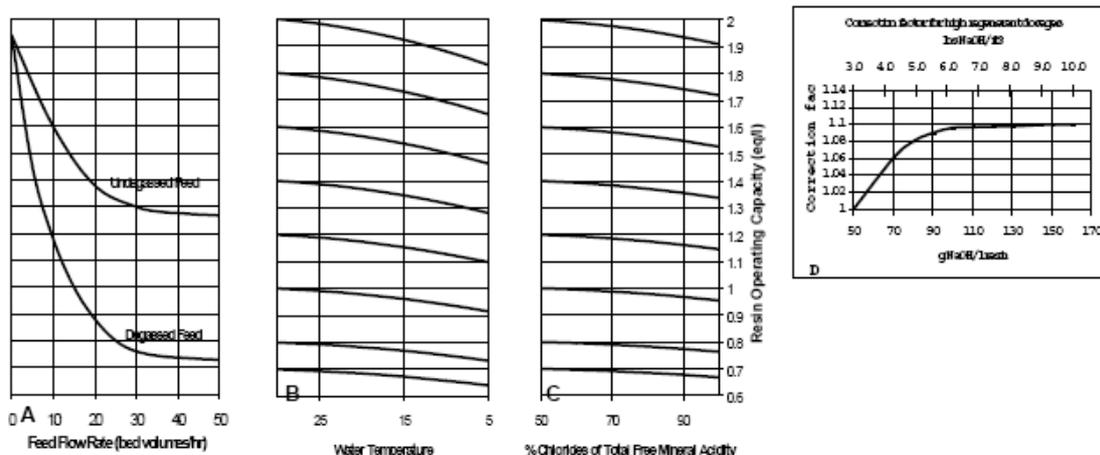
#### General

As a weak base anion resin, DOWEX MARATHON WBA-2 removes free mineral acidity (FMA) from the cation effluent and, apart from a short period at the beginning of the operational cycle, will not remove carbon dioxide or silica. It therefore provides a highly efficient partial demineralization. The capacity of the resin is higher if carbon dioxide is present in the water, thus the logical location of a degassing tower would be after the weak base anion resin. The chemical efficiency remains the same however, so the position of the degasser can be selected according to the overall chemical engineering.

#### Chemical Efficiency

DOWEX MARATHON WBA-2 regenerates extremely efficiently, leading to lower operating costs and reduced waste disposal. Figure 3 shows the amount of caustic soda normally required based on a consumption of 135% of the stoichiometric chemical equivalent. This is a typical figure, but if the water is free from organic matter, 5-10% less chemical may be used. A water with a high organic content may need 10% more. If caustic soda is very expensive, it may be economical to use less caustic soda and heat to 40°C (104°F).

Figure 3. Operational Capacity Data



To calculate operational capacity and regeneration requirements:

1. Locate a point on graph A from the plant feed flow rate (bed volumes per hour) and the feed carbon dioxide composition (degassed or undegassed).
2. Transfer the point from graph A horizontally to graph B and follow the guideline curves on graph B to locate a new point on the x-axis according to the feed water temperature.
3. Transfer the point from graph B horizontally to graph C and follow the guideline curves on graph C to locate a new point on the x-axis according to the percentage chlorides of FMA.
4. From the new point obtained on graph C, read off the resin operational capacity on the right hand side of the diagram.
5. Make a final correction to this operating capacity if higher caustic dosages are used by multiplying by the correction factor shown in graph D.

### Regeneration Chemicals

The usual regenerant is caustic soda and Figure 3 relates to the use of this chemical. The resin may also be regenerated with sodium carbonate or ammonium hydroxide. If the amount of these chemicals is the equivalent of the recommended sodium hydroxide, there will be a 10% drop in operational capacity.

The elution of organic matter from DOWEX MARATHON WBA-2 will remain very good with any regenerant, providing the correct regeneration level is used.

### Combination of Weak Base and Strong Base Anion Resins

For complete demineralization, particularly for waters containing a high proportion of FMA, it is advantageous to combine a weak base anion resin with a strong base anion resin, as the loading and regeneration of FMA on the weak base is chemically very efficient. Using thoroughfare regeneration, it is possible to extend this efficiency to the whole anion resin system by designing the process in such a way that the excess caustic from the strong base anion resin regeneration is used to regenerate the weak base anion resin. In addition, the overall operating capacity is increased and the strong base anion resin is protected from organics by the weak base resin.

### **Overrun**

When a weak base anion is placed before a strong base anion, it is possible to run DOWEX MARATHON WBA-2 to an FMA endpoint only, thereby using the strong base to adsorb silica and carbon dioxide. It is common practice, however, to operate the weak base resin over the FMA breakpoint in order to gain additional operating capacity by allowing the strong base resin to absorb the leakage and maintain product water quality. This is called the overrun condition.

### **Layout**

The two anion resins can be placed either in separate vessels, in one vessel with two compartments separated by an intermediate nozzle plate, or in a single vessel without a plate as a layered bed. In the separate vessel configuration, the weak base resin can also be regenerated in co-flow. In the case of two separate vessels, a degasser is normally placed downstream of the weak base resin to maximize its capacity.

### **Silica Precipitation**

When defining the plant operation and regeneration conditions, it is important to consider the overall service run length and silica level in the feed, due to the tendency of silica to polymerize onto the strong base anion resin and become difficult to remove during regeneration. Silica solubility is lowest at neutral pH and increases with pH and temperature. During thoroughfare regeneration, care should be taken that the silica eluted from the strong base resin does not precipitate in the lower pH conditions prevailing within the weak base resin. To minimize this risk, it is important to dilute the silica peak coming off the strong base anion by limiting caustic temperature and concentration and ensuring adequate chemical injection velocity.

**Dow Liquid Separations Offices.**

**For more information call Dow Liquid Separations:**

**Dow Europe**

Dow Customer Information Group  
Liquid Separations  
Prins Boudewijnlaan 41  
B-2650 Edegem  
Belgium  
Tel. +32 3 450 2240  
Tel. +800 3 694 6367 †  
Fax +32 3 450 2815  
E-mail: [dowcig@dow.com](mailto:dowcig@dow.com)

**Dow Japan**

Dow Chemical Japan Ltd.  
Liquid Separations  
Tennoz Central Tower  
2-24 Higashi Shinagawa 2-chome  
Shinagawa-ku, Tokyo 140-8617  
Japan  
Tel. +81 3 5460 2100  
Fax +81 3 5460 6246

**Dow Pacific**

Dow Chemical Australia Ltd.  
Liquid Separations  
541-583 Kororoit Creek Road  
Altona, VIC 3018  
Australia  
Tel. 61-3-9226-3545  
Fax 61-3-9226-3534

**Dow Latin America**

Dow Quimica S.A.  
Liquid Separations  
Rua Alexandre Dumas, 1671  
Sao Paulo – SP – Brazil  
CEP 04717-903  
Tel. 55-11-5188 9277  
Fax 55-11-5188 9919

**Dow North America**

The Dow Chemical Company  
Liquid Separations  
Customer Information Group  
P.O. Box 1206  
Midland, MI 48641-1206  
USA  
Tel. 1-800-447-4369  
Fax (989) 832-1465

**Internet**

<http://www.dowex.com>

† Toll-free telephone number for the following countries: Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Hungary, Ireland, Italy, The Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, and the United Kingdom

Notice: Oxidizing agents such as nitric acid attack organic ion exchange resins under certain conditions. This could lead to anything from slight resin degradation to a violent exothermic reaction (explosion). Before using strong oxidizing agents, consult sources knowledgeable in handling such materials.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.



## 2.5. PRECIOS RESINAS

### PRODUCTOS QUÍMICOS



PRODUCTO	REF.	DESCRIPCIÓN	envase	PRECIO unit. €
	T9001C	Resina catiónica	25 L.	3,25
	T9002B	Resina aniónica M500	25 L.	11,54
	T9003B	Resina nitratos	25 L.	12,70
	T9004B	Resina lecho mixto	25 L.	7,95
	T9005C	Carbón activado	25 Kg.	5,46
	T9006C	Carbón activado con plata	25 Kg.	11,54
	T9007C	Polifosfato cristal	25 Kg.	9,24
	T9008C	Polifosfato polvo	25 Kg.	8,50
	T9000C	Polifosfato líquido	25 L.	4,16
	T9009C	Antracita filtrante	25 Kg.	1,76
	T9010C	Arena sílicea	25 Kg.	0,33
	T9011C	RES UP (desinfección y limpieza de resinas)	5 L.	7,43
	T9012C	SAL, regenerante para descalcificador en pastillas	25 Kg.	0,60
	T9018B	BIRM	28,3 L.	3,72
	T9019B	Manganeso greensand	28,3 L.	5,94
T9020B	CRYSTAL RIGHT CR 100	28,3 L.	13,16	
T9013B	CRYSTAL RIGHT CR 200	28,3 L.	14,48	

### 3. CATÁLOGO DISOLUCIONES REGENERANTES



Código	Nombre	Precio	
430504	Ácido Clorhídrico 0,01 N por L	\$ 39.000	+ iva
430514	Ácido Clorhídrico 0,02 N por L	\$ 43.000	+ iva
430554	Ácido Clorhídrico 0,05 N por L	\$ 46.000	+ iva
330703	Ácido Clorhídrico 0,1 N por 4 L	\$ 81.000	+ iva
430704	Ácido Clorhídrico 0,1 N, por L	\$ 36.000	+ iva
430754	Ácido Clorhídrico 0,2 N por L	\$ 47.000	+ iva
430804	Ácido Clorhídrico 0,5 N por L	\$ 41.000	+ iva
430854	Ácido Clorhídrico 1,0 N por L	\$ 38.000	+ iva
330853	Ácido Clorhídrico 1,0 N por 4 L	\$ 83.000	+ iva
430864	Ácido Clorhídrico 2,0 N por L	\$ 47.000	+ iva
431064	Ácido Clorhídrico 3,0 N por L	\$ 52.000	+ iva
430824	Ácido Clorhídrico 1:1 por L	\$ 47.000	+ iva
430914	Ácido Clorhídrico 5%, por L	\$ 49.000	+ iva
430944	Ácido Clorhídrico 10 % por L	\$ 54.000	+ iva
430924	Ácido Clorhídrico 25% por L ( C )	\$ 38.000	+ iva
330923	Ácido Clorhídrico 25% por 4 L ( C )	\$129.000	+ iva
	Ácido Clorhídrico, otras concentraciones por L (Máx 35% - 10 N)	\$ 50.000	+ iva
510505	Ácido Clorhídrico 37% por 500 ml (C)	\$ 31.000	+ iva
410504	Ácido Clorhídrico 37% por L (C)	\$ 43.000	+ iva
531355	Ácido Sulfúrico 0,02 N por 500ml	\$ 25.000	+ iva
431354	Ácido Sulfúrico 0,02 N por L	\$ 43.000	+ iva
331353	Ácido Sulfúrico 0,02 N por 4 L	\$130.000	+ iva
531455	Ácido Sulfúrico 0,1 N por 500 ml	\$ 27.000	+ iva
431454	Ácido Sulfúrico 0,1 N por L	\$ 36.000	+ iva
331453	Ácido Sulfúrico 0,1 N por 4 L	\$ 95.000	+ iva
431504	Ácido Sulfúrico 0,2 N por L	\$ 39.000	+ iva
331543	Ácido Sulfúrico 0,255 N, por 4 L	\$142.000	+ iva
431554	Ácido Sulfúrico 0,5 N por L	\$ 52.000	+ iva
431604	Ácido Sulfúrico 1,0 N por L	\$ 36.000	+ iva
331603	Ácido Sulfúrico 1,0 N por 4 L	\$102.000	+ iva
431634	Ácido Sulfúrico 2,0 N por L	\$ 48.000	+ iva
431774	Ácido Sulfúrico 25% por L (C)	\$ 56.000	+ iva
531705	Ácido Sulfúrico 5 N por 500 ml	\$ 33.000	+ iva
431704	Ácido Sulfúrico 5 N por L	\$ 56.000	+ iva
410754	Ácido Sulfúrico 96% por L (C)	\$ 57.000	+ iva
	Ácido Sulfúrico, otras concentraciones por L (Máx 32 N)	\$ 65.000	+ iva
414504	Sodio Cloruro, por kg	\$ 38.000	+ iva

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Código	Nombre	Precio	
437904	Sodio Hidróxido 0,01 N, por L	\$ 48.000	+ iva
437914	Sodio Hidróxido 0,02 N, por L	\$ 49.000	+ iva
437954	Sodio Hidróxido 0,05 N, por L	\$ 51.000	+ iva
538005	Sodio hidróxido 0,1 N, por 500 ml	\$ 19.000	+ iva
438004	Sodio Hidróxido 0,1 N, por L	\$ 31.000	+ iva
338003	Sodio Hidróxido 0,1 N, por 4 L	\$ 84.000	+ iva
438334	Sodio Hidróxido 0,1 N en metanol, por L	\$ 95.000	+ iva
438344	Sodio Hidróxido 0,2 N por L	\$ 53.000	+ iva
338043	Sodio Hidróxido 0,313 N, por 4 L	\$139.000	+ iva
438054	Sodio Hidróxido 0,5 N, por L	\$ 42.000	+ iva
438104	Sodio Hidróxido 1,0 N, por L	\$ 31.000	+ iva
338103	Sodio Hidróxido 1,0 N, por 4 L	\$ 83.000	+ iva
438014	Sodio Hidróxido 2,0 N, por L	\$ 55.000	+ iva
238202	Sodio Hidróxido 32%, por 18.5 L	\$181.000	+ iva
438234	Sodio Hidróxido 40%, por L	\$ 45.000	+ iva
	Sodio Hidróxido, otras concentraciones por L (Máx 50% - 16 N)	\$ 61.000	+ iva
412654	Glicerina 99.5%, por L	\$ 93.000	+ iva

## 4. CATÁLOGO DE AISLANTES DE FIBRA DE VIDRIO

**CONSORCIO TERMO ACÚSTICO S.A. DE C.V.** Nuestros productos

**Alta tecnología para toda construcción.**

**VITRO DUCT LINER**  
NEOPRENO

**VITROCOLOR**

**VITRO DUCT BOARD**

**VITROTERM**

**BATTS IN BAGS**

**STYROFOAM**  
VITROFOAM

**RF-4000**  
RF-7000

**FACIL FLEX**

**ABLHOGAR**

**RF-3000**

**VITROFORM PLUS**  
Y ASJ



CONSORCIO TERMO ACÚSTICO S.A. DE C.V.

Aislhogar



**DESCRIPCIÓN**

Aislamiento termoacústico fabricado con fibra de vidrio de baja densidad, aglutinada con resina fenólica de fraguado térmico.

**PROPIEDADES**

PRESENTACION	UNIDADES	ESPEORES								
		cm pulg	5.1 2"	7.6 3"	8.9 3.5"	10.2 4"	11.4 4.5"	12.7 5	15.2 6	
<b>RESISTENCIA TÉRMICA</b>	Kcal m/m <sup>2</sup> h °C		7	10	11	13	15	16	19	
<b>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	BTU pulg/pie <sup>2</sup> h °F		0.298	0.305	0.305	0.309	0.309	0.309	0.305	
	Kcal m/m <sup>2</sup> h °C		0.037	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	
	W/°C m		0.043	0.044	0.044	0.045	0.045	0.045	0.044	

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE SONIDO (Hz)									
VALOR "R"	ESPESOR		BANDAS DE OCTAVA (Hz)						
	Cm.	pulg.	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
R-7	5.1	2	0.22	0.60	0.91	0.93	0.91	0.95	0.85
R-10	7.6	3	0.29	0.82	1.02	0.94	0.96	0.98	0.95
R-11	8.9	3.5	0.39	0.91	1.01	0.92	0.93	0.98	0.95
R-13	10.2	4	0.40	1.08	1.04	0.95	0.98	1.03	1.00
R-16	14	5.5	0.64	1.14	1.09	0.99	1.00	1.21	1.05

COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE SONIDO		
ESPESOR		STC
Cm.	pulg.	
5.1	2	7.00

### NORMATIVIDAD

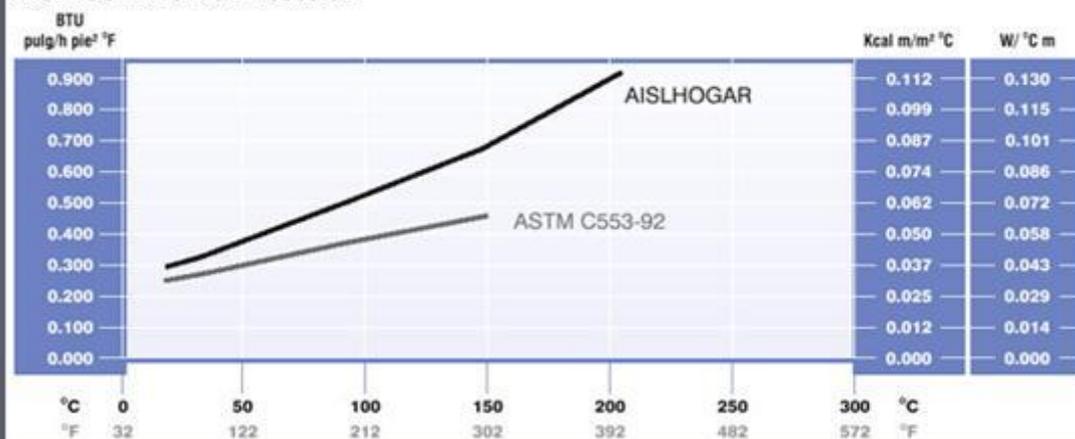
La calidad de AISLHOGAR cumple con las normas:

- C553-92
- ASTM C665-98 Tipo I Clase A Sin Recubrimiento y Tipo 11 Clase C Recubierto con Papel Kraft.
- ASTM E84 (Sin recubrimiento)
- N MX C 230-1995 Clase I TipoA

### ESPEORES RECOMENDADOS

TEMPERATURAS DE OPERACION				ESPEORES RECOMENDADOS	
°C		°F		cm	pulg.
DE	HASTA	DE	HASTA		
-18	37	0	99	5.1	2
38	92	100	199	5.1	2
93	148	200	299	7.6	3
149	204	300	399	7.6	3
204	259	400	499	7.6	3

### GRAFICA DE CONDUCTIVIDAD TERMICA AISLHOGAR Vs. ASTM C553-92



### PRESENTACIÓN

Rollos flexibles color amarillo en las siguientes presentaciones:

- Sin recubrimiento
- Recubierto con papel kraf asfaltado

PRESENTACION	UNIDADES							
ESPEOR	cm	5.1	7.6	8.9	10.2	11.4	12.7	15.2
	pulg.	2	3	3.5	4	4.5	5	6
ANCHO 1	cm	61	61	61	61	61	61	61
	pulg.	24	24	24	24	24	24	24
ANCHO 2	cm	41	41	41	41	41	41	41
	pulg.	16	16	16	16	16	16	16
LONGITUD	m	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
	pies	50	50	50	50	50	50	50



**VITROFORM PLUS**  
**VITROFORM ASJ PLUS**



**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

**DESCRIPCIÓN**

VITROFORM PLUS es un preformado que se presenta con o sin barrera de vapor ASJ (All Service Jacket) se produce con fibra de vidrio aglutinada con resinas especiales para emplearse en tuberías que operen en un rango de temperatura desde 84°C hasta 454 °C (-120 °F hasta 850 °F).

**APLICACIONES**

VITROFORM PLUS y VITROFORM ASJ PLUS, son los aislamientos térmicos ideales para tuberías de proceso y servicio, que conducen vapor, agua caliente, agua helada, refrigerantes, gases y toda clase de fluidos en que se requiera ahorrar energía. Por sus características, son los preformados de mayor uso en las áreas de: petroquímica básica, petroquímica secundaria, refinación, farmacéutica, alimenticia, química y naviera. Además de aplicaciones en hoteles, hospitales, edificios comerciales, restaurantes y clubes deportivos.

**VENTAJAS**

- Máxima eficiencia térmica  
Garantiza menor pérdida de calor del sistema, lo que se traduce en un ahorro en el consumo de energéticos y por consiguiente, se reduce la emisión de contaminantes.
- Resistencia a la vibración  
El diámetro y la longitud de nuestra fibra, además del tipo de fibrado, hacen que no tenga shot (0% de shot) esto impide que el aislamiento se asiente en los equipos sujetos a vibraciones. Al conservar su forma original se garantiza uniformidad en la conductividad térmica y flujo de calor en cualquier lugar.
- Baja conductividad térmica  
Al tener la más baja conductividad térmica que cualquier otro aislante de su tipo garantiza menores pérdidas de calor y ahorro en combustible, por ello requiere menor espesor aislante, lo que hace que se tenga ahorro en productos de recubrimiento (aluminio, lámina galvanizada, fieltro) y un menor peso muerto en la tubería.

· Incombustible

Su naturaleza y componentes no combustibles evitan el riesgo de propagación del fuego, lo que reduce el costo de las primas de los seguros contra incendio.

· Fácil de instalar y manejar

Por su densidad y flexibilidad es un material de fácil y rápida instalación en tuberías y equipos, lo que se convierte en ahorro de tiempo y dinero.

· Ligero

Es el material más ligero de su tipo en el mercado de los termoaislantes.

· Dimensionalmente estable

La fibra de vidrio no se expande ni se contrae al estar expuesta a bajas o altas temperaturas, con lo cual se evita la formación de aberturas que permitan la fuga o entrada de calor.

· Inorgánico e inodoro

No crea hongos, ni bacterias con lo que se evita la aparición de olores y se alarga la vida útil del material.

· Bajos costos de operación

Al utilizar un material de alta eficiencia térmica se incrementa la productividad de los equipos, ahorrando mayor energía que se traduce en la baja de costos de operación.

· Bajo mantenimiento y larga duración

La fibra de vidrio se caracteriza por su larga duración, por lo que los gastos de mantenimiento son mínimos y la reposición del aislamiento en un sistema bien instalado, es a largo plazo.

· Resiliente

El diámetro y la longitud de la fibra le permiten al material recuperar su forma y espesor siempre y cuando la presión que lo deforma se retire, asegurando su factor R (Resistencia Térmica).

· No favorece la corrosión

La naturaleza no ferrosa de la fibra de vidrio no favorece la corrosión en acero, cobre y aluminio. Resultado: Mayor vida útil en equipos e instalaciones.

· Flexible

El diámetro y la longitud de nuestra fibra, lo vuelve resistente al impacto e irrompible, lo cual le permite conservar sus propiedades inclusive en tuberías sujetas a vibraciones.

**PROPIEDADES**

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA*			
PRESENTACION	BTU pulg/pie <sup>2</sup> h °F	W/Cm	Kcal m/m <sup>2</sup> h °C
CORTE LONGITUDINAL	0.245	0.035	0.0303
MEDIAS CAÑAS	0.245	0.035	0.0303
CORTE LONGITUDINAL AUTOADHERIBLE	0.245	0.035	0.0302

Evaluada a 24 °C (75 °F) (297 °K) de temperatura promedio

\*Valor determinado en el Instituto Mexicano del Petróleo

Absorción de humedad

0.2% en volumen durante 96hr de exposición en un ambiente de 96% de humedad relativa y 49°C.

Calor específico

0.2 BTU/lb°F

### NORMATIVIDAD

La calidad de VITROFORM PLUS y VITROFORM ASJ PLUS cumplen con las normas:

- ASTM C 547-95 TIPO I
- ASTM E-84
- UL 723
- ULC S -102M
- NMX C-230-1985 CLASE 11 TIPO A
- PEMEX 2.313.01/91 CODIGO MA-3 TIPO 2
- CFE D4500-04
- NOM-009-ENER-1995

### ESPEORES RECOMENDADOS

AISLAMIENTO VITROFORM PLUS PARA TUBERIAS CALIENTES Ta= 25 °C (77 °F)

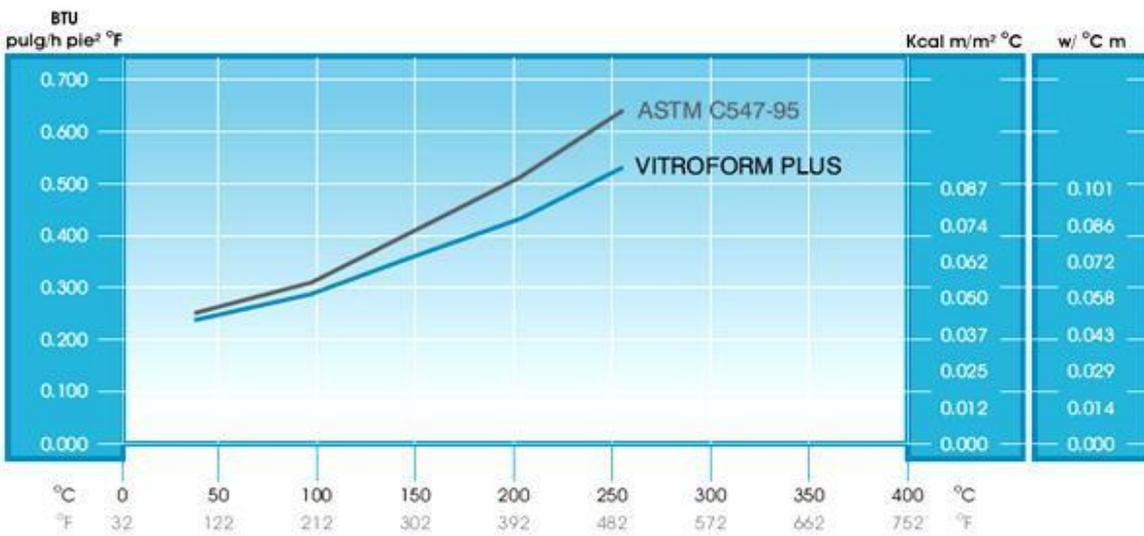
TEMP. OPERACION	HASTA 65 °C (150°F)						HASTA 121 °C (250°F)						HASTA 177 °C (350°F)						HASTA 232 °C (450°F)							
	DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		E.R.	PC.	T.S.		DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		E.R.	PC.	T.S.		DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		E.R.	PC.	T.S.		DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		E.R.	PC.	T.S.			
	pulg.	mm	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F
1/2	12.7	1	25.4	7.3	27.7	81.9	1	25.4	19.6	32.3	90.2	1	25.4	34.6	37.9	100.3	1 1/2	38.0	43.1	36.9	98.4					
3/4	19.1	1	25.4	8.2	27.8	82.1	1	25.4	22.1	32.7	90.9	1	25.4	39.0	38.0	101.5	1 1/2	38.0	47.9	37.6	99.7					
1	25.4	1	25.4	9.5	28.0	82.5	1	25.4	25.6	33.2	91.8	1 1/2	38.0	36.3	33.8	93.0	2	50.8	47.3	34.4	94.0					
1 1/2	38.0	1	25.4	12.2	28.3	82.9	1	25.4	32.8	33.8	93.0	1 1/2	38.0	45.3	34.7	94.6	2	50.8	58.1	35.4	95.8					
2	51.0	1	25.4	14.3	28.4	83.2	1	25.4	38.4	34.3	93.8	1 1/2	38.0	52.4	35.3	95.6	2	50.8	66.5	36.0	96.9					
3	76.0	1	25.4	19.2	28.6	83.6	1	25.4	51.7	34.9	94.9	1 1/2	38.0	68.8	36.2	97.2	2	50.8	85.9	37.1	98.8					
4	102.0	1	25.4	23.5	28.8	83.9	1	25.4	63.3	35.3	95.6	2	50.8	68.0	33.4	92.2	2	50.8	102.7	37.7	100.0					
6	152.0	1	25.4	32.7	29.0	84.2	1 1/2	38.0	64.2	32.0	89.7	2	50.8	91.2	34.1	93.4	2	50.8	137.8	38.7	101.7					
8	203.0	1	25.4	41.3	29.1	84.4	1 1/2	38.0	80.2	32.2	90.1	2	50.8	112.9	34.4	94.0	2 1/2	63.5	143.7	38.1	97.1					
10	254.0	1	25.4	50.3	29.1	84.5	1 1/2	38.0	97.1	32.4	90.4	2	50.8	135.8	34.7	94.5	2 1/2	63.5	171.8	36.5	97.8					
12	304.0	1 1/2	38.0	42.1	27.8	82.1	1 1/2	38.0	113.0	32.6	90.7	2	50.8	157.3	34.9	94.9	2 1/2	63.5	198.1	36.8	98.3					
14	356.0	1 1/2	38.0	45.7	27.8	82.1	2	50.8	96.7	30.6	87.2	2 1/2	63.5	142.0	32.8	91.2	2 1/2	63.5	214.5	36.9	98.5					
16	406.0	1 1/2	38.0	51.6	27.8	82.1	2	50.8	108.8	30.7	87.3	2 1/2	63.5	159.3	33.0	91.4	3	76.0	207.1	34.9	94.9					
18	457.0	1 1/2	38.0	57.5	27.8	82.2	2	50.8	121.0	30.8	87.5	2 1/2	63.5	176.7	33.1	91.6	3	76.0	229.2	35.1	95.2					
20	508.0	1 1/2	38.0	63.4	27.8	82.2	2	50.8	133.1	30.8	87.5	2 1/2	63.5	194.0	33.2	91.8	3	76.0	251.2	35.2	95.4					
24	610.0	1 1/2	38.0	75.2	27.9	82.3	2	50.8	157.3	30.9	87.7	2 1/2	63.5	228.6	33.3	92.0	3	76.0	295.2	35.3	95.7					
26	660.0	1 1/2	38.0	81.1	27.9	82.3	2	50.8	169.4	30.9	87.7	2 1/2	63.5	245.9	33.4	92.1	3	76.0	317.1	35.5	95.9					
28	711.0	1 1/2	38.0	87.0	27.9	82.3	2	50.8	181.5	31.0	87.8	2 1/2	63.5	263.2	33.4	92.2	3	76.0	339.1	35.5	96.0					
30	762.0	2	50.8	72.0	27.2	81.0	2 1/2	63.5	158.9	29.7	85.8	3	76.0	238.9	32.0	89.6	3 1/2	89.0	315.5	34.0	93.2					

TEMP. OPERACION	HASTA 287 °C (550°F)						HASTA 343 °C (650°F)						HASTA 399 °C (750°F)						HASTA 454 °C (850°F)							
	DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		E.R.	PC.	T.S.		DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		E.R.	PC.	T.S.		DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		E.R.	PC.	T.S.		DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		E.R.	PC.	T.S.			
	pulg.	mm	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft °C	°F
1/2	12.7	2	50.8	52.6	36.5	97.7	2	50.8	69.3	40.2	104.3	2	50.8	87.9	44.2	111.7	2 1/2	63.5	98.7	42.9	109.2					
3/4	19.1	2	50.8	58.0	37.2	99.0	2	50.8	76.4	41.1	106.0	2	50.8	96.9	45.4	113.8	2 1/2	63.5	108.2	44.0	111.2					
1	25.4	2	50.8	65.7	38.1	100.6	2	50.8	86.6	42.2	108.3	2 1/2	63.5	98.6	41.5	106.8	3	76.0	111.8	41.2	106.1					
1 1/2	38.0	2	50.8	80.7	39.5	103.1	2	50.8	106.3	44.1	111.4	2 1/2	63.5	119.6	43.3	110.1	3	76.0	134.3	43.0	109.4					
2	51.0	2	50.8	94.4	40.3	104.7	2 1/2	63.5	107.1	40.4	104.7	2 1/2	63.5	135.9	44.5	112.2	3	76.0	151.7	44.2	111.5					
3	76.0	2	50.8	119.3	41.8	107.3	2 1/2	63.5	136.3	42.0	107.6	3	76.0	154.7	42.2	108.1	3 1/2	89.0	174.3	42.6	108.7					
4	102.0	2	50.8	142.7	42.8	109.0	2 1/2	63.5	161.6	43.0	109.4	3	76.0	182.1	43.4	110.1	3 1/2	89.0	203.8	43.8	110.8					
6	152.0	2 1/2	63.5	162.6	39.8	103.7	3	76.0	188.1	40.8	105.4	3	76.0	238.6	45.0	113.1	3 1/2	89.0	264.7	45.6	114.1					
8	203.0	2 1/2	63.5	199.6	40.5	104.9	3	76.0	229.3	41.6	106.9	3 1/2	89.0	259.9	42.6	108.7	4	102.0	291.5	43.6	110.4					
10	254.0	2 1/2	63.5	238.6	41.0	105.9	3	76.0	272.7	42.2	108.0	3 1/2	89.0	307.9	43.3	110.1	4	102.0	343.5	44.4	111.9					
12	304.0	2 1/2	63.5	275.2	41.4	106.6	3	76.0	313.3	42.7	108.9	3 1/2	89.0	352.2	43.9	111.0	4	102.0	391.0	45.0	113.0					
14	356.0	3	76.0	257.1	38.6	101.5	3	76.0	338.7	42.9	109.3	3 1/2	89.0	380.0	44.2	111.5	4	102.0	422.4	45.3	113.6					
16	406.0	3	76.0	287.8	38.8	101.9	3 1/2	89.0	334.4	40.4	104.7	4	102.0	381.4	41.8	107.3	4 1/2	114.3	428.9	43.2	109.7					
18	457.0	3	76.0	318.4	39.0	102.3	3 1/2	89.0	369.3	40.6	105.2	4	102.0	420.3	42.1	107.8	4 1/2	114.3	471.9	43.5	110.3					
20	508.0	3 1/2	89.0	306.8	37.0	98.7	3 1/2	89.0	404.1	40.8	105.5	4	102.0	459.2	42.4	108.3	4 1/2	114.3	541.8	43.8	110.9					
24	610.0	3 1/2	89.0	359.5	37.3	99.1	4	102.0	423.0	39.0	102.2	4	102.0	536.8	42.7	109.0	4 1/2	114.3	600.3	44.3	111.7					
26	660.0	3 1/2	89.0	385.8	37.4	99.3	4	102.0	453.5	39.1	102.4	4	102.0	575.5	42.9	109.3	4 1/2	114.3	642.9	44.4	112.0					
28	711.0	3 1/2	89.0	412.0	37.3	99.4	4	102.0	484.0	39.2	102.6	4	102.0	614.1	43.1	109.5	4 1/2	114.3	685.6	44.6	112.3					
30	762.0	4	102.0	390.6	35.9	96.6	4 1/2	114.3	465.0	37.0	99.7	4 1/2	114.3	590.1	41.0	105.8	5	127.0	665.8	42.6	108.7					

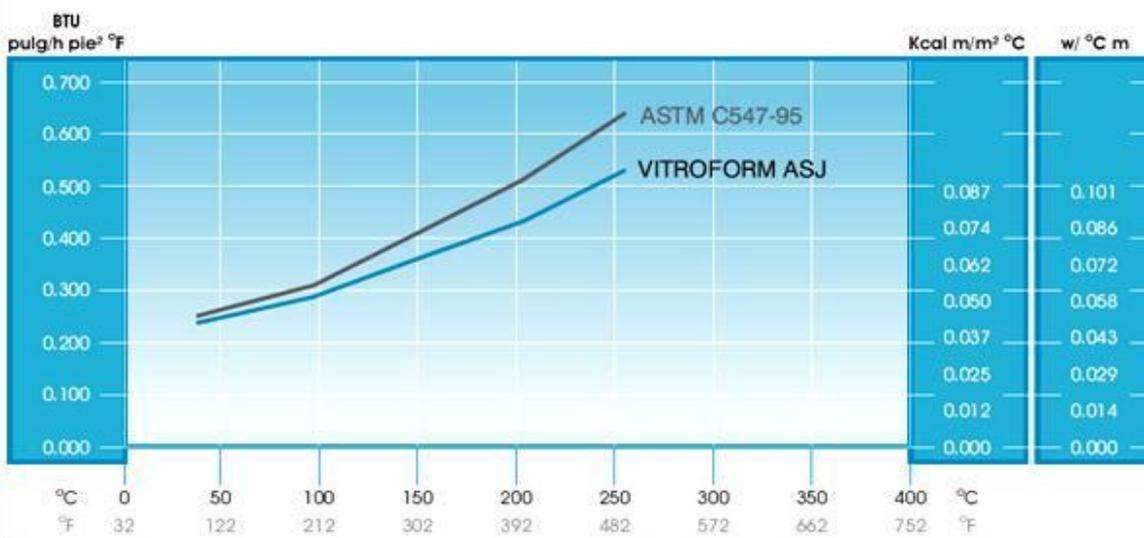
E.R.: ESPESOR RECOMENDADO  
T.S.: TEMPERATURA DE SUPERFICIE APROXIMADA

P.C.: PERDIDA DE CALOR  
Ta.: TEMPERATURA AMBIENTE

**GRAFICA DE CONDUCTIVIDAD TERMICA  
VITROFORM PLUS vs ASTM C547-95**



**GRAFICA DE CONDUCTIVIDAD TERMICA  
VITROFORM ASJ vs ASTM C547-95**



**PRESENTACION**

VITROFORM PLUS preformado con un corte longitudinal tipo bisagra que permite su fácil y rápida instalación.

VITROFORM PLUS en su presentación de medias cañas facilita su instalación en tuberías de grandes diámetros.

VITROFORM ASJ PLUS es un preformado para tuberías con un corte longitudinal tipo bisagra con una camisa de foil de aluminio y papel kraft reforzado con fibra de vidrio, que funciona como una barrera de vapor a baja temperatura, esta camisa viene con una ceja adhesiva longitudinal y una cinta adhesiva transversal sensible a la presión que logran un sellado hermético que impide la entrada de vapores, eliminando así la necesidad de adhesivos o flejes adicionales, y permite una rápida instalación.

## 5. CATÁLOGO DE LA CALDERA DE VAPOR

### Modelo "CBC"



La caldera de vapor INSTANVAP modelo "CBC" es del tipo horizontal pirotubular de hogar interior centrado, con tres pasos de gases, por lo que se obtiene un rendimiento térmico máximo.

La combustión se produce y completa dentro del hogar, totalmente rodeado y refrigerado por agua, retornando los humos resultantes a través del mismo hogar, pasando posteriormente por el haz tubular con el aprovechamiento al máximo del calor, para finalmente expulsarlo a la atmósfera por la chimenea.

La caldera es de cámara húmeda, completamente rodeada y refrigerada de agua, sin necesidad de refractario en su cara posterior, con el consiguiente aumento de rendimiento, así como ahorro económico y de mantenimiento.



Un registro de hombre, en la parte superior de la caldera, y portillas de inspección, en las partes frontal y trasera de la misma, permiten realizar las revisiones y trabajos de limpieza requeridos para el buen mantenimiento del interior de la caldera.

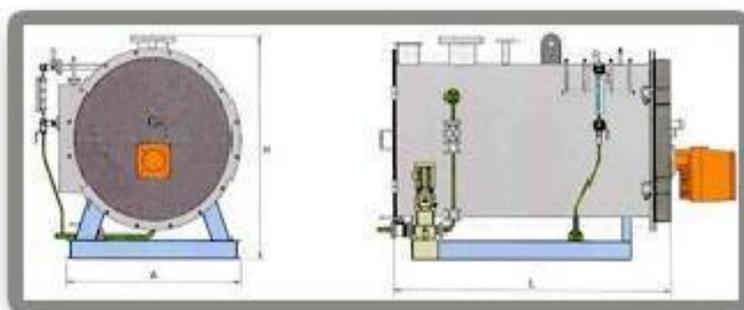
En la parte anterior de la caldera tenemos la puerta de acceso a los tubos de humos al hogar, estando sujetadas por tornillos preparados para que no se bloqueen a causa de la temperatura, una vez quitada la tapa queda sujeta por unas bisagras giratorias, que hacen que la inspección y en su caso la limpieza, sea un trabajo sencillo y de rápida realización.



La caldera de vapor INSTANVAP "CBC", de construcción robusta y compacta, se suministra como un conjunto "monobloc" montada sobre una sólida bancada, lista para su rápido montaje y puesta en servicio.

Para su puesta en servicio, solamente es necesario conectarle las tuberías de agua, vapor, combustible y realizar el cableado eléctrico del cuadro de maniobra.

TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE LAS CALDERAS DE VAPOR "CBC"



Modelo	Producción Kg/v/h.	Superficie de calefacción m <sup>2</sup> .	Categoría "C" a * Kg/cm <sup>2</sup> .	Consumo Kg./h.	Longitud mm.	Ancho mm.	Altura mm.
CBC-100	100	2,20	>16	8	1.753	996	1.296
CBC-200	200	4,45	>16	15	1.953	1.046	1.346
CBC-300	300	6,70	>16	21	2.103	1.140	1.440
CBC-500	500	11,12	1,67	34	2.153	1.280	1.580
CBC-800	800	17,6	13,5	57,5	2.103	1.410	1.710
CBC-1000	1.000	22,3	11	69	2.349	1.486	1.786
CBC-1300	1.300	28,8	8	90	2.249	1.606	1.906
CBC-1500	1.500	33,4	7	99	2.649	1.616	1.916
CBC-2000	2.000	44,5	6	132	2.687	1.736	2.036
CBC-2500	2.500	54,68	5	170	2.700	1.860	2.160
CBC-3000	3.000	65,62	4	200	2.900	1.950	2.280

## 6. CATÁLOGO DE BOMBAS

Bombas de Membrana  
Bombas de Manejo de Sólidos  
Bombas de Alta Presión  
Bombas Marinas

# ABEL CM

Bombas Compactas de Membrana  
La solución para los medios difíciles



**Especialistas en aplicaciones extremas**

**ABEL**<sup>®</sup>  
Pump Technology

**ABEL CM**

Bombas Compactas de Membrana  
La solución para los medios difíciles

## Bombas ABEL CM Compactas de Membrana Rango de operación: hasta 225 m<sup>3</sup>/h y 10,0 MPa

### Especialistas en aplicaciones extremas

Más fuertes que nunca. Mayor fiabilidad gracias a la tecnología de doble membrana.



**Bombas ABEL CM para medios difíciles**

- Transporte de lodos
- Alimentación a filtros prensa y a atomizadores
- Transporte de aguas residuales sin tratar
- Transporte de medios abrasivos, corrosivos, ácidos, alcalinos, pigmentados, viscosos y granulados

Las bombas compactas de membrana ABEL están diseñadas para manejar medios difíciles. Son compatibles con todo tipo de productos abrasivos, corrosivos, granulados, pigmentados o viscosos. Con frecuencia, son la mejor solución en condiciones de trabajo delicadas.

Las bombas compactas de membrana ABEL son la mejor opción para las empresas pertenecientes al sector de deshidratación municipal de fangos y a las industrias cerámica, química, farmacéutica, de pintura y de automoción, para quienes la eficiencia económica continuada es absolutamente esencial.

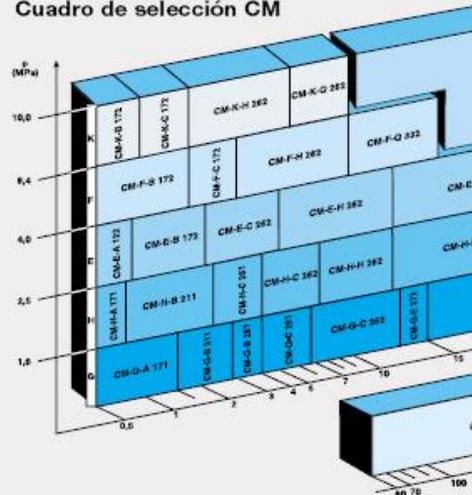
**Las ventajas de ABEL CM**

- Hasta 225 m<sup>3</sup>/h
- Hasta 10,0 MPa
- Diseño probado
- Control óptimo
- Larga vida de servicio
- Fácil mantenimiento
- Fiabilidad operativa gracias a la tecnología de doble membrana

La base de nuestro trabajo son las condiciones específicas de trabajo de cada cliente. Las necesidades y objetivos individuales son la medida y el origen de la solución que desarrollamos para cada cliente. Y para crear una solución, empleamos nuestra dilatada experiencia, que no ha hecho sino crecer durante décadas.

Las bombas compactas de membrana ABEL son la mejor solución para aplicaciones y medios difíciles. Las hemos diseñado para que constituyan una solución óptima y permanente hasta en el más mínimo detalle.

**Cuadro de selección CM**



Las bombas de pistón membrana le han valido a ABEL la reputación de ser un líder en fabricación de bombas de desplazamiento positivo y movimiento alternativo. ABEL es el líder mundial dentro del segmento de alimentación de filtros prensa (Instituto Hidráulico de Estados Unidos, 1999).

Las bombas compactas de membrana ABEL, de efecto simple o doble, son especialistas en medios difíciles. Día tras día demuestran su alta disponibilidad y su bajo desgaste en operación continua. Actualmente se emplean en aplicaciones pesadas de las siguientes industrias:

- Agua y tratamiento de aguas
- Minería
- Cerámica
- Cementeras
- Automoción



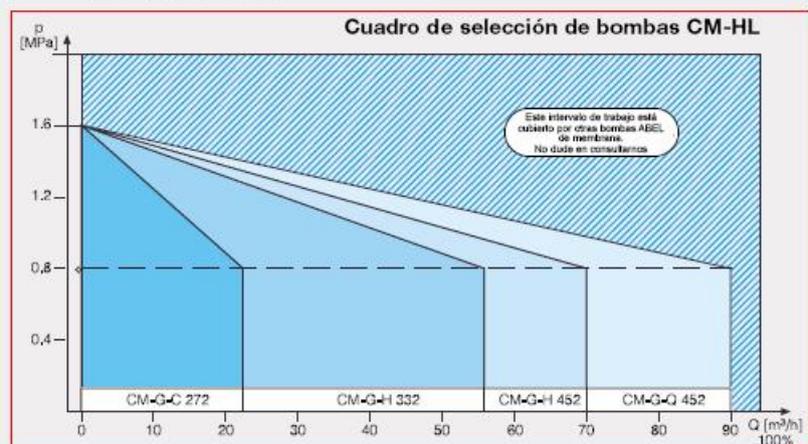
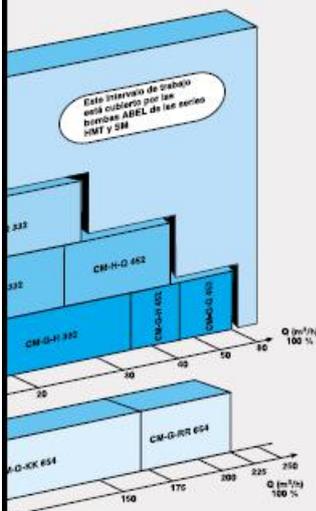
**La tecnología CM**

- Diseño óptimo, capaz de resistir altas presiones
- Máxima eficiencia de llenado
- Espacios muertos mínimos
- Lado de producto sin empaquetaduras de prensaestopas
- Válvulas cónicas o de bola
- Cuerpos de válvula con tapas de inspección
- Detector de rotura de las membranas
- Válvula de seguridad y suplemento automático de líquido en el circuito primario
- Control centralizado de la presión durante el funcionamiento del filtro prensa
- Control automático de la posición de la membrana

Disponemos de una completa gama de materiales para todas las partes en contacto con el medio:

- Fundición nodular, si es preciso engomada o con revestimiento de Halar®
- Aceros inoxidables
- Fundición de acero

En respuesta a la demanda del mercado, hemos ampliado considerablemente los caudales de trabajo hasta 225 m³/h.



Fuerza compacta



**ABEL CM**  
Bombas Compactas de Membrana  
La solución para los medios difíciles

## Diseño optimizado

Los detalles técnicos que se enumeran a continuación hacen que las bombas compactas de membrana ABEL sean imbatibles en funcionamiento y calidad.

### Fiabilidad operativa gracias a la tecnología de doble membrana

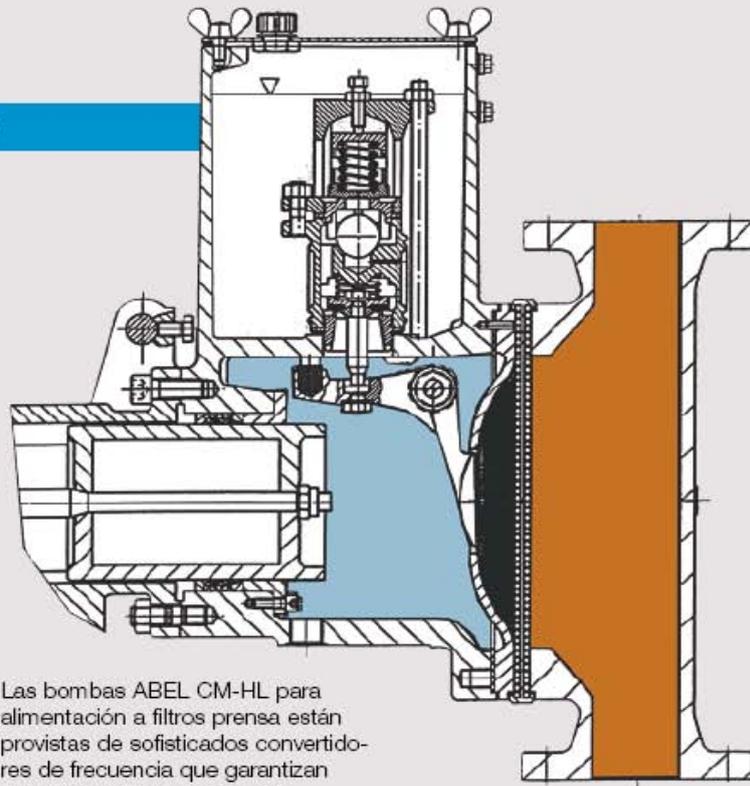
En caso de que el producto o el medio hidráulico penetre en el espacio intermedio de la doble membrana, una función de control integrada detecta el problema inmediatamente, antes de que el producto contamine el medio hidráulico o viceversa. Alternativamente, un control eléctrico puede activar una alarma automática.

### Bolas de válvula de alta precisión y larga duración

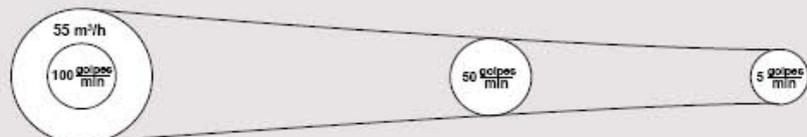
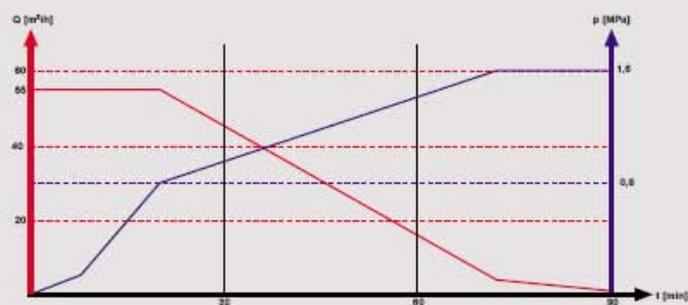
Las bombas compactas de membrana ABEL combinan dos materiales blandos que garantizan un funcionamiento uniforme. En su versión estándar, las bombas se equipan con bolas de válvula mecanizadas y asientos de poliuretano. Por supuesto, son posibles muchas otras combinaciones.

### Características de caudal controladas en aplicaciones de alimentación a filtros prensa

La bomba cuenta con una válvula de control que regula la carrera de la membrana, adaptando el caudal a las necesidades de proceso del filtro prensa. Las válvulas de control se calibran en el banco de pruebas de ABEL en función de cada aplicación, para limitar la presión de trabajo final.



Las bombas ABEL CM-HL para alimentación a filtros prensa están provistas de sofisticados convertidores de frecuencia que garantizan caudales uniformes; para ello, efectúan un control dependiente del par con un consumo energético reducido.

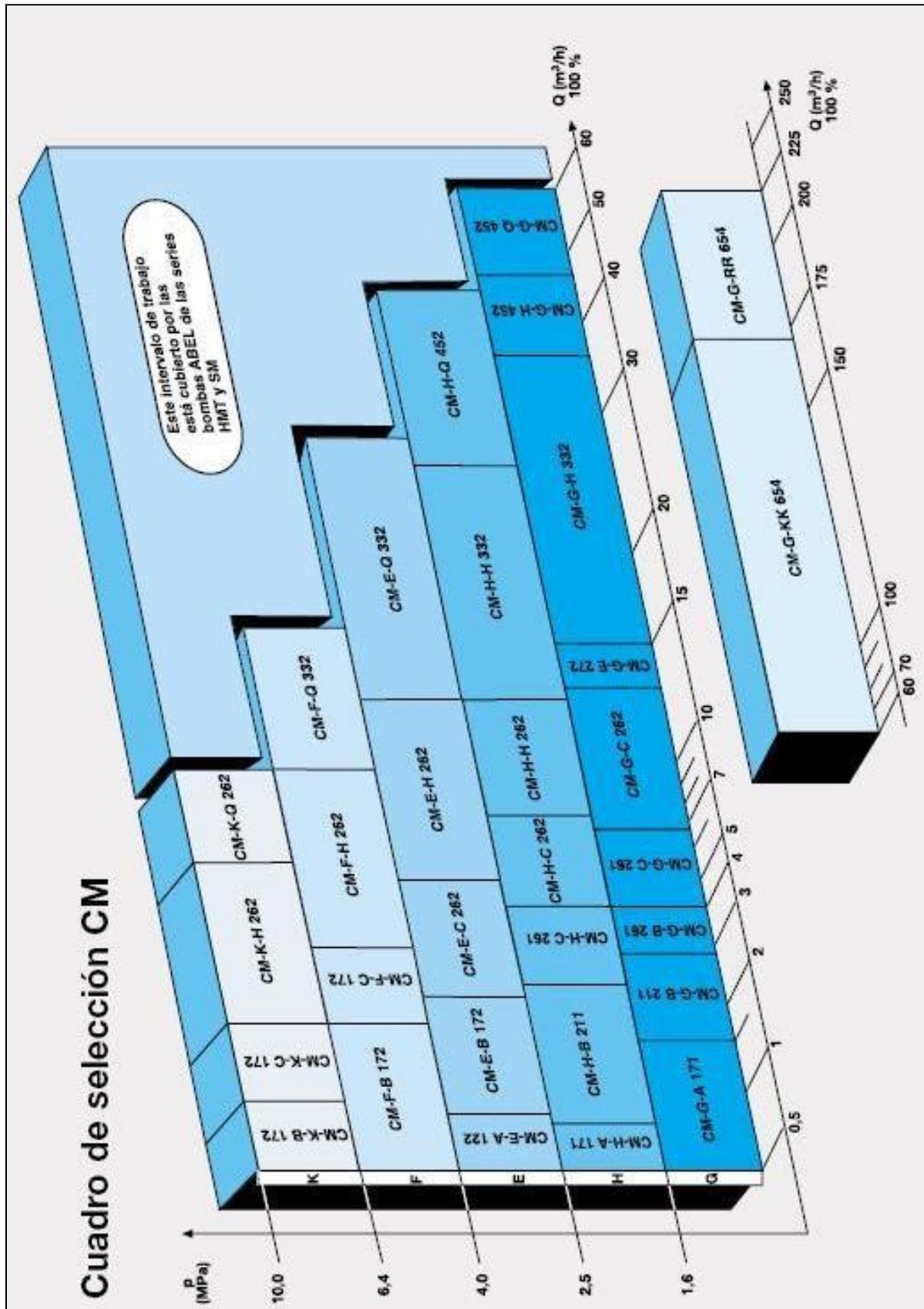




Bombas de Membrana  
Bombas de Manejo de Sólidos  
Bombas de Alta Presión  
Bombas Marinas

**ABEL**<sup>®</sup>  
Pump Technology

ABEL Equipos, S.A.  
C/ Anochecer 2 · Edificio "El Torreón"  
28223 Pozuelo de Alarcón (Madrid)  
Tel. 91 715 48 48  
Fax 91 799 00 17  
mail@abelequipos.es  
www.abel.de





**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE  
GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO EN LA  
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

ANEXO 5:  
ESTUDIO ECONÓMICO

## 0. ÍNDICE

<b>0. ÍNDICE</b>	<b>333</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>334</b>
<b>2. CAPITAL FIJO INVERTIDO</b>	<b>334</b>
<b>3. COSTES DE PRODUCCIÓN</b>	<b>336</b>
3.1. TÉRMINO PROPORCIONAL AL INMOVILIZADO	337
3.2. TÉRMINO PROPORCIONAL AL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	338
3.3. TÉRMINO PROPORCIONAL A LA MANO DE OBRA	341
<b>4. BENEFICIOS</b>	<b>342</b>
4.1. BENEFICIO BRUTO ANUAL	342
4.2. BENEFICIO NETO ANUAL	343
<b>5. RENTABILIDAD</b>	<b>344</b>
<b>6. RESUMEN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO</b>	<b>345</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

En este anexo se va a realizar un estudio sobre la viabilidad económica de la instalación de purificación de glicerina, es decir, conocer qué beneficios se obtienen y qué rentabilidad se alcanza. Para ello se determina previamente el capital fijo invertido y los costes de operación requeridos.

## 2. CAPITAL FIJO INVERTIDO

El capital fijo invertido en la instalación,  $I$ , está compuesto por tres tipos de capitales, según la ecuación [5.1]:

$$I = I_F + I_A + I_W \quad [5.1]$$

Siendo estos capitales los siguientes:

- $I_F$ , capital invertido en inmovilizado (calculado en el Presupuesto e igual a 1.038.094,55 €)
- $I_A$ , capital invertido en servicios auxiliares.

En la siguiente figura aparecen los servicios auxiliares típicos en una planta industrial.

<i>Servicio</i>	<i>Intervalo</i>	<i>Valor medio (%)</i>
Edificios auxiliares	3,0-9,0	5,0
Generación de vapor	2,6-6,0	3,0
Refrigeración (incluye su distribución)	1,0-3,0	2,0
Refrigeración y bombeo de agua	0,4-3,7	1,8
Almacenamiento de producto terminado	0,7-2,4	1,8
Subestación eléctrica principal	0,9-2,6	1,5
Sistema de evacuación de residuos	0,4-1,8	1,1
Almacenamiento de materias primas	0,3-3,2	1,1
Distribución de vapor	0,2-2,0	1,0
Distribución de electricidad	0,4-2,1	1,0
Compresión y distribución de aire	0,2-3,0	1,0
Distribución de agua	0,1-2,0	0,9
Sistema de protección contra incendios	0,3-1,0	0,7
Tratamiento de aguas	0,2-1,1	0,6
Ferrocarril	0,3-0,9	0,6
Carreteras y aceras	0,2-1,2	0,6
Suministro y distribución de gas	0,2-0,4	0,3
Tratamiento sanitario de residuos	0,1-0,4	0,3
Comunicaciones	0,1-0,3	0,2
Alumbrado de planta y zonas limítrofes	0,1-0,3	0,2

\* De H. C. BAUMAN: *Chem. Eng. Progr.*, 1, 51 (1955).

Figura 5.1. Valores típicos de los costes de los servicios auxiliares expresados como porcentaje del coste total de la planta instalada [6]

No se van a tener en cuenta algunos de estos servicios, como el almacenamiento de productos terminados, de materias primas o la generación de vapor, ya que se han considerado como equipos principales en la instalación (ver Presupuesto). Otros de estos servicios tampoco se tienen en cuenta ya que no se necesitan en la instalación.

SERVICIO	FRACCIÓN DE $I_F$
Edificios auxiliares	0,030
Subestación eléctrica principal	0,009
Sistema de evacuación de residuos	0,018
Distribución de vapor	0,002
Distribución de electricidad	0,004
Distribución de agua	0,001
Sistema de protección contra incendios	0,003

SERVICIO	FRACCIÓN DE $I_F$
Tratamiento de aguas	0,002
Carreteras y aceras	0,002
Tratamiento sanitario de residuos	0,004
Comunicaciones	0,001
Alumbrado de planta y zonas limítrofes	0,001
<b>(<math>\Sigma f_A</math>)</b>	<b>0,08</b>
<b>TOTAL (<math>I_A</math>)</b>	<b>79.993,28 €</b>

- $I_W$ , capital circulante: es el capital invertido en el sistema en forma de dinero en efectivo, necesario para hacer frente a gastos de operación y mantener el almacén de materias primas y productos.

Como capital circulante,  $I_W$ , se considera el 1% de  $I_F$ , es decir, **10.380,95 €**.

Teniendo en cuenta estos tres tipos de capital y la ecuación [5.1]:

$$I = 1.128.408,77 \text{ €}$$

### 3. COSTES DE PRODUCCIÓN

Los costes de producción ( $C$ ) sirven para mantener en funcionamiento todo el sistema. Están formados por tres términos:

$$C = F_i + F_Q + F_L \quad [5.2]$$

### 3.1. TÉRMINO PROPORCIONAL AL INMOVILIZADO

Forman parte de este término el mantenimiento de la instalación (mano de obra, materiales, impuestos sobre la propiedad, seguros), los gastos en seguridad (vigilancia, etc.), los servicios administrativos (contabilidad, etc.) y los servicios generales (laboratorio, transportes, etc.).

Para calcular su valor,  $F_i$ , se emplea la siguiente expresión:

$$F_i = a \cdot I_F \quad [5.3]$$

En la siguiente tabla se muestra los valores típicos del coste anual como fracción del inmovilizado.

<i>Partida</i>	<i>Coste anual como fracción de inmovilizado</i>
Mantenimiento y reparaciones	
Procesos sencillos	0,02-0,06
Procesos altamente corrosivos o a presiones o temperaturas elevadas	0,07-0,11
Patentes	0,01-0,04
Seguros	0,01
Servicios generales	0,02-0,10
Factor total razonable para costes indirectos	$a = 0,10-0,20$

Figura 5.2. Costes indirectos que intervienen en el coste de fabricación [6]

Se eligen los siguientes valores:

Partida	Coste anual como fracción de $I_F$
Mantenimiento y reparaciones	0,02
Patentes	0,01
Seguros	0,01
Servicios generales	0,06
<b>a</b>	<b>0,10</b>
<b><math>F_i</math></b>	<b>103.809,45 €</b>

### 3.2. TÉRMINO PROPORCIONAL AL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN

En este término ( $F_Q$ ) se incluye el coste de las materias primas (disoluciones regenerantes y resinas), del mantenimiento derivado del funcionamiento de la instalación y de servicios generales (energía eléctrica y vapor).

#### Materias primas

Se considera el coste de las disoluciones de ácido clorhídrico y de hidróxido sódico necesarias para un año de producción. Por otro lado, las resinas de intercambio iónico pueden ser utilizadas y regeneradas cientos de veces, de modo que se necesita renovarlas solo una vez al año.

Para conocer el coste anual aproximado de las disoluciones regenerantes se considera lo siguiente:

- El precio de 1 litro de disolución de ácido clorhídrico al 5% es de \$ 49 (peso colombiano), es decir, 0,02 €/l (ver anexo 4).<sup>[39]</sup>
- El precio de 4 litros de disolución de hidróxido sódico 1 N es de \$ 83, es decir, 0,01 €/l (ver anexo 4).<sup>[39]</sup>

- En cada regeneración se necesitan 0,097 y 0,135 m<sup>3</sup> de disolución de ácido clorhídrico y de hidróxido sódico como máximo, respectivamente.
- La instalación tiene un régimen de operación de 252 días al año, realizándose 5 regeneraciones al día para cada tipo de resina. Por lo tanto, se emplean anualmente 122,220 y 170,100 m<sup>3</sup> de disolución de ácido clorhídrico y de hidróxido sódico como máximo, respectivamente.

Por lo tanto, el coste anual de disolución de ácido clorhídrico al 5% asciende a **2.444,40 €** y el de disolución de hidróxido sódico 1 N a **1.701,00 €**.

Con respecto al coste de las resinas de intercambio iónico se tiene en cuenta lo siguiente:

- En la instalación se dispone de dos columnas de intercambio catiónico y dos de intercambio aniónico.
- Cada columna de intercambio catiónico contiene 1,254 m<sup>3</sup> de resina y cada una de intercambio aniónico 0,945 m<sup>3</sup> de resina.
- El precio comercial aproximado de la resina catiónica es de 3,25 €/25L y de la aniónica es de 11,54 €/25L (ver anexo 4, punto 2.5).
- Las resinas tienen un tiempo de vida aproximado de doce meses, de modo que necesitan ser cambiadas por resinas nuevas.

De manera que el coste anual de la resina de intercambio catiónico asciende a **326,04 €** y el de la resina de intercambio aniónico a **872,42 €**.

### Mantenimiento

Habitualmente el coste debido al mantenimiento debido a la operación es igual al 2% de  $I_F$  [6]. En este caso al ser una instalación de pequeñas dimensiones y tener un funcionamiento de solo 11,25 horas diarias, se considera solo el 1% de  $I_F$ , es decir, **10.380,95 €**.

### Servicios generales

#### - Energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica se debe fundamentalmente a las seis bombas principales de la instalación, las cuales están en funcionamiento 11,25 horas al día.

El coste de esta energía eléctrica se considera despreciable, ya que todas las bombas tienen una potencia muy baja. Además el precio del kWh es de solo 0,06 € para tarifa industrial.

#### - Vapor de calefacción

La caldera instalada genera aproximadamente 224,396 Kg/h de vapor. Como se ha calculado en el punto 5.2 del anexo 1 del presente proyecto, se requieren 6630,440 kJ/h (1,842 kW) para la producción de esta cantidad de vapor.

El tiempo de funcionamiento de la caldera es de 11,25 horas al día, 252 días al año. Por lo tanto, el coste anual de energía eléctrica para la producción de vapor asciende a **313,32 €**.

#### - Agua de refrigeración

Para el enfriamiento de la glicerina técnica almacenada a través del serpentín, se requiere un caudal de agua de 1300,278 kg/h durante 1 hora a la semana (cada 5 días). Por lo tanto, al año se necesitan 65.534,011 kg de agua.

El precio del agua es de 0,39 €/m<sup>3</sup>, de modo que el coste anual asciende a **25,56 €**.

En la siguiente tabla se resumen los costes relacionados con el volumen de producción:

<b>Partida</b>	<b>Coste (€)</b>
Materias primas	5.343,86
Mantenimiento	10.380,95
Servicios generales	338,88
<b>TOTAL (F<sub>o</sub>)</b>	<b>16.063,69</b>

### **3.3. TÉRMINO PROPORCIONAL A LA MANO DE OBRA**

Se trata de los costes derivados del mantenimiento del personal que interviene en la operación (F<sub>L</sub>). Lo constituyen la mano de obra directa, la gerencia y los gastos adicionales, como pueden ser la seguridad social, las vacaciones pagadas, etc.

Como se detalla en la Memoria Descriptiva (punto 7.2), serán los mismos empleados de la planta de producción de biodiesel los que se ocupen de la instalación de purificación de glicerina. Adicionalmente se contratará a un operario más por turno de trabajo que, además de trabajar en las actividades para la producción de biodiesel, ayude en las nuevas actividades tras la ampliación de la planta.

El gerente y el técnico-mecánico que se contrate para la planta de producción biodiesel se encargará también de la instalación de purificación de glicerina.

Por lo tanto, para el presente proyecto sólo se determina el coste relacionado con los 3 operarios contratados adicionalmente.

Descripción	Nº empleados	Salario empleado (€/h)	Salario empleado (€/año)	Coste total (F <sub>L</sub> ) (€)
Mano de obra general	3	9,47	19.092	<b>57.274,56</b>

Finalmente, los costes de producción anuales resultan (ecuación [5.2]):

$$C = 117.147,70 \text{ €}$$

## 4. BENEFICIOS

### 4.1. BENEFICIO BRUTO ANUAL

El beneficio bruto anual, R, es igual a la diferencia entre el ingreso por la venta anual de glicerina técnica, S, y los costes de producción, C:

$$R = S - C \quad [5.4]$$

Para determinar el término S se considera lo siguiente:

- La producción de glicerina técnica (pureza del 99%) es de 181,889 kg/h (ver anexo 1, punto 4).
- La instalación está en funcionamiento 11,25 horas al día, durante 252 días al año.
- El precio actual de la glicerina al 99% es de 0,60 €/kg aproximadamente.

[31]

Por lo tanto el ingreso anual por la venta de glicerina técnica, S, es de **309.393,19 €**.

Los costes de producción, C, se han calculado en el punto 5. De modo que el beneficio bruto anual resulta:

$$R = 132.245,049 \text{ €}$$

## 4.2. BENEFICIO NETO ANUAL

El beneficio neto anual, P, es la cantidad que queda del beneficio bruto anual, R, tras deducir la amortización y los impuestos:

$$P = R - (e \cdot I_F) - [R - (d \cdot I_F)] \cdot t \quad [5.5]$$

Siendo:

$e \cdot I_F$ : término de amortización

$R - (d \cdot I_F)$ : término de impuestos

e: factor anual calculado para recuperar la inversión hecha en inmovilizado (amortización), (€/€ año)

d: factor anual de pérdida de valor del inmovilizado (envejecimiento de equipos, roturas, etc.)

t: impuestos (€/€ recibido)

Para determinar la amortización se consideran los diez primeros años de vida de la instalación, durante los cuales se recuperará el capital inicial invertido en el inmovilizado,  $I_F$ . Esta amortización es de tipo lineal, es decir, todos los años se amortiza la misma cantidad. Por lo tanto, el término e tiene un valor de 0,1 €/€ año. Para el término d se considera un valor aproximado de 0,05 €/€ año.

Según la Directiva 2000/93/CE, a los productores de biocombustibles se les exime de los impuestos especiales, por lo que sólo se considera que el término  $t$  es igual a 0,1 €/€ recibido.

Resultando que:

$$P = 20.401,96 \text{ €}$$

Este beneficio neto anual es válido para los diez primeros años de vida de la instalación, periodo de amortización.

## 5. RENTABILIDAD

La rentabilidad ( $i$ ) se determina mediante la ecuación [5.6]:

$$i = \frac{\text{Beneficio neto obtenido}}{\text{Capital fijo invertido promedio}} \cdot 100 \quad [5.6]$$

Siendo el capital fijo invertido promedio de **94.034,06 €**, considerando que la instalación tendrá una vida útil de doce años.

La rentabilidad resulta:

$$i = 21,70\%$$

La rentabilidad mínima exigida en una planta química es del 15%, por lo tanto, el proceso de purificación de glicerina se puede considerar rentable.

## 6. RESUMEN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

<b>PARÁMETRO ECONÓMICO</b>	<b>VALOR (€)</b>
CAPITAL INVERTIDO EN INMOVILIZADO, $I_F$	1.038.094,55
CAPITAL FIJO INVERTIDO, I	1.128.408,77
COSTES DE PRODUCCIÓN, C	117.147,70
BENEFICIO BRUTO ANUAL, R	132.245,49
BENEFICIO NETO ANUAL, P (diez primeros años)	20.401,96
RENTABILIDAD (diez primeros años)	21,70%



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE  
GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO EN LA  
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

DOCUMENTO N° 2:  
PLANOS

## **0. ÍNDICE**

**PLANO 1: DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS EN LA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE GLICERINA**

**PLANO 2: ESQUEMA DEL PROCESO (I)**

**PLANO 3: ESQUEMA DEL PROCESO (II)**

**PLANO 4: CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (I)**

**PLANO 5: CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (II)**

**PLANO 6: CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (III)**

**PLANO 7: CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (IV)**

**PLANO 8: TANQUE DE ALMECENAMIENTO DE GLICERINA TÉCNICA T-01**

**PLANO 9: TANQUE DE ALMECENAMIENTO DE DISOLUCIÓN DE ÁCIDO CLORHÍDRICO T-02**

**PLANO 10: TANQUE DE ALMECENAMIENTO DE DISOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO SÓDICO T-03**

**PLANO 11: INTERCAMBIADOR DE CALOR I-01**

**PLANO 12: INTERCAMBIADOR DE CALOR I-02**

**PLANO 13: COLUMNA DE INTERCAMBIO CATIONICO IC-01**

**PLANO 14: COLUMNA DE INTERCAMBIO ANIÓNICO IC-02**

**PLANO 15: EVAPORADOR E-01**

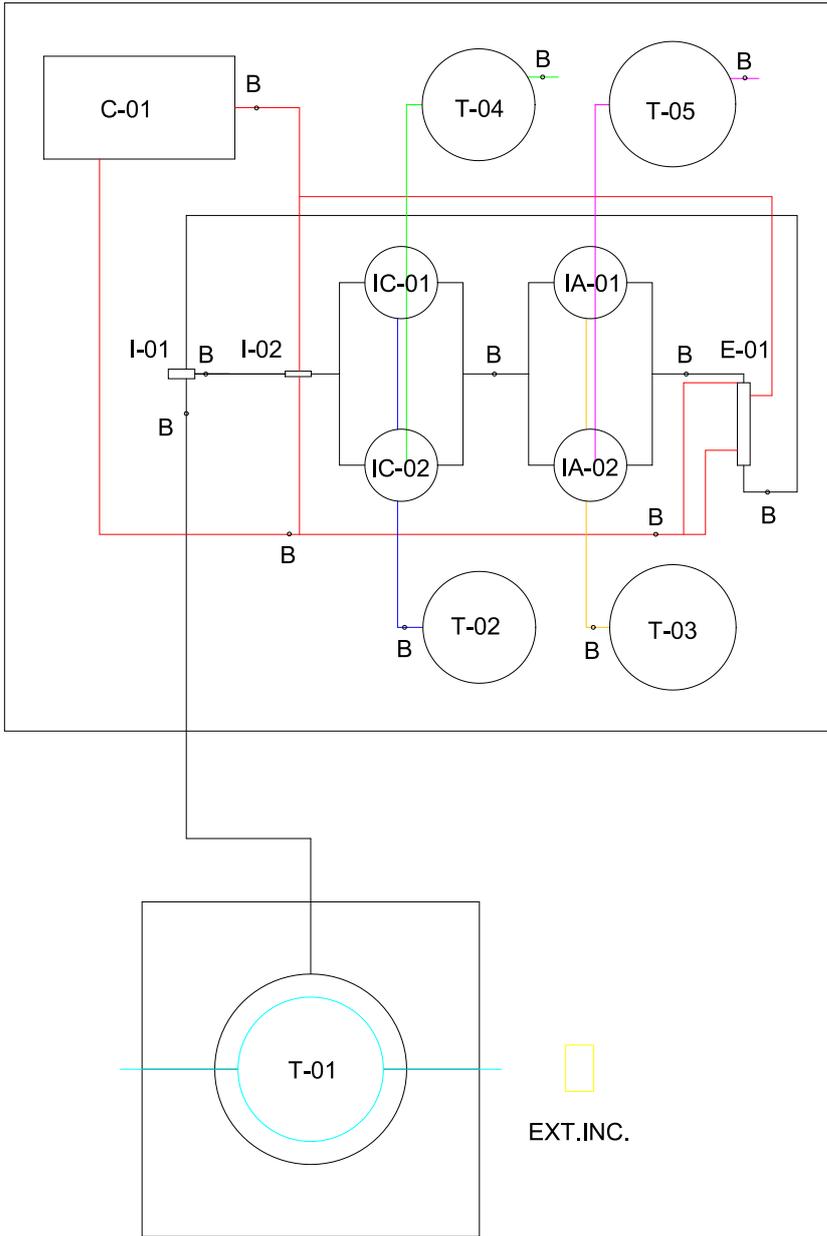
LEYENDA

CORRIENTES

- Glicerina
- Vapor
- Dis. ácido clorh drico
- Dis. hidróxido sódico
- Dis. cloruro potásico
- Dis. fosfato trisódico
- Agua de refrigeración

EQUIPOS

- T-01: tanque glicerina técnica
- T-02: tanque dis. ácido clorh drico
- T-03: tanque dis. hidróxido sódico
- T-04: tanque dis. cloruro potásico
- T-05: tanque dis. fosfato sódico
- I-01, I-02: intercambiadores de calor
- IC-01, IC-02: columnas de intercambio catiónico
- IA-01, IA-02: columnas de intercambio aniónico
- E-01: evaporador
- C-01: caldera
- B: bombas
- EXT.INC: equipos de extinción de incendios



EXT.INC.

	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	12-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala: 1:83	DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS Y CORRIENTES EN LA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE GLICERINA			Nº Plano: 1
				Sustituye a:
				Sustituido por:

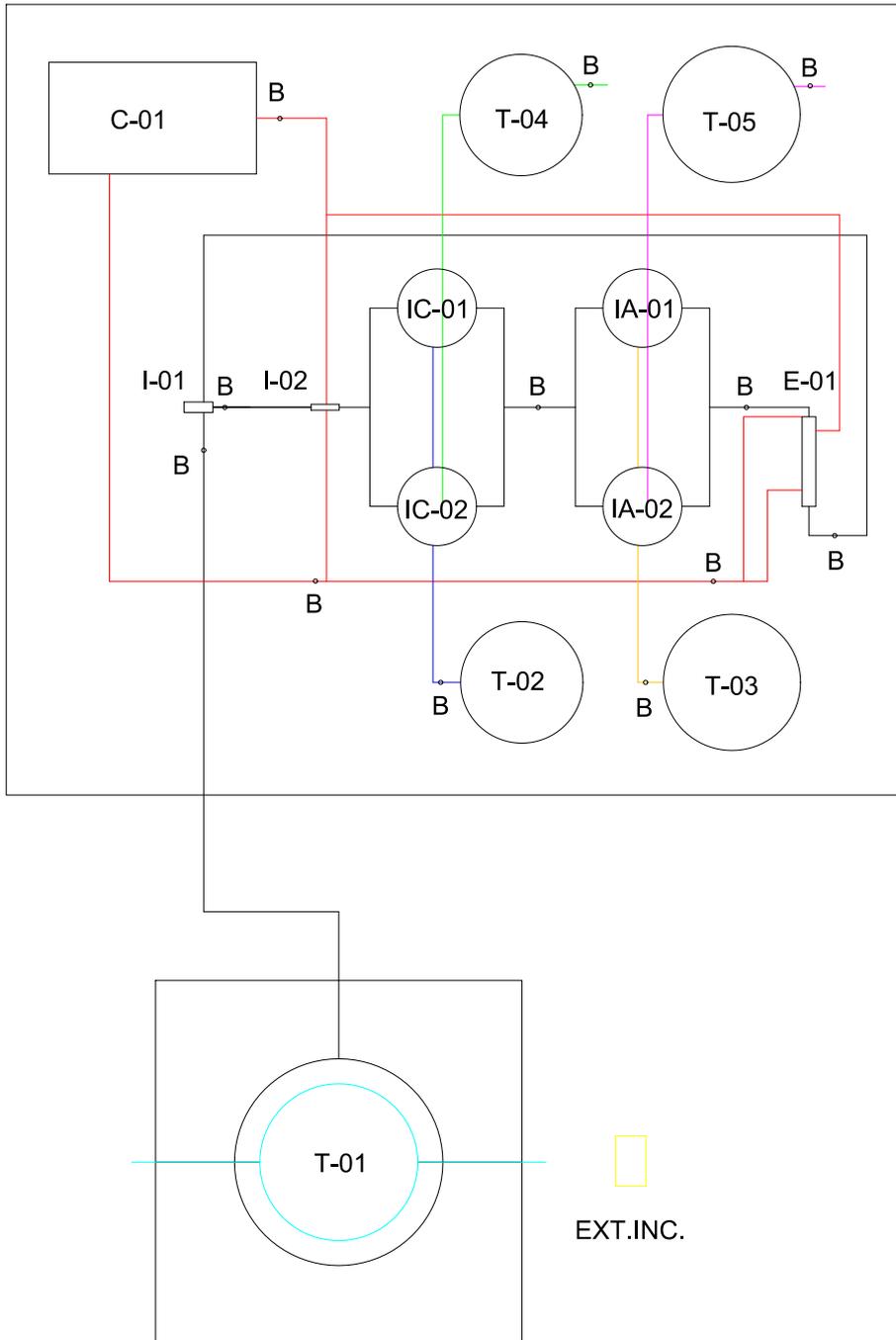
## LEYENDA

### CORRIENTES

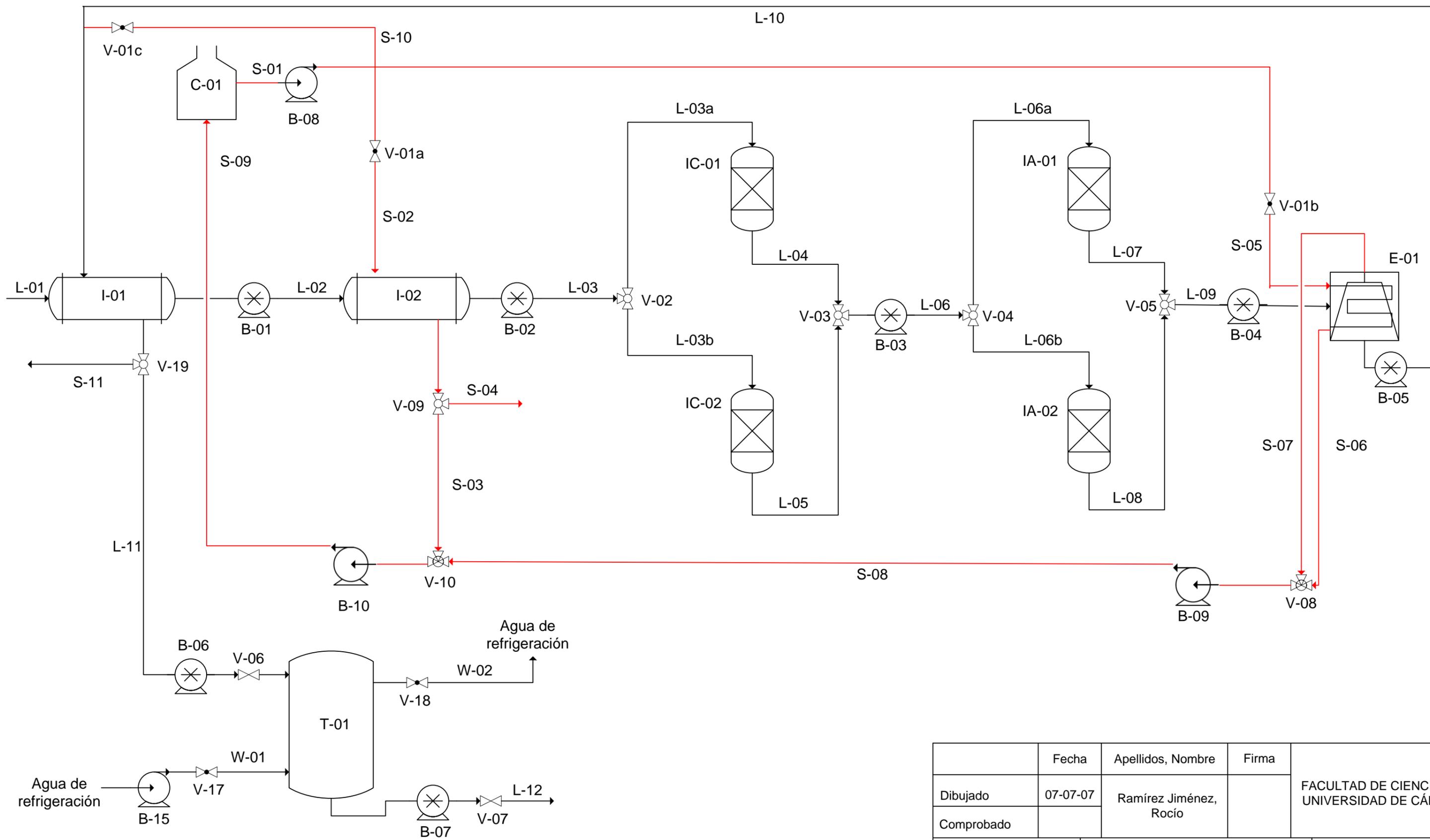
- Glicerina
- Vapor
- Dis. ácido clorhídrico
- Dis. hidróxido sódico
- Dis. cloruro potásico
- Dis. fosfato trisódico
- Agua de refrigeración

### EQUIPOS

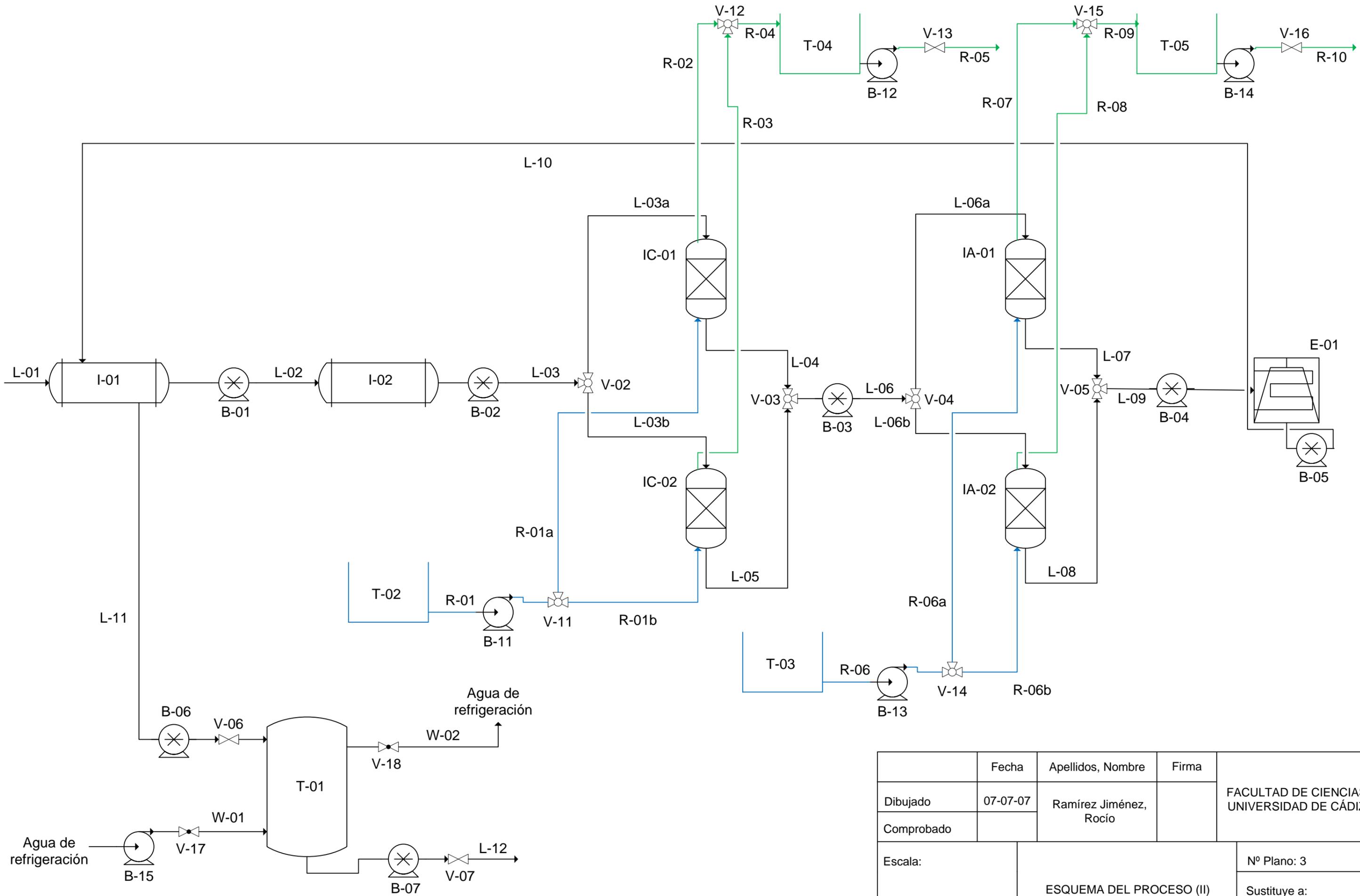
- T-01: tanque glicerina técnica
- T-02: tanque dis. ácido clorhídrico
- T-03: tanque dis. hidróxido sódico
- T-04: tanque dis. cloruro potásico
- T-05: tanque dis. fosfato sódico
- I-01, I-02: intercambiadores de calor
- IC-01, IC-02: columnas de intercambio catiónico
- IA-01, IA-02: columnas de intercambio aniónico
- E-01: evaporador
- C-01: caldera
- B: bombas
- EXT.INC.: equipos de extinción de incendios



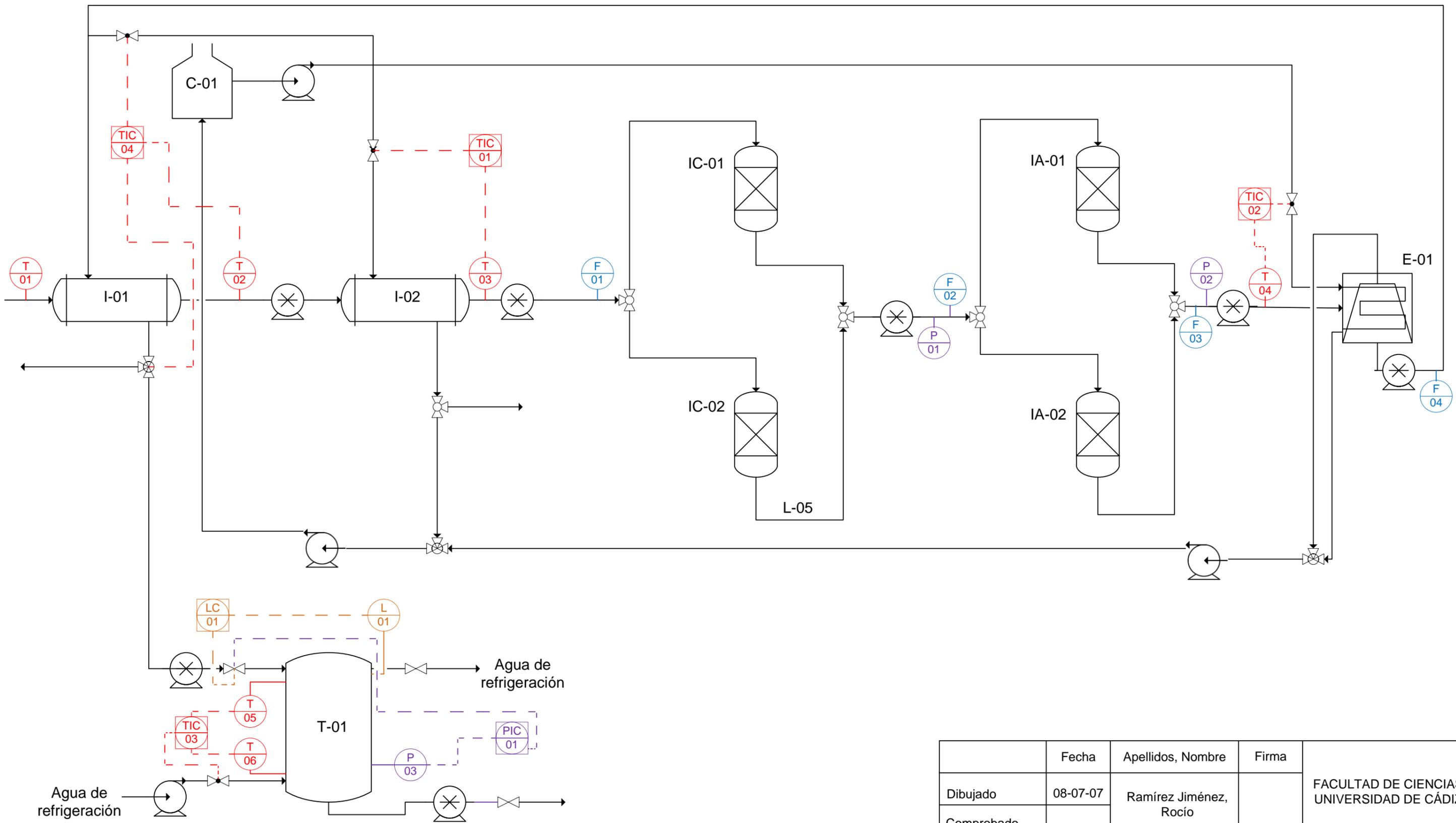
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	12-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala: 1:83	DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS Y CORRIENTES EN LA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE GLICERINA			Nº Plano: 1
				Sustituye a:
				Sustituido por:



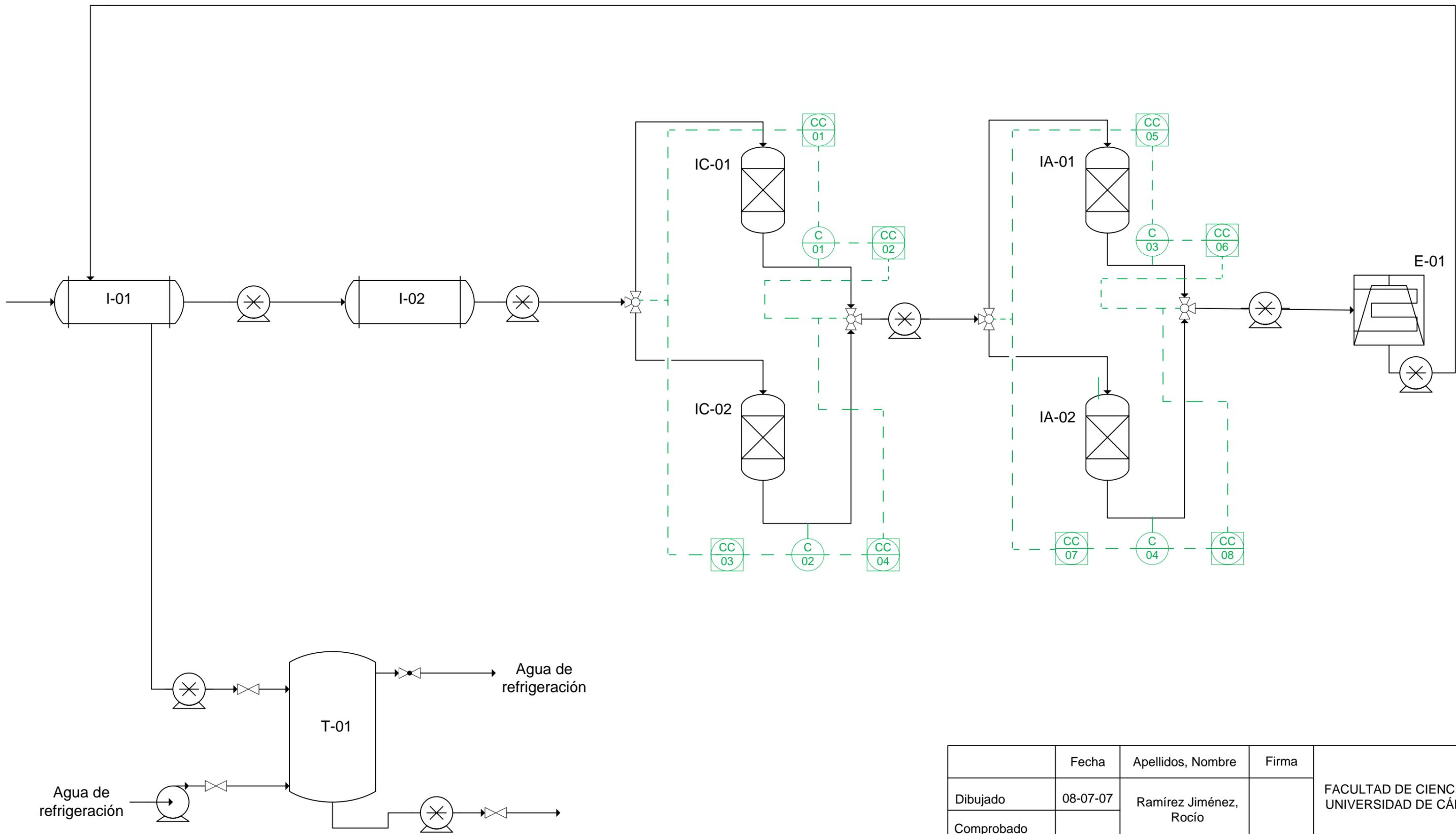
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	07-07-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	ESQUEMA DEL PROCESO (I)			Nº Plano: 2
				Sustituye a:
				Sustituido por:



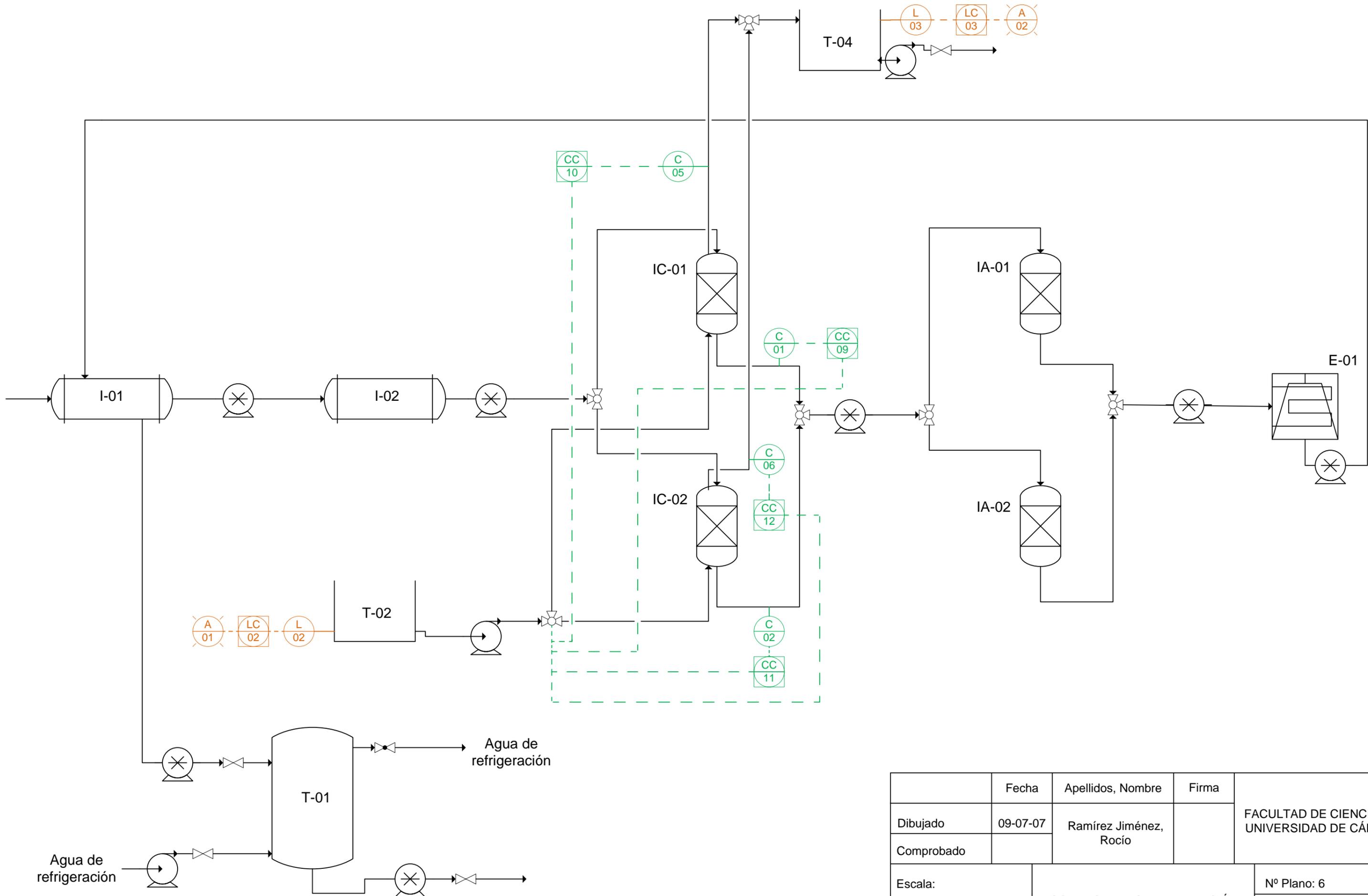
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	07-07-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
ESCALA:	ESQUEMA DEL PROCESO (II)			Nº Plano: 3
				Sustituye a:
				Sustituido por:



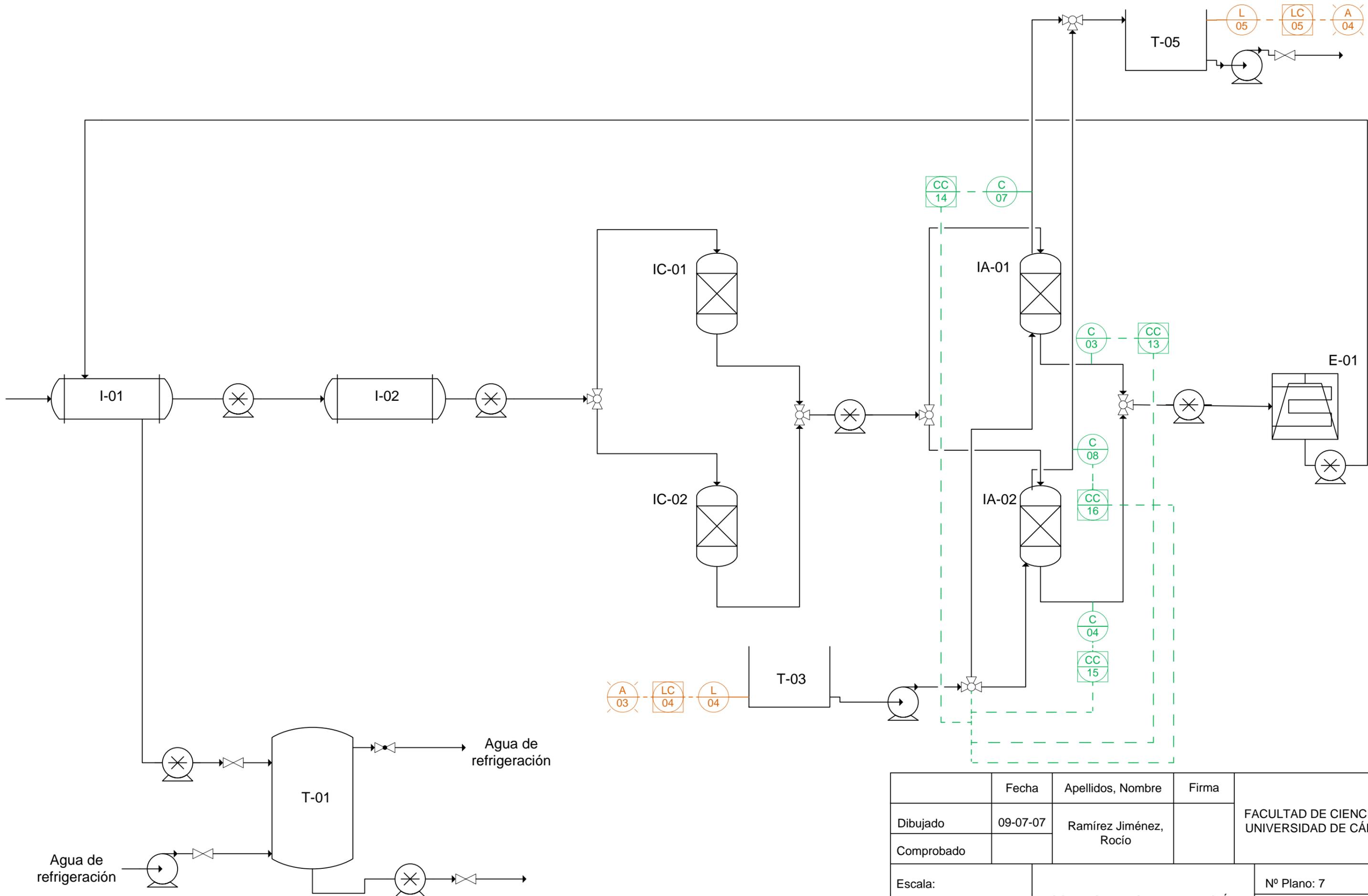
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	08-07-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (I)			Nº Plano: 4
				Sustituye a:
				Sustituido por:



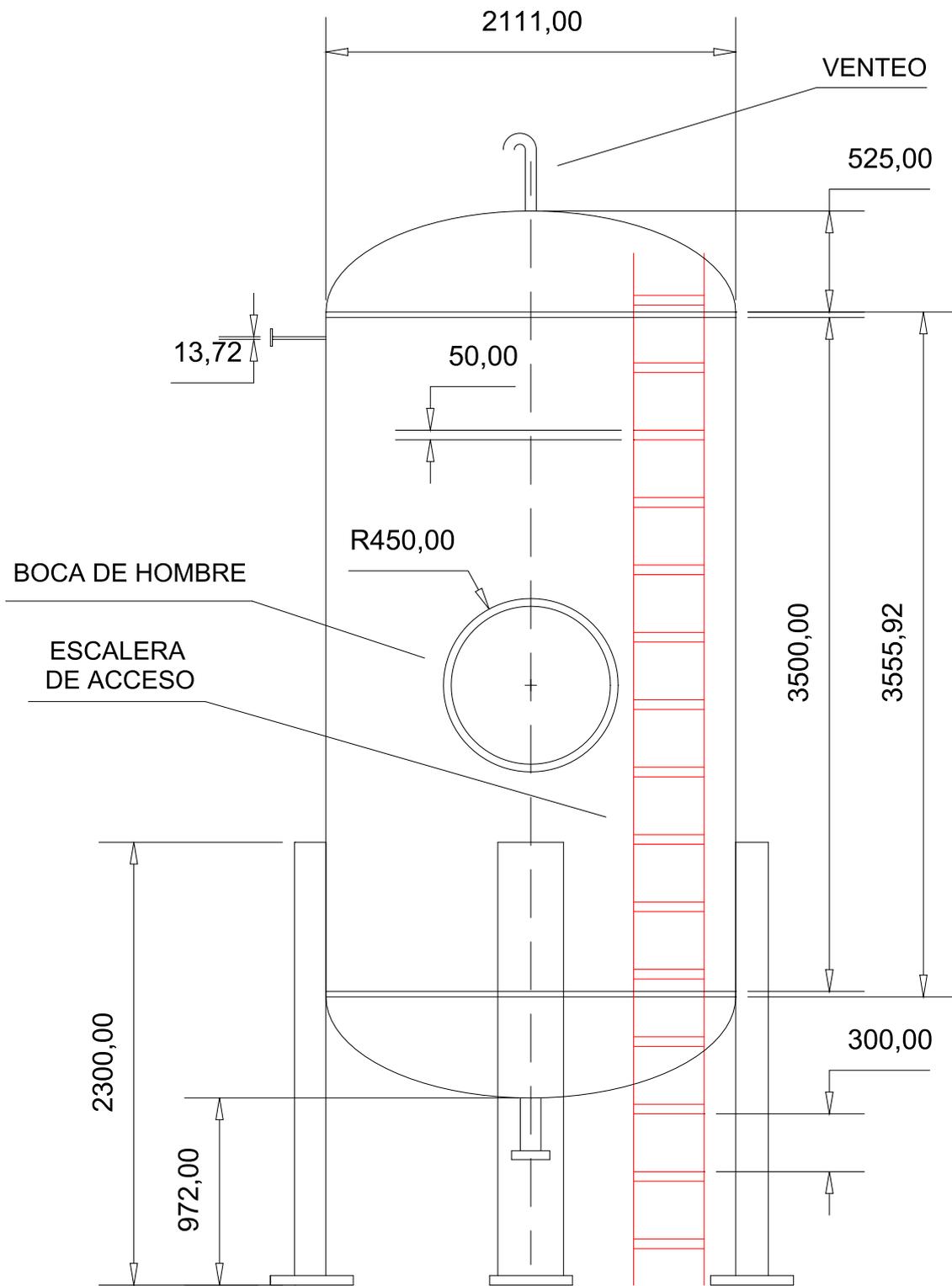
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	08-07-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (II)			Nº Plano: 5
				Sustituye a:
				Sustituido por:



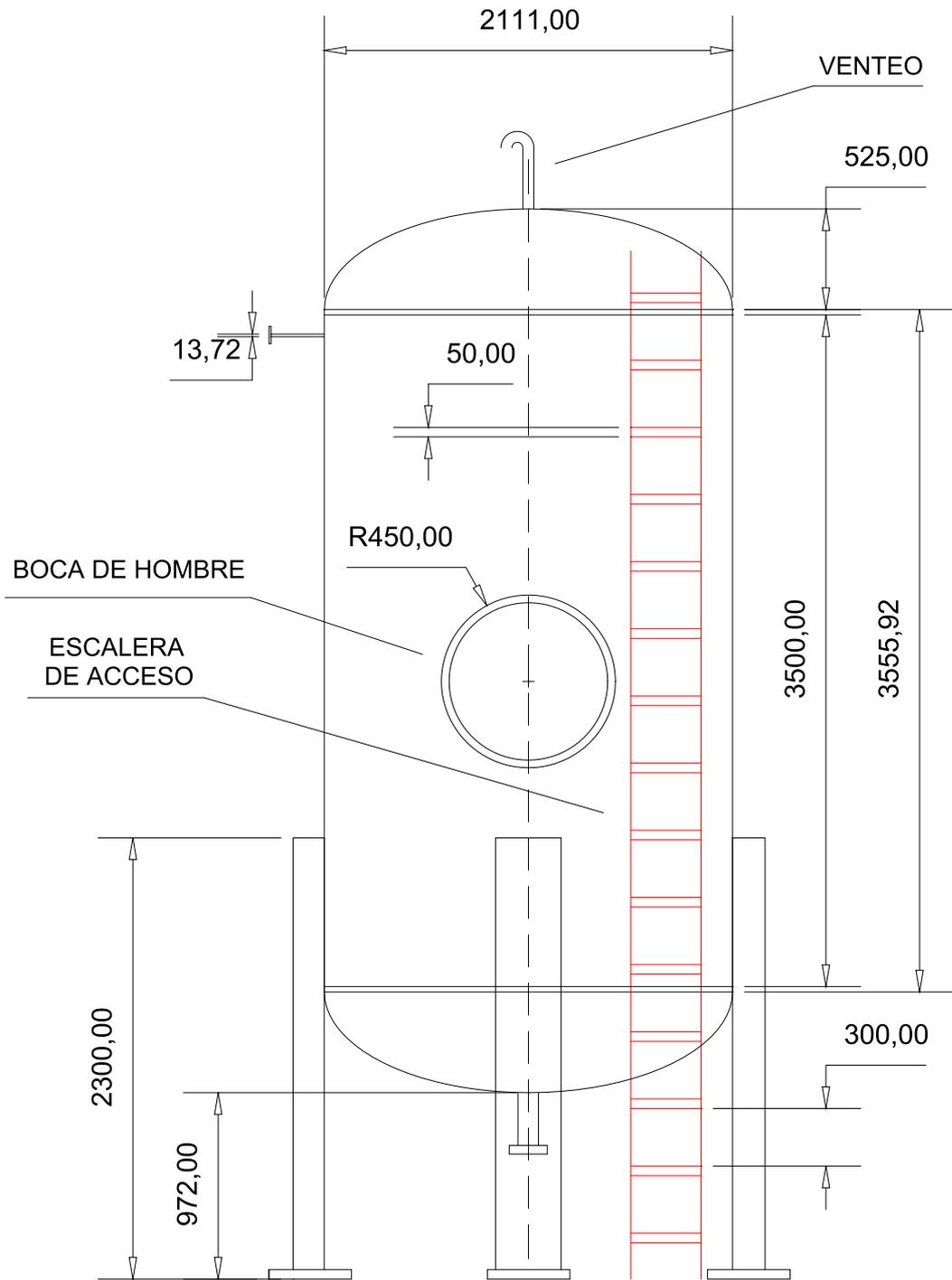
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	09-07-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (III)			Nº Plano: 6
				Sustituye a:
				Sustituido por:



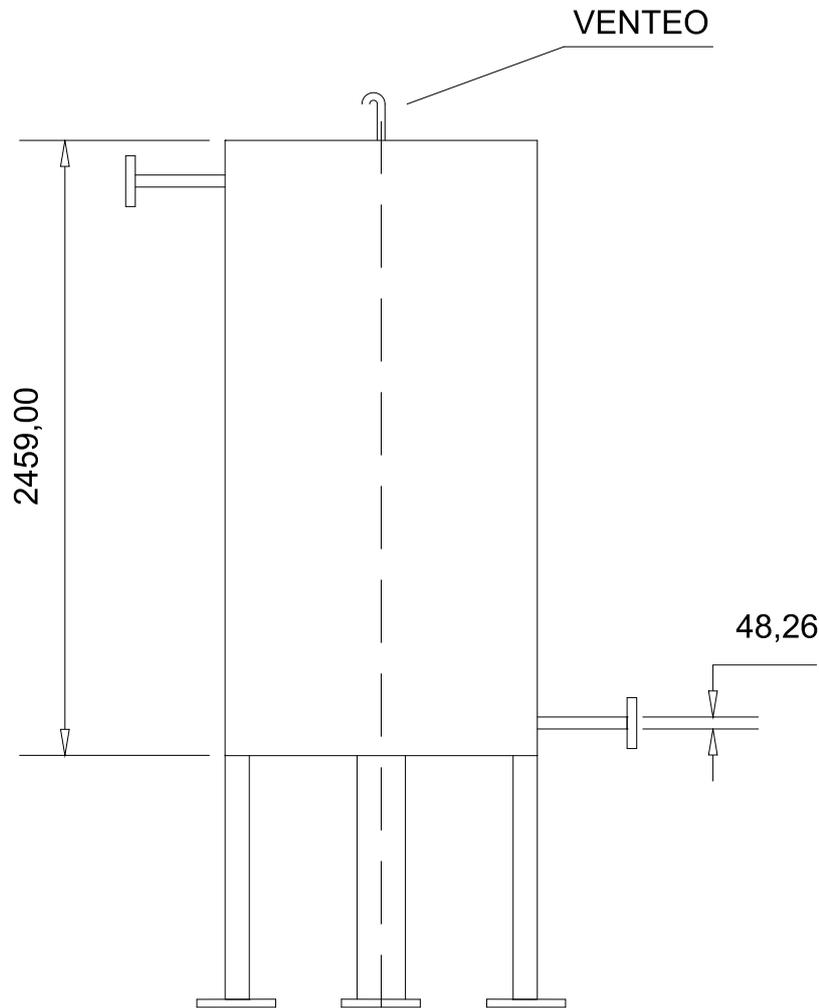
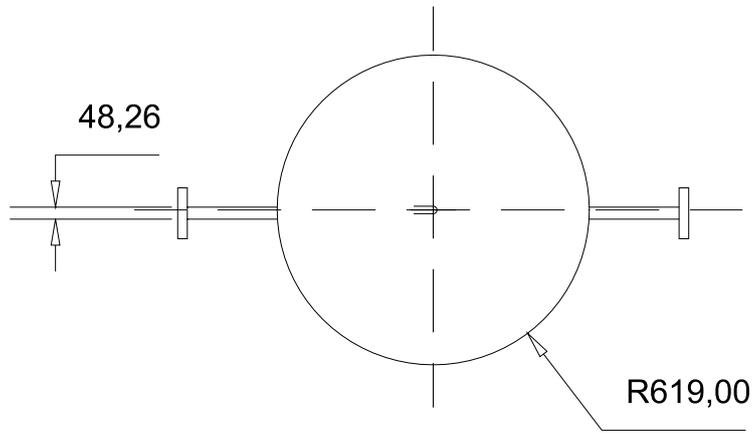
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	09-07-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (IV)			Nº Plano: 7
				Sustituye a:
				Sustituido por:



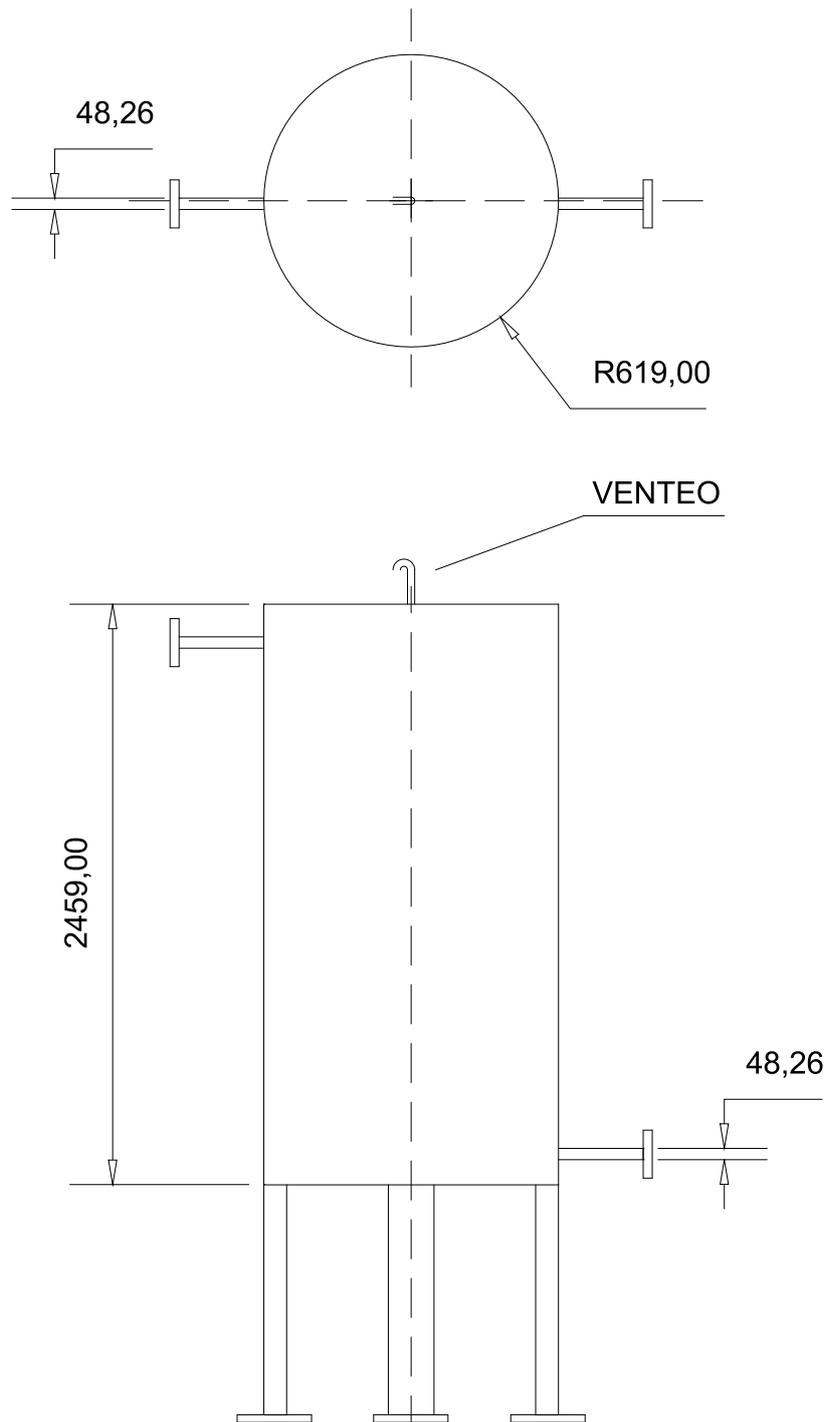
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	13-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala: 1:40	<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLICERINA TÉCNICA. T-01</b>			Nº Plano: 8 Sustituye a: Sustituido por:



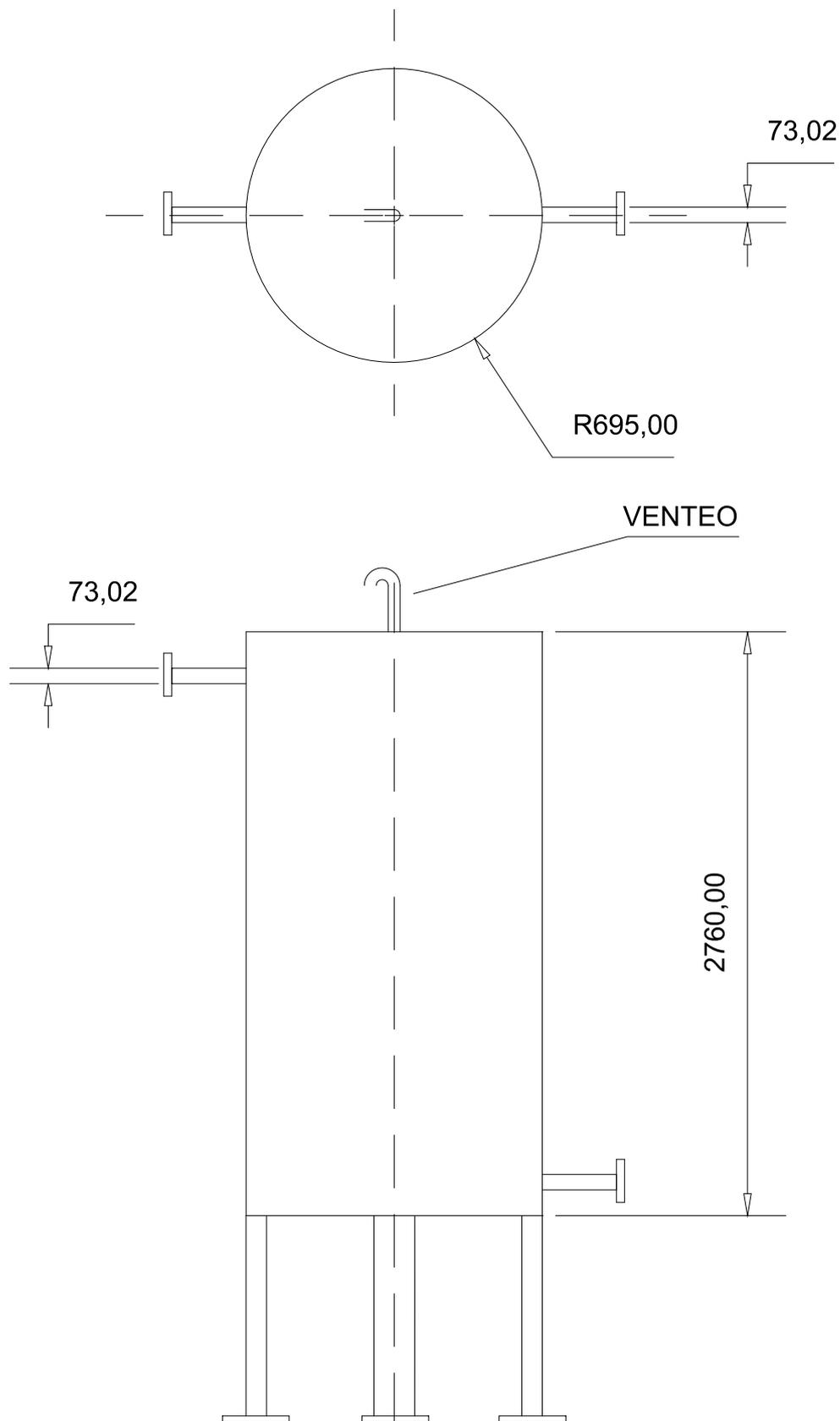
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	13-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala: 1:40	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLICERINA TÉCNICA. T-01			N° Plano: 8 Sustituye a: Sustituido por:



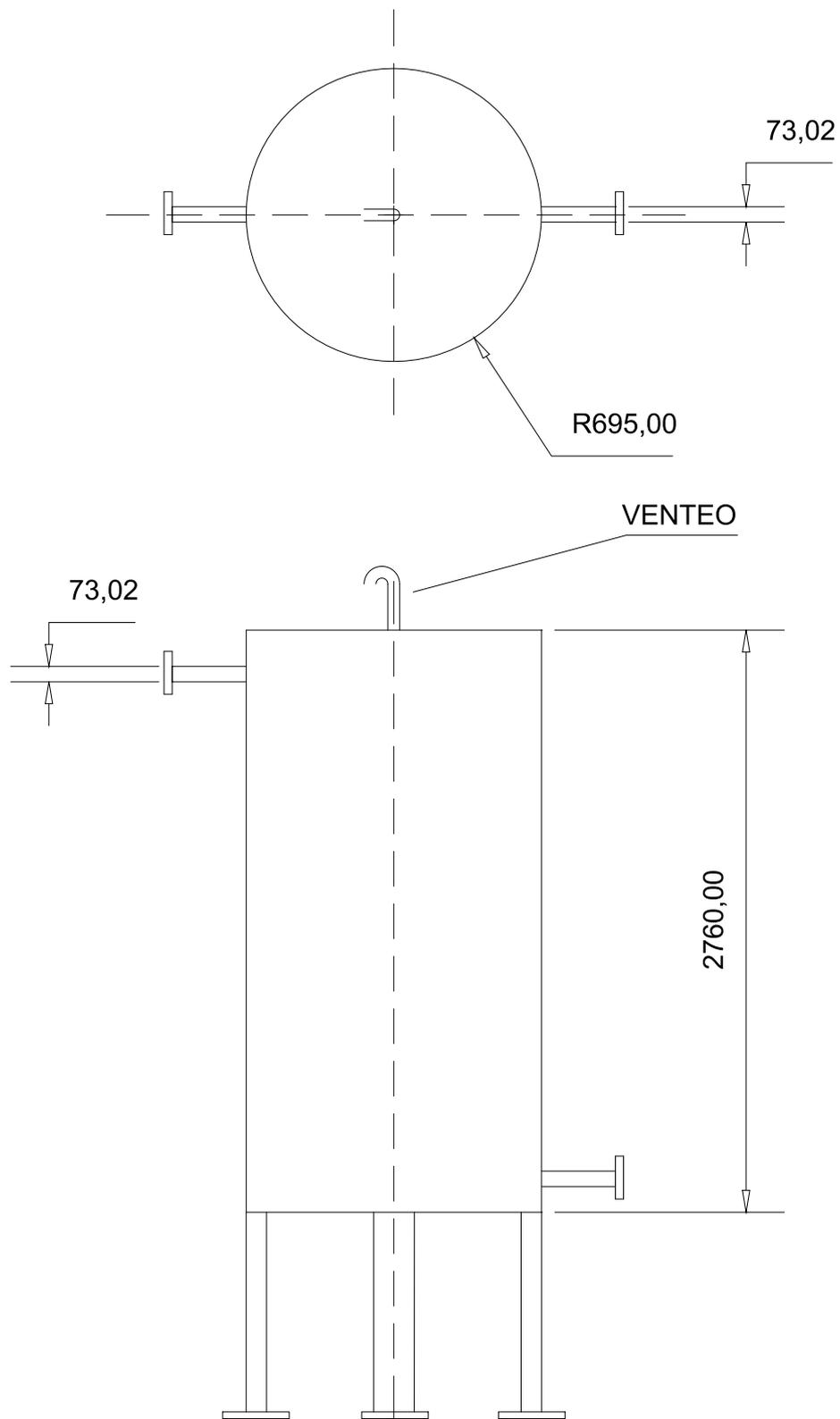
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	14-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:  1:36	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DISOLUCIÓN DE ÁCIDO CLORHÍDRICO T-02 (Similar al tanque de almacenamiento de disolución de cloruro potásico T-04)			Nº Plano: 9
				Sustituye a:
				Sustituido por:



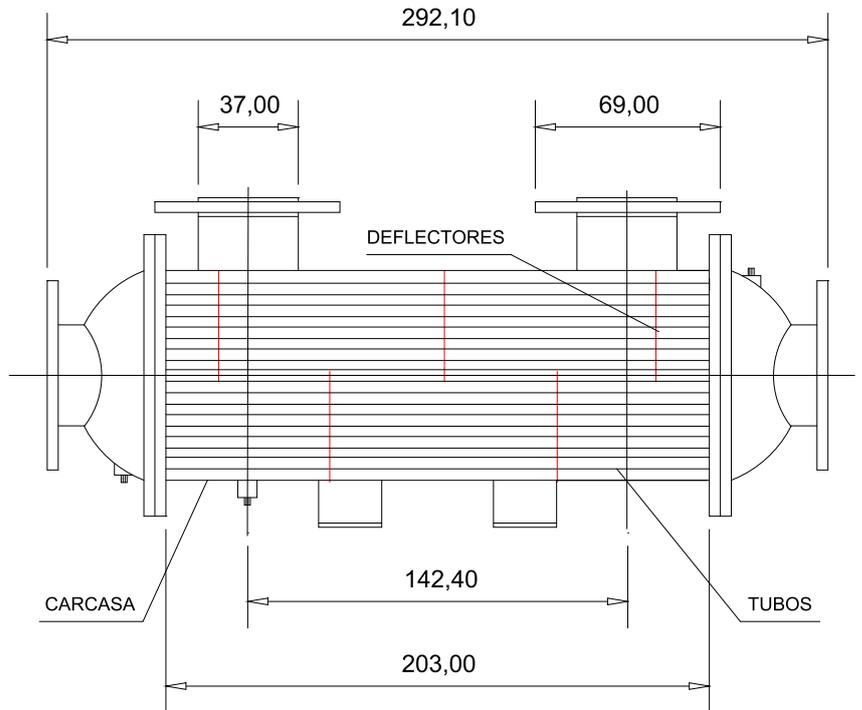
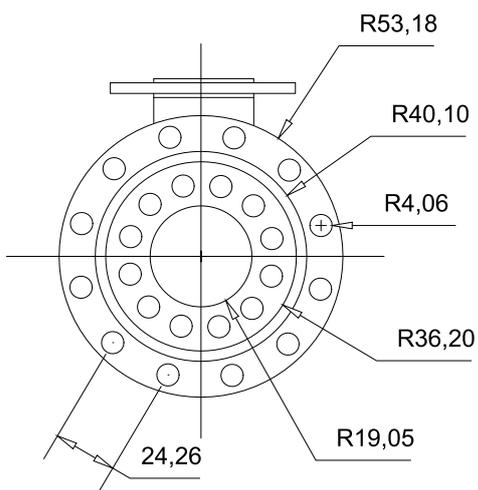
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	14-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DISOLUCIÓN DE ÁCIDO CLORHÍDRICO T-02 (Similar al tanque de almacenamiento de disolución de cloruro potásico T-04)			Nº Plano: 9
1:36				Sustituye a:
				Sustituido por:



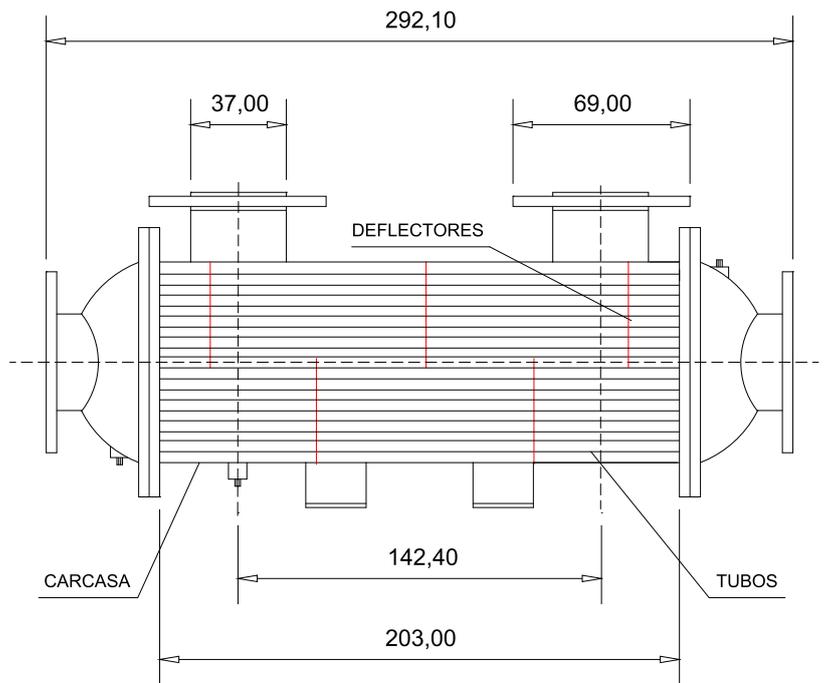
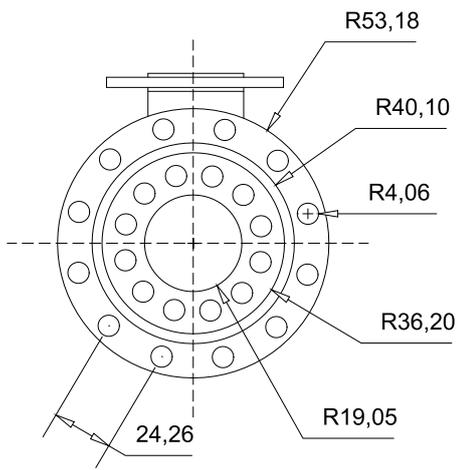
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	14-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:  1:36	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DISOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO SÓDICO T-03 (Similar al tanque de almacenamiento de disolución de fosfato trisódico T-05)			Nº Plano: 10 Sustituye a: Sustituido por:



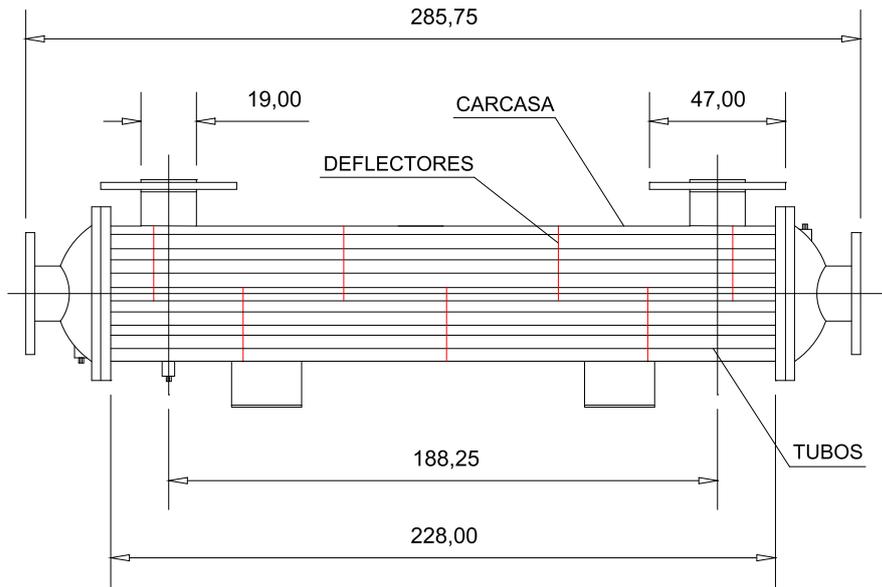
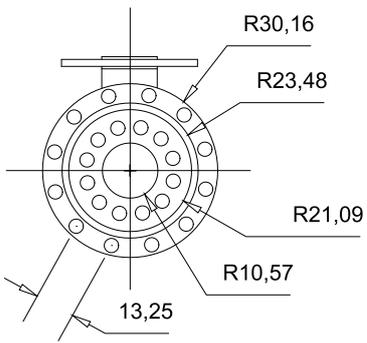
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	14-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:  1:36	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DISOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO SÓDICO T-03 (Similar al tanque de almacenamiento de disolución de fosfato trisódico T-05)			Nº Plano: 10 Sustituye a: Sustituido por:



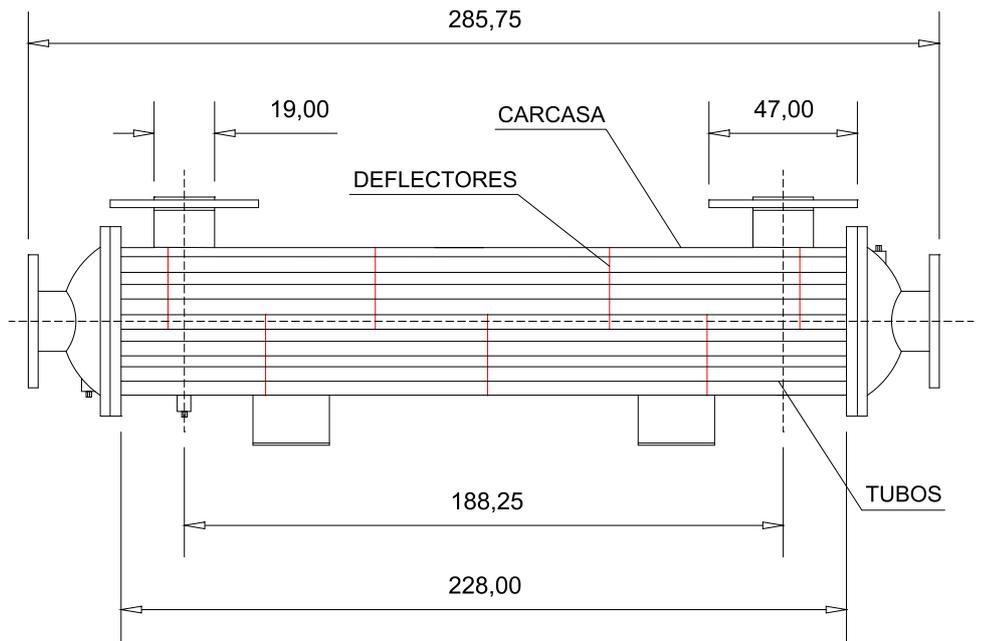
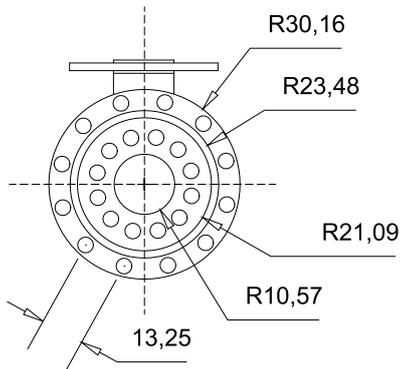
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	
Dibujado	14-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Comprobado				
Escala:	INTERCAMBIADOR DE CALOR I-01			Nº Plano: 11
2:5				Sustituye a:
				Sustituido por:



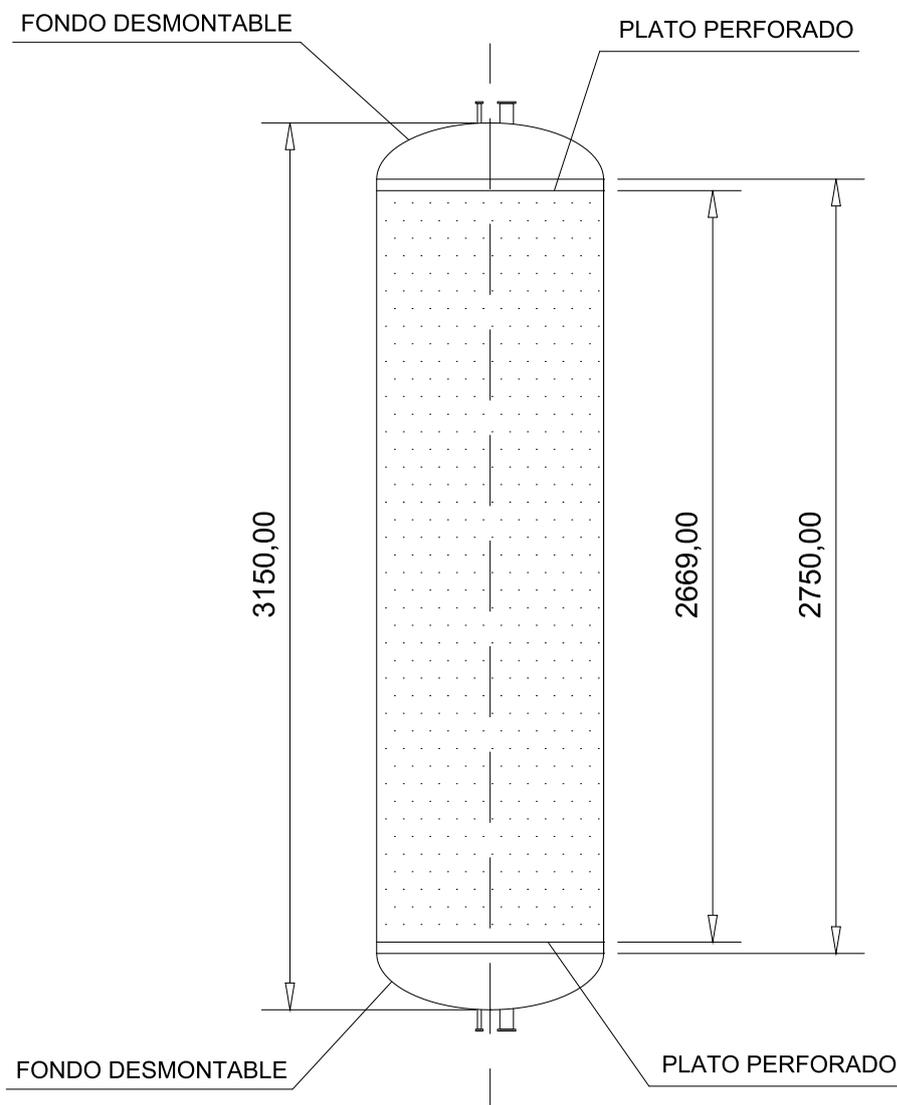
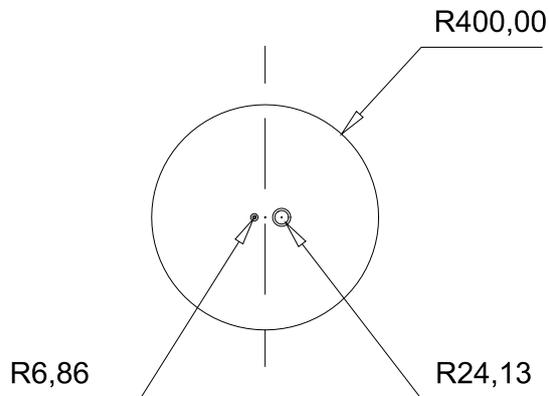
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	
Dibujado	14-08-07	Ramírez Jiménez, RocLo		FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Comprobado				
Escala:	INTERCAMBIADOR DE CALOR I-01			Nº Plano: 11
2:5				Sustituye a:
				Sustituido por:



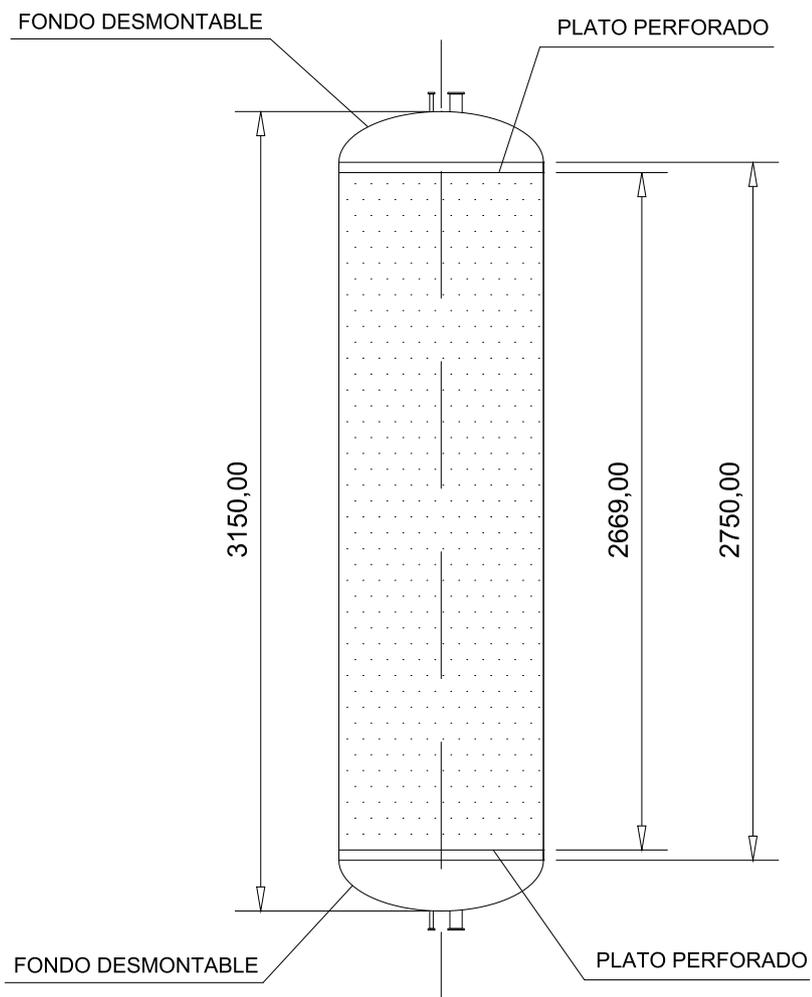
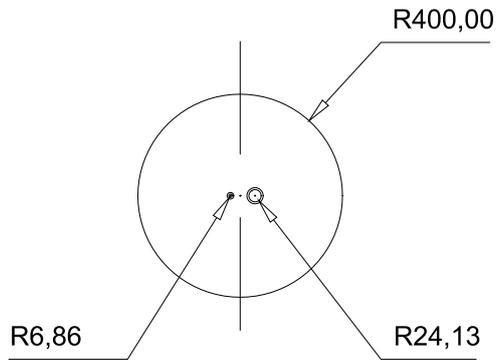
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	
Dibujado	15-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Comprobado				
Escala:	INTERCAMBIADOR DE CALOR I-02			Nº Plano: 12
1:2				Sustituye a:
				Sustituido por:



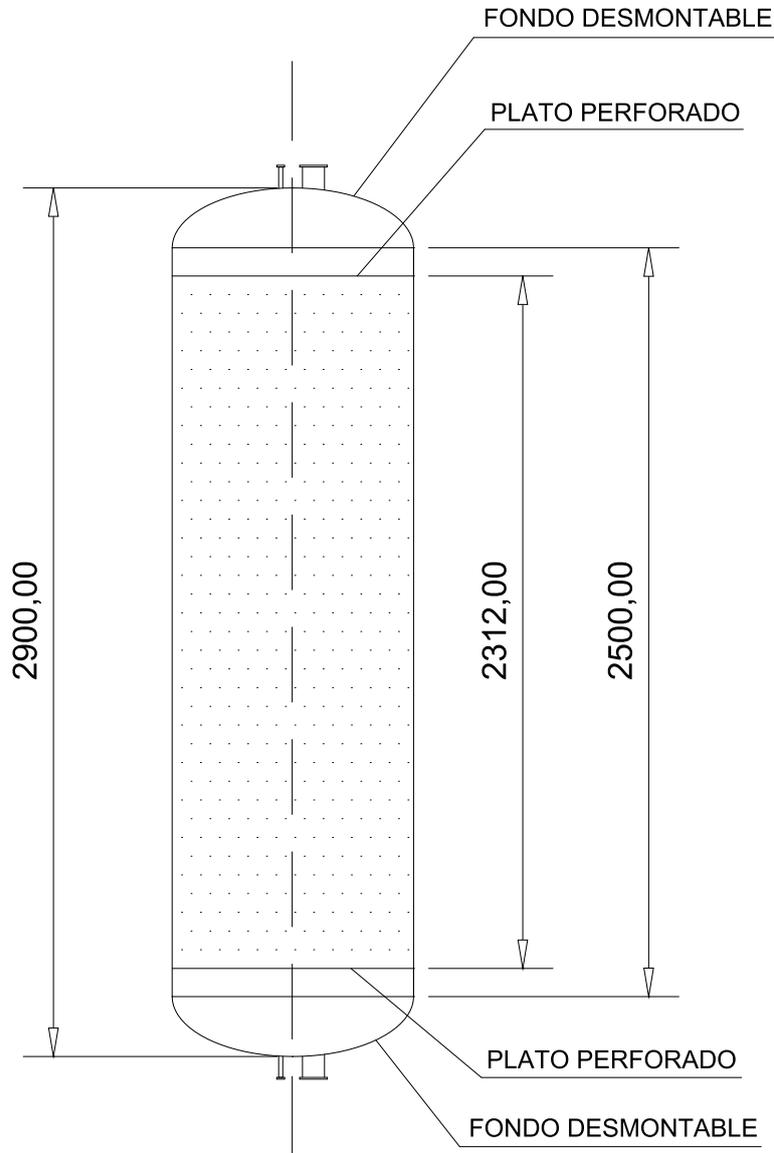
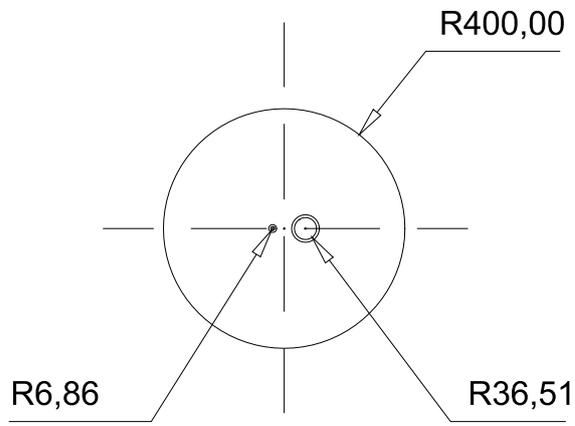
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	15-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	INTERCAMBIADOR DE CALOR I-02			Nº Plano: 12
1:2				Sustituye a:
				Sustituido por:



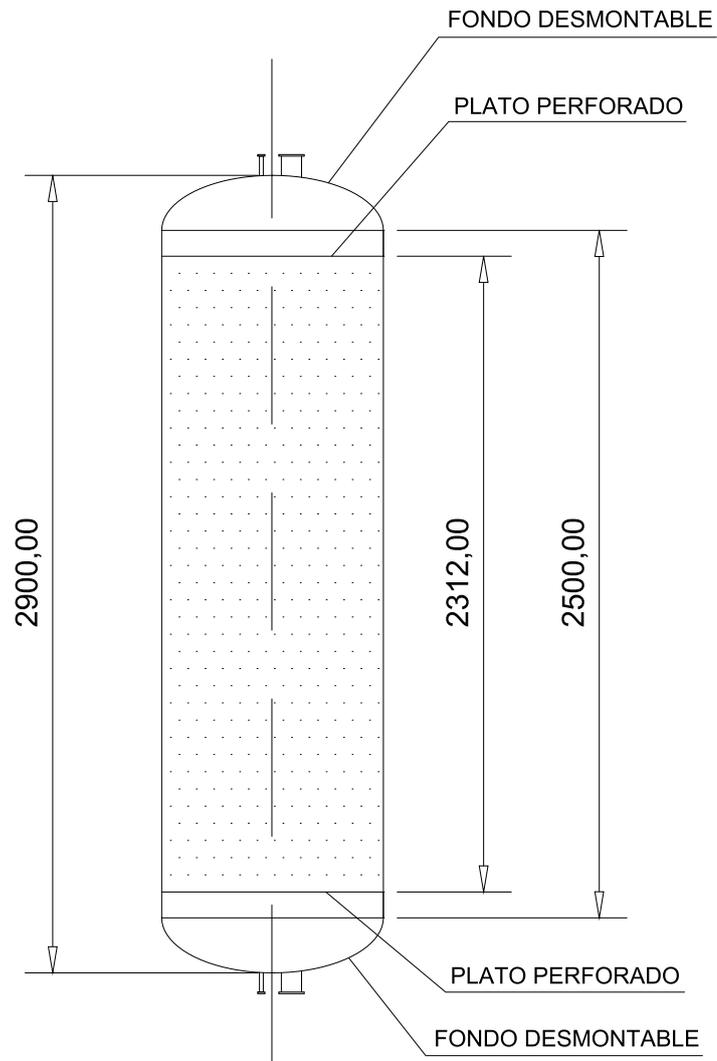
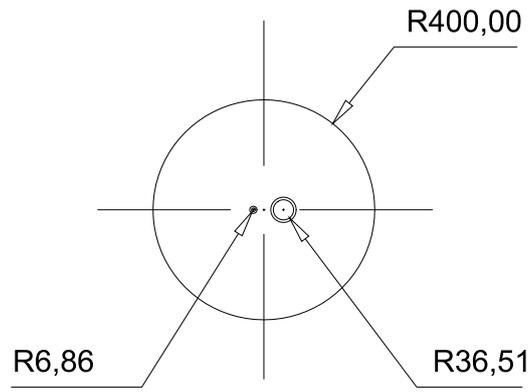
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	15-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	COLUMNA DE INTERCAMBIO CATIONICO IC-01			Nº Plano: 13
1:33				Sustituye a:
				Sustituido por:



	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	15-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	COLUMNA DE INTERCAMBIO CATIONICO IC-01			Nº Plano: 13
1:33				Sustituye a:
				Sustituido por:

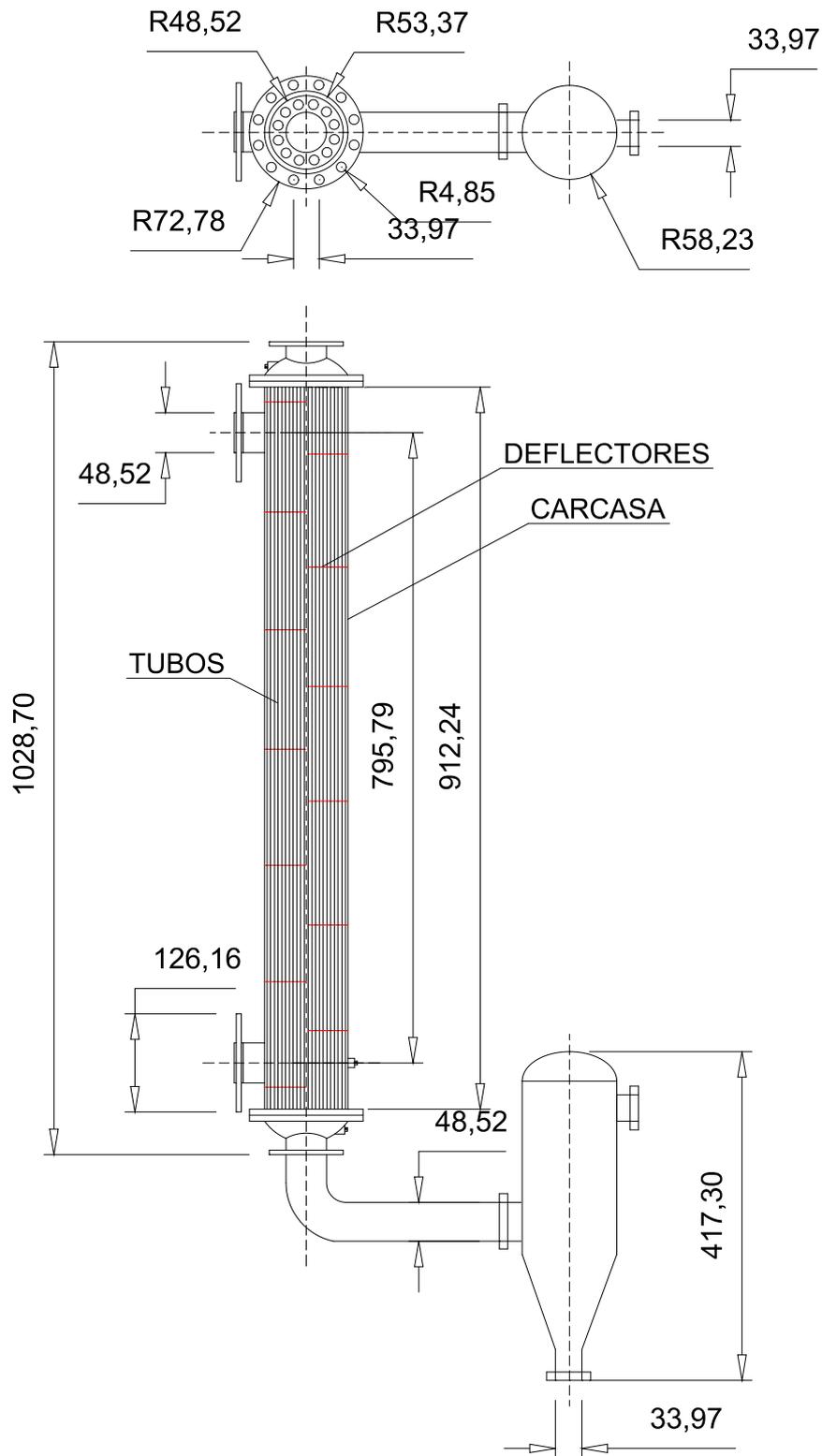


	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	15-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	COLUMNA DE INTERCAMBIO ANIÓNICO IA-01			Nº Plano: 14
1:30				Sustituye a:
				Sustituido por:



	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	15-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:	COLUMNA DE INTERCAMBIO ANIÓNICO IA-01			Nº Plano: 14
1:30				Sustituye a:
				Sustituido por:





	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	15-08-07	Ramírez Jiménez, Rocío		
Comprobado				
Escala:  1:10	EVAPORADOR E-01			Nº Plano: 15
				Sustituye a:
				Sustituido por:

En Puerto Real, Septiembre de 2007

Firmado: Rocío Ramírez Jiménez



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE  
GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO EN LA  
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

DOCUMENTO N° 3:  
PLIEGO DE CONDICIONES

## 0. ÍNDICE

<b>0. ÍNDICE</b>	<b>2</b>
<b>1. DISPOSICIONES GENERALES</b>	<b>6</b>
1.1. OBJETIVO	6
1.2. DOCUMENTOS QUE DEFINEN LAS OBRAS	6
1.3. COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE LOS DOCUMENTOS	7
<b>2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES</b>	<b>8</b>
2.1. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS	8
2.1.1. Dirección facultativa	8
2.1.2. Obligaciones y derechos del contratista	10
2.1.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares	12
2.1.4. Recepción provisional, plazo de garantía y recepción definitiva.	21
2.1.5. Casos no previstos en este pliego	24
2.2. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS	24
2.2.1. Principio general	24
2.2.2. Garantías de cumplimiento y fianzas	25
2.2.3. Penalizaciones	26
2.2.4. Precios	27
2.2.5. Medición, valoración y abono de las unidades de obra	31
2.3. CONDICIONES GENERALES LEGALES	44
2.3.1. Arbitrio y jurisdicción	44
2.3.2. Responsabilidades legales del contratista	45
2.3.3. Subcontratas	50

2.3.4. Pago de arbitrios	51
2.3.5. Causas de rescisión del contrato	51
<b>3. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES</b>	<b>53</b>
3.1. COMIENZO DE LAS OBRAS	54
3.1.1. Replanteo	54
3.1.2. Limpieza del terreno	55
3.2. MOVIMIENTO DE TIERRAS	55
3.2.1. Excavaciones	55
3.2.2. Drenaje	59
3.2.3. Vaciado de tierras	59
3.2.4. Entibaciones	61
3.2.5. Rellenos	62
3.3. CIMENTACIONES	62
3.3.1. Hormigones	62
3.3.2. Fabricación y puesta en obra del hormigón	65
3.3.3. Cimentaciones	71
3.3.4. Obra de madera	74
3.4. ESTRUCTURAS DE ACERO	74
3.4.1. Estructura de acero	74
3.4.2. Protección de la estructura	76
3.4.3. Carpintería metálica	76
3.5. ALBAÑILERÍA	77
3.5.1. Fábrica de ladrillos	77
3.5.2. Ejecución del muro de cerramiento	78

3.5.3. Ejecución de tabicados	80
3.5.4. Enfoscados, enlucidos y guarnecidos	82
3.5.5. Solados	82
3.5.6. Ejecución de alicatados	83
3.6. PINTURA	84
3.6.1. Ejecución de los trabajos de pintura	84
3.6.2. Items que necesitan ser pintados	88
3.6.3. Items que no necesitan ser pintados	88
3.7. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN Y ALUMBRADO	88
3.7.1. Características técnicas de las instalaciones eléctricas y de alumbrado	88
3.7.2. Motores	96
3.7.3. Transformador	97
3.7.4. Puesta a tierra	98
3.7.5. Autorización y puesta en servicio de la instalación	103
3.7.6. Responsabilidad y sanciones	103
3.8. AISLAMIENTO TÉRMICO	106
3.8.1. General	106
3.8.2. Materiales	106
3.9. EQUIPOS	106
3.9.1. Tanques de almacenamiento	106
3.9.2. Intercambiadores de calor	108
3.9.3. Columnas de intercambio iónico	109
3.9.4. Evaporador	110

3.9.5. Caldera de vapor	111
3.9.6. Conducciones	111
3.9.7. Bombas	112
3.9.8. Pruebas	112
3.9.9. Revisiones periódicas	113
3.9.10. Entrega de los equipos	114
3.10. SALUD Y SEGURIDAD EN LA OBRA	114
3.10.1. Objeto	114
3.10.2. Condiciones técnicas	114
3.10.3. Protecciones personales y colectivas	116
3.10.4. Condiciones facultativas	121
3.10.5. Condiciones económicas	131

## **1. DISPOSICIONES GENERALES**

### **1.1. OBJETIVO**

El objetivo del presente pliego es el de regular la ejecución de las obras que se realizarán en el proyecto “Diseño de una instalación de purificación de glicerina obtenida como subproducto en la producción de biodiesel”. Se establecen los criterios que se han de aplicar en la ejecución de las obras, fijándose las características y ensayos de los materiales a emplear, las normas que se han de seguir en la ejecución de las distintas unidades de obra, las pruebas previstas para la recepción, las formas de medida y abono de las obras y el plazo de garantía.

Además en el presente pliego se especifican las relaciones de carácter facultativo, económico y legal que se seguirán durante la ejecución de las obras entre la Propiedad o Corporación, el Contratista y el Director de obra.

Las condiciones expuestas en el Pliego General están supeditadas al correspondiente Pliego de Condiciones Particulares.

### **1.2. DOCUMENTOS QUE DEFINEN LAS OBRAS**

Serán cuatro los documentos que definen la obra: Memoria Descriptiva, Planos, Pliego de Condiciones y Presupuesto.

- En la Memoria Descriptiva se describen con detalle las obras e instalaciones. Además en sus documentos anexos se reflejan los cálculos necesarios para la realización del proyecto.
- En los Planos se define la situación de la planta así como su diseño.

- En el Pliego de Condiciones se realiza una descripción de las obras.
- En el Presupuesto se definen, especificando su número, las unidades de obra completas.

El contratista encargado de la realización de las obras está obligado a seguir estrictamente todo lo especificado en el presente pliego.

### **1.3. COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE LOS DOCUMENTOS**

Los cuatro documentos que definen este proyecto son compatibles y complementarios entre sí. Se ha de procurar que sólo con la ayuda de los Planos y del Pliego de Condiciones se pueda ejecutar totalmente el proyecto.

En el caso de contradicción entre los Planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo descrito en este último. Lo mencionado en uno y omitido en otro deberá de ser ejecutado como si estuviese en ambos documentos.

## **2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES**

### **2.1. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS**

#### **2.1.1. Dirección facultativa**

##### Artículo 1. Dirección facultativa

La Dirección Facultativa de las obras e instalaciones recaerá en el Ingeniero que suscribe, salvo posterior acuerdo con la Propiedad.

##### Artículo 2. Facultades de la dirección facultativa

Además de las facultades particulares que corresponden a la Dirección Facultativa, expresadas en los artículos siguientes, es misión específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que se realicen, con autoridad técnica legal, completa e indiscutible sobre las personas y cosas situadas en obra y con relación con los trabajos que para la ejecución del contrato se lleven a cabo, pudiendo incluso, con causa justificada, recusar en nombre de la Propiedad al Contratista, si considera que al adoptar esta solución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

Con este fin el Contratista se obliga a designar sus representantes de obra, los cuales atenderán en todas las observaciones e indicaciones de la Dirección Facultativa, asimismo el Contratista se obliga a facilitar a la Dirección Facultativa la inspección y vigilancia de todos los trabajos y a proporcionar la información necesaria sobre el incumplimiento de las condiciones de la contrata y el ritmo de realización de los trabajos, tal como está previsto en el plan de obra.

A todos estos efectos, el Adjudicatario estará obligado a tener en la obra durante la ejecución de los trabajos el personal técnico, los capataces y encargados necesarios que a juicio de la Dirección Facultativa sean necesarios para la debida conducción y vigilancia de las obras e instalaciones.

Artículo 3. Responsabilidades de la Dirección Facultativa por el retraso de la obra

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplimentado los plazos de obra estipulados, alegando como causa la carencia de planos y órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que la Contrata, en uso de las facultades que en este artículo se le conceda, los haya solicitado por escrito a la Dirección Facultativa y éste no los haya entregado. En este único caso, el Contratista quedará facultado para recurrir entre los amigables componedores previamente designados, los cuales decidirán sobre la procedencia o no del requerimiento; en caso afirmativo, la Dirección Facultativa será la responsable del retraso sufrido, pero únicamente en las unidades de obra afectadas por el requerimiento del Contratista y las subsiguientes que con ellas estuviesen relacionadas.

Artículo 4. Cambio del director de obra

Desde que se dé inicio a las obras hasta su recepción provisional, el Contratista designará un jefe de obra como representante suyo autorizado, que cuidará que los trabajos sean llevados con diligencia y competencia. Este jefe estará expresamente autorizado por el Contratista para percibir notificaciones de las órdenes de servicios y de las instrucciones escritas o verbales emitidas por la Dirección Facultativa y para asegurar que dichas órdenes se ejecuten. Así mismo estará expresamente autorizado para firmar y aceptar las mediciones realizadas por la Dirección Facultativa.

Cualquier cambio que el Contratista desee efectuar respecto a su representante y personal cualificado y en especial del jefe de obra deberá comunicarlo a la Dirección Facultativa, no pudiendo producir el relevo hasta la aceptación de la Dirección Facultativa de las personas designadas.

Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados y empresarios de las obras, y en ausencia de todos ellos, las depositadas en la residencia designada como oficial del Contratista en el contrato de adjudicación, aún en ausencia o negativa del recibo por parte de los dependientes de la Contrata.

### **2.1.2. Obligaciones y derechos del contratista**

#### Artículo 5. Obligaciones y derechos del contratista

El Director de Obra podrá exigir al Contratista la necesidad de someter a control todos los materiales que se han de colocar en las obras, sin que este control previo sea una recepción definitiva de los materiales. Igualmente tiene el derecho a exigir cuantos catálogos certificados, muestras y ensayos que estime oportunos para asegurarse de la calidad de los materiales.

Una vez adjudicados la obra definitiva y antes de su instalación, el Contratista presentará al técnico encargado los catálogos, muestras, etc., que se relacionen en este pliego, según los distintos materiales. No se podrán emplear materiales sin que previamente hayan sido aceptados por la Dirección de Obra. Si el fabricante no reúne la suficiente garantía a juicio del Director de Obra, antes de instalarse comprobará sus características en un laboratorio oficial, en el que se realizarán las pruebas necesarias.

El control previo no constituye su recepción definitiva, pudiendo ser rechazados por la Dirección de la Obra aun después de colocados si no cumplen con las condiciones exigibles en el presente Pliego de Condiciones, debiendo ser reemplazados por otros que cumplen con las calidades exigibles y a cargo de la Contrata.

#### Artículo 6. Remisión por solicitud de ofertas

Por la Dirección facultativa se solicitarán ofertas a las Empresas especializadas del sector, para la realización de las instalaciones especificadas en el presente proyecto, para lo cual se pondrá a disposición de los ofertantes un ejemplar del citado proyecto o un extracto con los datos suficientes. En caso de que el ofertante lo estime de interés deberá presentar además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación.

El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

#### Artículo 7. Presencia del Contratista en la obra

El Contratista, por sí mismo o por medio de sus representantes o encargados, estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará a la Dirección Facultativa en las visitas que hará en la obra durante la jornada laboral.

Por sí mismo, o por medio de sus representantes, asistirá a las reuniones de obra que se convoquen, no pudiendo justificar por motivo de ausencia ninguna reclamación a las órdenes cruzadas por la Dirección Facultativa en el transcurso de las reuniones.

#### Artículo 8. Oficina de obra

El Contratista habilitará una oficina de obra en la que existirá una mesa o tablero adecuado, para extender y consultar sobre él los planos. En dicha oficina

tendrá siempre el Contratista una copia autorizada de todos los documentos del proyecto que le hayan sido facilitados por la Dirección facultativa y el libro de órdenes.

#### Artículo 9. Residencia del contratista

Desde que se dé comienzo a las obras hasta su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado deberá residir en un punto próximo al de ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse de él sin previo conocimiento de la Dirección facultativa y notificándole expresamente la persona que, durante su ausencia, le ha de representar en todas sus funciones. Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán validas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier ramo que, como dependientes de la Contrata, intervengan en las obras y, en ausencia de ellos, las depositadas en la residencia, designada como oficial, de la Contrata en los documentos del proyecto, aún en ausencia o negativa por parte de los dependientes de la Contrata.

Artículo 10. Recusación por el contratista del personal nombrado por la Dirección facultativa

El Contratista no podrá recusar al personal técnico de cualquier índole, dependiente de la Dirección facultativa o de la propiedad, encargado de la vigilancia de las obras, ni pedir por parte de la propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones. Cuando se crea perjudicado con los resultados de éstos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo 12, pero sin que pueda interrumpirse la marcha de los trabajos por esta causa.

### **2.1.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares**

#### Artículo 11. Libro de órdenes

El Contratista tendrá siempre en la oficina de la obra, y a disposición de la Dirección Facultativa, un libro de órdenes con sus hojas foliadas por duplicado y visado por el colegio profesional correspondiente. En el libro se redactarán todas las órdenes que la Dirección Facultativa crea oportuno dar al Contratista para que adopte las medidas de todo género que puedan sufrir los obreros.

Cada orden deberá ser firmada por la Dirección Facultativa y por el Contratista o por su representante en obra, la copia de cada orden quedará en poder de la Dirección Facultativa.

El hecho de que en el libro no figuren redactadas las órdenes que ya preceptivamente tienen la obligación de cumplimentar el Contratista de acuerdo con lo establecido en las normas oficiales, no supone atenuante alguno para las responsabilidades que sean inherentes al Contratista, no podrá tener en cuenta ningún acontecimiento o documento que no haya quedado mencionado en su momento oportuno en el libro de órdenes.

#### Artículo 12. Reclamaciones contra la Dirección Facultativa

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes de la Dirección Facultativa sólo podrán presentarlas a través de la misma ante la Propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes; contra disposiciones de orden técnico o facultativo de la Dirección Técnica, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar sus responsabilidades, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida a la Dirección Facultativa, el cuál podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

### Artículo 13. Despidos por insubordinación, incapacidad y mala fe

Por falta de respeto y obediencia a la Dirección Facultativa o al personal encargado de la vigilancia de las obras por manifiesta incapacidad, o por actos que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, el Contratista tendrá obligación de despedir a sus dependientes y operarios a requerimiento de la Dirección Facultativa.

### Artículo 14. Orden de los trabajos

El Director de Obra fijará en el orden que hayan de seguirse en la realización de las distintas partes que componen este Proyecto, así como las normas a seguir en todo lo no regulado en el presente Proyecto.

En general, la determinación del orden de los trabajos será facultad potestativa de la Contrata, salvo aquellos casos en que, por cualquier circunstancia de orden técnico o facultativo, estime conveniente su variación la Dirección.

Estas órdenes deberán comunicarse precisamente por escrito a la Contrata y ésta estará obligada a su estricto cumplimiento, siendo directamente responsable de cualquier daño o perjuicio que pudiera sobrevenir por su incumplimiento.

### Artículo 15. Replanteo

Antes de dar comienzo las obras, la Dirección Facultativa auxiliada del personal subalterno necesario y en presencia del Contratista o de su representante, procederá al replanteo general de la obra. Una vez finalizado el mismo, se levantará acta de comprobación del replanteo.

Los replanteos de detalle se llevarán a cabo de acuerdo con las instrucciones y órdenes de la Dirección Facultativa, quien realizará las comprobaciones necesarias en presencia del Contratista o de su representante.

El Contratista se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

El Contratista está obligado a satisfacer los gastos de replanteo, tanto en general como parciales, y sucesivas comprobaciones. Asimismo, serán de cuenta del Contratista los que originen el alquiler o adquisición de los terrenos para depósitos de maquinaria y materiales, los de protección de materiales y obra contra todo deterioro, daño e incendio, cumpliéndose los requisitos vigentes para almacenamiento de carburantes desde los puntos de vista de seguridad y accidentes, los de limpieza y evacuación de los desperdicios, basura, escombros, etc., los motivados por desagües y señalización y demás recursos.

También serán de cuenta del Contratista los gastos totales de Dirección Facultativa y desplazamiento de personal y material para la inspección y vigilancia, recepción y liquidación.

#### Artículo 16. Comienzo de las obras

El contratista deberá dar comienzo a las obras en el plazo marcado en el Contrato de adjudicación de la obra, desarrollándose en las formas necesarias para que dentro de los periodos parciales en aquel reseñados queden ejecutadas las obras correspondientes y que, en consecuencia, la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo exigido por el Contrato.

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta a la Dirección Facultativa del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación. Previamente se habrá suscrito el acta de replanteo en las condiciones establecidas en el artículo 15.

#### Artículo 17. Plazo de ejecución

Los plazos de ejecución total y parcial, indicados en el contrato, se empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo, que no exceda de 7 días a partir de la fecha de la contrata, y deberán quedar terminadas en el plazo improrrogable de 12 meses, contados a partir de la fecha del acta de replanteo.

El Contratista estará obligado a cumplir con los plazos que se señalen en el contrato para la ejecución de las obras y que serán improrrogables. No obstante además de lo anteriormente indicado, los plazos podrán ser objeto de modificaciones cuando así resulte por cambios determinados por el Director de Obra, debidos a exigencias de la realización de las obras y siempre que tales cambios influyan realmente en los plazos señalados en el Contrato.

Si por cualquier causa ajena por completo al Contratista, no fuera posible empezar los trabajos en la fecha prevista o tuvieran que ser suspendidos una vez empezados, se concederá por el Director Obra la prórroga estrictamente necesaria.

#### Artículo 18. Condiciones generales de ejecución de los trabajos

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto que haya servido de base a la Contrata, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue la Dirección Facultativa al Contratista, siempre que éstas encajen dentro de la cifra a que ascienden los presupuestos aprobados.

#### Artículo 19. Trabajos defectuosos

El Contratista debe emplear los materiales que cumplan con las condiciones exigidas en las condiciones generales de índole técnico del Pliego de Condiciones en la edificación y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle la excusa ni le otorgue derecho alguno la circunstancia de que la Dirección Facultativa o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando la Dirección Facultativa o su representante en la obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado y todo ello a expensas de la Contrata.

Si ésta no estimase justa la resolución y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá con lo establecido en el artículo 22.

#### Artículo 20. Aclaraciones y modificaciones de los documentos del Proyecto

Cuando se trata de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones, las órdenes e instrucciones de los planos, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán por escrito al Contratista, estando éste obligado a su vez a devolver, ya los originales, ya las copias, suscribiendo con su firma al enterado, que figura así mismo en todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba tanto de la Propiedad como de la Dirección Técnica.

Cualquier reclamación que, en contra de las disposiciones tomadas por estos, crea oportuno no hacer el Contratista, habrá de dirigirla dentro del plazo de 15 días a la

Dirección Facultativa, la cual dará al Contratista el correspondiente recibo si éste lo solicitase.

#### Artículo 21. Ampliación del Proyecto por causas imprevistas de fuerza mayor

Si por causa de fuerza mayor o independencia de la voluntad del Contratista y siempre que esta causa sea distinta de las que se especifiquen como la rescisión en el capítulo de condiciones generales de índole legal, aquel no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la Contrata, previo informe de la Dirección Facultativa.

Para ello, el Contratista expondrá por escrito dirigido a la Dirección Facultativa, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso de que por ello se originaría en los plazos acordados razonando la prórroga que por dicha causa se solicita.

#### Artículo 22. Obras ocultas

De todos los trabajos donde haya unidades de obra que tienen que quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos e indispensables para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado y se entregarán uno al Propietario, otro a la Dirección Facultativa y el tercero al Contratista, firmados todos ellos por estos dos últimos.

Dichos planos, que deberán ir acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

#### Artículo 23. Vicios ocultos

Si la Dirección Facultativa tuviese fundadas razones para creer la existencia de vicios ocultos de construcciones en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en

cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que supone defectuosos. Los gastos de demoliciones y reconstrucción que se ocasiona serán de cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente y en caso contrario correrán a cargo del Propietario.

Artículo 24. Características de los materiales, de los aparatos y su procedencia

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas las clases en los puntos que le parezcan convenientes, siempre que reúnan las condiciones exigidas en el Contrato, que están perfectamente preparados para el objeto a que se apliquen y sea a lo preceptuado en el Pliego de Condiciones y a las condiciones y a las instrucciones de la Dirección Facultativa.

Artículo 25. Empleo de los materiales y aparatos

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y aparatos que no fuesen de la calidad requerida, sin que antes sean examinados y aceptados por la Dirección Facultativa, en los términos que prescriben los Pliegos, depositando al efecto el Contratista las muestras y modelos necesarios previamente contrastados, para efectuar en ellos las comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones vigente en la obra. Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc. antes indicadas serán a cargo del Contratista.

Artículo 26. Materiales no utilizables

El Contratista, a su costa transportará y colocará agrupándolos ordenadamente en el sitio de la obra en el que por no causar perjuicios a la marcha de los trabajos se le designe, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc. que no serán utilizables en la obra. Se retirarán de ésta o se llevarán al

vertedero cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones Particulares vigente en la obra.

Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular se retirarán de ella cuando así lo ordene la Dirección Facultativa, pero acordando previamente con el Contratista la justa tasación de dichos materiales y los gastos de sus transportes.

#### Artículo 27. Materiales y aparatos defectuosos

Cuando los materiales no fuesen de la calidad requerida o no estuviesen preparados, la Dirección Facultativa dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos de Condiciones, o a falta de estas a las órdenes de la Dirección Facultativa. La Dirección Facultativa podrá permitir el empleo de aquellos materiales defectuosos que mejor le parezcan o aceptar el empleo de otros de calidad superior a la indicada en los pliegos; si no le fuese posible al Contratista suministrarlos en el modo requerido por ellos, se descontará en el primer caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado y no teniendo derecho el Contratista a indemnización alguna en el segundo.

#### Artículo 28. Medios auxiliares

Serán de cuenta y riesgo del Contratista los andamiajes, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesitan. No se reclamará al Propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares. Todos estos, siempre que no se haya estipulado lo Contrario en las condiciones particulares de la obra, quedarán a beneficio del Contratista, sin que este pueda fundar reclamación alguna en la insuficiencia de dichos medios, cuando estos estén detallados en el presupuesto y consignados por partida alzada o incluidos en los precios de las unidades de obra.

En caso de rescisión por incumplimiento del Contrato por parte del Contratista, los medios auxiliares del Constructor podrán ser utilizados libre y gratuitamente por la Administración para la terminación de las obras.

En cualquier caso, todos estos medios auxiliares quedarán en propiedad del Contratista una vez terminadas las obras, pero ningún derecho tendrá a reclamación alguna por parte de los desperfectos a que su uso haya dado lugar.

#### Artículo 29. Medidas de seguridad

El Contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes sobre la seguridad e higiene en el trabajo, tanto en lo que se refiere al personal de la obra como a terceros.

Como elemento primordial de seguridad se prescribirá el establecimiento de señalización necesaria tanto durante el desarrollo de las obras, como durante su explotación, haciendo referencia bien a peligros que existan o a las limitaciones de las estructuras.

Se utilizarán, cuando existan, las correspondientes señales establecidas por el Ministerio competente, y en su defecto por departamentos nacionales u organismos internacionales.

#### **2.1.4. Recepción provisional, plazo de garantía y recepción definitiva**

Tanto en la recepción provisional, como definitiva, se observará lo regulado en el artículo 169 y siguientes del Reglamento de Contratación y en el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales.

### Artículo 30. Recepción provisional

Terminado el plazo de ejecución de las obras y puesta en servicio, se procederá a la recepción provisional de las mismas estando presente la comisión que designe el Contratista y el Director de Obra. Se realizarán todas las pruebas que el Director de Obra estime oportunas para el cumplimiento de todo lo especificado en este pliego y buena ejecución y calidad de las mismas, siendo inapelable el fallo que dicho Director, a la vista del resultado de las mismas, de donde sobre la validez o invalidez de las obras ejecutadas.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas provisionalmente comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía señalado en el presente pliego y procediéndose en el plazo más breve posible a su medición general y definitiva, con asistencia del Contratista o su representante.

Cuando las obras no se encuentren en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta especificando las premisas que el Director de Obra debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijando un plazo para ello.

### Artículo 31. Conservación de los trabajos recibidos provisionalmente

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el propietario, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la Contrata.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de rescisión de contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que la Dirección Facultativa fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del mismo corra a cargo del Contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuere preciso realizar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar y reparar la obra durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente Pliego de Condiciones Económicas.

El Contratista se obliga a destinar a su costa a un vigilante de las obras que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

#### Artículo 32. Plazo de garantía

El plazo de garantía será de un año a contar desde la fecha de su recepción provisional. Durante el periodo de garantía todas las reparaciones derivadas de mala construcción imputables al Contratista serán abonadas por este.

Si el Director de Obra tuviera fundadas razones para creer en la existencia de vicios de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar antes de la recepción definitiva las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos. Los gastos derivados en dichas demoliciones correrán a cargo del Contratista, siempre que existan tales vicios, en caso contrario correrán a cargo de la Propiedad.

#### Artículo 33. Recepción definitiva

Pasado el plazo de garantía, si las obras se encuentran en perfecto estado de uso y conservación, de acuerdo al presente pliego, se darán por recibidas definitivamente.

Una vez recibidas definitivamente las obras se procederá de inmediato a su liquidación y resolución de la fianza de la que se detraerán las sanciones o cargas que procedan, conforme a lo estipulado en el presente pliego.

En caso de que las obras no se encuentren en estado para la recepción definitiva, se procederá de igual forma que para la recepción provisional sin que el Contratista tenga derecho a percibir cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía.

### **2.1.5. Casos no previstos en este pliego**

El Director de Obra dará las normas a seguir en todo aquello que no quede regulado en este Pliego de Condiciones.

## **2.2. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS**

### **2.2.1. Principio general**

#### Artículo 34. Alcance

Comprenderán las que afecten al coste y pago de las obras contratadas, al plazo y forma de las entregas, a las fianzas y garantías para el cumplimiento del Contrato establecido, a los casos que proceden las mutuas indemnizaciones y todas las que se relacionen con la obligación contraída por el Propietario a satisfacer el importe y la remuneración del trabajo contratado, una vez ejecutadas, parcial o totalmente por el Contratista, y de acuerdo con las condiciones convenidas, las que le fueran adjudicadas.

#### Artículo 35. Base fundamental

La base fundamental de estas condiciones es la de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y condiciones generales y particulares que rijan la construcción contratada.

### **2.2.2. Garantías de cumplimiento y fianzas**

#### Artículo 36. Garantías

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato; dichas referencias, si le son pedidas, las presentará el Contratista antes de la firma del Contrato.

#### Artículo 37. Fianzas

Si la obra se adjudica por subasta, el depósito para tomar parte de ella se especificará en el anuncio de la misma y su cuantía será de un 3% como mínimo del total del presupuesto de la contrata.

La persona o entidad a quien se haya adjudicado la ejecución de la obra, deberá depositar en el punto y plazo marcados en el anuncio de la subasta la fianza definitiva de estas y en su defecto, su importe será del 10% de la cantidad por la que se otorgue la adjudicación de la obra.

La fianza que se exigirá al Contratista se convendrá entre el Ingeniero y el Contratista, entre una de las siguientes:

- Depósito de valores públicos del Estado por un importe del 10% del presupuesto de la obra contratada.
- Depósito en metálico de la misma cuantía indicada en el anterior apartado.
- Depósito previo en metálico de la misma cuantía del 10% del presupuesto mediante deducción del 5% efectuadas del importe de cada certificación abonada al Contratista.
- Descuento del 10% efectuado sobre el importe de cada certificación abonada al Contratista.

#### Artículo 38. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza

Si el Contratista se negara a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero en nombre y representación del Propietario, los ordenará a ejecutar a un tercero, o directamente por Administración abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el Propietario en el caso de que el importe de la fianza no baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo.

#### Artículo 39. Devolución de la fianza

La fianza será devuelta al Contratista en el plazo que no exceda de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de la certificación del Alcalde al Distrito Municipal en cuyo término se halle emplazada la obra contratada, y no haya reclamación alguna contra aquel por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

### **2.2.3. Penalizaciones**

#### Artículo 40. Importe de indemnización por retraso no justificado

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista, por causa de retraso no justificada en el plazo de terminación de las obras contratadas, se fijará entre cualquiera de los siguientes:

- Una cantidad fija durante el tiempo del retraso.
- El importe de la suma de perjuicios materiales causados por la imposibilidad de ocupación del inmueble, previamente fijados.
- El abono de un tanto por ciento anual sobre el importe del capital desembolsado a la terminación del plazo fijado y durante el tiempo que dure el retraso.

La cuantía y el procedimiento a seguir para fijar el importe de la indemnización, entre los anteriores especificados, se obtendrán expresamente entre ambas partes contratantes, antes de la firma del Contrato; a falta de este previo convenio, la cuantía de la indemnización se entiende que será el abono por el Contratista al Propietario de un interés del 4,5% anual, sobre las sumas totales de las cantidades desembolsadas por el Propietario, debidamente justificadas y durante el plazo de retraso de la entrega de las obras, en las condiciones contratadas.

#### **2.2.4. Precios**

##### Artículo 41. Precios contradictorios

Si ocurriese algún caso por virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma:

1. El Contratista formulará por escrito, bajo su firma, el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad.

2. La Dirección técnica estudiará el que, según su criterio, debe utilizarse.
3. Si ambos son coincidentes se formulará por la Dirección técnica el acta de avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio.
4. Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, la Dirección Facultativa propondrá a la Propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Contratista o, en otro caso, la segregación de la obra o instalación nueva, para ser ejecutada por administración o por otro adjudicatario distinto.
5. La fijación del precio contradictorio habrá de preceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo ya se hubiese comenzado, el Contratista estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle la Dirección Facultativa y a concluir a satisfacción de éste.
6. De los precios así acordados se levantarán actas que firmarán por triplicado el Director de Obra, el Propietario y el Contratista o los representantes autorizados a estos efectos por estos últimos.

#### Artículo 42. Revisión de precios

Si los vigentes precios de jornales, cargas sociales y materiales, en el momento de firmar el Contrato, experimentan una variación oficial en más o menos de 5%, podrá hacerse una revisión de precios a petición de cualquiera de las partes, que se aplicará a la obra que falte por ejecutar. En caso de urgencia podrá autorizarse la adquisición de materiales a precios superiores, siendo el abono de la diferencia con los contratos.

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello que en principio no se debe admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que son características de determinadas

épocas anormales se admite durante ellas la rescisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en armonía con las oscilaciones de los precios del mercado. El Contratista puede solicitar la revisión en alza del Propietario en cuanto se produzca cualquier alteración de precio que repercuta aumentando los contratados. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de recontinuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado y por causas justificadas haya subido, especificándose y acordándose también previamente la fecha a partir de la cual se tendrá en cuenta y cuando proceda, el acopio de materiales en la obra en el caso que estuviese abonado total o parcialmente por el Propietario.

Si el Propietario o el Ingeniero en su representación no estuviese conforme con los nuevos precios de materiales que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, en cuyo caso se tendrá en cuenta para la revisión, los precios de los materiales adquiridos por el Contratista merced a la información del Propietario.

Cuando entre los documentos aprobados por ambas partes figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de precios.

#### Artículo 43. Reclamaciones de aumentos de precios

Si el Contratista, antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación y observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que se aprobase para la ejecución de las obras.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier

época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión del contrato, señalados en los documentos relativos a las Condiciones Generales o Particulares de índole Facultativa, sino en el caso de que la Dirección Facultativa o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de la adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en la Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, puesto esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

#### Artículo 44. Normas para la adquisición de los materiales

Si al Contratista se le autoriza a gestionar y adquirir los materiales, deberá presentar al Propietario los precios y las muestras de los materiales, necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

Si los materiales fuesen de inferior calidad a las muestras presentadas y aprobadas, el Contratista adquiere la obligación de rechazarlos hasta que se le entreguen otros de las calidades ofrecidas y aceptadas. A falta del cumplimiento de esta obligación, el Contratista indemnizará al Propietario con el importe de los perjuicios que por su incumplimiento se originen, cuya cuantía la evaluará el Ingeniero Director.

#### Artículo 45. Intervención administrativa del Propietario

Todos los documentos que deben figurar en las cuentas de administración llevarán la conformidad del representante en los partes de jornales, transportes y materiales, firmando su conformidad en cada uno de ellos.

#### Artículo 46. Mejora de obras

No se admitirán mejorar las obras, más que en el caso que el Ingeniero haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo el caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Ingeniero ordene también por escrito la ampliación de las contratadas.

Será condición indispensable que ambas partes contratadas convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales y los aumentos de todas las mejoras.

#### Artículo 47. Unidades de obra no conformes con el Proyecto

Si el Contratista, por causa justificada a juicio del Ingeniero propusiera la ejecución de algún trabajo que no esté conforme con las condiciones de la contrata y por causas especiales de excepción la estimase el Ingeniero, éste resolverá dando conocimiento al Propietario y estableciendo contradictoriamente con el Contratista la rebaja del precio.

### **2.2.5. Medición, valoración y abono de las unidades de obra**

#### Artículo 48. Medición, valoración y abono de las unidades de obra

El pago de obras realizadas se hará sobre certificaciones parciales que se practicarán mensualmente. Dichas certificaciones contendrán solamente las unidades de obra totalmente terminadas que se hubieran ejecutado en el plazo a que se refieran.

La relación valorada que figure en las certificaciones, se hará con arreglo a los precios establecidos y con la cubicación, planos y referencias necesarias para su comprobación.

La comprobación, aceptación o reparos deberán quedar terminados por ambas partes en un plazo máximo de 15 días.

El Director de Obra expedirá las certificaciones de las obras ejecutadas, que tendrán carácter provisional a buena cuenta, verificables por la liquidación definitiva o por cualquiera de las certificaciones siguientes, no suponiendo por otra parte, aprobación ni recepción de las obras ejecutadas y comprendidas en dichas certificaciones.

Serán de abono al Contratista las obras de fábrica ejecutadas con arreglo a condiciones y con sujeción a los planos del Proyecto o a las modificaciones introducidas por el Director Técnico en el replanteo o durante la ejecución de las obras, que constarán en planos de detalle y órdenes escritas. Se abonarán por su volumen o su superficie real de acuerdo con lo que se especifique en los correspondientes precios unitarios que figuran en el cuadro de precios.

#### Artículo 49. Mediciones parciales y finales

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de lo que se levantará acta por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminadas las obras con precisa asistencia del Contratista.

En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición en los documentos que le acompañan, deberá aparecer la conformidad del Contratista o de su representación legal. En caso de no haber conformidad, lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

#### Artículo 50. Composición de los precios unitarios

Los precios unitarios se compondrán preceptivamente de la siguiente forma:

- Mano de obra, por categorías dentro de cada oficio, expresando el número de horas intervenidas por cada operario en la ejecución de cada unidad de obra y los jornales horarios correspondientes.
- Materiales, expresando la cantidad que en cada unidad de obra se precise de cada uno de ellos y su precio unitario respectivo en origen.
- Transporte de materiales, desde el punto de origen al pie de trabajo.
- Tanto por ciento de medios auxiliares y de seguridad.
- Tanto por ciento de gastos generales.
- Tanto por ciento de seguros y cargas sociales.
- Tanto por ciento de beneficio industrial del contratista.

#### Artículo 51. Composición de los precios por ejecución material

Se entiende por precio de ejecución material el que importe el coste total de la unidad de obra, es decir, el resultante de la suma de las partidas que importan los conceptos "dos" y "seis", ambos inclusive, del artículo precedente, es decir, p.d.m. será igual a la suma de los cinco primeros conceptos del artículo anterior.

#### Artículo 52. Composición de los precios por contrata

En el caso de que los trabajos a realizar en la obra y obra aneja, se entiende por precio de contrata el que importe el coste de la unidad de obra total, es decir, el precio de ejecución material más el tanto por ciento sobre éste último precio en concepto de "beneficio industrial del Contratista".

A falta de convenio especial se aplicará el 15%. De acuerdo con lo establecido se entiende por importe de contrata de un edificio u obra aneja, a la suma de su importe de ejecución material más el 15% de beneficio industrial:

- Imprevistos 1%.
- Gastos de administración y dirección práctica de los trabajos 5%.
- Intereses del capital adelantado por el Contratista 3%.
- Beneficio industrial del Contratista 6%.

#### Artículo 53. Composición de los precios por administración.

Se denominan obras por administración aquellas en que las gestiones que se precisen realizar, las lleva acabo el Propietario, bien por sí o por un representante suyo, o bien por mediación de su Constructor.

Las obras por administración directa son aquellas en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo lleve las gestiones precisas para la ejecución de las obras.

Las obras por administración indirecta son aquellas en las que convienen un Propietario y el Contratista, para que éste por cuenta de aquel y como delegado suyo realice las gestiones y los trabajos que se precisen y así se convengan.

Por parte del Propietario, tiene la obligación de abonar directamente o por mediación del contratista todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos. Por parte del contratista, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos.

Para la liquidación de los trabajos que se ejecute por administración indirecta, regirán las normas que a tales fines se establece en las Condiciones Particulares de índole Económico vigente en la obra:

- Las facturas de los transportes de materiales entrados en la obra.
- Los documentos justificativos de las partidas abonadas por los seguros y cargas sociales vigentes.
- Las nóminas de los jornales abonados.
- Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra.

- A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión o pago haya intervenido el Contratista se le aplicará un 15%, incluidos los medios auxiliares y los de seguridad.

#### Artículo 54. Precio del material acopiado a pie de obra

Si el Propietario ordenase por escrito al Contratista el acopio de materiales o aparatos en la obra a los precios contratados y ésta así lo efectuase, los que se hayan acopiado se incluirán en la certificación siguiente a su entrada en la obra.

#### Artículo 55. Precios de las unidades de obra y de las partidas alzadas

En los precios de las distintas unidades de obra, en los de aquellas que hayan de abonarse por partidas alzadas, se entenderán que se comprende el de la adquisición de todos los materiales necesarios, su preparación y mano de obra, transporte, montaje, colocación, pruebas y toda clase de operaciones y gastos que vayan a realizarse, así como riesgos y gravámenes que puedan sufrirse, aún cuando no figuren explícitamente en el cuadro de precios, para dejar la obra completamente terminada, con arreglo a las condiciones, y para conservarla hasta el momento en que se realice la entrega.

Los precios serán invariables, cualquiera que sea la procedencia de los materiales y el medio de transporte, sin más excepción que la expresada en este Pliego.

#### Artículo 56. Relaciones valoradas y certificaciones

Lo ejecutado por el Contratista se valorará aplicando al resultado de la medición general los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo en cuenta además lo establecido en el presente pliego respecto a mejoras o sustituciones de materiales y a las obras accesorias y especiales.

Al Contratista se lo facilitarán por el Ingeniero los datos de la certificación, acompañándolos de una nota de envío, al objeto, que dentro del plazo de 10 días a partir de la fecha del envío de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos y devolverlos firmados con su conformidad, hacer en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas.

Dentro de los 10 días siguientes a su recibo, el Ingeniero aceptará o rechazará las reclamaciones al Contratista si las hubiera, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución del Ingeniero en la forma prevenida en los pliegos anteriores.

Cuando por la importancia de la obra, o por la clase y número de documentos, no considere el Contratista suficiente aquel plazo para su examen, podrá el Ingeniero concederle una prórroga. Si transcurrido el plazo de 10 días a la prórroga expresada no hubiese devuelto el Contratista los documentos remitidos, se considerará que está conforme con los referidos datos, y expedirá el Ingeniero la certificación de las obras ejecutadas.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el 90% de su importe, a los que figuren en los documentos del proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de contrata.

Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al período a que se refieren, y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere.

En el caso de que el Ingeniero lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

#### Artículo 57. Valoración en el caso de rescisión

Cuando se rescinda la contrata por causas que no sean de la responsabilidad del Contratista, las herramientas y demás útiles que como medios auxiliares de la construcción se hayan estado empleando en las obras con autorización del Ingeniero y la contrata y de no mediar acuerdo, por los amigables componedores de índole legal y facultativa.

A los precios de tasación sin aumento alguno, recibirá el Propietario aquellos de dichos medios auxiliares que señalan en las condiciones de cada contrata, o en su defecto los que se consideren necesarios para terminar las obras y quiera reservar para sí el Contratista, entendiéndose que si no tendrán lugar el abono por este concepto, cuando el importe de los trabajos realizados hasta la rescisión no llegue a los tercios de la obra contratada.

Se abonarán los materiales acopiados al pie de obra si son de recibo y de aplicación para terminar esta, en una cantidad proporcionada a la obra pendiente de ejecución, aplicándose a estos materiales los precios que figuren en el cuadro de precios descompuestos. También se abonarán los materiales acopiados fuera de la obra, siempre que se transporten al pie de ella.

En el caso de rescisión por falta de pago o retraso en el abono o suspensión por plazo superior de un año imputable al Propietario, se concederá al contratista además de las cantidades anteriormente expuestas, una indemnización que fijará el Ingeniero, la cual no podrá exceder del 3% del valor de las obras que falten por ejecutar.

En caso de rescisión por alteración de presupuesto o por cualquiera de las causas reseñadas en las condiciones legales, no procederá más que el reintegro al

Contratista de los gastos por custodias de fianza, anuncio de subasta y formalización del contrato, sin que pueda reclamar el abono de los útiles destinados a las obras.

En caso de rescisión por falta de cumplimiento en los plazos de obra, no tendrá derecho el Contratista a reclamar ninguna indemnización a las obras pero si a que se abonen las ejecutadas, con arreglo a condiciones y los materiales acopiados a pie de obra que sean de recibo.

Si lo incompleto, es la unidad de obra y la parte ejecutada en ella fuera de recibo, entonces se abonará esta parte con arreglo a lo que correspondan según la descomposición del precio que figura en el cuadro del Proyecto, sin que pueda pretender el Contratista que, por ningún motivo se efectúe la descomposición en otra forma que la que en dicho cuadro figura.

Toda unidad compuesta o mixta no especificada en el cuadro de precios, se valorará haciendo la descomposición de la misma y aplicando los precios unitarios de dicho cuadro a cada una de las partes que la integra, quedando en esta suma, así obtenida, comprendidos todos los medios auxiliares.

En general se dará al Contratista un plazo de tiempo que determinará la Dirección de la Obra, dentro de los límites de 20 y 60 días para poner el material en curso de instalaciones de ser aceptado como obra terminada, teniendo en cuenta que las no finalizadas se liquidarán a los precios elementales que figuren en el presupuesto, así como los recibos de los materiales a pie de obra que reúnan las debidas condiciones se seguirá por las disposiciones vigentes.

#### Artículo 58. Equivocaciones en el presupuesto

Se supone que el Contratista ha hecho detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por tanto al no haber hecho ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios, de tal suerte, que si la obra

ejecutada con arreglo al proyecto contiene mayor número de unidades que las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna.

Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

#### Artículo 59. Formas de abono de las obras

El abono de los trabajos efectuados se efectuará por uno de los procedimientos siguientes, convenido por el Ingeniero y el Contratista antes de dar comienzo los trabajos:

1. Tipo fijo o a tanto alzado total.
2. Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar el número de unidades ejecutadas.
3. Tanto variable por unidad de obra según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes del Ingeniero.
4. Por lista de jornales y recibos de materiales autorizados en la forma que el presente pliego determina.
5. Por horas de trabajo ejecutado en las condiciones determinadas en el Contrato.

#### Artículo 60. Abono de unidades de obra ejecutadas

El Contratista deberá percibir el importe de todas aquellas unidades de obra que haya ejecutado con arreglo y sujeción a los documentos del Proyecto, a las condiciones de la contrata y a las órdenes e instrucciones que por escrito entregue el Ingeniero.

#### Artículo 61. Abono de trabajos presupuestados con partidas alzadas

Si existen precios contratados para unidades de obras iguales a las presupuestadas mediante partida alzada se abonará previa medición y aplicación del precio establecido.

Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerá, precios contradictorios para las unidades con partidas alzadas, deducidos de los similares contratados.

Si no existen precios contratados, para unidades de obra iguales o similares, la partida alzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse en cuyo caso, el Ingeniero director de la obra indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que debe seguirse para llevar dicha cuenta.

#### Artículo 62. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos para su abono se procederá así:

- Si los trabajos se realizan y están especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y el Ingeniero exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valoradas a los precios que figuren en el presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en los pliegos particulares o en su defecto en los generales, en el caso de que dichos fueran inferiores a los que rijan en la época de su realización en caso contrario, se aplicarán estos últimos.
- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso de las obras, por haber sido utilizadas durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, nada se abonará por ellos al Contratista.

### Artículo 63. Abono de obras incompletas

Cuando por rescisión u otra causa fuera preciso valorar obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra en forma distinta, ni que tenga derecho el Contratista a reclamación alguna por insuficiencia u omisión del costo de cualquier elemento que constituye el precio.

Las partidas que componen la descomposición del precio serán de abono cuando esté acopiado en obra la totalidad del material, incluidos accesorios, o realizados en su totalidad las labores u operaciones que determina la definición de la partida, ya que el criterio a seguir ha de ser que sólo se consideran abonables fases con ejecución terminadas, perdiendo el Adjudicatario todos los derechos en el caso de dejarlas incompletas.

### Artículo 64. Liquidaciones parciales

Las liquidaciones se harán por certificaciones mensuales y se hallarán multiplicando las unidades resultantes de las mediciones por el precio asignado de cada unidad en el presupuesto. Se añadirá el % correspondiente al sistema de Contrato, desquitando las rebajas que se obtuvieran en subasta.

### Artículo 65. Carácter provisional de las liquidaciones parciales

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

La Propiedad se reserva en todo momento y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido

los compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la obra, a cuyo efecto deberá presentar el Contratista los comprobantes que se exijan.

#### Artículo 66. Liquidación final

La liquidación general se llevará a cabo una vez terminadas las obras y en ella se hará constar las mediciones y valoraciones de todas las unidades de obra realizadas, las que constituyen modificaciones del proyecto, y los documentos y aumentos que se aplicaron en las liquidaciones parciales, siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la Dirección técnica con sus precios.

De ninguna manera tendrá derecho el Contratista a formular reclamaciones por aumentos de obra que no estuviesen autorizados por escrito a la Propiedad con el visto bueno del Ingeniero Director.

#### Artículo 67. Liquidación en caso de rescisión

En este caso, la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se redactará de acuerdo por ambas partes. Incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la rescisión.

#### Artículo 68. Pagos

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y sus importes corresponderán precisamente al de las certificaciones de obras expedidas por el ingeniero, en virtud de las cuales se verificarán aquellos.

Artículo 69. Suspensión o retrasos en el ritmo de los trabajos por retraso en los pagos

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos o ejecutarlos a menor ritmo que el que le corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

#### Artículo 70. Demora de los pagos

Si el Propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que corresponda el plazo convenido, el Contratista tendrá además el derecho de percibir el abono de un 4,5% anual en concepto de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo, tendrá derecho el Contratista a la rescisión del Contrato, procediéndose a la ejecución de la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que estos reúnan las condiciones preestablecidas y que la cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

Se rechazará toda solicitud de rescisión del Contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra en los materiales acopiados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el Contrato.

#### Artículo 71. Indemnización de daños causados por fuerza mayor

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas ocasionadas en la obra sino en los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo, se considerarán como tales casos los que siguen:

- Los incendios causados por electricidad atmosférica.
- Los producidos por terremotos o los maremotos.

- Los producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de los ríos, superiores a los que sean de prever en el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que por el Contratista se tomarán las medidas posibles dentro de sus medios para evitar los daños.
- Los que provengan de movimientos del terreno e que estén construidas las obras.

La indemnización se referirá al abono de las unidades de obra ya ejecutadas con materiales acopiados a pie de obra; en ningún caso comprenderá medios auxiliares.

## **2.3. CONDICIONES GENERALES LEGALES**

### **2.3.1. Arbitrio y jurisdicción**

#### Artículo 72. Formalización del Contrato

Los Contratos se formalizarán mediante documentos privados, que podrán elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes y con arreglo a las disposiciones vigentes. Este documento contendrá una cláusula en las que se expresa terminantemente que el Contratista se obliga al cumplimiento exacto del Contrato, conforme a lo previsto en el Pliego General de Condiciones.

El Contratista antes de firmar la escritura habrá firmado también su conformidad al pie del Pliego de Condiciones Particulares que ha de regir la obra, en los planos, cuadros de precios y presupuesto general.

Serán de cuenta del Adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne la contrata.

#### Artículo 73. Arbitraje obligatorio

Ambas partes se comprometen a someterse en sus diferencias al arbitraje de amigables componedores, designados uno de ellos por el Propietario, otro por la contrata y tres Ingenieros por el C.O. correspondiente, uno de los cuales será forzosamente el Director de Obra.

#### Artículo 74. Jurisdicción competente

En caso de no haberse llegado a un acuerdo por el anterior procedimiento, ambas partes son obligadas a someterse a la discusión de todas las cuestiones que pueden surgir como derivadas de su Contrato, a las autoridades y tribunales administrativos, con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese enclavada la obra.

### **2.3.2. Responsabilidades legales del contratista**

#### Artículo 75. Medidas preparatorias

Antes de comenzar las obras el Contratista tiene la obligación de verificar los documentos y de volver a tomar sobre el terreno todas las medidas y datos que le sean necesarios. Caso de no haber indicado al Director de obra en tiempo útil, los errores que pudieran contener dichos documentos, el Contratista acepta todas las responsabilidades.

#### Artículo 76. Responsabilidad en la ejecución de las obras

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el Contrato y en los documentos que componen el Proyecto. Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo lo

mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que la Dirección Facultativa haya examinado o reconocido la construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonadas las liquidaciones parciales.

#### Artículo 77. Legislación Social

Habrá de tenerse en cuenta por parte del Contratista la Reglamentación de Trabajo, así como las demás disposiciones que regulan las relaciones entre patronos y obreros, contratación del Seguro Obligatorio, Subsidio Familiar y de Vejez, los Accidentes de Trabajo, Seguridad e Higiene en el Trabajo y demás con carácter social urgentes durante la ejecución de las obras.

El Contratista ha de cumplir lo reglamentado sobre seguridad e higiene en el trabajo, así como la legislación actual en el momento de ejecución de las obras en relación sobre protección a la industria nacional y fomento del consumo de artículos nacionales.

#### Artículo 78. Medidas de seguridad

En caso de accidentes ocurridos a los operarios con motivo de ejercicios en los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos vigentes en la legislación, siendo en todo caso único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la Propiedad, por responsabilidad en cualquier aspecto.

De los accidentes y perjuicios de todo género que por cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudiera recaer o sobrevenir, será este el único responsable, o sus representantes en la obra, ya se considera que los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente, dichas disposiciones legales, será preceptivo que el tablón de anuncios de la obra presente artículos del Pliego de Condiciones Generales de índole general, sometido previamente a la firma de la Dirección Facultativa.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes perpetúen para evitar en lo posible accidentes a los obreros y a los andantes no sólo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra.

Se exigirán con especial atención la observación de lo regulado por la ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.G.S.H.T.).

#### Artículo 79. Vallado y policía de obra

Serán de cargo y cuenta del Contratista el vallado y la policía del solar, cuidando de la conservación de sus líneas de lindeo, y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiese, no se realicen durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad.

Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento del Ingeniero Director.

#### Artículo 80. Permisos y Licencias

El adjudicatario estará obligado a tener todos los permisos y licencias, para la ejecución de las obras y posterior puesta en servicio y deberá abonar todas las cargas, tasas e impuestos derivados de la obtención de dichos permisos.

#### Artículo 81. Daños a terceros

El Contratista será responsable de todos los accidentes que por inexperiencia o descuido sobreviniese en la edificación donde se efectúan las obras.

Como en las contiguas, será, por tanto, de sus cuentas el abono de las indemnizaciones a quien corresponde y cuando ello hubiera lugar, de todos los

daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir cuando a ello fuese requerido, el justificante de tal cumplimiento.

#### Artículo 82. Seguro de la obra

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva, la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la sociedad aseguradora se ingresará en cuenta a nombre del Propietario, para que con cargo a él, se abone la obra que se construye y a medida que esta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones como el resto de los trabajos.

En las obras de reparación o reforma, se fijará la porción de la obra que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se previene, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte de la obra afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza de seguros, las pondrá el Contratista antes de contratadas, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

#### Artículo 83. Suplementos

El Contratista no puede hacer ningún trabajo que ocasione suplementos de gastos sin autorización escrita del Propietario de la instalación y con el visto bueno del Director de obra.

#### Artículo 84. Conservación y otros

El Contratista ejecutor de las obras tendrá que conservar a su cargo todos los elementos de las obras civiles y eléctricas desde el comienzo de las obras hasta la recepción definitiva de las mismas. A este respecto, los gastos derivados de la conservación, tales como revisiones periódicas de las instalaciones, vigilancia, reposición de posibles desperfectos causados por terceros, limpieza de aparatos, etc. correrán a cargo del Contratista, no pudiendo éste alegar que la instalación esté o no en servicio.

La sustitución o reparación será decidida por la Dirección de obra, que juzgará a la vista del incidente si el elemento puede ser reparado o totalmente sustituido por uno nuevo teniendo que aceptar totalmente dicha decisión.

El Contratista estará obligado a ejecutar aquellos detalles imprevistos por su minuciosidad o que se hayan omitido si el Director de la obra lo juzga necesario.

#### Artículo 85. Hallazgos

El Propietario se reserva la posesión de las antigüedades, objetos de arte, o sustancias minerales utilizables, que se encuentren en las excavaciones y demoliciones practicadas en su terreno o edificaciones. El Contratista deberá emplear para extraerlo todas las precauciones que se le indiquen por la Dirección. El Propietario abonará al Contratista el exceso de obras o gastos especiales que estos trabajos ocasionen.

Serán así mismo, de la exclusiva pertenencia del Propietario los materiales y corrientes de agua que, como consecuencia de la ejecución de las obras, aparecieran en los solares o terrenos donde se realicen las obras, pero el Contratista, en el caso de tratarse de aguas y si las utilizara, serán de cargo del Contratista las obras que sean convenientes ejecutar para recogerlas para su utilización.

La utilización para el aprovechamiento de gravas y arenas y toda clase de materiales procedentes de los terrenos donde los trabajos se ejecuten, así como las condiciones técnicas y económicas en que estos aprovechamientos han de concederse y ejecutarse se señalarán para cada caso concreto por la Dirección Facultativa.

#### Artículo 86. Anuncios y carteles

Sin previa autorización de la Propiedad no podrán ponerse, ni en sus vallas, más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y la policía local.

#### Artículo 87. Copia de documentos

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, presupuesto, y pliego de condiciones y demás documentos del proyecto.

### **2.3.3. Subcontratas**

#### Artículo 88. Subcontratas

El Contratista puede subcontratar una parte o la totalidad de la obra a otra u otras empresas, administradores, constructores, instaladores, etc. no eximiéndose por ello de su responsabilidad con la Propiedad.

El Contratista será el único responsable de la totalidad de la obra tanto desde el punto de vista legal como económico, reconociéndose como el único interlocutor válido para la Dirección Técnica.

### **2.3.4. Pago de arbitrios**

#### Artículo 89. Pagos de arbitrios

El pago de impuestos y arbitrios en general municipales o de otro régimen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse el tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo del Contratista siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, al Contratista le deberá ser reintegrado el importe de todos aquellos conceptos que la Dirección Facultativa considere justo hacerlo.

### **2.3.5. Causas de rescisión del contrato**

#### Artículo 90. Causas de rescisión del contrato

Se consideran causas suficientes de rescisión de Contrato las que a continuación se señalan:

- La muerte o incapacidad del Contratista.
- La quiebra del Contratista.

En los casos anteriores, si los herederos o síndico se ofrecieran a llevar a cabo las obras bajo las mismas condiciones estipuladas en el Contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que este último caso tenga derecho a indemnización alguna.

- Las alteraciones del Contrato por las causas siguientes:
  - La modificación del Proyecto en forma tal, que representan alteraciones fundamentales del mismo a juicio de la Dirección Facultativa y en

cualquier caso, siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, representen más o menos un 25% como mínimo del importe de aquel.

- La modificación de las unidades de obra siempre que estas modificaciones representen variaciones, más o menos del 40% como mínimo de alguna de las unidades que figuren en las modificaciones del Proyecto, o más de un 50% de unidades del Proyecto modificadas.
- La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo de la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación; en este caso la devolución de la fianza será automática.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.
- El no dar comienzo de la contrata a los trabajos dentro de los plazos señalados en las condiciones particulares del Proyecto.
- Incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras. La mala fe de la ejecución de los trabajos.
- El abonado de la obra sin causa justificada.
- La terminación del plazo de ejecución de la obra sin haberse llegado a esta.

Quedará rescindido el contrato por incumplimiento del Contratista de las condiciones estipuladas en este pliego perdiendo en este caso la fianza, y quedando sin derecho a reclamación alguna.

### 3. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

En este Capítulo se detallan las características técnicas de los materiales, maquinarias y equipos a emplear, y los medios de ejecución de las obras, además se redactarán las normas de seguridad en el desarrollo de los trabajos y los métodos de medición y valoración a seguir; para cada uno de los capítulos que conforman la ejecución al completo del Proyecto.

#### Generalidades:

##### *Medición y valoración de las Unidades de Obra*

El pago de obras realizadas se hará sobre certificaciones parciales que se practicarán mensualmente. Dichas certificaciones contendrán solamente las unidades de obra totalmente terminadas que se hubieran ejecutado en el plazo a que se refieran. La relación valorada que figure en las certificaciones, se hará con arreglo a los precios establecidos y con la cubicación, planos y referencias necesarias para su comprobación.

La comprobación, aceptación o reparos deberán quedar terminados por ambas partes en un plazo máximo de 15 días.

El Director de obra expedirá las certificaciones de las obras ejecutadas, que tendrán carácter provisional a buena cuenta, verificables por la liquidación definitiva o por cualquiera de las certificaciones siguientes, no suponiendo por otra parte, aprobación ni recepción de las obras ejecutadas y comprendidas en dichas certificaciones.

Serán de abono al Contratista, las obras de tierra, de fábrica y accesorios, ejecutadas con arreglo a condiciones y con sujeción a los planos del Proyecto, o a las mediciones introducidas por el Director de la Obra, en el replanteo de las

mismas, que costará en el plano de detalle y órdenes escritas, se abonará por el volumen o peso de acuerdo con lo que se especifique en los correspondientes precios unitarios que figuren en el cuadro de precios.

*Condiciones Generales de seguridad e higiene en el trabajo.*

De acuerdo con lo prescrito en el Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo, en vigor, las obras objeto del Proyecto satisfará todas las medidas de seguridad e higiene en beneficio del personal de la misma, haya de realizar su trabajo.

### **3.1. COMIENZO DE LAS OBRAS**

#### **3.1.1. Replanteo**

El Director Obra auxiliado por el personal técnico y equipo de trabajo, de la empresa adjudicataria encargada de la ejecución, efectuará sobre el terreno el replanteo general de las obras que comprenden el Proyecto, así como los replanteos parciales que sean necesarios durante la ejecución de las mismas, dejando constancia material mediante señales, hitos y referencias colocadas en puntos fijos del terreno que tengan garantía de permanencia para que durante la ejecución de las obras puedan fijarse con relación a ellas, la situación en planta o en altura de cualquier elemento o parte de las mismas obras.

El Contratista facilitará a sus expensas cuantos medios materiales y auxiliares se necesiten para llevar a cabo los replanteos generales y parciales.

Con los resultados obtenidos, se levantará acta, acompañada de planos, mediciones y valoraciones, firmadas por el Director Obra y el Contratista o representante en quien delegue, en la que se hará constar las modificaciones introducidas, caso de

que se produzcan, presupuestos resultantes y cuantas incidencias sean de interés para un mejor realización de las obras.

El Contratista, desde el momento que firma el acta de replanteo, se hace responsable de la conservación y reposición de todos los datos que motiven las operaciones reseñadas en este artículo, incluidos materiales, colaboración etc.

Si durante la realización de las obras se apreciase un error en los replanteos, alineaciones o dimensiones de una parte cualquiera de las obras, el Contratista procederá a su rectificación a su costa. La verificación de los replanteos, alineaciones o dimensiones por la Dirección de obra, no eximirá al Contratista de sus responsabilidades en cuanto a sus exactitudes.

### **3.1.2. Limpieza del terreno**

Las operaciones de desbrozado deberán ser efectuadas con las debidas precauciones de seguridad a fin de evitar daños en las construcciones existentes, propiedades colindantes, vías y servicios públicos y accidentes cualquier tipo.

Todos los materiales que puedan ser destruidos por el fuego serán quemados, de acuerdo con las normas que sobre el particular existan en la localidad.

Los materiales no combustibles podrán ser utilizados por el Contratista en la forma que considere más conveniente, previa autorización del Director de Obra.

## **3.2. MOVIMIENTO DE TIERRAS**

### **3.2.1. Excavaciones**

Las excavaciones a realizar son:

- Excavaciones en el Centro de Transformación:

Las necesarias para realizar las arquetas de puesta a tierra, así como las requeridas para el montaje de los centros prefabricados.

- Excavaciones para cimientos de la planta.
- Excavaciones para cimentar la valla exterior.
- Excavaciones para las losas de apoyo de las unidades.

Para no disgregar el terreno más allá de lo previsto, el Director de Obra podrá ordenar que las excavaciones para cimientos de obras de fábrica, sean realizadas por etapas sucesivas.

Si el suelo fuera arcilloso, se realizará la excavación en dos partes, dejando sin ejecutar una capa final, 15 cm, hasta el momento de construir las cimentaciones de la obra.

Si del reconocimiento del terreno, practicado al efectuar las excavaciones, resultase necesidad o conveniencia de variar el sistema de cimentación previsto para las obras de fábrica, se reformará el Proyecto, suspendido mientras tanto los trabajos que fueran necesarios. El Contratista percibirá en este caso el coste de los trabajos realizados, pero no tendrá derecho a ninguna otra indemnización por la variación del Proyecto.

- Excavaciones en zanjas para tuberías:

Las zanjas deberán llevar su fondo nivelado cuidadosamente para que el tubo apoye en toda su longitud. El Director de Obra indicará en cada caso, una vez abierta la zanja, la profundidad a la que se colocará la tubería.

Con arreglo a planos o en su caso a las indicaciones recibidas del Director de Obra como consecuencia del replanteo general, el Contratista realizará las excavaciones necesarias para la ejecución de las obras objeto del proyecto. En tales excavaciones se incluirán los siguientes puntos:

- Desbroce y despeje del terreno.
- Extracción.
- Transporte de los productos removidos a acopio, lugar de empleo o vertedero.
- Acondicionamiento de terrenos si fuese necesario y cuantas operaciones fuesen necesarias para terminar lo obra.
- Relleno.

Toda excavación no realizada por el Adjudicatario según planos o con el visto bueno del Director de Obra, no serán abonados. El acopio del material extraído se realizará en lugar adecuado, de modo que no se perjudique el tráfico, ni perturbe desagües y drenajes. Estos trabajos se consideran intrínsecos a la obra y por tanto incluidas en las unidades correspondientes, por lo que no procede abono alguno complementario por tales conceptos. El relleno de la zanja se realizará siguiendo la estratificación indicada en planos. El relleno de las zanjas se realizará en tongadas sucesivas de espesor uniforme, y no siendo este superior a 30 cm. Tales tongadas serán compactadas humedeciendo ligeramente el material de relleno si fuese necesario. La terminación y la explanación de las superficies se realizarán de modo que no se puedan formar depósitos de agua.

#### Medición y valoración de las excavaciones

Las excavaciones necesarias para la ejecución de las obras, se abonarán por su volumen referido al terreno antes de excavarlo, al precio respectivo por m<sup>3</sup> que figura en el cuadro de precios.

Los volúmenes se deducirán de las líneas teóricas de los planos y órdenes escritas del Director, a partir de los perfiles reales del terreno. Los precios comprenden todos

los medios auxiliares y operaciones necesarias para hacer las excavaciones, así como el rasanteo de las zanjas y la arena o material preciso para aquello.

También incluye la retirada de los productos de las excavaciones a sitios donde no afecten a las obras.

No serán abonados los trabajos y materiales que hayan de emplearse para evitar posibles desprendimientos, ni los excesos de excavaciones que por conveniencia u otras causas ajenas a la dirección de las obras ejecute el Contratista, así como las entibaciones que sean precisas ejecutar para seguridad del personal y evitar accidentes.

No serán abonados los desprendimientos, salvo en aquellos casos en que se pueda comprobar que ha sido debido a fuerza mayor. Nunca lo serán los debidos a negligencias del Contratista o por no haber cumplido las órdenes de la dirección de la obra.

Tampoco serán de abono la reparación de todas las averías y desperfectos que en cualquier excavación puedan producirse por consecuencia de lluvias, tránsitos no autorizados y otras causas que no sean de fuerza mayor.

#### Medición y valoración de la excavación en zanja para tuberías

Se abonará por metro lineal o por metro cúbico, a tenor de la definición que se haga en el Cuadro de Precios.

También comprende el refino de la zanja y la compactación del fondo de la misma, cuando tal medida sea necesaria y así se ordene por el Director de Obra. Esta compactación se realizará al 95% del Proctor Normal, salvo distinta indicación del Director de Obra.

El precio también comprende, salvo que expresamente se indique lo contrario, todas las operaciones de carga, descarga y transporte a vertedero, cualquiera que sea la

distancia de transporte, de todos los productos sobrantes de excavación, una vez rellena y compactada la zanja. También están comprendidos en el precio, el extendido de las tierras en vertederos, y la indemnización por la zona ocupada por éstas.

Antes de proceder al relleno con arena para la cama de asiento de las tuberías, el Contratista deberá obtener del Director de Obra la aprobación de la excavación, no pudiendo sin la misma comenzar el relleno.

### **3.2.2. Drenaje**

En el lecho de las excavaciones realizadas se depositará una capa de áridos, de modo que se obtenga un eficaz drenaje. El espesor de dicha capa será la especificada en los planos. El tamaño de granos de los áridos, no será superior a 76 m, cedazo 80 UNE, y al cernido ponderal acumulado por el tamiz 0,080 UNE no rebasará el 5%. Si no pudiera encontrar un material que cumpla estos requisitos podrá recurrirse a un drenaje formado por varias capas. Una vez abierta la zanja de drenaje, si el fondo fuese impermeable (arcilla, etc.), la capa superior a los cables o tubos también será impermeable. En caso de que el lecho fuese de material permeable, el relleno será en su totalidad de material permeable.

### **3.2.3. Vaciado de tierras**

Los productos de los desmontes y los sobrantes del relleno de zanjas, se verterán en los lugares que a tal fin designe el Director de Obra. El vaciado se hará por franjas horizontales de altura no mayor de 1,5 m al ejecutarse a mano o de 3 m al ejecutarse a máquina, trabajando ésta en dirección no perpendicular a los bordes con elemento estructurales y barras o medianerías, dejando sin excavar una zona de protección de ancho no menor de 1 m. que se quitará a mano antes de descender la máquina en ese borde a la franja interior.

Antes de empezar el vaciado, la Dirección aprobará el replanteo realizado, así como los accesos propuestos que serán clausurables y separados para peatones y vehículo de carga.

Las camillas del replanteo serán dobles en los extremos de las alineaciones y estarán separadas del borde del vaciado a no menos de 1 m.

Se dispondrán puntos fijos de referencia en lugares que no puedan ser afectados por el vaciado a los cuales se referirán todas las lecturas de cotas de nivel y desplazamientos horizontales y/o verticales de los puntos del terreno y/o edificaciones próximas. Las lecturas diarias de los desplazamientos referidos a estos puntos, se anotarán en un estadillo para su control por la Dirección.

Cuando al excavar se encuentre cualquier anomalía no prevista, con variación de los estratos y/o de sus características, cursos de aguas subterráneas, restos de construcciones, valores arqueológicos, se parará la obra al menos en ese tajo, y se comunicará a la Dirección.

El solar estará rodeado de una valla, verja o muro de altura no menor de 2m.

No se acumulará terreno de excavación, ni otros materiales, junto al borde del vaciado, debiendo estar separado de éste una distancia no menor de 2 veces la profundidad del vaciado en ese borde, salvo autorización en cada caso de la Dirección de Obra.

El refino y saneo de las paredes del vaciado se realizará para cada profundidad parcial no mayor de 3 m.

Siempre que por circunstancias imprevistas se presente un problema de urgencia, el Contratista tomará provisionalmente las medidas oportunas, a juicio del mismo, y se lo comunicará lo antes posible a la Dirección.

Una vez alcanzada la cota inferior del vaciado, se hará una revisión general de las edificaciones medianeras para observar las lesiones que haya sufrido, tomándose las medidas oportunas.

En tanto se efectúe la consolidación definitiva de las paredes y fondo del vaciado, se conservarán las contenciones, apuntalamientos y apeos realizados. En el fondo del vaciado se mantendrá el desagüe necesario para impedir la acumulación de agua.

Serán condiciones de no - aceptación:

- En dimensiones, errores superiores al 2,50% y variaciones de  $\pm 10$  cm.
- En altura, mayor de 1,65m con medios manuales o mayor de 3,30m con medios mecánicos.
- En zona de protección, inferior de 1m.

La unidad de medición será el metro cúbico de volumen excavado medido sobre perfiles.

### **3.2.4. Entibaciones**

El Contratista deberá efectuar todas las entibaciones necesarias para garantizar la seguridad de las operaciones y buena ejecución de los trabajos.

Las zanjas y pozos se podrán realizar sin entibar hasta una profundidad máxima de 1,30 m, siempre que no le afecten empujes de viales o cimentaciones próximas, en cuyo caso habría que ir a entibaciones ligeras.

En profundidades de 1,30m a 2m habría que ir a entibaciones ligeras o cuajadas en el caso de viales o cimentaciones próximas.

Para profundidades mayores se realizarán entibaciones cuajadas en todos los casos.

Se estará en todo momento a lo dispuesto en la Norma NTE-ADZ sobre zanjas y pozos en tanto en cuanto a la disposición de la entibación como a la madera a emplear.

Será de obligación para el Contratista la diaria revisión de lo entibado antes de comenzar la jornada de trabajo.

### **3.2.5. Rellenos**

Podrán emplearse para rellenos todos los productos de dentro y fuera de la obra, siempre que reúnan las condiciones indispensables para una buena consolidación, compactación y asiento uniforme.

## **3.3. CIMENTACIONES**

### **3.3.1. Hormigones**

Para su ejecución se tendrán en cuenta las prescripciones de la Instrucción para el Proyecto y Ejecución de obras de Hormigón en Masa y Armado EH-92.

A los distintos hormigones que se empleen o puedan emplearse se les exigirá como mínimo las resistencias características a compresión a los veintiocho (28) días, en probetas cilíndricas de quince (15) centímetros de diámetro y treinta (30) centímetros de altura, que se determinan en los planos.

Si los hormigones no cumplieran como mínimo con los valores de resistencia, se adoptará por el Director de Obra la decisión que proceda conforme al artículo 69.4 de la citada Instrucción.

Las relaciones máximas de agua y cemento a emplear, salvo autorización expresa y por escrito del Técnico Encargado, serán del sesenta por ciento (60%).

Los asientos máximos de los hormigones después de depositado el hormigón, pero antes de consolidado, serán en alzados o cimientos, en masa de cuarenta (40) milímetros y en hormigones armados de sesenta (60) milímetros.

El hormigón armado de la solera así como el de las demás partes de la obra, se verificará de la forma más continua posible, y cuando haya que interrumpir el trabajo, se procurará dejar la superficie sin terminar, lo más resguardada posible de los agentes exteriores, cubriéndola con sacos húmedos. Al reanudar el trabajo, si no se presentase síntomas de iniciación de fraguado, se cubrirá la superficie con una delgada capa de mortero rico (volúmenes iguales de cemento y arena fina), inmediatamente se procederá al hormigonado, apisonado con especial esmero por pequeñas proporciones. Si se hubiera iniciado el fraguado de la superficie del hormigón, se empezará por picarlo frotando con cepillos de alambre, se humedecerá en abundancia y se cubrirá con el mortero rico procedente. Se atenderá en todo a lo dispuesto en la vigente instrucción EH-91.

Podrán ser utilizadas, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, todas las aguas sancionadas como aceptables en la práctica. Cuando no se posea antecedentes de su utilización o así determine el Director de Obra, deberán analizarse las aguas, rechazándose las que no cumplan una o varias de las condiciones dadas en la EH-91.

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar las características exigidas al hormigón.

La utilización de aditivos deberá ser aprobada previamente por la Dirección. Para ello será necesario que las características de los mismos, especialmente su comportamiento al emplearlo en las cantidades previstas, vengan garantizadas por el fabricante, y se realicen ensayos previos en todos y cada uno de los casos.

Los hormigones serán objeto de ensayos de control en el ámbito reducido según la EH-91 y cuya frecuencia será fijada por la Dirección Técnica. Si los ensayos de probetas efectuados en laboratorio oficial aconsejan el reajuste de la dosificación, el Contratista está obligado a aceptar tal modificación, alterando los precios del hormigón sólo en lo que a partidas de cemento y áridos se refiere; que se obtendrían multiplicando los pesos o volúmenes definitivos por los costes que para dichos materiales figuran en los precios descompuestos.

#### Medición y valoración del hormigón

- Hormigón en masa:

Se abonará por m<sup>3</sup> al precio asignado en el Presupuesto que comprende todos los materiales necesarios para la formación de la fábrica, así como de medios auxiliares para su ejecución y puesta en obra, encofrado, maestrado y cuantos elementos y labores se precisen para el acabado del hormigón según las condiciones reseñadas en el presente Pliego.

Sólo se abonará el hormigón realmente colocado para lo cual se medirá la rentabilidad de cada amasado y el volumen así deducido se multiplicará por el número de masa; cada masa se controlará con los medios adecuados para asegurar que su composición es constante.

El hormigón no se enlucirá y si esto fuese preciso por su defectuosa ejecución, el Director de la Obra podrá demoler la parte defectuosa u ordenar su enlucimiento y pintura a costa del Contratista.

- Hormigón armado:

Se abonará por m<sup>3</sup> al precio asignado en el Presupuesto, considerándose, incluso en el precio todos los materiales necesarios para la formación de la fábrica, armaduras, doblado y cortado de las mismas, montaje, así como los medios auxiliares para su ejecución y puesta en obra, encofrados maestrados y cuantos elementos y laboras se precisen para el acabado del hormigón según las condiciones reseñadas en el presente pliego.

Sólo se abonará el hormigón colocado terminándose su cuantía de la misma forma que en el apartado anterior.

### **3.3.2. Fabricación y puesta en obra del hormigón**

Las condiciones o características de calidad exigidas al hormigón especifican a continuación.

Tales condiciones deberán ser satisfechas por todas las unidades de producto componentes del total, entendiéndose por unidad de producto la cantidad de hormigón fabricado de una sola vez.

#### Dosificación del hormigón:

La dosificación de los áridos se hará con arreglo a lo dispuesto en la Instrucción EH-91, empleando para ello las mezclas de áridos que sea necesario y siguiendo lo ordenado por la Dirección de la Obra.

En el caso de que se emplearan productos de adición, el Contratista está obligado a instalar los dispositivos de dosificación correspondientes.

Tanto estos agentes como los aceleradores de fraguado solamente podrán ser empleados con autorización escrita de la Dirección. Su uso no revela al Contratista de la obligación de cumplir los requisitos sobre el curado de hormigón.

Consistencia del hormigón:

Se medirán por medio del Cono de Abrams en la forma prescrita por la EH-91 y se clasificará en seca, plástica, blanda y fluida. La consistencia del hormigón a emplear en cimentación será plástica blanda (asiento máximo 9 cm en cono de Abrams) para vibrar y se medirá en el momento de su puesta en obra.

Resistencia del hormigón:

Las resistencias que deben tener las diferentes clases de hormigones, en probeta cilíndrica, a los 28 días de su fabricación serán las que se fijen en los planos del Proyecto.

Los criterios a seguir en la toma de muestras en cuanto a la determinación del número de probetas a tomar por elemento o módulo serán los que establece la EH-91.

Aditivos:

Se prohibirá la utilización de cualquier aditivo (acelerantes o retardantes), pudiéndose emplear únicamente algún tipo de impermeabilizante y siempre con la autorización expresa de la Dirección Técnica.

Puesta en hora del hormigón:

Además de las prescripciones de la instrucción EH-91 se tendrá en cuenta lo siguiente.

Podrá realizarse amasado a pie de obra o de central.

En caso de la fabricación a pie de obra, el tiempo de amasado será del orden de 1 minuto y 1/2, y como mínimo un minuto más tantas veces 15 segundos como fracciones de 400 litros en exceso sobre 750 litros tenga la capacidad de la hormigonera. Se prohibirá totalmente mezclar masas frescas de diferentes dosificaciones. Si durante el amasado surgiera un endurecimiento prematuro (falso fraguado) de la masa, no se añadirá agua, debiendo prolongarse el tiempo de amasado.

Si el hormigón es de central amasadora, y transportado por medio de camiones hasta el lugar del vertido se deberán cumplir los siguientes condicionantes:

- El tiempo transcurrido desde el amasado hasta la puesta en obra no deberá ser mayor de 1 hora.
- Debe evitarse que el hormigón se seque o pierda agua durante el transporte.
- Si al llegar al tajo de colocación el hormigón acusa principio de fraguado, la masa se desechará en su totalidad.
- La planta suministradora estará regulada en la fabricación del hormigón por la Norma EH-PRE-91 y homologada por la Asociación Nacional de Fabricantes de Hormigón Preparado.

El transporte de las hormigoneras al punto de colocación al punto de colocación se realizará de forma que el hormigón no pierda compacidad ni homogeneidad.

El vertido del hormigón se efectuará de manera que no se produzcan disgregaciones y a una altura máxima de caída libre de 1 m, evitando desplazamientos verticales de la masa una vez vertida. Preferiblemente el hormigón debe ir dirigido mediante canaletas.

El hormigón en masa y moldeado, se extenderá por capas de espesor comprendido entre 15 y 30 cm, vibrando el moldeado hasta hacer que refluya el agua a la

superficie e intensificando el vibrado junto a los paramentos y rincones del encofrado.

Hormigón armado, el de los pilares, se verterá en capas de 40 cm de espesor máximo vibrándole eficazmente y cuidando de que el hormigón envuelva perfectamente la armadura, vigilando especialmente los paramentos y las esquinas.

Las losas de hormigonarán en todo el grueso, avanzando con el hormigón al vibrarlo, pero efectuando los vertidos de forma que el recorrido sobre el encofrado no sea superior a 2 cm.

Las vigas se hormigonarán, desde un extremo, en toda su dimensión, vertiendo las diferentes amasadas en los puntos convenientes.

#### Juntas de hormigonado:

Son las producidas al interrumpir la labor del hormigonado, en las que se precisa conseguir la adherencia de un hormigón fresco en otro endurecido. La situación de estas juntas se fijará por la Dirección de Obra, debiendo quedar la superficie del hormigón anterior cubierto con sacos húmedos para protegerlo de los agentes exteriores.

Para conseguir la adherencia del que se vierte posteriormente, se limpiará convenientemente la superficie del hormigón, rascando la lechada superficial hasta que a juicio de la Dirección quede lo suficientemente limpia.

Se verterá a continuación una capa de mortero, de 2 cm de espesor, de dosificación ligeramente superior a la del hormigón empleado, sobre la superficie humedecida.

Los muros o pilares se hormigonarán de una sola vez, siempre que sea posible, hasta el plano de apoyo de los forjados. Cuando ello no sea posible, se permitirá una sola junta horizontal hacia la mitad de la altura.

### Temperatura del hormigonado:

El hormigonado se realizará a temperaturas comprendidas entre los 0° C y los 40°C (5° C y 35° C en elementos de gran canto o de superficie muy extensa). Si fuese necesario realizar el hormigonado fuera de estos márgenes se utilizarán las precauciones que dictaminará la Dirección Técnica.

### Curado del hormigón:

El curado del hormigón se realizará una vez endurecido el elemento lo suficiente para no producir deslavado de su superficie. Se realizará de la siguiente forma:

- Durante los tres primeros días se protegerá de los rayos del sol, colocando sobre las superficies arpilleras mojas.
- Todas las superficies vistas se mantendrán continuamente húmedas por lo menos durante 8 días después del hormigonado, por riego o inundación.
- No se empleará para este riego tubería alguna de hierro que no sea galvanizado, extendiéndose esta prohibición a cualquier clase de tuberías que puedan disolver en el agua sustancias nocivas para el fraguado del hormigón o su buen aspecto. Deberá utilizarse preferentemente, para este trabajo, manguera de goma.
- La temperatura del agua empleada en el riego no será inferior en más de 20°C a la del hormigón para evitar la producción de grietas por enfriamiento brusco.
- Cuando la temperatura registrada sea menor de cuatro grados bajo cero (-4°C) o superior a cuarenta grados centígrados (40°C), con hormigón fresco se procederá a realizar una investigación para ver que las propiedades del hormigón no han sufrido cambio alguno.

En función de la climatología se ha de tener en cuenta lo siguiente:

- Actuaciones en tiempo frío: prevenir congelación.
- Actuaciones en tiempo caluroso: prevenir agrietamientos en la masa del hormigón.
- Actuaciones en tiempo lluvioso: prevenir lavado del hormigón.

#### Paramentos de hormigón:

Los paramentos deben quedar lisos, sin defecto alguno y sin necesidad de repasos, por enlucidos o de cualquier otra forma, que no podrán ser aplicadas sin previa autorización de la Dirección de Obra.

Si fuese necesario repasar alguna superficie, los trabajos que se efectúen será por cuenta del Contratista y la hora será abonada como defectuosa, repercutiendo en el precio de encofrado y del hormigón en la cuantía que más adelante se señala.

#### Encofrado y cimbras:

Los encofrados serán los suficientemente resistentes y estancos para soportar la carga y el empuje del hormigón fresco sin acusar deformación alguna.

Los de madera estarán formados por una tablazón sobre la que se colocarán en su trasdós contrafuertes a una distancia no mayor de 2 m, y éstos sujetos con tornapuntas metálicos o de madera con la suficiente rigidez para asegurar la elasticidad del molde durante el hormigonado (sección mínima del rollizo de 8cm).

En caso de encofrados metálicos, irán perfectamente ensamblados y también sujetos con tornapuntas. La desviación máxima de los paramentos del encofrado con respecto a la vertical no sobrepasará 1 cm por cada tres metros de altura y la máxima irregularidad de la superficie no sobrepasará los 2 cm, se evitará golpear los encofrados una vez vertido el hormigón.

Se admitirán como tolerancia en la colocación del encofrado un máximo de 2 cm en aplomes y alineaciones y el 2% en menos y el 5% en más espesores y escuadras. Los encofrados en acuerdos de secciones reproducirán lo más claramente posible la forma indicada por los planos yendo provistos del número necesario de muestra para ello y teniendo la tabla cortada de modo que las diferencias en dimensiones cortadas según las normales a la superficie no excedan de 1 mm.

#### Desencofrado y descimbrado:

Los encofrados de elementos sometidos a cargas se quitarán lo antes posible, previa consulta al Director de Obra, pero nunca antes de 24 h, evitando el descascarillado de superficie que se provoca al desencofrar un hormigón fresco. El plazo de descimbrado de los elementos se fijará por la Dirección de la Obra y se efectuará empleado juegos de cuñas, caja de arena u otros procedimientos adecuados para ello.

### **3.3.3. Cimentaciones**

Las características de los componentes y ejecución de los hormigones será la siguiente.

La arena y la grava podrán ser de ríos, arroyos y canteras, no debiendo contener impurezas de carbón, escorias, yeso, etc.

Los áridos deben de proceder de rocas inertes sin actividad sobre el cemento. Se admitirá una cantidad de arcilla inferior a la que se indica posteriormente.

Las dimensiones de la grava serán de 2 a 6 cm, no admitiéndose piedras ni bloques de mayor tamaño. En caso de hormigones armados se indicarán las dimensiones de la grava.

No se podrán utilizar ninguna clase de arena que no haya sido examinada y aprobada por el personal técnico. Se dará preferencia a la arena cuarzosa sobre la de origen calizo, siendo preferibles las arenas de superficie áspera o angulosa.

La determinación de la cantidad de arcilla se realizará de la siguiente forma: se criban 100 cm<sup>3</sup> de arena con el tamiz de 5mm, los cuales se vierten en una probeta de 300 cm<sup>3</sup> con 150 cm<sup>3</sup> de agua, una vez hecho esto se agita fuertemente tapando la boca con la mano, hecho esto se dejará sedimentar durante una hora. En estas condiciones el volumen de arcilla deberá de ser superior al 8%.

La medida de las materias orgánicas se hará mezclando 100 cm<sup>3</sup> de arena con una solución de sosa al 3% hasta completar los 150 cm<sup>3</sup>; después de 2 horas el líquido debe de quedar sin coloración o presentar como máximo un color amarillo pálido que se compara al de la solución testigo, formada por la mezcla de 97,5% de solución de sosa al 3%, 2,5% de solución de ácido tánico, 2% de alcohol de 10%.

Los ensayos de las arenas se harán sobre mortero de la siguiente dosificación: 1 parte de cemento y 3 partes de arena. Esta probeta de mortero conservada en agua durante 7 días, deberá de resistir a la tracción en la romana de Michaelis un esfuerzo comprendido entre 12 y 14Kg/cm<sup>2</sup>. Toda la arena que sin contener materias orgánicas no resista al esfuerzo de tracción antes indicado será rechazada. El resultado de este ensayo permitirá conocer si debe de aumentarse o disminuirse la dosificación del cemento empleado.

Respecto a la grava o piedra, se prohíbe el empleo de cascote y otros elementos blandos o la piedra de estructura foliácea. Se recomienda la utilización de piedra de peso específico elevado.

El cemento utilizado será cualquiera de los cementos Portland de fraguado lento admitidos en el mercado. Previa autorización del Director de Obra podrán utilizarse cementos especiales que se crean convenientes.

El agua utilizada de río o de manantial a condición de que su mineralización no sea excesiva. Se prohíbe el empleo de aguas procedentes de ciénagas o muy ricas en sales carbonosas o selenitosas.

La mezcla de hormigón se efectuará en hormigonera o a mano, siendo preferible el primer método en beneficio de la compacidad ulterior. En el segundo caso se hará sobre chapa de hierro de suficientes dimensiones para evitar que se mezcle con las tierras.

Además:

- Se comprobará que el terreno de cimentación coincide con el previsto.
- En el momento de hormigonar se procederá a la operación de limpieza y nivelación, retirando la última capa de tierras sueltas.
- Se dejarán previstos los pasos de tuberías y mechinales. Se tendrá en cuenta la posición de las arquetas.
- Se colocarán previamente los elementos enterrados de la instalación de puesta a tierra.
- Se habrá ejecutado la capa de hormigón de limpieza y replanteado sobre ella.

La profundidad mínima del firme tendrá en cuenta la estabilidad del suelo frente a los agentes atmosféricos.

Las armaduras se colocarán limpias, exentas de óxido no adherente, pintura, grasa o cualquier otra sustancia perjudicial.

Los calzos, apoyos provisionales y separadores en los encofrados serán de mortero 1:3 o material plástico y se colocarán sobre la superficie de hormigón de limpieza, distanciados cien centímetros (100 cm) como máximo. El primero y el último se colocarán a una distancia no mayor de cincuenta centímetros (50 cm) del extremo de la barra.

Se extremarán las precauciones y correcta disposición de los separadores de capas, principalmente las superiores.

Durante la ejecución se evitará la actuación de cualquier carga estática o dinámica que pueda provocar daños en los elementos ya hormigonados.

El curado se realizará manteniendo húmeda la superficie de la cimentación mediante riego directo, que no produzca deslavado o a través de un material que sea capaz de retener la humedad.

#### **3.3.4. Obra de madera**

Las dimensiones de las piezas necesarias para la construcción de obras provistas o auxiliares, así como su disposición o fijación técnica de las obras de carpintería, serán ejecutadas con la mayor perfección, presentando los embalajes bien ajustados y las molduras terminadas, debiendo quedar repasadas con papel de lija o llevadas al lugar de empleo sin imprimir.

### **3.4. ESTRUCTURAS DE ACERO**

#### **3.4.1. Estructura de acero**

El Contratista podrá subcontratar con la aprobación del Director de obras, la ejecución y montaje en obra de la estructura metálica de la nave con construcción que reúne los requisitos que establezca la legislación y las condiciones establecidas por el Ministerio de Industria.

En la ejecución de la estructura de acero laminado de la nave, se aplicará lo establecido en la norma NBE EA-95 “estructuras de acero en edificación” referente a la ejecución de uniones soldadas, ejecución en taller y montaje en obra.

El soldeo se realizará por cualquier de los procedimientos expresados en dicha norma, debiendo presentar el Constructor, si el Director de Obra lo requiere, una memoria de soldeo en la que detalle las técnicas operativas a utilizar dentro del procedimientos elegido.

El Director Obras podrá siempre que lo desee, directamente o por delegación, comprobar en el taller el cumplimiento de la mencionada norma, y durante el montaje en obra a vigilar su cumplimiento.

Las tolerancias en las dimensiones, forma y peso para la ejecución y montaje de la estructura, serán las establecidas en el capítulo VI de la NBE EA-95.

#### Estructuras metálicas:

El acero para estructuras metálicas se abonará al precio que para el Kg de acero de las distintas clases de perfiles se asigna en el Presupuesto, considerándose incluso en dicho precio los costes de la adquisición, trabajos de taller, montaje, colocación en obra y pintura de resina o polimerizado, excepto las partes embebidas en hormigón que irán sin pintar.

El peso se deducirá siempre que sea posible de los pesos unitarios dados en el catálogo de perfiles y de las dimensiones correspondientes medidas en los Planos del Proyecto o en los facilitados por el Director de las Obras durante su ejecución y debidamente comprobado en las obras realizadas ya.

En otro caso se determinará el peso efectivo, debiendo dar el Contratista su conformidad con las cifras obtenidas antes de su colocación definitiva en obra, de las piezas y estructuras metálicas.

También comprende el precio, la soldadura a realizar durante el montaje.

#### Acero en redondo:

El acero para armaduras de las cabezas de los pilares o hincos se abonarán al precio asignado en el Presupuesto, considerándose incluso en el mismo los costes de adquisición, trabajo de taller, montaje, colocación en obra, pruebas y pinturas de resinas o polimerización, excepto en los casos de armaduras embebidas en el hormigón que irán sin pintar, el peso se deducirá siempre que sean las dimensiones correspondientes medidas en los Planos del Proyecto o en los facilitados por el Director de las Obras durante su ejecución y debidamente comprobado en la obras realizadas ya. En otro caso se determinará el peso efectivo debiendo dar el Contratista su conformidad con las cifras obtenidas antes de la colocación definitiva en obra.

### **3.4.2. Protección de la estructura**

La estructura estará protegida por dos capas de pintura. Cada capa deberá asegurarse una protección no menor que la proporcionada por tres capas de pintura tradicional que contenga 30% de aceites de linaza cocido.

Antes del pintado se presentará al Director Obra muestras de pintura y se pintarán para juzgar el color y acabado, quien dará su aprobación.

Referente a la protección de la estructura, se seguirá todo lo especificado en la NBE EA-95.

### **3.4.3. Carpintería metálica**

Las obras de carpintería metálica deberán realizarse con perfección y acabado.

### Medición y valoración de las obras metálicas:

Los hierros y demás materiales metálicos se abonarán por su peso a los precios que figuran en el Presupuesto, en los cuales van incluidos todas las manipulaciones y operaciones necesarias para dejar la obra terminada.

## **3.5. ALBAÑILERÍA**

### **3.5.1. Fábrica de ladrillos**

Antes de su colocación en obra, los ladrillos deberán ser saturados de humedad, aunque bien escurridos del exceso de agua, con objeto de evitar el deslavamiento de los morteros. Deberá demolerse toda la fábrica en que el ladrillo no hubiese sido regado o lo hubiese sido deficientemente, a juicio del Técnico encargado.

El asiento del ladrillo se efectuará por hiladas horizontales, no debiendo corresponder en un mismo plano vertical las juntas de dos hiladas consecutivas. Los ladrillos se colocarán según el aparejo que determine el Director de Obra, siempre a restregón y sin moverlos después de efectuada la operación.

Los tendeles no deberán exceder, en ningún punto de 15 mm y las juntas no serán superiores a 9mm en parte alguna. Para colocar los ladrillos, una vez limpias y humedecidas las superficies sobre las que han de descansar, se echará el mortero en cantidad suficiente para que comprimiendo fuertemente sobre el ladrillo y apretando además contra los inmediatos, queden los espesores de junta señalados y el mortero refluya por todas partes.

Las juntas en los parámetros que hayan de enlucirse o revocarse, quedarán sin rellenar a tope para facilitar la adherencia del revoco o enlucido que completará el relleno y producirá la impermeabilidad de la fábrica de ladrillo.

Al reanudarse el trabajo se regará abundantemente la fábrica antigua, se barrerá y se sustituirá, empleando mortero nuevo, todo ladrillo deteriorado.

### **3.5.2. Ejecución del muro de cerramiento**

El plano de arranque del muro de cerramiento de la nave sobre la cimentación, se preparará de modo que guarde planeidad y horizontalidad. Deberá ir anclado en sus cuatro lados a elementos estructurales horizontales y verticales, de tal manera que puede asegurado su estabilidad y la transmisión de los esfuerzos horizontales a que esté sometido.

Se comenzará su ejecución por las esquinas colocando en ellas, miras restas escantilladas con marcas de las alturas de las hiladas. Entre ellas se colocarán cuerdas de atirantar, bien tensas y en longitudes libres no superiores a 8 m. que servirán de guía para la alineación de paramentos y se irán elevando con la altura de una o varias hiladas para asegurar su horizontalidad.

La tolerancia máxima de desviación de los tendeles será de 0.5 cm/m y la falta de verticalidad no será superior a 3 mm/m. Durante la ejecución se prestará especial cuidado al pañeado y planeidad de los paramentos, comprobándose mediante renglones de 2 m de longitud, colocados de canto en distintas posiciones no tolerándose flechas superiores a 0.5 cm.

Cuando por cualquier motivo hayan de suspenderse los trabajos de construcción de la fábrica, se dejará el cerramiento con las diferentes hiladas formando entrantes y salientes, a manera de redientes para que al continuar la fábrica se pueda conseguir una perfecta trabazón entre la nueva y la antigua. En

tiempo lluvioso o heladas se suspenderá la ejecución de la fábrica, debiendo proteger las partes de reciente ejecución.

En tiempo extremadamente seco y caluroso deberá mantenerse húmeda la fábrica de reciente ejecución, y una vez fraguado el mortero y durante 7 días, se regará abundantemente para que el proceso de endurecimiento no sufra alteración.

El rehuntado se realizará antes de que termine el proceso de endurecimiento del mortero, presionando con el llaguero lo suficiente para que el mortero se adhiera a las piezas de ambos lados de la junta.

El agarre del cerramiento a los pilares se realizará mediante dos Ø8mm, situados a lo largo del tendel embebidos en la junta y soldados a los pilares metálicos. Se situarán estos agarres cada 6 hiladas de bloques.

Se terminará la ejecución del muro con el repaso de las llagas, efectuándose a continuación la limpieza general de todo el paramento.

El mortero de agarre será M-40b, dosificación 1:6, resistencia 40 kg/cm<sup>2</sup> y consistencia en cono de Abrams 17 cm. Se extenderá sobre la superficie de asiento de los bloques una tongada de mortero en cantidad suficiente para formar juntas de 1 cm de espesor y que la llaga y el tendel rebosen.

Los encuentros de esquinas o con otros muros se harán mediante enjarjes en todo su espesor y en todas las hiladas. El cerramiento quedará plano y aplomado y tendrá una composición uniforme en toda su altura.

Se formará una barrera antihumedad en el arranque sobre cimentación, con lámina bituminosa que cumplirá las condiciones de la norma MV-301, de superficie no protegida con armaduras inorgánicas. La superficie en que vaya a colocarse la lámina será continua en toda la superficie de zócalo. Los solapes de la lámina no serán menores de 7 cm. La lámina estará colocada al menos una hilada de bloque, por encima del terreno y a una altura sobre el terreno no inferior a 30 cm.

Los muros de cerramiento irán protegidos exteriormente con un material que asegura su impermeabilidad, a no ser que el fabricante garantice mediante ensayos la impermeabilidad del bloque.

La unidad de medición del cerramiento para cada tipo, descontando huecos, será el m<sup>2</sup>, para la barrera antihumedad será el m tanto en planos como en obra.

#### Medición y valoración de las obras de fábrica:

Se abonarán por metro cúbico medido en la obra ejecutada y completamente terminada, con arreglo a condiciones según el precio asignado en el Presupuesto, que incluye el refino de los paramentos y rejuntados, así, como los materiales y medios auxiliares necesarios.

### **3.5.3. Ejecución de tabicados**

Los ladrillos serán cerámicos, exentos de caliches con resistencia no inferior a 30 kg/cm<sup>2</sup> con huecos de eje paralelo a la mayor dimensión del ladrillo y con un volumen superior al 33% del total aparente.

Las condiciones dimensionales y de forma cumplirán lo establecido en la norma MV-201.

El acero o premarco se colocará en su posición perfectamente aplomado, alineado, y escuadrado, manteniendo los elementos necesarios para garantizar su indeformabilidad. Los elementos de indeformabilidad próximos al suelo se protegerán de los del paso sobre ellos.

El cerco llevará los elementos necesarios para su enlace al tabique. Cuando el cerco no tenga asegurado la indeformabilidad de sus ángulos se colocará con la ayuda de una plantilla. El ladrillo antes de colocarlo se humedecerá por riego sin

llegar a empaparlos. Una vez replanteado el tabique con la primera hilada, se colocarán aplomadas y arriostras miras distancias 4 m como máximo, y los premarcos o cercos previstos. Sobre la hilada de replanteo se levantarán hiladas alineadas horizontalmente, procurando que el nivel superior del premarco cerco coincida con la junta horizontal.

Se retirarán las rebabas a medida que se suba el tabique procurando apretar las juntas. La unión se hará con enjarjes en todo su espesor, dejando dos hileras sin enjarjar. El encuentro de tabiques con elementos estructurales se hará de forma que no sean solidarios. El tabique quedará plano y aplomado, tendrá una composición uniforme en toda su altura y no presentará ladrillos rotos.

El panderete se ejecutará con ladrillo hueco sencillo tomado con pasta viva de yeso negro definido como Y-12. Se untará el ladrillo en canto y testa con cantidad suficiente para formar juntas de 1cm de espesor.

La roza tendrá una profundidad no mayor de 4cm sobre el bloque y de un canuto sobre ladrillo hueco. El ancho no será superior a dos veces su profundidad. Se ejecutará preferentemente a máquina y una vez guarnecido el tabique.

Serán condiciones de no-aceptación: desplomes en cerco superior a 1cm y descuadres en algunos de los ángulos de cerco, fijación deficiente de cerco al tabique, errores de replanteo superiores a  $\pm 2$ cm, no acumulativos; variaciones en planeidad de paramento medida con regla de 2m, superiores a 2cm; desplome del tabique superior a 1 cm en 3m; enjarje en unión inferior a lo especificado; profundidad de roza a un canuto sobre ladrillo hueco, distancia de roza a cerco inferior a 15cm, distancia entre rozas en dos caras del tabique inferior a 40cm.

La unidad de medición, tanto en planos como en obra será el m<sup>2</sup> de tabique.

### **3.5.4. Enfoscados, enlucidos y guarnecidos**

Los paramentos que hayan de enfoscarse, se dejarán a juntas degolladas barriéndose y regándose antes de tendido de las capas de mortero.

Se prohíbe terminantemente bruñir los paramentos enfoscados con paleta. Si las condiciones de humedad y temperatura lo requiere, se humedecerán diariamente los enfoscados, pero siempre siguiendo el criterio del Director de Obra.

Los enlucidos de yeso tanto en paramentos horizontales como verticales se realizarán con yeso de buena calidad. Cuando el revestimiento de yeso deba tener un espesor superior a 15mm, se realizará por capas sucesivas que no superen este espesor. Será necesario en este caso que la capa anterior a la que se va a realizar, tenga consistencia suficiente para no desprenderse al aplicar ésta última y presente una superficie rayada.

El yeso se ajustará a las condiciones fijadas en el Pliego General de Condiciones para la Recepción de Yesos y Escayolas en las Obras de Construcción.

#### Medición y valoración de la tabiquería, enfoscados, guarnecidos y blanqueos:

La medición de cataras y tabiques, tanto sencillos como dobles se hará por m<sup>2</sup>, descontándose de la medición los huecos existentes.

Los enfoscados guarnecidos y blanqueos se valorarán también por m<sup>2</sup> y de ellos se descontarán los huecos que no tengan mochetas, o sea, los que tengan los marcos enrasados y no se descontarán aquellos que tengan mochetas.

### **3.5.5. Solados**

Sobre la superficie a solar se extenderá una capa de 2 cm de espesor de arena de río con tamaño máximo de grano 0,5 cm y una capa de mortero de cemento P-350 y arena de río de dosificación 1:6 de 2 cm de espesor. La baldosa de terrazo se humedecerá antes de su colocación y se asentará sobre la capa de mortero, cuidando que se forme una superficie continua de asiento y recibido de solado. Para relleno de las juntas se extenderá sobre las baldosas una lechada de cemento.

El pulido de solado se hará con máquina de disco horizontal, no pisándose durante los cuatro días siguientes.

Serán condiciones de no-aceptación: ausencia de la capa de arena, espesores de capa inferiores a los especificados, variaciones planeidad en todas direcciones medidas con regla de 2 m, superiores a 4 mm, ausencia de malla en los lugares especificados, distancias entre juntas superiores 130 cm, colocación deficiente de baldosas, ausencia de lechada en juntas, cejas superiores a 2 mm.

### **3.5.6. Ejecución de alicatados**

El azulejo estará seco y con la cara posterior limpia. Se alicatará sobre una superficie maestrada plana y lisa, de cemento, yeso o escayola y con una humedad no mayor del 3%.

Serán condiciones de no-aceptación: taladros de dimensiones superiores a las especificadas, juntas no paralelas entre sí con tolerancias de  $\pm 1$ mm por m, variación en planeidad en todas direcciones medida con regla de 2m superior a 2 mm, variación en espesor de mortero superior a 1cm, el mortero no cubre totalmente la cara posterior del agujero, aplicación de adhesivo distinta a la especificada, humedad del paramento superior al 3%.

### Medición y valoración de los alicatados:

Los alicatados se medirán por m<sup>2</sup> en su verdadera magnitud cuando ésta esté totalmente terminada y de acuerdo con lo dicho en este Proyecto.

Dichas mediciones se realizarán descontando todos los posibles huecos que pueda haber.

## **3.6. PINTURA**

### **3.6.1. Ejecución de los trabajos de pintura**

Para pintura a la cal sobre ladrillo a cemento se procederán a una limpieza general de soporte mediante cepillos o elementos adecuados. Se aplicarán a continuación una mano de fondo con pintura a la cal diluida, aplicada con brocha de encalar, rodillos o procedimientos neumáticos, hasta la impregnación de los poros de la superficie de soporte. Pasado el tiempo de secado se procederá a la aplicación de dos manos de acabado.

En pinturas sobre madera se realizará una limpieza general de la superficie del soporte. Se hará un sellado de los nudos mediante goma laca dada a pincel, asegurándose de que haya penetrado en las oquedades de los mismos. A continuación se dará la mano de imprimación para madera a brocha o pistola, impregnando la superficie del soporte.

Para pintar el esmalte sobre hierro o acero se realizará un raspado de óxidos mediante cepillo metálico seguido de una limpieza manual esmerada de la superficie.

Se aplicará una mano de imprimación anticorrosiva al aceite, grasa o sintética, dada a brocha o pistola, con rendimiento no menor de especificado por el fabricante. Se aplicará dos manos de acabado o brocha o rodillo de esmalte graso.

Para pintar al esmalte sobre galvanizado o metales no férricos se realizará una limpieza general de la superficie seguida de un desengrasado a fondo con productos adecuados. A continuación se aplicará una mano de imprimación a brocha o pistola con rendimiento no menor del especificado por el fabricante. Pasado un tiempo de permanencia al aire no menor del especificado, se aplicarán dos manos de acabado de esmalte graso, a brocha o rodillo con un rendimiento y un tiempo de secado entre ambas no menores de lo especificado.

Toda la carpintería de madera se tratará superficialmente con un barnizado sintético de acabado satinado en interiores y exteriores.

Toda la superficie a barnizar reunirá las siguientes condiciones previas:

- El contenido de humedad en el momento de su aplicación estará comprendido entre el 14 y el 20% para exteriores y entre el 8 y el 14% para interiores.
- La madera no estará afectada de hongos o insectos, saneándose previamente con productos fungicidas o insecticidas.
- Se habrán eliminado los nudos mal adheridos sustituyéndolos por cuñas de madera de iguales características.
- Los nudos sanos que presenten exudados resinosos se sangrarán mediante lamparillas rascándose la resina que aflore con rasqueta.

Previamente al barnizado se procederá a una limpieza general del soporte y un lijado fino del mismo. A continuación se dará una mano de fondo con barniz diluido y mezclado con productos fungicidas. Esta imprimación se dará a brocha o a pistola de manera que queden impregnados la totalidad de los poros.

Pasado el tiempo de secado de esta primera mano se realizará un posterior lijado aplicándose a continuación dos manos de barniz sintético a brocha, debiendo haber secado la primera antes de dar la segunda. El rendimiento será el indicado por el fabricante del barniz para los diferentes tipos de madera.

Antes de la aplicación de la pintura estarán recibidos y montados todos los elementos que deben ir en el paramento como cercos de puertas, ventanas, canalizaciones, instalaciones, bajantes; se comprobará que la temperatura ambiente no sea mayor de 28°C ni menor de 6°C, el soleamiento no incidirá directamente sobre el plano de aplicación; se comprobará que en las zonas próximas a los paramentos a revestir no haya manipulación o trabajo con elementos que desprenden polvo o dejen partículas en suspensión; la superficie de aplicación estará nivelada y lisa.

Antes de pintar superficies de yeso, cemento, albañilería o derivados, la superficie del soporte no tendrá una humedad mayor de 6%, habiéndose secado por aireación natural. Se eliminarán las eflorescencias salidas y la alcalinidad mediante un tratamiento químico a base de una disolución de agua caliente de sulfato de zinc o sales de fluorsilicato en una concentración entre 5 y 10%; las manchas superficiales producidas por moho, además de rascado o eliminación con estropajo, se desinfectarán lavando con disolventes fungicidas; las manchas originadas por humedades internas que lleven sales de hierro, se aislarán mediante una mano de clorocaucho diluido o productos adecuados.

El contenido de humedad de la madera en el momento de aplicación de la pintura será del 14% al 20% al exterior; 8-14% al interior; la madera no estará afectada de ataque de hongos o insectos, saneándose previamente con productos fungicidas o insecticidas; los nudos sanos que presenten exudado de resina se sangrarán mediante lamparilla o soplete, rascando la resina que aflore con rasqueta.

Antes de pintar superficies metálicas, se realizará una limpieza general de suciedades accidentales y óxidos y un desengrasado de la superficie.

Se suspenderá la aplicación cuando la temperatura ambiente sea inferior a 6°C o superior a 28°C a la sombra; en tiempo lluvioso se suspenderá la aplicación cuando el paramento no está protegido; al finalizar la jornada se tapanán y protegerá perfectamente los envases y se limpiarán y repasarán los útiles de trabajo. Después de la aplicación se evitará en las zonas próximas a los paramentos revestidos la manipulación y trabajos con elementos que desprendan polvo o dejen partículas en suspensión. Se dejará transcurrir el tiempo de secado indicado por el fabricante, no utilizándose procedimientos artificiales de secado.

Los materiales de origen industrial deberán cumplir las condiciones funcionales y de calidad fijadas, así como las correspondientes normas y disposiciones vigentes relativas a la fabricación y control industrial.

Cuando el material llegue a obra con certificado de origen industrial que acredite el cumplimiento de dichas disposiciones, condiciones y normas, su recepción se realizará comprobando únicamente sus características aparentes.

Serán condiciones de no-aceptación humedades o manchas de moho u óxido o eflorescencias salinas, falta de sellado en nudos o de mano de imprimación o plastecido de vetas y golpes, no se ha realizado el rascado de óxidos y limpieza de la superficie, falta de imprimación, falta de protección de elementos próximos, tiempo válido de mezcla especificado por el fabricante sobrepasado, falta de mano fondo, aspecto y color distinto al especificado, descolgamientos, desconchados, cuarteamiento, gotas y falta de uniformidad.

La unidad de medición será el m<sup>2</sup> de superficie pintada, descontando los elementos recibidos que superen en conjunto el 15% de la superficie pintada; el m para el pintado de elementos lineales.

#### Medición y valoración de las pinturas:

Las armaduras metálicas, ventanas, y superficies con huecos, pintadas a dos caras, se cobrarán por m<sup>2</sup>, contándose vez y medida la superficie de una cara, descontándose todos los huecos que puedan existir.

### **3.6.2. Items que necesitan ser pintados**

- Todas las estructuras metálicas.
- Todos los tanques de acero, recipientes y tuberías no aisladas.
- Maquinarias y equipos pintados en taller que requieran un acabado.

### **3.6.3. Items que no necesitan ser pintados**

- Cimentaciones de hormigón.
- Materiales aleados o no férricos.
- Aislamientos térmicos.
- Superficies que deben ser aisladas.
- Partes mecanizadas de equipos.
- Mampostería.

## **3.7. INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y DE ALUMBRADO**

**3.7.1. Características técnicas de las instalaciones eléctricas y de alumbrado.**

### **Instalaciones interiores o receptoras**

Las instalaciones interiores o receptoras son las que, alimentadas por una red de distribución o fuente de energía propia, tienen por finalidad la utilización de la energía eléctrica.

### **Condiciones Generales**

En toda instalación interior o receptora que se proyecte y realice, se alcanzará el máximo equilibrio en las cargas que soportan los distintos conductores que forman parte de la misma, y ésta se subdividirá de forma que las perturbaciones originadas por las averías que puedan producirse en algún punto de ella, afecten a un número mínimo de partes de la instalación. Esta subdivisión debe permitir también la localización de las averías y facilitar el control del aislamiento de la instalación.

#### **Instalación de conductores:**

Los conductores de las instalaciones para baja tensión deben ser utilizados en la forma y para la finalidad que fueron fabricados.

#### **Sistema de protección:**

Dicho sistema para las instalaciones de baja tensión impedirá los efectos de las sobreintensidades y sobretensiones que por distintas causas cabe prever en las mismas y resguardarán conductores y aparatos de las acciones de las acciones y efectos de los agentes externos. Así mismo y a efectos de seguridad general, se determinarán las condiciones que deben cumplir dichas instalaciones para evitar los contactos directos y anular los efectos de los indirectos.

#### **Puesta a tierra:**

Las condiciones a cumplir en la instalación así como los sistemas de puesta tierra de los receptores y de cualquier parte de la instalación que utilice la energía eléctrica, se regirán por el vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

### **Condiciones Particulares**

Las condiciones y garantías que deben reunir las instalaciones proyectadas serán las siguientes:

- Seguridad de personas y aparatos.
- Fiabilidad en su funcionamiento.
- Normalización en los materiales y aparatos empleados.

### **Propuestas de Normas**

Las empresas distribuidoras de energía eléctrica podrán proponer Normas sobre la construcción y montaje de acometidas, líneas repartidoras, instalaciones de contadores y derivaciones individuales señalando en ellas las condiciones técnicas de carácter concreto que sean precisas para una mayor homogeneidad en las redes de distribución y en las instalaciones de los abonados.

Estas normas deberán ajustarse al R.E.B.T., serán informadas por las delegaciones provinciales del M.I. y aprobadas en su caso, por la Dirección General de Energía.

### **Redes subterráneas distribuidoras de energía eléctrica**

#### **Condiciones generales**

Los materiales cumplirán con las especificaciones de las Normas UNE que les correspondan y que sean señaladas como de obligado cumplimiento en las Instrucciones MI-BT 044.

#### **Conductores**

Serán de cobre, aislados adecuadamente. Estarán además debidamente protegidos contra la corrosión y tendrán suficiente resistencia mecánica para soportar las tracciones a que se puedan estar sometidos.

La tensión nominal de los conductores no será inferior a 1000 V.

### Ejecución de las instalaciones

#### a) Empalmes:

Garantizarán una perfecta continuidad del conductor y de su aislamiento, así como su envolvente metálica cuando exista. Así mismo quedará garantizada su estanqueidad y resistencia a la corrosión.

#### b) Instalación de los conductores:

Se instalarán dentro de un tubo de P.V.C. que irá en el fondo de una zanja conveniente preparada, rodeado de arena o tierra cribada y de forma que no pueda perjudicarle la presión o asientos del terreno. A 20cm. Por encima de los conductores se colocará una cobertura de aviso y protección, construida de hormigón.

La profundidad mínima de la instalación de 0,8 m, si el Ingeniero Director lo autoriza esta distancia podrá reducirse, manteniendo la debida protección de los conductores.

### Protección

En derivaciones de pequeña longitud (por ejemplo, acometidas como en el caso que nos ocupa), para facilitar su instalación y revisión se admite que la protección está confiada a los fusibles o interruptores automáticos instalados en el extremo de la derivación.

El conductor neutro deberá mantenerse aislado de la envolvente metálica del cable. Su puesta a tierra podrá realizarse en cajas de seccionamiento o de

empalmes, separándolas de las tomas de tierra que puedan presentar las citadas cajas o envolvente metálicas del cable.

### Continuidad del neutro

La continuidad del neutro quedará asegurada en todo momento. Este no podrá ser interrumpido en las redes de distribución salvo que la interrupción sea realizada por:

a) Interruptores o seccionadores omnipolares que actúen sobre el neutro al mismo tiempo que en las fases (corte omnipolar simultáneo) o que establezcan la conexión del neutro antes que las fases y desconecten éstas antes que el neutro.

b) Uniones amovibles en el neutro próximas a los interruptores o seccionadores de los conductores de fase debidamente señalizada y que sólo puedan ser maniobradas con herramientas adecuadas, no debiendo ser seccionado el neutro sin que lo estén previamente las fases, ni conectadas éstas sin haberlo sido previamente el neutro.

### **Cruzamientos, proximidades y paralelismos**

Es precisa la providencia de distancias de seguridad, ya que en la instalación que nos ocupa hay instalaciones de agua y saneamientos, por los que serán de aplicación la MI-BT006.

### **Instalaciones de locales húmedos**

#### Locales húmedos

Locales o emplazamientos húmedos son aquellos cuyas condiciones ambientales se manifiestan momentánea o permanentemente bajo la forma de

condensación en el techo y paredes, manchas salinas o moho, aún cuando no aparezcan gotas, ni el techo ni paredes estén impregnadas de agua.

### Canalizaciones

Las canalizaciones podrán estar constituidas por:

- a) Conductores flexibles aislados a 440 V de tensión nominal como mínimo, colocados sobre aisladores.
- b) Conductores rígidos aislados a 750 V de tensión nominal como mínimo, bajo tubos protectores.
- c) Conductores rígidos aislados armados, a 100 V de tensión nominal como mínimo fijados directamente sobre las paredes o colocados en el interior de la construcción.

Los conductores destinados a la conexión de aparatos receptores podrán ser rígidos a 750 V o flexibles a 440 V de tensión nominal como mínimo.

Las canalizaciones serán estancas utilizándose; para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas o dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a la caída vertical de gotas de agua.

### Conductores desnudos

Solamente en casos excepcionales, y por razones justificadas ante la delegación provincial correspondiente al M.I., podrán utilizarse canalizaciones constituidas por conductores desnudos sobre aisladores. En este caso la distancia más próxima de los conductores a la pared será como mínimo de 10 cm.

### Conductores aislados

Los conductores aislados colocados sobre aisladores se dispondrán a una distancia mínima de 5 cm. A las paredes, y la separación entre conductores será de 3 cm como mínimo.

El material utilizado para la sujeción de los conductores aislados fijados directamente sobre las paredes será hidrófugo, preferentemente aislante y estará protegido contra la corrosión.

### **Instalaciones en locales mojados**

Locales o emplazamientos mojados son aquellos en que los suelos, techo o paredes estén o puedan estar impregnadas de humedad y donde se vean aparecer, aunque sólo sea temporalmente lodo o gotas gruesas de agua, debido a la condensación o bien estar cubiertos con vaho durante largos periodos. En estos locales además de las condiciones establecidas para locales húmedos se cumplirán las siguientes.

#### **Canalizaciones**

Las canalizaciones serán estancas utilizándose; para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas y dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a las proyecciones de agua.

#### **Tubos**

Los tubos serán estancos, preferentemente aislantes y en caso de ser metálicos, deberán estar protegidos contra la corrosión. Se colocarán en montaje superficial, y los tubos metálicos se dispondrán, como mínimo, a 2cm de las paredes.

#### **Montajes diversos**

La instalación de herrajes, cajas terminales, empalmes,... deben realizarse siguiendo las instrucciones y normas del fabricante.

En caso de uniones de tubos metálicos en cajas terminales a interruptor, los tramos serán cortos, de forma que los esfuerzos electrodinámicos que puedan producirse no sean ocasión de cortocircuitos entre fases.

#### Armario de distribución

El armario general de maniobra estará constituido por perfiles laminados de acero y será soportado por una fundación a 15cm. Aproximadamente de altura sobre el nivel del suelo al preparar la fundación que dejarán los tubos o taladros necesarios para el posterior tendido de cables colocado con la mayor inclinación posible para conseguir que la entrada de cal a los tubos que de siempre 50 cm, como mínimo por debajo de la rasante del suelo.

El armario contendrá todos los instrumentos y aparatos de mando, protección y medida especificados en la memoria.

#### Dispositivos de protección

De acuerdo con lo establecido en la MIE-BT 020 se instalará, en cualquier caso, un dispositivo de protección en el origen de cada circuito derivado de otro que penetre en el local mojado.

#### Aparatos móviles portátiles

Se prohíbe su utilización en estos locales excepto en los casos previstos en la instrucción MI-BT021.

#### Receptores de alumbrado

Los receptores de alumbrado tendrán sus piezas metálicas bajo tensión, protegidas contra las proyecciones de agua. La cubierta de los portalámparas será en su totalidad de material aislante, hidrófugo, salvo cuando se instale en el interior de cubiertas estancas destinadas a los receptores de alumbrado, lo que deberá hacerse siempre que estas se coloquen en lugar fácilmente accesible.

### **3.7.2. Motores**

#### **Condiciones Generales de la instalación**

Los motores estarán contruidos o se instalarán de manera que la aproximación a sus partes en movimiento no pueda ser causa de accidente.

#### **Conductores de conexión**

La sección mínima que deban tener los conductores de conexión que alimentan un solo motor, con objeto de evitar en ellos un calentamiento excesivo, deberá estar dimensionada para una intensidad no inferior a 1.25 de la intensidad nominal a plena carga del motor en cuestión.

#### **Protección contra sobreintensidades**

En el caso de los motores con arranque estrella - triángulo como es el caso que nos ocupa, la protección asegurará a los circuitos tanto para la estrella como para la de triángulo.

Las características de los dispositivos de protección estarán de acuerdo con las de los motores a proteger y con las condiciones de servicio previstas para estos, debiéndose seguir las indicaciones dadas por el fabricante de los mismos.

### **Protección contra la falta de tensión**

Los motores estarán protegidos contra la falta de tensión por un dispositivo de corte automático de la alimentación, cuando el arranque espontáneo del motor, como consecuencia de un restablecimiento de la tensión, pueda provocar accidentes, oponerse a dicho restablecimiento o perjudicar al motor.

Cuando el motor arranque automáticamente en condiciones preestablecidas no se exigirá el dispositivo de protección contra la falta de tensión por el sistema de corte de la alimentación, pero debe quedar excluida la posibilidad de un accidente en caso de arranque espontáneo.

### **Potencia de arranque**

Los motores tendrán limitada la intensidad absorbida en el arranque, cuando en el caso contrario se puedan producir efectos que perjudiquen a la instalación u ocasionen perturbaciones inestables al funcionamiento de otro receptor.

## **3.7.3. Transformador**

### **Condiciones Generales de la instalación**

Los transformadores que puedan estar al alcance de personas no especializadas estarán contruidos o situados de manera que su arrollamiento y elementos bajo tensión, si éste es superior a 50 V, sean inaccesibles.

### **Protección contra sobrecarga**

Todo transformador estará protegido contra sobrecargas por un dispositivo de corte de sobreintensidades u otro sistema equivalente. Este dispositivo estará de

acuerdo con las características que figuran en la placa del transformador y se situarán antes del arrollamiento primario y después del secundario.

### **3.7.4. Puesta a tierra**

#### **Objeto**

Su objeto, principalmente, es el delimitar la tensión que con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material utilizado.

#### **Definición**

La denominación puesta a tierra comprende la unión metálica directa sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima al terreno no tengan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falta o la descarga de origen atmosférico.

#### **Partes que comprenden las puestas a tierra**

Todo sistema de puesta a tierra constará de las siguientes partes:

- Tomas de tierra.
- Líneas principales de tierra.
- Conductores de protección.
- Derivaciones de las líneas principales de tierra.

- El conjunto de conductores, así como sus derivaciones y empalmes, que constituyen el circuito de puesta a tierra.

### Tomas de tierra

Estarán constituidas por los siguientes elementos:

- Electrodo metálico en buen contacto con el terreno, que facilita el paso a éste de las corrientes de defecto y las cargas eléctricas que tengan o puedan tener.
- Líneas de enlace con tierra, que une el electrodo con el punto de puesta a tierra.
- Punto de puesta a tierra, constituido por un dispositivo de conexión que permita la unión entre los conductores de las líneas de enlace y principal de tierra con el fin de realizar la medida de la resistencia de tierra. Estará situado fuera del suelo.

### Líneas principales de tierra

Formadas por conductores que parten del punto de puesta a tierra y a las que se unirán las derivaciones de puesta a tierra de las masas, generalmente a través de los conductores de protección.

### Derivaciones de las líneas principales de tierra

Constituidas por conductores que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección o directamente con las masas.

### Conductores de protección

Estos unirán las masas a la línea principal de tierra.

### **Prohibición de incluir en serie las masas y los elementos metálicos en el circuito de tierra**

El circuito de puesta a tierra formará una línea eléctricamente continua, en la que no podrá incluirse en serie masas ni elementos metálicos, cualquiera que sean estos. Las conexiones de los mismos al circuito de puesta a tierra se efectuarán por derivaciones de éste.

### **Naturaleza, constitución, dimensiones y condiciones de instalación de los elementos de puesta a tierra**

#### Naturaleza

Se emplearán electrodos artificiales. Previa autorización del Ingeniero Director se podrá utilizar electrodos naturales, siempre que presenten y aseguren un buen contacto permanente con el terreno y las resistencias de tierra que se obtengan con ellos presente un valor adecuado.

#### Constitución de los electrodos artificiales

Podrán estar constituidos por:

- Electrodos simples constituidos por barras, cables, pletinas y otros perfiles.
- Anillos o mallas metálicas constituidos por los elementos indicados anteriormente o combinaciones de ellos.

Serán materiales inalterables a la humedad y a la acción del terreno. Su sección no será inferior a  $\frac{1}{4}$  de la sección del conductor que constituye la línea principal de tierra. Entre ellos están las picas.

Las picas podrán estar constituidas por:

- Tubos de acero galvanizado de 25 mm de diámetro exterior, como mínimo, y 2 m de longitud como mínimo.
- Cualquier otro electrodo de características similares al anterior, si el Ingeniero Director lo autoriza.

### **Resistencia de tierra**

El electrodo se dimensionará de forma que su resistencia de tierra, en cualquier circunstancia previsible, no sea superior al valor especificado para ello en cada caso.

Este valor de resistencia de tierra será tal que, cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

24 V en local o emplazamiento conductor.

50 V en los demás casos.

Si las condiciones de la instalación son tales que puedan dar lugar a tensiones de contacto superiores a los valores señalados anteriormente, se asegurará la rápida eliminación de la falta mediante dispositivos de corte adecuados a la corriente de servicio.

### **Características y condiciones de las líneas de enlace con tierra**

#### **Naturaleza y secciones mínimas**

Los conductores que constituyen las líneas de enlace con tierra, las líneas de tierra y sus derivaciones, serán de cobre u otro material de alto punto de fusión. Su sección deberá cumplir lo dispuesto en el MI-BT 039 y en cualquier caso no tendrán una sección inferior a 16 mm<sup>2</sup> para las líneas principales de tierra y de 35 mm<sup>2</sup> para la línea de enlace con tierra, si son de cobre, o secciones equivalentes a las anteriores para cualquier otro material empleado.

Tendido de los conductores de la línea principal de tierra, sus derivaciones y de los conductores de protección.

El recorrido de estos conductores será lo más corto posible, sin cambios bruscos de Dirección, no estarán sometidos a esfuerzos mecánicos y estarán protegidos contra la corrosión y el desgaste mecánico.

Conexiones de los conductores de los circuitos de tierra con las partes metálicas y masas a los electrodos.

Presentarán un buen contacto eléctrico, para ello se efectuará con todo cuidado, por medio de piezas de empalme adecuadas, asegurando las superficies de contacto, de forma que la conexión sea efectiva.

Los contactos estarán limpios, sin humedad y de forma que la acción del tiempo no destruya, por efectos electroquímicos las conexiones efectuadas.

#### Prohibición de interrumpir los circuitos de tierra

Se prohíbe intercalar en circuitos de tierra seccionadores, fusibles o interruptores. Sólo se permite disponer un dispositivo de corte en los puntos de puesta a tierra, de forma que permita medir la resistencia de la toma de tierra.

#### Separación de las tomas de tierra de las masas

Se verificará que las masas puestas a tierra en una instalación de utilización, así como los conductores de protección asociados a estas masas o a los relés de protección de masa, no están unidas a la toma de tierra de las masas de un centro de transformación. Si no se hace el control mediante la medida efectuada entre las tomas de tierra de las masas de las instalaciones de utilización y la de las masas del centro de transformación, se considerará que las tomas de tierra son eléctricamente independientes cuando se cumplen todas y cada una de las condiciones siguientes:

a) No existe canalización metálica conductora (cubierta metálica de cable no aislada especialmente, canalización de agua, gas...) que una la zona de tierras del centro de transformación con la zona donde se encuentran los aparatos de utilización.

b) Las distancias entre las tomas de tierra del centro de transformación y las tomas de tierra u otros elementos conductores enterrados en los locales de utilización es al menos igual a 15m.

c) El centro de transformación está situado en un recinto aislado de los locales de utilización o en el interior de los mismos, está establecido de tal manera que sus elementos metálicos no estén unidos a los elementos metálicos constructivos de los locales de utilización.

### **3.7.5. Autorización y puesta en servicio de la instalación**

Corresponde al Ministerio de Industria, con arreglo a la ley de 24 de Noviembre de 1.939, la autorización de la puesta en servicio de las instalaciones eléctricas de baja tensión.

Las delegaciones provinciales del Ministerio de Industria autorizarán el enganche y funcionamiento de las instalaciones eléctricas de baja tensión.

### **3.7.6. Responsabilidad y sanciones**

Sin perjuicio de las comprobaciones que realicen y la autorización que otorgue la Delegación Provincial del Ministerio de Industria, la responsabilidad de las infracciones corresponde a las sanciones de las mismas.

Se presume, salvo prueba de lo contrario, autores de las infracciones respectivas:

- A los instaladores, en cuanto a las infracciones que se refieren a la instalación.
- A los usuarios, en cuanto a las infracciones relativas al uso de aquellas e instalaciones.
- A las empresas suministradoras, en cuanto a las infracciones relativas a los preceptos que les afecten en el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, e instrucciones complementarias.

### **Medición y valoración de las instalaciones eléctricas**

Los tubos de P.V.C. se medirán en metros lineales según el diámetro y sin descontar los pasos por caja de registro. Los tubos que vayan a ir tapados, se medirán antes de que se hayan instalados totalmente.

Las cajas de registro se medirán en unidades completas instaladas, teniendo en cuenta sus características y dimensiones.

Los conductores se medirán en metros lineales, realizada la medición sobre la longitud total instalada, del mismo tipo de aislamiento y sección.

La conducción enterrada de cable desnudo recocido de cobre, para la puesta a tierra, se medirá en metros lineales en la longitud total colocada de igual sección.

Las arquetas de conexión de toma de tierra, de las características estipuladas en la documentación técnica, se medirán en unidades completas terminadas.

Los cuadros de distribución, interruptores, conmutadores, se medirán sobre la base de unidades completamente terminadas.

### **Valoración de las luminarias**

Se medirán en unidades totalmente instaladas en su lugar indicando en la documentación técnica, teniéndose en cuenta el tipo de cada una de ellas.

En el precio que se estipula en los presupuestos se consideran incluidos todos aquellos accesorios para su fijación correcta.

La conducción de distribución del alumbrado se medirá en metros lineales.

### **Condiciones de seguridad e higiene para la iluminación**

Los locales de trabajo tendrán la iluminación precisa y deberá satisfacer las condiciones de seguridad del personal empleado.

Siempre que sea posible la iluminación será natural, completándose aquellos lugares que no resulten bien iluminados mediante luz artificial.

### **Condiciones de seguridad e higiene para los motores**

La limpieza y engrasado de los motores, transmisiones y máquinas no podrá hacerse nada más que por el personal especializado y durante la parada del mismo, salvo que exista garantía de seguridad para los operarios.

Los trabajos de reparación u otros cualesquiera similares, se harán análogamente cuando las máquinas se encuentren en reposo. Los obreros al servicio de los motores y máquinas en general, llevarán para el trabajo prendas de vestir ajustadas.

Los órganos móviles de los motores y cualquier otro elemento de los mismos que presenten peligro para los trabajadores, deberán ser provistos de la adecuada protección que los evite.

### **3.8. AISLAMIENTO TÉRMICO**

#### **3.8.1. General**

- Todas las tuberías de vapores o fluidos donde sea necesaria la conservación del calor, deben ser aisladas térmicamente.
- Las bridas y cuerpos de válvulas serán aisladas.
- Todas las tuberías aisladas se limpiarán, secarán y probarán hidrostáticamente antes del recubrimiento.

#### **3.8.2. Materiales**

Todos los materiales deben ser nuevos, llegando a obra cerrados y en sus embalajes originales. El material empleado para el aislamiento térmico será fibra de vidrio de densidad media.

### **3.9. EQUIPOS**

#### **3.9.1. Tanques de almacenamiento**

##### TANQUE T-01

Tanque para el almacenamiento de glicerina técnica. Se trata de un depósito cilíndrico construido en acero inoxidable SS-316, con fondo y techo semielípticos, soportado por cuatro patas.

El tanque contará con un sistema de venteo de tipo normalmente abierto, para evitar su deformación como consecuencia de llenados, vaciados o cambios de

temperatura ambiente, etc. Este sistema se diseñará siguiendo las indicaciones de la Instrucción Técnica Complementaria MIE-APQ1 del RD 379/2001 de Almacenamiento de Productos Químicos.

Además contará con un serpentín de enfriamiento construido en acero inoxidable SS-316, de tipo espiral. Estará sumergido totalmente en el líquido cuando el tanque se encuentre al 80 % de su capacidad.

Dimensiones:

Volumen útil (m <sup>3</sup> )	8,05
Volumen total (m <sup>3</sup> )	14,40
Diámetro interno (m)	2,10
Volumen fondo (m <sup>3</sup> )	1,20
Volumen cabezal (m <sup>3</sup> )	1,20
Volumen parte cilíndrica (m <sup>3</sup> )	12,14
Altura parte cilíndrica (m)	3,50
Altura total (m)	4,55
Espesor carcasa (mm)	5,50
Espesor fondo y cabezal (mm)	4,10

#### TANQUES T-02 Y T-04

Tanques para el almacenamiento de disolución de ácido clorhídrico y de cloruro potásico, respectivamente. Ambos están contruidos en acero inoxidable SS-316. Con fondos superiores e inferiores planos y sistemas de venteo de tipo normalmente abierto. Soportados por cuatro patas.

Dimensiones:

Volumen útil (m <sup>3</sup> )	2,43
Volumen total (m <sup>3</sup> )	2,92
Diámetro interno (m)	1,23
Altura total (m)	2,46
Espesor (mm)	4,70

### TANQUES T-03 Y T-05

Tanques para el almacenamiento de disolución de hidróxido sódico y de fosfato trisódico, respectivamente. Ambos están contruidos en acero inoxidable SS-316. Con fondos superiores e inferiores planos y sistemas de venteo de tipo normalmente abierto. Soportados por cuatro patas.

Dimensiones:

Volumen útil (m <sup>3</sup> )	3,38
Volumen total (m <sup>3</sup> )	4,05
Diámetro interno (m)	1,38
Altura total (m)	2,76
Espesor (mm)	4,80

### **3.9.2. Intercambiadores de calor**

Intercambiador de calor de carcasa y tubos de *Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 3-8"*. Construido en acero inoxidable SS-316. Se utiliza para calentar la

corriente de glicerina bruta procedente de la centrifuga, de 333 a 342,26 K, utilizando la glicerina técnica procedente del evaporador como fluido calefactor.

Dimensiones:

Diámetro carcasa (mm)	79,37
Diámetro tubos (mm)	6,35
Altura tubos (m)	0,20
Área de intercambio (m <sup>2</sup> )	0,26
Número de tubos	66

Intercambiador de calor de carcasa y tubos de *Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 2-8"*. Construido en acero inoxidable SS-316. Se utiliza para calentar la corriente de glicerina bruta procedente de la centrifuga, de 342,26 a 353 K, utilizando vapor saturado como fluido calefactor.

Dimensiones:

Diámetro carcasa (mm)	53,97
Diámetro tubos (mm)	6,35
Altura tubos (m)	0,20
Área de intercambio (m <sup>2</sup> )	0,12
Número de tubos	31

### 3.9.3. Columnas de intercambio iónico

Columnas catiónicas y aniónicas para la eliminación del fosfato potásico de la corriente de glicerina bruta.

Dimensiones:

Diámetro columnas catiónicas (m)	0,80
Diámetro columnas aniónicas (m)	0,80
Altura columnas catiónicas (m)	2,75
Altura columnas aniónicas (m)	2,50

#### 3.9.4. Evaporador

Evaporador para la eliminación del agua de la disolución de glicerina procedente de la columna de intercambio aniónica. Resulta glicerina técnica con una pureza del 99%.

El equipo comercial consiste en un intercambiador de calor de carcasa y tubos de *Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 4-36"* unido a una cámara de expansión para la separación del disolvente puro de la solución concentrada. Construidos en acero inoxidable SS-316.

Dimensiones:

Diámetro carcasa (mm)	104,77
Diámetro tubos (mm)	6,35
Altura tubos (m)	0,91
Área de intercambio (m <sup>2</sup> )	2,12
Número de tubos	117

### 3.9.5. Caldera de vapor

Caldera generadora de vapor *INSTANVAP "modelo CBC-300"*. Produce hasta 300 kg/h de vapor.

Dimensiones:

Longitud (m)	2,10
Ancho (m)	1,14
Altura (m)	1,44
Área de calefacción (m <sup>2</sup> )	6,70

### 3.9.6. Conducciones

Línea	Material	Longitud (m)	D <sub>NOMINAL</sub> (mm)	D <sub>EXT</sub> (mm)	Sch.	Espesor (mm)
L-01	SA-53-Gr.B	7	6,35	13,72	5S	1,24
L-02	SA-53-Gr.B	2	6,35	13,72	5S	1,24
L-03,L-03a	SA-53-Gr.B	7	6,35	13,72	5S	1,24
L-04,L-06,L-06a	SS-304	5	6,35	13,72	5S	1,24
L-07,L-09	SA-53-Gr.B	5	6,35	13,72	5S	1,24
L-10	SA-53-Gr.B	14	6,35	13,72	5S	1,24
L-11	SA-53-Gr.B	20	6,35	13,72	5S	1,24
1. Igual para línea alternativa (L-03,L-03b) 2. Igual para líneas alternativas (L-04,L-06,L-06a), (L-05,L-06,L-06a) o (L-05,L-06,L-06b) 3. Igual para línea alternativa (L-08,L-09)						

Los sistemas de tuberías serán adecuadamente soportados y protegidos contra daño físico y excesivos esfuerzos debidos a vibración, dilatación, contracción o asentamiento.

Los sistemas de tuberías tendrán suficiente número de válvulas para operar el sistema adecuadamente y proteger el conjunto. Las válvulas críticas deberán tener indicación de posición. Las tuberías que descargan líquidos a los almacenamientos llevarán válvulas de retención como protección contra retorno, si la disposición de las tuberías lo hace posible.

### **3.9.7. Bombas**

Todas las bombas empleadas en la instalación son semejantes, de tipo compactas de membrana *Abel CM, modelo "CM-G-A 171"*. Especiales para fluidos difíciles de tratar, como son los fluidos viscosos.

Este modelo de bomba es capaz de impulsar un caudal máximo de 1,5 m<sup>3</sup>/h, y hasta una altura manométrica de 1,6 MPa.

### **3.9.8. Pruebas**

Todos los recipientes, equipos y conexiones serán probados a estanquidad antes de su puesta en servicio. Las uniones serán estancas al líquido.

Cuando la altura vertical de las tuberías de llenado o venteo de un recipiente es tal que al llenarse de líquido la presión manométrica en el fondo supere 0,7 bar, el recipiente y sus tuberías serán probadas hidráulicamente, como mínimo, a la presión estática a que puedan estar sometidas. La temperatura y características del agua empleada para la prueba hidráulica serán compatibles con el material del recipiente e instalaciones.

Antes de poner el recipiente en servicio se corregirán todas las fugas y deformaciones de manera aceptable para el código o normas de diseño. No se permitirá la corrección de fugas, en recipientes soldados, por retacado mecánico, excepto en poros de techo.

Los recipientes que vayan a trabajar a presiones inferiores a las de diseño pueden ser probados teniendo en cuenta la presión desarrollada en caso de venteo total de emergencia.

Todas las tuberías, válvulas y accesorios se probarán antes de ser cubiertas, enterradas o puestas en servicio de acuerdo con los códigos de diseño.

### **3.9.9. Revisiones periódicas**

Se procederá anualmente a la revisión periódica de las instalaciones, conforme se indica a continuación:

1. Se comprobarán la protección catódica, si existe, y la continuidad eléctrica de las tuberías o del resto de elementos metálicos de la instalación.
2. En las instalaciones inspeccionables visualmente, se comprobará: el correcto estado de los cubetos, cimentaciones de recipientes, vallado, cerramiento, drenajes, bombas, equipos, instalaciones auxiliares, etc.
3. En los recipientes y tuberías inspeccionables visualmente se comprobará el estado de las paredes y medición de espesores si se observase algún deterioro en el momento de la revisión.
4. Se verificarán los venteos en caso de no existir documento justificativo de haber efectuado pruebas periódicas por el servicio de mantenimiento de la planta.
5. Comprobación, si procede, de:
  - Reserva de agua.
  - Reserva de espumógeno y copia de resultado de análisis de calidad.

- Funcionamiento de los equipos de bombeo.
  - Sistemas de refrigeración.
  - Alarmas.
  - Extintores.
  - Ignifugado.
6. Comprobación del correcto estado de las mangueras y acoplamientos.

Las revisiones serán realizadas por inspector propio u organismo de control y de su resultado se emitirá el certificado correspondiente.

### **3.9.10. Entrega de la planta**

La planta será entregada con todos los sensores, controladores y actuadores operativos y con todo el cableado y la circuitería completamente instalada.

## **3.10. SALUD Y SEGURIDAD EN LA OBRA**

### **3.10.1. Objeto**

Se redacta el siguiente pliego para definir las calidades y características técnicas de los materiales a utilizar en la obra en lo dispuesto en el estudio de seguridad e higiene, normativa básica de obligado cumplimiento, obligaciones del empresario, etc.

### **3.10.2. Condiciones técnicas**

En aplicación del Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo, el contratista o constructor principal de la obra quedará obligado a elaborar un Plan de Seguridad

e Higiene en el que analice, estudie, desarrolle y complemente en función de su propio sistema de ejecución, las obras y las previsiones contenidas en el citado estudio.

El Plan de Seguridad e Higiene debe ser presentado antes del inicio de la obra a la Dirección Técnica encargada de su aprobación y seguimiento. Una copia de dicho plan a efectos de su conocimiento y seguimiento debe ser entregada al vigilante de seguridad, y en su defecto, a los representantes de los trabajadores del centro de trabajo, quienes podrán presentar por escrito y de forma razonada las sugerencias y alternativas que se estimen oportunas.

### **Vigilante de seguridad e higiene**

Sus funciones serán las establecidas por la Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Es el responsable del cumplimiento del Plan de Seguridad.

Todos los incumplimientos deberán ser anotados en el Libro de Incidencias, dando cuenta a la Dirección Técnica Facultativa y a los inspectores de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Debe ser designado por escrito y presentado a la Dirección Técnica para su aprobación antes del inicio de las obras.

### **Condiciones de los medios de protección**

Todas las prendas de protección personal o elementos de protección colectiva, tendrán fijado un periodo de vida útil, desechándose a su término.

Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se repondrá ésta, independientemente de la duración prevista o de la fecha de entrega.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato límite, es decir, el máximo para el que fue concebido, será desechado y repuesto al momento. De igual modo se repondrán inmediatamente aquellas prendas que por su uso hayan adquirido más holgura o tolerancias de las admitidas por el fabricante.

El uso de una prenda o equipo nunca representará un riesgo en sí mismo.

### **3.10.3. Protecciones personales y colectivas**

Todo elemento de protección personal se ajustará a las Normas de Homologación pertinentes, siempre que existan en el mercado, y si no, se tendrán en cuenta las consideraciones antes aludidas.

Los medios de protección personal, simultáneos con los colectivos, serán de empleo obligado, siempre que se precisen para eliminar o reducir los riesgos profesionales.

La protección personal, no dispensa en ningún caso de la obligación de emplear los medios preventivos de carácter general, conforme a lo dispuesto por la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Todas las prendas homologadas deberán llevar el sello reglamentario.

#### **Protecciones colectivas**

##### **Vallas autónomas de limitación y protección**

Podrán realizarse a partir de pórticos con pies derechos y dintel a partir de tablonos embridados, firmemente sujetos al terreno y cubierta cuajada de tablonos. Estos elementos también podrán ser metálicos.

### Redes perimetrales

Para la protección del riesgo de caídas al vacío por el borde perimetral se utilizarán pescantes tipo horca.

El extremo inferior de la red, se anclará a horquillas de hierro previamente embebidas en el forjado. Las redes serán de poliamida, protegiendo las plantas de trabajo. La cuerda de seguridad será como mínimo de 10 mm de diámetro, y los módulos de red serán atados entre sí, con cuerda de poliamida como mínimo de 3 mm de diámetro.

El desencofrado se protegerá mediante redes de la misma calidad ancladas al perímetro de los forjados.

### Redes verticales

En protecciones verticales de cajas de escaleras, voladizos de balcones, cláusula de acceso a planta desprotegida, forjados una vez desencofrados y hasta la construcción del cerramiento, etc., se utilizarán redes verticales (tipo teris), ancladas a los forjados respectivos y a los pilares o puntales colocados a tal efecto.

### Redes horizontales

Se colocarán para proteger la posible caída de personas u objetos en patios, huecos de escaleras, etc.

### Barandillas

Las barandillas rodearán el perímetro de la planta encofrada, si no se utiliza otro medio, como las redes verticales antes descritas, y deberán tener la suficiente resistencia para garantizar la retención de personas.

### Cables de sujeción de cinturón de seguridad y sus anclajes

Tendrán suficiente resistencia para soportar los esfuerzos a que puedan ser sometidos de acuerdo con su función protectora.

Todos los operarios deberán ser instruidos sobre las formas correctas de utilización y colocación, por parte del encargado de los trabajos.

Antes de su utilización, deberán revisarse todos los elementos constituyentes del cinturón, sobre todo el elemento de amarre. Cuando existan dificultades para fijar un punto de anclaje, se utilizarán dispositivos anticaída.

### Plataformas de trabajo

Tendrán como mínimo 60 cm de ancho, y las situadas a más de 2 metros del suelo, estarán dotadas de barandillas de 90 cm de altura, listón intermedio y rodapié.

Los elementos que las compongan, se fijarán a la estructura portante, de modo que no puedan darse basculamientos, deslizamientos u otros movimientos peligrosos.

Si se realizara con madera, ésta será sana, sin nudos ni grietas que puedan dar lugar a roturas, el espesor mínimo será de 5 cm. Si son metálicas deberán tener una resistencia suficiente al esfuerzo a que van a ser sometidas.

Se cargarán únicamente los materiales necesarios para asegurar la continuidad del trabajo.

### Plataformas voladas

Deberán ir provistas de zapatas antideslizantes, apoyándose en superficies planas y resistentes. Si son de madera, los largueros serán de una sola pieza, los

peldaños estarán ensamblados en los largueros (no solamente clavados), y no deberán pintarse, salvo con barniz transparente.

Queda prohibido el empalme de escaleras si no cuentan con elementos especiales para ello. No salvarán más de 5 metros de altura si no están reforzadas en el centro, para salvar alturas superiores se adecuarán fijaciones en cabeza y base y se utilizará cinturón de seguridad o dispositivo anticaída.

#### Escalera de mano

Deberán ir provistas de zapatas antideslizantes.

#### Señales de tráfico y seguridad

Estarán de acuerdo con la normativa vigente.

#### Topes para la descarga de vehículos a distinto nivel

Se podrán realizar con un par de tablones embridados, fijados al terreno por medio de redondos hincados al mismo, o de otra forma eficaz.

#### Interruptores diferenciales

La sensibilidad mínima de los interruptores diferenciales, será para alumbrado de 30mA y para fuerza de 300mA.

#### Toma de tierra

La resistencia de la toma de tierra no será superior a la que garantice de acuerdo con la sensibilidad del interruptor diferencial, una tensión máxima de contacto de 24V.

La red de tierra, se realizará con cable de cobre desnudo, trenzado de 50mm<sup>2</sup> y pica de acero o cobre desnudo, trenzado de 50mm<sup>2</sup> de 2 metros de longitud y 3/4 de diámetro.

#### Extintores de incendios

Serán adecuados al agente extintor y tamaño al tipo de incendio previsible, y se revisarán periódicamente.

#### Servicios de protección

##### Servicio técnico de seguridad e higiene

La empresa constructora dispondrá de asesoramiento técnico de seguridad e higiene.

El contratista deberá presentar antes de su implantación en obra y posteriormente con la periodicidad exigida, los siguientes documentos:

- Lista de personal, detallando los nombres de los trabajadores que pertenecen a su plantilla y van a desempeñar los trabajos contratados, indicando los números de afiliación a la Seguridad Social. Dicha lista debe ser soportada para el caso de Sociedades Cooperativas por la fotocopia de la matriz individual del talonario de cotización de la Mutua Laboral de Trabajadores Autónomos de la Industria, con la fotocopia de A-22 de alta en la Seguridad Social; o en su defecto fotocopia de la inscripción en el Libro de Matrícula para el resto de sociedades.
- Asimismo deberá indicar posteriormente todas las altas y bajas que se produzcan de acuerdo con el procedimiento del epígrafe anterior.
- Fotocopia de los ejemplares oficiales de los impresos de liquidación TC1 y TC2 del Instituto Nacional de la Seguridad Social, o en caso de Sociedades Cooperativas la matriz de los talones de cotización a la Mutua Laboral de los

Trabajadores Autónomos de la Industria, debidamente diligenciada como abonos, correspondiente a las últimas mensualidades ingresadas en el periodo voluntario de cobro. Posteriormente dichas mensualidades se presentarán antes del día 10 de cada mes.

- Seguro de responsabilidad civil de todos los vehículos y maquinaria que trabaje o tenga acceso directo al área de trabajo. No se permitirá el acceso al trabajo de ningún vehículo o maquinaria sin este requisito.
- El Contratista presentará copias de las pólizas de seguros mencionados.
- Servicio médico. La empresa constructora dispondrá de un servicio médico de empresa propio o mancomunado.
- Instalaciones médicas. La obra dispondrá de botiquín portátil instalado en las oficinas. Los servicios médicos del contratista (propios o mancomunados) revisarán mensualmente el contenido del botiquín, reponiendo inmediatamente todo lo utilizado o consumido.

#### **3.10.4. Condiciones facultativas**

##### **Identificación de la obra**

##### **Identificación del redactor del Plan de Seguridad y Salud**

El presente Plan de Seguridad y Salud es redactado por los ingenieros autores del presente proyecto.

##### **Normativa legal de aplicación**

La edificación, objeto del Plan de Seguridad y Salud, estará regulada a lo largo de su ejecución por los textos que a continuación se citan, siendo de obligado cumplimiento para las partes implicadas.

Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995 de 8 de Noviembre (se prestará especial atención a los puntos que se detallan).

Real Decreto 1627/97 de 24 de Octubre de 1997. Este Real Decreto tiene por objeto establecer la aplicación concreta de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, al sector de la construcción y su vigencia comenzará a partir del día 25 de Diciembre de 1997, coincidiendo con los dos meses de su publicación, tal como establece la disposición final tercera.

Esta nueva norma deroga expresamente el Real Decreto 555/1986, modificado por el Real Decreto 84/1990, que implantó el Plan de Seguridad y Salud en los proyectos de edificación y obras públicas que, no obstante, será de aplicación en todos aquellos proyectos visados por los Colegios profesionales correspondientes aprobados por las administraciones públicas antes de la entrada en vigor del nuevo Real Decreto.

### **Obligaciones de las partes implicadas**

El autor del encargo adoptará las medidas necesarias para que el Plan de Seguridad y Salud quede incluido como documento integrante del proyecto de ejecución de obra. Dicho Plan de Seguridad y Salud será visado en el Colegio profesional correspondiente.

Asimismo, abonará a la empresa constructora, previa certificación de la dirección facultativa, las partidas incluidas en el documento presupuesto Plan de Seguridad. Si se implantasen elementos de seguridad, no incluidos en el presupuesto, durante la realización de la obra, estos se abonarán igualmente a la empresa constructora, previa autorización del autor del Plan de Seguridad y Salud.

El Plan de Seguridad que analice, estudie y complemente este Plan de Seguridad, contará de los mismos aparatos, así como la adopción expresa de los sistemas de producción previstos por el constructor, respetando fielmente el Pliego

de Condiciones. Dicho Plan será sellado y firmado por persona con suficiente capacidad legal. La aprobación expresa del Plan y el representante de la empresa constructora con facultades legales suficientes o por el propietario con idéntica calificación legal.

La empresa constructora cumplirá las estipulaciones preventivas del Plan de Seguridad y Salud, respondiendo solidariamente de los daños que se deriven de la infracción del mismo por su parte o de los posibles subcontratistas o empleados.

La Dirección Facultativa considera el Plan de Seguridad y Salud como parte integrante de la ejecución de la obra. A la Dirección Facultativa le corresponde el control y supervisión de la ejecución del Plan de Seguridad y Salud, autorizando previamente cualquier modificación de éste, dejando constancia escrita en el Libro de Incidencias.

Periódicamente, según lo pactado, se realizarán las pertinentes certificaciones del presupuesto de seguridad, poniendo en conocimiento de la propiedad y de los organismos competentes, el incumplimiento, por parte de la empresa constructora, de las medidas de seguridad contenidas en el Plan de Seguridad y Salud.

Los suministradores de medios, dispositivos, máquinas y medios auxiliares, así como los subcontratistas, entregarán al jefe de obra, delegados de prevención y dirección facultativa, las normas para montaje, desmontaje, usos y mantenimiento de los suministros y actividades; todo ello destinado a que los trabajos se ejecuten con la seguridad suficiente y cumpliendo con la normativa vigente.

Los medios de protección personal, estarán homologados por organismo competente en caso de no existir éstos en el mercado, se emplearán los más adecuados bajo criterio del Comité de Seguridad y Salud o Delegación de Prevención, con el visto bueno de la Dirección Facultativa, para la seguridad.

### **Comités de seguridad y salud. Delegado de prevención de seguridad**

El comité de Seguridad y Salud es el órgano paritario y colegiado de participación destinado a la consulta regular y periódica de las actuaciones de la empresa en materia de prevención de riesgos.

Se constituirá un Comité de Seguridad y Salud en todas las empresas o centros de trabajo que cuenten con 50 o más trabajadores.

El comité estará formado por los delegados de prevención, de una parte, y por el empresario y/o su representante en número igual al de los delegados de prevención de la otra.

En las reuniones del Comité de Seguridad y Salud participarán, con voz pero sin voto, los delegados sindicales y los responsables técnicos de la prevención de la empresa que no estén incluidos en la composición a la que se refiere el párrafo anterior. En las mismas condiciones podrán participar trabajadores de la empresa que cuenten con una especial cualificación o información respecto de concretas cuestiones que se debatan en este órgano y técnicos en prevención ajenos a la empresa, siempre que así lo solicite alguna de las representaciones en el Comité.

El Comité de Seguridad y Salud se reunirá trimestralmente y siempre que lo solicite alguna de las representaciones en el mismo. El Comité adoptará sus propias normas de funcionamiento.

Las empresas que cuenten con varios centros de trabajo dotados de Comité de Seguridad y Salud podrán acordar con sus trabajadores la creación de un Comité Intercentros, con las funciones que el acuerdo le atribuya.

### **Competencias y facultades del comité de seguridad y salud**

El Comité de Seguridad y Salud tendrá las siguientes competencias:

a) Participar en la elaboración, puesta en práctica y evaluación de los planes y programas de prevención de riesgos en la empresa. A tal efecto, en su seno se debatirán antes de su puesta en práctica y en lo referente a su incidencia en la prevención de riesgos, los proyectos en materia de planificación, organización del trabajo e introducción de nuevas tecnologías, organización y desarrollo de las actividades de protección y prevención y proyecto y organización de la formación en materia preventiva.

b) Promover iniciativas sobre métodos y procedimientos para la efectiva prevención de los riesgos, proponiendo a la empresa la mejora de las condiciones o la corrección de las deficiencias existentes.

### **Delegados de prevención**

Los Delegados de Prevención son los representantes de los trabajadores con funciones específicas en materia de prevención de riesgos en el trabajo.

Los Delegados de Prevención serán designados por y entre los representantes del personal, en el ámbito de los órganos de representación previstos en las normas a que se refiere el artículo 34, Ley 31/95, con arreglo a la siguiente escala:

De 50 a 100 trabajadores 2 Delegados de Prevención

De 101 a 500 trabajadores 3 Delegados de Prevención

De 501 a 1000 trabajadores 4 Delegados de Prevención

De 1001 a 2000 trabajadores 5 Delegados de Prevención

De 2001 a 3000 trabajadores 6 Delegados de Prevención

De 3001 a 4000 trabajadores 7 Delegados de Prevención

De 4001 en adelante 8 Delegados de Prevención

En las empresas de hasta 30 trabajadores el Delegado de Prevención, será el delegado de personal. En las Empresas de 31 a 49 trabajadores habrá un Delegado de Prevención que será elegido por y entre los delegados de personal.

### **Competencias y facultades de los delegados de prevención**

- a) Colaborar con la dirección de la Empresa en la mejora de la acción preventiva.
- b) Promover y fomentar la cooperación a los trabajadores en la ejecución de la normativa y sobre la precisión de riesgos laborales.
- c) Ser consultados por el empresario con carácter previo a la ejecución acerca de las decisiones a que se refiere el artículo 33 de la presente Ley.
- d) Ejerce una labor de vigilancia y control sobre cumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales.

### **Garantía y sigilo profesional de los delegados de prevención**

Lo previsto en el artículo 68 del Estatuto de los Trabajadores en materia de garantías será de aplicación a los Delegados de Prevención en su condición de representante de los trabajadores.

El tiempo utilizado por los Delegados de Prevención para el desempeño de las funciones previstas en esta Ley será considerado como de ejercicio de funciones de representación a los efectos de la utilización del crédito de horas mensuales retribuidas previsto en la letra e) del citado artículo 68 del Estatuto de los Trabajadores.

No obstante lo anterior, será considerado en todo caso como tiempo de trabajo efectivo, sin imputación al citado crédito horario, el correspondiente a las reuniones del Comité de Seguridad y Salud y a cualesquiera otras convocadas por el empresario en materia de prevención de riesgos, así como el destinado a las visitas previstas en las letras a) y c) del número 2 del artículo anterior.

El empresario deberá proporcionar a los Delegados de Prevención los medios y la formación en materia preventiva que resulten necesarios para la ejecución de sus funciones.

La formación se deberá facilitar por el empresario por sus propios medios o mediante concierto con organismos o entidades especializadas en la materia y deberá adaptarse a la evolución de los riesgos y a la aparición de otros nuevos, permitiéndose periódicamente si fuera necesario.

El tiempo dedicado a la formación será considerado como tiempo de trabajo a todos los efectos y su coste no podrá recaer en ningún caso sobre los Delegados de Prevención.

### **Servicio de prevención**

Nombramiento por parte del empresario de los trabajadores que se ocupen de las tareas de prevención de riesgos profesionales.

### **Protección y prevención de riesgos profesionales (Artículo 30 Ley 31/95):**

En cumplimiento del deber de Prevención de riesgos profesionales, el empresario designará uno o varios trabajadores para ocuparse de dicha actividad, constituirá un servicio de prevención o concertará dicho servicio con una entidad especializada ajena a la empresa.

Los trabajadores designados deberán tener la capacidad necesaria, disponer del tiempo y de los medios precisos y ser suficientes en número, teniendo en cuenta el tamaño de la empresa, así como los riesgos a que están expuestos los trabajadores y su distribución en la misma, con el alcance que se determine en las disposiciones a que se refiere la letra e) del apartado 1 del Artículo 6 de la presente Ley.

Los trabajadores a que se refiere el párrafo anterior colaborarán entre sí y, en su caso con los servicios de prevención.

Para la realización de la actividad de prevención, el empresario deberá facilitar a los trabajadores designados el acceso a la información y documentación a que se refieren los artículos 18 y 23 de la presente Ley.

Los trabajadores designados no podrán sufrir ningún perjuicio derivado de sus actividades de protección y prevención de los riesgos profesionales en la empresa. En ejercicio de esta función, dichos trabajadores gozarán, en particular, de las garantías que para los representantes de los trabajadores establecen las letras a), b) y c) del artículo 68 y el apartado 4 del artículo 56 del texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores.

Esta garantía alcanzará también a los trabajadores integrantes del servicio de prevención, cuando la empresa decida constituirlo de acuerdo con lo dispuesto en el artículo siguiente.

Los trabajadores a que se refieren los párrafos anteriores deberán guardar sigilo profesional sobre la información relativa a la empresa a la que tuvieran acceso como consecuencia del desempeño de sus funciones.

En las empresas de menos de 6 trabajadores, el empresario podrá asumir personalmente las funciones señaladas en el apartado 1, siempre que desarrolle de forma habitual su actividad en el centro de trabajo y tenga la capacidad necesaria, en función de los riesgos a que estén expuestos los trabajadores y la peligrosidad de las actividades con el alcance que se determine en las disposiciones a que se refiere la letra e) del apartado 1 del artículo 6 de la presente Ley.

El empresario que no hubiere concertado el servicio previsto por una entidad especializada ajena a la empresa deberá someter su sistema de prevención al control de una auditoría o evaluación externa, en los términos que reglamentariamente se determinen.

Los servicios de prevención deberán estar en condiciones de proporcionar a la empresa el asesoramiento y apoyo que precise en función de los tipos de riesgos en ella existentes y en lo referente a:

- a) El diseño, aplicación y coordinación de los planes y programas de actuación preventiva.
- b) La evaluación de los factores de riesgos que pueden afectar a la seguridad y la salud de los trabajadores en los términos previstos en el artículo 16 de esta Ley.
- c) La determinación de las prioridades en la adaptación de las medidas preventivas adecuadas y la vigilancia de su eficacia.
- d) La información de los trabajadores.
- e) La protección de los primeros auxilios y planes de emergencia.
- f) La vigilancia de la salud de los trabajadores en relación con los riesgos derivados del trabajo.

#### **Normas para certificación de elementos de seguridad**

Una vez al mes la constructora extenderá la valoración de las partidas que, en materia de Seguridad se hubiesen realizado en la obra; la valoración se hará conforme al plan y de acuerdo con los precios contratados por la propiedad: esta valoración será visada y aprobada por la Dirección Facultativa para la seguridad y sin este requisito no podrá ser abonada por la Propiedad.

El abono de las certificaciones expuestas en el párrafo anterior se hará conforme se estipule en el contrato de obra.

Se tendrá en cuenta a la hora de redactar el presupuesto de este Plan, sólo las partidas que intervienen como medidas de Seguridad e Higiene, haciendo omisión de medios auxiliares, sin los cuales la obra no se podría realizar.

En caso de ejecutar en obra unidades no previstas en el presente presupuesto: se definirán total y correctamente las mismas y se les adjudicará el precio correspondiente procediéndose para su abono, tal y como se indica en los apartados anteriores.

En caso de plantearse una revisión de precios, el Contratista comunicará esta a la Propiedad por escrito, habiendo obtenido la aprobación previa de la Dirección Facultativa para la Seguridad.

### **Formación e información de los trabajadores**

Todos los trabajadores tendrán conocimientos de los riesgos que conlleva su trabajo, así como de las conductas a observar y del uso de las protecciones colectivas y personales, con independencias de la formación que reciban, esta información se dará por escrito.

Se establecerán las actas de autorización del uso de las máquinas, equipos y medios; de recepción de protecciones personales; de instrucción y manejo; de mantenimiento.

Se establecerán por escrito las normas a seguir cuando se detecte una situación de riesgo, por accidente o incidente.

De cualquier incidente o accidente relacionado con la seguridad y salud, se dará conocimiento fehaciente a la dirección facultativa.

En un plazo proporcional a la gravedad de los hechos. En el caso de accidente grave o mortal, dentro del plazo de las 24 horas siguientes. Se redactará una declaración programática sobre el propósito del cumplimiento de lo dispuesto en la materia de seguridad y salud, firmado por la máxima autoridad de la empresa constructora y el jefe de obra. De este documento tendrán conocimiento los trabajadores.

La Dirección Facultativa por ser la redactora del Estudio de Seguridad debe dar el visto bueno al Plan de Seguridad, pudiendo rechazarlo si no lo considera ajustado a dicho Estudio, o a la legalidad vigente.

Dicha Dirección Facultativa no autorizará el inicio de las obras en tanto no esté aprobado el Plan de Seguridad y designado el Vigilante de Seguridad.

### **3.10.5. Condiciones económicas**

Las mediciones, calidades y valoración recogidas en el presente Estudio de Seguridad e Higiene podrán ser modificadas o sustituidas por alternativas propuestas por el contratista adjudicatario en el Plan de Seguridad, siempre que ello no suponga variación del importe total.

El abono de las distintas partidas del presupuesto de Seguridad e Higiene se realizará mediante certificaciones complementarias y conjuntamente a las certificaciones de obra, de acuerdo con las cláusulas del contrato de obra, siendo responsable la Dirección Facultativa de las liquidaciones hasta su saldo final.

En Puerto Real, Septiembre de 2007

Firmado: Rocío Ramírez Jiménez



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE  
GLICERINA OBTENIDA COMO SUBPRODUCTO EN LA  
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

DOCUMENTO N° 4:  
PRESUPUESTO

## 0. ÍNDICE

0. ÍNDICE	2
1. ESTADO DE MEDICIONES	3
2. COSTE DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES	6
3. CAPITAL INVERTIDO EN INMOVILIZADO	8

## 1. ESTADO DE MEDICIONES

El Estado de Mediciones del Presupuesto constituye uno de los documentos básicos del Proyecto. Las mediciones consisten en determinar, con la mayor precisión posible, las cantidades a realizar en cada unidad de obra.

Las diferentes partidas del Estado de Mediciones llevan una numeración correlativa, que indica el capítulo de la Memoria descriptiva dentro del cual están incluidas.

Solo se realiza el Estado de Mediciones para las unidades de obra principales de la instalación.

Capítulo	Descripción	Nº unidades
5.3	<b>u INTERCAMBIADOR DE CALOR (1º)</b> Intercambiador de calor tipo carcasa y tubos, de Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 3-8". Dispone de un área de intercambio de 0,260 m <sup>2</sup> , una carcasa de 0,917 m de diámetro y tubos de 6,350 mm de diámetro y 0,203 m de altura, ambos construidos en acero inoxidable SS-316.	1
5.3	<b>u INTERCAMBIADOR DE CALOR (2º)</b> Intercambiador de calor tipo carcasa y tubos, de Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 2-8". Dispone de un área de intercambio de 0,121 m <sup>2</sup> , una carcasa de 0,613 m de diámetro y tubos de 6,350 mm de diámetro y 0,203 m de altura, ambos construidos en acero inoxidable SS-316.	1

5.4, 6.3	<p><b>u COLUMNA DE INTERCAMBIO CATIÓNICO</b></p> <p>Columna de 0,8 m de diámetro interno y 2,75 m de altura, construida de vidrio transparente.</p>	2
5.4, 6.3	<p><b>u COLUMNA DE INTERCAMBIO ANIÓNICO</b></p> <p>Columna de 0,8 m de diámetro interno y 2,5 m de altura, construida de vidrio transparente.</p>	2
5.5	<p><b>u EVAPORADOR</b></p> <p>Evaporador de tubos largos y efecto simple, de Basco/Whitlock Tipo AHT "modelo 4-36". Dispone de un área de intercambio de 2,120 m<sup>2</sup>, una carcasa de 0,105 m de diámetro y tubos de 6,350 mm de diámetro y 0,910 m de altura, ambos construidos en acero inoxidable SS-316.</p>	1
5.6	<p><b>u CALDERA</b></p> <p>Caldera generadora de vapor de tipo horizontal piro-tubular de hogar interior centrado, con tres pasos de gases. De INSTANVAP "modelo CBC-300". Dimensiones: 2103 mm de longitud, 1140 mm de ancho y 1440 mm de altura.</p>	1
5.7, 6.1	<p><b>u DEPÓSITO 14,40 m<sup>3</sup></b></p> <p>Tanque cilíndrico vertical de 14,40 m<sup>3</sup>, con fondo y cabezal semi-elípticos. Construido en acero inoxidable SS-316. Diámetro interior de 2,10 m, espesor de 5,50 mm para la carcasa y de 4,10 mm para fondos. Incluye 4 patas de apoyo de tipo perfil IPN, conexiones de entrada y salida, conducción de venteo y boca de hombre.</p>	1

5.7, 6.1	<p><b>u DEPÓSITO 2,92 m<sup>3</sup></b></p> <p>Tanque cilíndrico vertical de 2,92 m<sup>3</sup>, con fondo plano y techo abierto. Construido en acero inoxidable SS-316. Diámetro interior de 1,23 m y espesor de 4,70 mm. Incluye 4 patas de apoyo de tipo perfil IPN y conexiones de entrada y salida.</p>	2
5.7, 6.1	<p><b>u DEPÓSITO 4,05 m<sup>3</sup></b></p> <p>Tanque cilíndrico vertical de 4,05 m<sup>3</sup>, con fondo plano y techo abierto. Construido en acero inoxidable SS-316. Diámetro interior de 1,38 m y espesor de 4,80 mm. Incluye 4 patas de apoyo de tipo perfil IPN y conexiones de entrada y salida.</p>	2
5.8	<p><b>u VÁLVULA DE TRES VÍAS</b></p> <p>Válvula de tres vías de ½".</p>	4
5.8	<p><b>u VÁLVULA DE BOLA</b></p> <p>Válvula de bola para detener o permitir la entrada de glicerina técnica al tanque de almacenamiento.</p>	1
6.7	<p><b>u BOMBA DE MEMBRANA</b></p> <p>Bomba de membrana para un caudal máximo de 1,5 m<sup>3</sup>/h y una altura máxima de 1,6 MPa.</p>	6

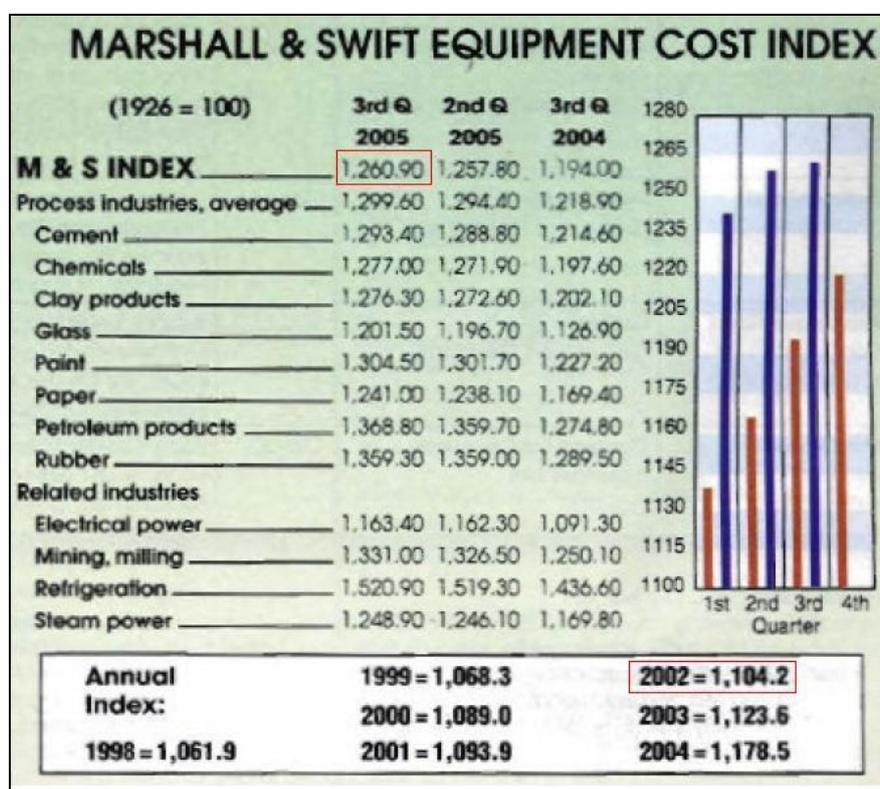
## 2. COSTE DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES

Equipo	Nº unds	Año	Precio/und (€)	Precio total (€)
Intercambiador de calor (1º)	1	1992	11.776,15	15.744,40
		2005	15.744,40	
Intercambiador de calor (2º)	1	1992	11.776,15	15.744,40
		2005	15.744,40	
Evaporador	1	2002	73.873,93	84.357,58
		2005	84.357,58	
Depósito 14,40 m <sup>2</sup>	1	1992	26.494,78	35.422,83
		2005	35.422,83	
Depósito 2,92 m <sup>2</sup>	2	1992	11.774,82	31.485,24
		2005	15.742,62	
Depósito 4,05 m <sup>2</sup>	2	1992	13.246,54	35.420,56
		2005	17.710,28	
Columna de intercambio catiónico	2	1992	5.887,09	15.741,76
		2005	7.870,88	
Columna de intercambio aniónico	2	1992	5.151,04	13.773,60
		2005	6.886,80	
Bomba de membrana (o diafragma)	6	2002	1.847,17	12.655,84
		2005	2.109,31	
Caldera	1	1992	11.773,31	15.740,61
		2005	15.740,61	
Válvula de 3 vías	4	1990	4,80	26,45
		2005	6,61	
Válvula de bola	1	1990	3,69	5,08
		2005	5,08	
<b>TOTAL</b>				<b>276.118,35</b>

El coste de los equipos principales, mostrados en la tabla anterior, se ha determinado mediante las figuras 3.24, 3.25, 3.26, 3.27 y 3.28 del anexo 3. En estas gráficas aparecen los precios para los años 1992 <sup>[6]</sup>, 1990 <sup>[10]</sup> y 2002 <sup>[10]</sup>, así que se actualizan mediante el uso de los Índices de Coste de Equipos de Marshall & Swift, publicados mensualmente en la revista Chemical Engineering.

En las siguientes tablas aparecen los índices para 1990, 1992, 2002 y 2005, último año disponible gratuitamente.

MARSHALL & SWITH ANUAL INDEX	
1987	813.6
1988	852.0
1989	895.1
1990	915.1
1991	930.6
1992	943.1
1993	964.2
1994	993.4
1995	1027.5
1996	1039.2
1997	1056.8
1998	1061.9



Se emplea la siguiente expresión:

$$C = C_0 \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad [4.1]$$

Donde:

C: coste actual

$C_0$ : coste base (valor histórico)

I: índice actual

$I_0$ : índice base

### 3. CAPITAL INVERTIDO EN INMOVILIZADO

Es el capital invertido en todo el equipo situado dentro de los límites del área de proceso. Se representa por  $I_F$ .

Para determinar su valor se utiliza el Método de Estimación Factorial. Para ello se considera en primer lugar el coste de los equipos sin instalar ( $I_E$ ), calculados en el punto anterior, y posteriormente se aplican los factores directos e indirectos correspondientes, como se muestra en la figura 4.1. De esta manera resulta el coste total de los equipos ya instalados.

**TABLA 13. Factores experimentales típicos para sistemas de proceso en los que predominan fluidos \***

COSTE DEL EQUIPO PRINCIPAL SIN INSTALAR	$I_E$
<b>COSTES DIRECTOS ADICIONALES COMO FRACCIÓN DE <math>I_E</math></b>	
Mano de obra para la instalación del equipo principal	0,10-0,20
Aislamiento	0,10-0,25
Conducciones (acero al carbono)	0,50-1,00
Cimientos	0,03-0,13
Edificios	0,07
Estructuras	0,05
Protección contra incendios	0,06-0,10
Instalación eléctrica	0,07-0,15
Pintura y limpieza	0,06-0,10
	$\Sigma f_i$ 1,09-2,05
<b>COSTE DIRECTO TOTAL <math>(1 + \Sigma f_i)I_E</math></b>	
<b>COSTES INDIRECTOS COMO FRACCIÓN DE LOS COSTES DIRECTOS</b>	
Gastos generales, Gerencia	0,30
Servicios técnicos, honorarios de ingeniería	0,13
Imprevistos	0,13
	$f_j = 1 + 0,56 = 1,56$
<b>COSTE TOTAL <math>I_F = (1 + \Sigma f_i)f_j I_E = (3,1-4,8)I_E</math></b>	

\* Adaptado de J. HAPPEL: *Chemical Process Economics*. Wiley, Nueva York, 1958.

Figura 4.1. Factores experimentales para el cálculo del coste del inmovilizado [6]

Entre los costes directos no aparecen los relacionados con la instrumentación y el control de la instalación. En la referencia bibliográfica [10] se muestra que estos costes constituyen del 2 al 8% de  $I_E$ .

En las siguientes tablas se muestran los valores escogidos:

COSTES DIRECTOS	FRACCIÓN
Mano de obra para la instalación del equipo principal	0,10
Aislamiento	0,17
Conducciones	0,75
Cimientos	0,03
Edificios	0,07
Estructuras	0,05

<b>COSTES DIRECTOS</b>	<b>FRACCIÓN</b>
Protección contra incendios	0,06
Instalación eléctrica	0,07
Pintura y limpieza	0,06
Instrumentación y control	0,05
<b>TOTAL (<math>\Sigma f_i</math>)</b>	<b>1,41</b>

<b>COSTES INDIRECTOS</b>	<b>FRACCIÓN</b>
Gastos generales, gerencia	0,30
Servicios técnicos, honorarios de ingeniería	0,13
Imprevistos	0,13
<b>TOTAL (<math>f_i</math>)</b>	<b>1,56</b>

Resultando finalmente el capital invertido en inmovilizado,  $I_F$ :

$$I_F = (1 + \Sigma f_i) \cdot f_i \cdot I_E = (1 + 1,41) \cdot 1,56 \cdot 276.118,35 = 1.038.094,55 \text{ €}$$

*El coste total para llevar a cabo el presente proyecto es de 1.038.094,55 €; un millón, treinta y ocho mil, noventa y cuatro con cincuenta y cinco euros.*

En Puerto Real, Septiembre de 2007

Firmado: Rocío Ramírez Jiménez

