

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO
PARA LA BIOCONVERSIÓN DEL GLICEROL
PROCEDENTE DE LA INDUSTRIA DE LOS
BIOCOMBUSTIBLES

Autor: Amador MONTOUTO GONZÁLEZ

Fecha: Febrero 2010





ÍNDICE GENERAL

Documento	Descripción
0	Resumen del Proyecto
1	Memoria Descriptiva
Anexo 1	Cálculos Justificativos
Anexo 2	Estudio de Seguridad y Salud
Anexo 3	Anexo Gráfico
Anexo 4	Catálogos de Equipos
Anexo 5	Estudio Económico
2	Planos
3	Pliego de Condiciones
4	Presupuesto

RESUMEN DEL PROYECTO

La finalidad de este proyecto es el Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles. En concreto, consistirá en establecer y diseñar todos los equipos, medidas, condiciones y presupuesto necesarios para llevar a cabo la transformación por vía microbiológica del glicerol crudo subproducto de la producción de biodiesel en 1,3-propanodiol (1,3-PDO) en una planta piloto, ampliación de una planta productora de este biocombustible.

La valorización del glicerol crudo procedente de la producción de biodiesel, es un campo que se encuentra aun en desarrollo, y en el que se están realizando grandes esfuerzos e inversiones, para encontrar soluciones viables económica y medioambientalmente. La utilidad de los biocombustibles como fuente alternativa de energía al petróleo es indudable, pero su rentabilidad y viabilidad esta aun en entredicho, pues en muchos casos estas tecnologías aun requieren de subvenciones para poder implementarse, y además existen opiniones de que el mercado de estos productos afecta negativamente al de los alimentos. Es por ello, que resulta tan importante encontrar vías de hacer mas productivos los procesos de obtención de biocombustibles. En este sentido, aprovechar la glicerina que estos procesos generan, supondría un importante progreso en esta labor.

El proceso de generación de 1,3-PDO a partir de glicerol, resulta uno de los más interesantes, ya que es una materia prima básica para la producción de nuevos polímeros biodegradables que esta llamada a progresar mucho en los próximos años, lo que dotará, y de hecho ya esta dotando, a este compuesto de un valor añadido considerable. No obstante, también se encuentra en proceso de desarrollo, existiendo muchos proyectos de investigación, y apenas unas cuantas plantas pilotos.

El proceso encara varias dificultades importantes que se tratarán a lo largo del proyecto, como la separación de los componentes del caldo de fermentación o la incapacidad de los microorganismos de metabolizar directamente el glicerol crudo, en los que en el futuro hay que avanzar para poder llevar a escala industrial el proceso. No existen hasta el momento, plantas a escala industrial capaces de obtener 1,3-PDO a partir de glicerol crudo, por lo que tampoco hay disponible procesos de producción establecidos ni demostrados como los mas recomendables.

En este sentido el presente proyecto se ha fundamentado en resultados de investigaciones y experiencias en planta pilotos previas, y se han buscado soluciones lo mas viables posibles a los problemas que hay que encarar en el

proceso. Todas las decisiones tomadas y datos utilizados, tienen una justificación basada en los estudios realizados hasta la actualidad.

La planta piloto será capaz de tratar una corriente de 3850 kg/h de glicerol de crudo de la siguiente composición:

- 60 % glicerol
- 10 % agua
- 15 % metanol
- 10 % materiales grasos (jabones)
- 5 % sales (Na_2SO_4)

Consistirá primero en varias unidades de pretratamiento, destinadas a dotar a la corriente de glicerol crudo de las condiciones para poder ser transformado por los microorganismos. Estas serán, por orden de paso de la corriente de glicerol crudo, un tanque de mezcla, una centrifuga de decantación, un evaporador y un esterilizador. La finalidad de todas será la de retirar parcialmente todas las impurezas presentes en la corriente, para permitir a los microorganismos metabolizar el glicerol. No será precisa una purificación total, pues aunque hasta la actualidad no se han encontrado microorganismos capaces de metabolizar el glicerol totalmente crudo, si los hay que pueden hacerlo hasta un cierto grado de impurezas.

A continuación, en tres reactores biológicos discontinuos, la población de microorganismos seleccionados llevará a cabo la transformación del glicerol crudo. Estos serán *Klebsiella Pneumoniae*, que han sido probados como uno de los dos mejores productores de 1,3-PDO a partir de glicerina. Las razones de su elección se tratarán a lo largo de proyecto, siendo básicamente su igualdad en productividad y peligrosidad que el otro microorganismo, pero sus mejores condiciones en producción de subproductos, tolerancia a las impurezas del glicerol crudo, y conocimiento del microorganismo desde el punto de vista sanitario.

Dentro de los reactores se dispondrá una concentración de 120 g/l de glicerol, para lo cual se necesitara un volumen considerable de agua de dilución que se añadirá recirculada desde el postratamiento, tras pasar por un tanque de almacenamiento. La concentración de la biomasa será de 10 g/l y el tiempo de fermentación se fija en 10 horas. Tras la reacción, la concentración alcanzada de 1,3-PDO será de 66 g/l con una conversión de la glicerina del 95%. Los microorganismos de *Klebsiella Pneumoniae* serán producidos en un reactor de inoculación que generará el volumen de inóculo necesario para los tres fermentadores.

Por último, la corriente de salida de los fermentadores pasará por una serie de equipos donde se llevará a cabo la separación de componentes de la mezcla generada en los reactores, es decir, el caldo de fermentación, hasta obtener una corriente de 1,3-PDO prácticamente puro. Estas unidades serán una centrífuga y un microfiltro para la retirada de sólidos, y 2 evaporadores para ir separando subproductos de la fermentación, agua y glicerina residual. Finalmente, tras todo este proceso, la planta generará una corriente de 1,3-PDO de 303 kg/h.

Además se dispondrá de 5 tanques de almacenamiento necesarios en varios puntos de la planta, entre ellos un tanque de almacenamiento de producto, y un tanque de almacenamiento de residuos. Estos últimos serán gestionados por una empresa subcontratada.

La temporización del proceso será un factor fundamental en la operabilidad de la planta. Como se ha dicho, los tres fermentadores son discontinuos, pero todos los esfuerzos han sido realizados para que la planta sea lo mas "continua" posible, funcionado por ciclos. En cada ciclo en el sistema se introducirá la cantidad de corriente de glicerol crudo necesaria para cargar los 3 fermentadores de forma secuencial (uno detrás de otro, sin pausa), con una diferencia de una hora entre la carga de cada uno de ellos. Por tanto, todas las unidades de pretratamiento y postratamiento (a excepción de los dos últimos evaporadores), funcionaran de forma continua durante 3 horas por ciclo, ya están dimensionadas de manera que son capaces de tratar el volumen de carga o descarga (según sean de pre o postratamiento) de un reactor en una sola hora. Con los dos últimos evaporadores, por motivos económicos y de operabilidad se colocará un tanque de almacenamiento que permitirá trabajar con otra temporización.

Todos los equipos seleccionados tras su dimensionamiento, corresponden a unidades reales fabricadas por empresas especialistas. Serán los tanques de almacenamiento, los reactores y el tanque de mezcla los únicos mandados a construir específicamente bajo las necesidades de nuestras instalaciones. Se establecen también los lazos de control básicos para un correcto funcionamiento de la planta. Durante todo el proceso habrá que tener en cuenta las medidas de seguridad e higiene en el trabajo correspondientes, para lo cual se realiza un análisis en este campo.

Se realiza un presupuesto de las instalaciones y un estudio económico. Para ello, en base a precios consultados, se establece que el precio de venta del producto será de 8 €/kg. Teniendo en cuenta que se planifica una carga laboral de 350 días/año y que cada ciclo de producción suponen 34 horas, la producción total de 1,3-PDO será de 890 Tn/año.

DOCUMENTO N° 1:

MEMORIA DESCRIPTIVA

0. INDICE	2
1. INTRODUCCIÓN	5
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	7
2.1. OBJETO DEL PROYECTO	7
2.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	7
2.3. VIABILIDAD DEL PROYECTO	8
2.4. UBICACIÓN DEL PROYECTO	10
3. ANTECEDENTES	12
3.1. EL MUNDO DE LAS BIOCONVERSIONES Y SU DESARROLLO ...	12
3.2. EL BIODIESEL	14
3.3. LA GLICERINA	22
3.4. USOS TRADICIONALES DE LA GLICERINA	25
3.5. BIOCONVERSION DE LA GLICERINA	28
3.6. BIOTRANSFORACIÓN DE LA GLICERINA: NUEVOS USOS	30
4. FUNDAMENTOS DEL PROCESO	35
4.1. LA MATERIA PRIMA: GLICERINA CRUDA	35
4.1.1. ANALISIS GENERAL	35
4.1.2. ANALISIS PARTICULAR	38
4.2. EL PRODUCTO FINAL: 1,3-PROPANODIOL	39
4.2.1. INTRODUCCIÓN	39
4.2.2. USOS MÁS IMPORTANTES	39
4.2.3. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN	41
4.3. KNOW-HOW DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	43
4.3.1. PRETRATAMIENTO DE LA GLICERINA CRUDA	43
4.3.2. BIOCONVERSIÓN	46
4.3.2.1. RUTA METABÓLICA	46
4.3.2.2. OPTIMIZACION DE LA BIOCONVERSION	49
4.3.2.3. ELECCIÓN DEL MICROORGANISMO	53
4.3.3. SEPARACION Y PURIFICACIÓN DEL PRODUCTO	59
4.4. ECONOMIA DEL PROCESO	66
4.5. MERCADO	70
5. DESCRIPCION DEL PROCESO	73

5.1. ETAPAS DE PRODUCCION DEL 1,3-PROPANODIOL	73
5.2. EQUIPOS DE PLANTA	78
5.2.1. REACTORES BIOLOGICOS	78
5.2.2. TANQUE DE MEZCLA	78
5.2.3. AGITADORES	79
5.2.4. CENTRÍFUGAS	81
5.2.5. EVAPORADORES	85
5.2.6. INTERCAMBIADORES DE CALOR	93
5.2.7. ESTERILIZADOR	96
5.2.8. MICROFILTRO	103
5.2.9. TANQUES DE ALMACENAMIENTO	107
5.2.10. CALDERAS DE VAPOR	108
5.3. BALANCE DE MATERIA Y DIAGRAMA DE FLUJO	112
5.4. TEMPORIZACIÓN	116
5.5. CONTROL	121
6. BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXO 1. CALCULOS JUSTIFICATIVOS	132
1.1. DISEÑO DEL TANQUE DE MEZCLA	133
1.2. DISEÑO DE LA CENTRÍFUGA	150
1.3. DISEÑO DE LOS EVAPORADORES	159
1.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN	174
1.5. DISEÑO DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS	186
1.6. DISEÑO DEL MICROFILTRO	215
1.7. DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO	218
1.8. DIMENSIONAMIENTO DE LAS CALDERAS DE VAPOR	227
1.9. DISEÑO DE CONDUCCIONES	232
1.10. DISEÑO DE BOMBAS	243
ANEXO 2. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	248
2.1. INTRODUCCIÓN	249
2.2. FACTORES DE RIESGO Y MEDIDAS PREVENTIVAS	250
2.3. ESPECIFICACIÓN DE MEDIDAS PREVENTIVAS	252
2.3.1. EXPOSICIÓN A AGENTES BIOLOGICOS	252
2.3.2. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS	258
2.3.3. SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS	259

2.3.4. EQUIPOS A PRESIÓN	260
2.3.5. SEÑALIZACIÓN	267
2.3.6. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	273
2.3.7. FICHAS TECNICAS DE SEGURIDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS	275
ANEXO 3. ANEXO GRÁFICO	292
ANEXO 4. CATÁLOGOS DE EQUIPOS	331
ANEXO 5. ESTUDIO ECONÓMICO	376
5.1. COSTES DE PRODUCCIÓN	377
5.2. BENEFICIO BRUTO Y RENTABILIDAD	384

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población y el rápido desarrollo algunos países asiáticos como India y China, ha traído un incremento de las necesidades energéticas en todo el mundo. Debido a los altos precios del petróleo, y a su importante influencia en la contaminación de nuestro planeta, desde los últimos años múltiples organismos, gobiernos y compañías han empezado a invertir de forma importante en nuevos procesos para generar fuentes de energías alternativas al petróleo, renovables y sostenibles medioambientalmente.

En estas circunstancias, las industrias relacionadas con la producción de biodiesel y bioetanol han experimentado un enorme crecimiento. La puesta en el mercado de estos nuevos combustibles ha traído numerosas consecuencias a nuestra sociedad; modificación de los precios de los alimentos, desarrollo de la agricultura de carácter “energético”, subvenciones gubernamentales para nuevos proyectos de este tipo, etc. Otra de las consecuencias, relacionada principalmente con la producción de biodiesel, ha sido la puesta en el mercado de grandes cantidades de glicerina, el principal subproducto en este proceso.

La producción de glicerol como subproducto en la industria del Biodiesel genera un problema debido a la creciente oferta de glicerina a nivel mundial y a una demanda prácticamente estancada de éste, provocando que las empresas productoras de biodiesel no puedan vender este glicerol debido a la sobreoferta.

Este hecho, por otro lado, puede considerarse una oportunidad de negocio porque se cuenta con una materia prima que cada año presenta un decaimiento en sus precios a la cual se le puede encontrar nuevos usos y/o utilizarlo como materia prima para nuevos bioprocesos que sigan siendo respetuosos con el medioambiente y sostenibles, de manera que no se entre en conflicto con la filosofía básica de la producción de los biocombustibles.

Es precisamente en esta cuestión, donde el presente proyecto pretende establecer una solución. En nuestro caso pretendemos cubrir y potenciar dos áreas en desarrollo, que desde el punto de vista medio ambiental, supondrán grandes beneficios.

Primeramente, encontramos una vía de valorización de la glicerina que resulta rentable, eliminando el carácter residual que este compuesto está alcanzando en productoras de biodiesel y biorefinerías. También dotamos a estas plantas de un subproducto más, el 1,3-PDO, de alto valor añadido en el mercado, que permitirá aumentar la productividad y flexibilidad en el mercado de estos productores, potenciando su consolidación, que hasta ahora está en entredicho, por la necesidad en muchos casos de subvenciones para hacerlas viables, y por la fuerte competencia de las industrias petroquímicas.

En segundo lugar, mediante la producción del 1,3-PDO, estaremos proveyendo a las industrias poliméricas de una materia prima fundamental para la

producción de polímeros biodegradables, que permitirán crear plásticos que desaparezcan de forma natural del medio ambiente en períodos de tiempo mucho más cortos que los plásticos tradicionales. Cabe reincidir en que además, el 1,3-PDO no se estará produciendo por vía petroquímica, si no microbiológica, derivando de ello la no dependencia del petróleo y el menor impacto ambiental durante la producción.

2. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

2.1.- OBJETO DEL PROYECTO

El objeto principal del presente proyecto es diseñar una planta piloto capaz de transformar por vía microbiológica el glicerol crudo obtenido en una planta de biodiesel real en 1,3-propanodiol, producto de alto valor añadido. De esta manera, en primer lugar se reducirán costes derivados de la retirada de la glicerina cruda producida, pues en algunos casos resulta incluso necesario contratar un servicio de retirada de residuos para darle salida. En segundo lugar se aumentará la rentabilidad de la planta de biodiesel integrando procesos, de manera que un subproducto inicialmente considerado de bajo valor o incluso como residuo, pasara a ser la materia prima de la nueva planta, que obtendrá un nuevo compuesto químico de alto valor añadido y de fácil venta en el mercado.

La nueva planta, respetará las ideas de sostenibilidad y respeto con el medio ambiente, pues al estar integrada en una planta de biodiesel, partirá de materias primas naturales y por tanto renovables, y al ser el proceso básico de transformación biológico, no se generarán cantidades excesivas de residuos o contaminantes y se operará con condiciones de presión y temperatura moderadas. De igual manera se obtendrá un producto que será la materia prima básica para la producción de polímeros biodegradables también respetuosos con el medio ambiente.

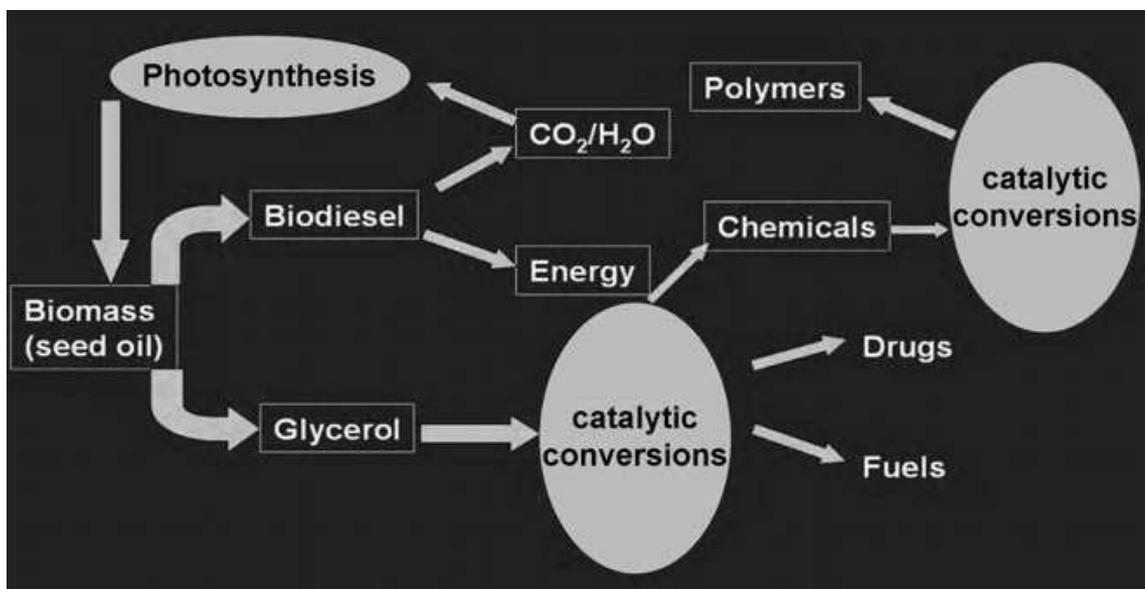
2.2.- JUSTIFICACION DEL PROYECTO

Se justifica la realización del presente proyecto por la necesidad de:

- Aumentar la rentabilidad de la planta de biodiesel mediante el tratamiento y conversión del subproducto glicerina cruda, en un producto de alto valor añadido en el mercado. Por un lado se evitarán costes derivados de la contratación de empresas para su retirada, y por otro se generará un nuevo producto para vender en el mercado, lo que dotará a la planta de una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta en el mercado.
- Generar una vía para dar salida a la gran cantidad de glicerina existente el mercado a consecuencia del auge de la industria del biodiesel. Actualmente existe una sobreoferta de glicerina cruda, lo que hace que en muchos casos esta se considerando casi un residuo y esté accesible a precios muy bajos.
- Proveer a las industrias poliméricas de la materia prima para llevar a cabo la producción de polímeros biodegradables, cuyo mercado se

encuentra actualmente en auge y requiere de nuevas vías de producción del 1,3-PDO más rentables para aumentar la producción. Por tanto, se contribuye decisivamente a la generación de polímeros respetuosos con el medio ambiente que desaparecerán de forma natural, reduciendo así la cantidad de residuos de nuestra sociedad.

- Aportar una nueva vía para hacer más rentables y estables a las biorefinerías y a la industria del biodiesel, ayudando a que continúen con su desarrollo, a fin de reducir las emisiones contaminantes producidas por las tecnologías del petróleo y la dependencia de él, tanto en el campo energético como en el químico.



Scheme 1. The chemistry of glycerol will play a crucial role in future biorefineries, in which materials and energy will be produced from renewable raw materials.

2.3.- VIABILIDAD DEL PROYECTO

2.3.1.- VIABILIDAD TÉCNICA

En el presente proyecto se diseña una planta de producción de 1,3-propanodiol por vía microbiológica, a partir de glicerol crudo proveniente de una fábrica de biodiesel.

En la actualidad existen numerosos proyectos de investigación en este campo, y en varios de ellos se ha procedido ya a la implementación del proceso a escala de planta piloto.

Existen varias investigaciones y trabajos a cerca de los procesos requeridos de pretratamiento del glicerol crudo, de las cepas productoras de 1,3-propanodiol a partir de glicerina cruda, de sus condiciones optimas de crecimiento y producción, de los procesos de separación para la obtención del producto deseado puro y de otros factores importantes para el proceso en cuestión.

En la actualidad solo existe una planta a escala industrial que genere 1,3-PDO por vía microbiológica y usando materias primas renovables; la perteneciente a la compañía DuPont, pero que genera el 1,3-propanodiol a partir de azúcares provenientes del maíz por medio de una fermentación, y no a partir de glicerina. Su producción se dedica principalmente a la generación de nuevos polímeros biodegradables como el polietileno tereftalato.

De igual modo la compañía Metabolic Explorer tenía proyectado poner en funcionamiento en 2009 una planta piloto que produjera este compuesto a través de la fermentación de glicerol, tal y como se plantea en el presente proyecto.

Debe indicarse además, que a pesar de que el presente proyecto pretende desarrollar una idea de relativamente novedosa, que esta en proceso de desarrollo, la planta diseñada no requiere de equipos o tecnologías de última generación o especialmente caras, si no que más bien utiliza equipos y técnicas ampliamente conocidas en la industria química y bioquímica que hacen que el proyecto sea perfectamente abordable.

2.3.2.- VIABILIDAD ECONOMICA

El bajo precio de la glicerina cruda, como consecuencia de la sobreoferta generada por el auge del biodiesel, hace que prácticamente desde el principio el presente proyecto sea viable económicamente. Ello ocurre porque esta glicerina cruda será la materia prima principal y en general se podrá disponer de ella a muy bajos precios.

Por si esto no fuera suficiente, la planta que se ha diseñado se encuentra integrada en una planta real ya existente de biodiesel, por lo que la glicerina cruda se conseguirá totalmente libre de costes.

Si a esto le añadimos, que el producto final, el 1,3-propanodiol, es un compuesto químico de alto valor en el mercado, por ser la materia prima básica para la producción de nuevos polímeros con nuevas propiedades, se puede concluir que el proyecto abordado es absolutamente viable desde el punto de vista económico, hecho que quedará constatado en el apartado de presupuesto y análisis económico del proyecto.

2.3.3.- VIABILIDAD LEGAL Y LABORAL

Vendrá determinada por la política fiscal a nivel estatal y europeo a cerca de los biocarburantes, pues la planta en cuestión se construye como una ampliación de una existente de biodiesel. Después, con respecto a la nueva planta en concreto, habrá que considerar cuestiones de residuos, contaminación, potenciación del uso de energías renovables, creación de nuevos materiales renovables y respetuosos con el medio ambiente, y por último, la política de prevención de riesgos laborales, que será detalladamente analizada en el anexo del análisis de seguridad del proyecto.

En cuanto a todo ello, hay que decir primero que la planta no generara gran cantidad de contaminación ni de residuos y estos serán gestionados por empresas especializadas que podrán valorizarlos.

Uno de los propósitos de este trabajo es potenciar el uso de las energías renovables, lo que de cara a subvenciones o exenciones en impuestos o limitaciones puede ser positivo.

Finalmente, en cuanto a la prevención de riesgos laborales de carácter específico de la planta, se procederá con un análisis de riesgos basado en el REAL DECRETO 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, ya que la planta requiere el uso de este tipo de agentes. Con el adecuado análisis y medidas correspondientes para asegurar la salud y seguridad de los trabajadores, el proyecto podrá llevarse a cabo conforme a ley.

2.4. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto ha sido realizado pensando en principio su ubicación en la planta de biodiesel de Entabán Biocombustibles del Guadalquivir S.A., como ampliación de la misma.

Esta planta tiene una capacidad de producción de 50.000 Tm/año. Para la producción del biodiesel usa la tecnología desarrollada por la empresa austriaca Biodiesel International (BDI) mediante una planta llave en mano, que le permite usar como materia prima aceites vegetales de cocina usados y grasas animales.

A su producción máxima, la planta genera como subproductos unas 4300 Tm/año de farmaglicerina y unas 1050 Tm/año de fertilizante. Como se ha explicado anteriormente, la idea del presente proyecto es darle una salida nueva y más beneficiosa económicamente a la glicerina cruda que se genera en el proceso de producción del biodiesel.

Esta planta de la compañía Entaban se encuentra localizada en una parcela de 22.000 m² en el área industrial del puerto de Sevilla, concretamente en la dársena de Alfonso XII en el Guadalquivir y en la Carretera del Copero s/nº. Esta localización estratégica le permite a la empresa disfrutar de las ventajas del transporte marítimo por el río y del terrestre, ambos importantes debido a la localización en la capital andaluza.



Al tratarse de un proyecto de ampliación proporciona a la planta las ventajas de evitar los costes del transporte de la materia prima (glicerina cruda) y los requerimientos de combustible en algunas de las unidades de la nueva planta quedan cubiertos por la producción de biodiesel. En definitiva se consigue una integración de procesos, que beneficia y hace más competitiva a la empresa.

3. ANTECEDENTES

3.1. EL MUNDO DE LA BIOCONVERSIONES Y SU DESARROLLO

Los productos químicos básicos como el etileno, propileno, metanol y acetona tienen un volumen de producción aproximado de 1 a 100 millones de toneladas por año y sus precios en el mercado suelen ser de menos de 2000 US \$/ton. Estos productos pueden ser usados directamente o procesados para la producción industrial de otros productos de alto valor añadido en la industria química.

En la actualidad, casi todos los compuestos químicos importantes, excepto el etanol, se producen por vía petroquímica, aunque la biotecnología tiene el potencial de generar casi la totalidad de estos productos directa o indirectamente a partir de materias renovables. Hasta ahora, la biotecnología solo tiene una posición firme en la producción de compuestos especiales como aminoácidos, ácidos orgánicos, vitaminas, antibióticos y otros productos farmacéuticos.

Comparados con las rutas petroquímicas, los procesos de producción de los principales compuestos químicos por vía fermentativa tiene generalmente unos volúmenes de producción mucho menores (menos de 1 millón de toneladas por año) pero precios de venta mas altos. Aunque estos productos de fermentación alcanzan un impresionante valor de venta de más de 10 billones US\$, que no supone un pequeño volumen, la mayoría de ellos son usados en los mercados de la comida y alimentación animal, estando casi ausentes en aplicaciones técnicas como solventes, polímeros y plásticos. Sin embargo, las tendencias de los mercados y el precio fluctuante y cada vez más alto del petróleo están haciendo que esta situación empiece a cambiar y se esperen cambios cada vez mayores.

Los puntos que hacen que este cambio sea viable son varios. La naturaleza finita de los recursos petrolíferos y el abundante suministro de biomasa hacen que haya un gran interés en las materias primas naturales para la producción de compuestos químicos y combustibles. Las recientes fuertes variaciones en el precio del petróleo han hecho que muchas naciones importadoras se hayan puesto a buscar alternativas para reducir la dependencia del petróleo. En un informe reciente del USA National Research Council (NRC) "Biobased Industrial Products: Priorities for Research and Commercialization" se ha resumido la importancia y beneficios de producir materiales y combustibles a partir de materiales renovables:

- Aumento de los usos y la productividad de la agricultura y recursos forestales.
- Impacto positivo en el clima y el medio ambiente.

- Reducción de la dependencia de los recursos extranjeros y disminución de los suministros de petróleo.
- Mayor seguridad política y económica.
- Producción de compuestos de alto valor añadido con mejor propiedades funcionales.

Sin embargo, el compromiso con el medio ambiente y los deseos políticos no pueden provocar los cambios deseados solos. Las restricciones económicas como la competitividad de costes son fundamentales en esta área. Algunos importantes logros recientes en modificación genética de los microorganismos hacen pensar que la producción por estas vías va a ser cada vez mas atractiva técnicamente y competitiva económicamente.

Durante mucho tiempo, la industria química ha considerado a la biotecnología como una herramienta cara de alta tecnología, que no era apropiada para producir elevadas cantidades de compuestos a gran escala. Esta percepción esta experimentando un cambio gradual, tal y como se refleja de varios proyectos llevados a cabo por importantes compañías para producir compuestos en grandes cantidades a partir de rutas biotecnológicas. Estos compuestos emergentes incluyen el 1,3-propanodiol, ácido láctico y ácido succínico.

De hecho, el bioetanol, como el producto de fermentación mas generado, esta probando el potencial de la biotecnología en este campo. Se producen más de 13 millones de toneladas por año de etanol para biocombustibles. Los segundo productos de fermentación en cantidad producida son el acido cítrico y el glutamato monosódico. Su producción mundial se acerca a 1 millón ton/año respectivamente, cifras similares a algunos de los productos petroquímicos.

En el cuadro siguiente se mencionan las principales restricciones que sufren los bioprocesos para ser usados en la producción de grandes cantidades de producto, así como la estrategia a seguir para darle solución.

Problem	Solution
Biocatalyst not known	Screening (if required/mutation) MPD
Low productivities	High cell density-fermentation, cell recycle Immobilisation
Cheap substrates often not suitable	Screening
Unwanted by-products	Genetic engineering, MPD
Low product and substrate concentration	Mutation/selection
Metabolic pathways not optimal	
Product recovery	In situ processes
Process control	On-line analytics

Th. Willke K.-D. Vorlop. Industrial bioconversion of renewable resources as an alternative to conventional chemistry

3.2. EL BIODIESEL

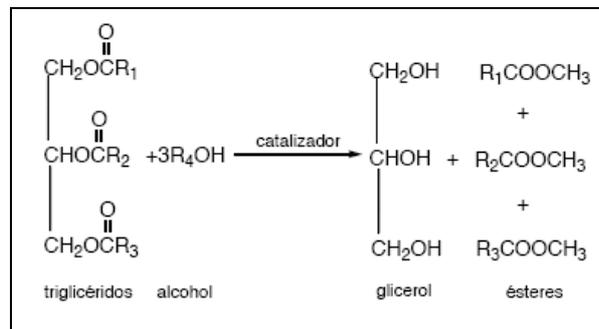
3.2.1.- Introducción

El biodiesel es un combustible producido a partir de recursos renovables como aceites vegetales de soja, colza, girasol, palma y otros, así como de grasas animales y aceites de cocina usados. Desde el punto de vista químico es una mezcla líquida de ésteres metílicos producidos por reacción química a partir de ácidos grasos que estas materias primas contienen.

Junto con el etanol componen la mayor parte del mercado de los biocombustibles.

3.2.2.- Proceso de producción

El biodiesel se obtiene por la reacción de transesterificación de un triglicérido con un alcohol, típicamente metanol, utilizando hidróxido de sodio como catalizador. La reacción se describe, en forma simplificada en la figura siguiente:



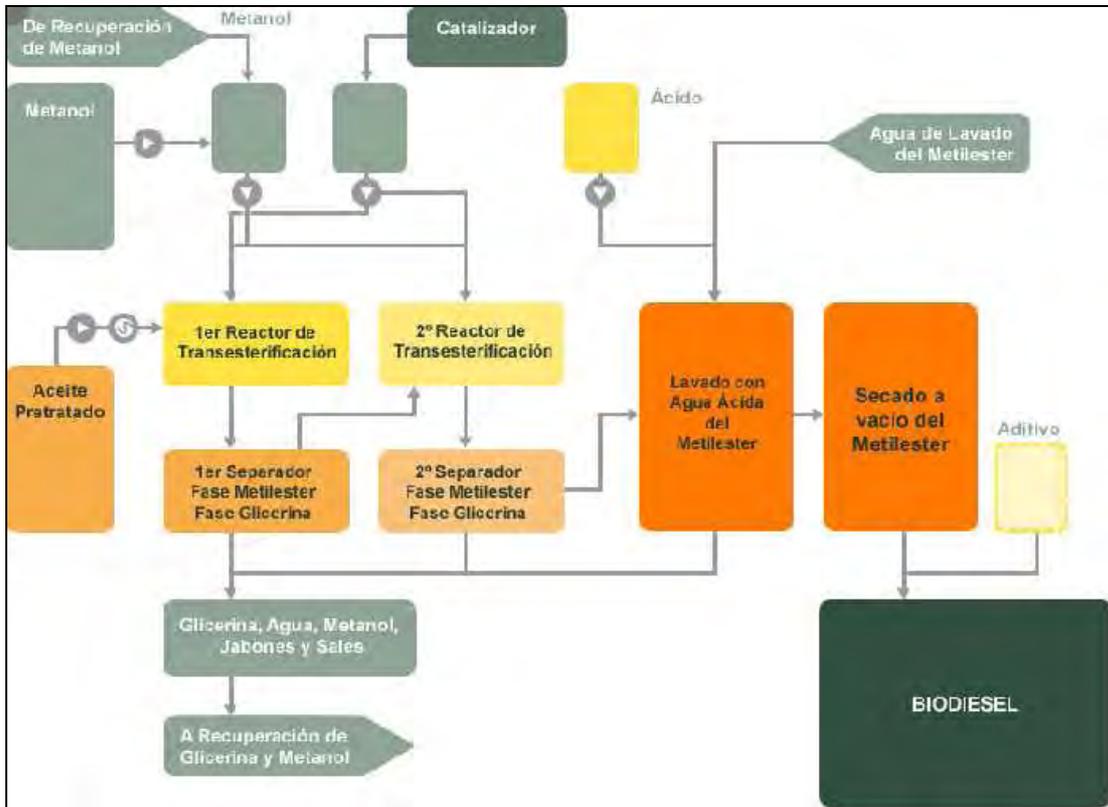
Reacción de transesterificación para la obtención de biodiesel

En la actualidad existen diversos procesos industriales mediante los cuales se pueden obtener biodiesel, pero los más importantes son:

- Proceso base-base, mediante el cual se utiliza como catalizador un hidróxido que puede ser de sodio o de potasio.
- Proceso ácido-base que consiste en hacer primero una esterificación ácida y luego seguir el proceso normal (base-base). Se usa generalmente para aceites con alto índice de acidez.

En la producción de biodiesel el glicerol representa el 10% del biodiesel producido con una pureza de entre un 60 % y un 80%, dependiendo del tipo de

aceite y proceso de producción usados. La glicerina subproducto, puede ser recuperada pues tiene valor como producto químico industrial.



Proceso de producción del biodiesel (www.greenfuel.com)

Aunque se trata de un proceso conocido desde que en 1864 Rochleder describió la etanolisis del aceite de ricino, el valor óptimo de los parámetros involucrados varía dependiendo del tipo de aceite, afectando al rendimiento de la reacción. Así, muchos investigadores han identificado los parámetros que influyen más significativamente en el rendimiento de la reacción de transesterificación, entre los que destacan el tipo de aceite (contenido de ácidos grasos), contenido de agua, la temperatura de reacción, el tipo y cantidad de catalizador, la proporción y tipo de alcohol, tiempo de reacción, etc.

3.2.3.- Ventajas del uso del biodiesel

- **Reducción de las emisiones contaminantes de los motores diesel, en relación al gasoil**

Una gran ventaja del biodiesel reside en su composición, ya que gracias a la presencia del oxígeno incorporado en su estructura molecular, se facilita la oxidación y la combustión completa, con lo que la formación de productos derivados de una oxidación parcial en la cámara de combustión es mucho menor que cuando se utiliza gasoil. Estas propiedades del biodiesel hacen que

disminuyan las emisiones de CO y de partículas (Environmental Science, 1998).

El biodiesel no daña el medio ambiente por ser un combustible de origen vegetal en su estado 100% puro. Su uso en esas condiciones sería completamente inocuo en el medio ambiente. No obstante su uso con este grado de pureza no es viable en vehículos, ya que tiene la calidad de disolver algunos componentes plásticos de los motores.

En España, y ante la imposibilidad de controlar si los vehículos que lo reposten en las EESS están o no preparados para la utilización de biodiesel 100% puro, se comercializan mezclas de distinto grado establecido (B10, B15, B20), y así cualquier vehículo lo puede utilizar sin ningún tipo de problema.

Además, no contiene azufre, agente que se encuentra en el gasóleo por su poder de lubricación, beneficioso por no generar lluvia acida y por cumplir con las formulaciones de gasoil con bajo contenido en azufre, cada vez mas exigentes.

- **Se produce a partir de materias primas renovables.**

El biodiesel se produce a partir de aceites vegetales, vírgenes y reciclados. El aceite vegetal virgen se extrae de la semilla cultivada y es refinado antes de incorporarlo al proceso de producción del biodiesel. Aunque existen más de trescientos tipos de semillas oleaginosas, las más comunes en la producción de biodiesel son las de colza, soja, girasol y palma.

Los aceites reciclados proceden de la recogida de sectores como la hostelería, alimentarios, cocinas domésticas, etc. Con el reciclaje de los aceites usados, evitamos su vertido, salvaguardando la contaminación de las aguas subterráneas, fluviales y marinas, así como la vida que en ellas habita.

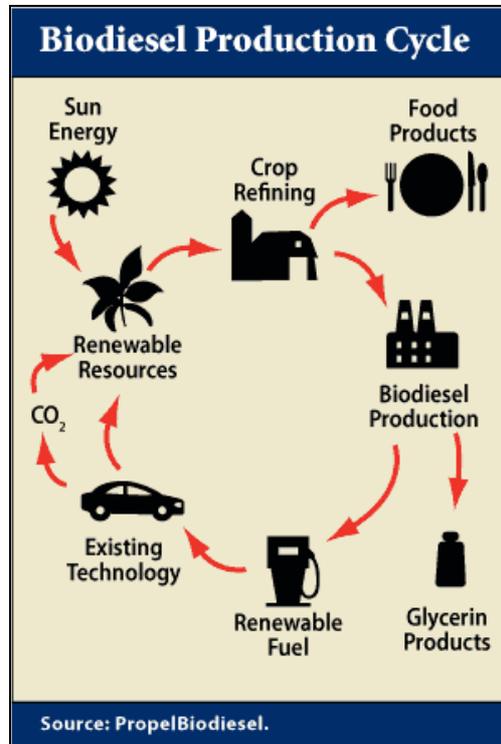
Con estas materias primas se contribuye de manera significativa al suministro energético sostenible, lo que permite reducir la dependencia del petróleo, incrementando la seguridad y diversidad en los suministros, así como el desarrollo socioeconómico del área rural (agricultura con fines energéticos), y la conservación de nuestro medio ambiente.

- **No aporta CO₂ adicional a la atmosfera**

El dióxido de carbono que emite a la atmósfera el Biodiesel durante la combustión es neutro, ya que es el mismo que captó la planta utilizada para extraer el aceite durante su etapa de crecimiento. Con lo cual, la combustión de biodiesel no contribuye al efecto invernadero.

No obstante, para poder evaluar de forma correcta la reducción de emisiones con respecto al diesel de origen mineral, habrá que tener en cuenta todo el ciclo de producción del biodiesel, considerando la energía requerida y las

emisiones generadas en cada una de las etapas de producción. En el siguiente gráfico se observan el ciclo completo de generación del biodiesel.



- **No contiene benceno, ni otras sustancias aromáticas cancerígenas**

El biodiesel, como combustible vegetal no contiene ninguna sustancia nociva, ni perjudicial para la salud, a diferencia de los hidrocarburos, que tienen componentes aromáticos y benceno (cancerígenos). La no emisión de estas sustancias contaminantes disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias.

- **Es fácilmente biodegradable, y en caso de derrame y/o accidente, no pone en peligro ni el suelo ni las aguas subterráneas.**

El biodiesel, es biodegradable, su origen vegetal lo hace compatible con la naturaleza y la ausencia de compuestos químicos y sintéticos lo hace inocuo con nuestro medio.

- **Es el único combustible no contaminante alternativo a los motores de gasóleo convencional.**

El biodiesel, es el único combustible renovable alternativo en los motores diesel. Las mezclas por debajo de un 20 % de biodiesel no requieren

modificación alguna en los motores de combustión actuales y por encima de ese valor motores con ligeras modificaciones en su diseño pueden operar perfectamente con el.

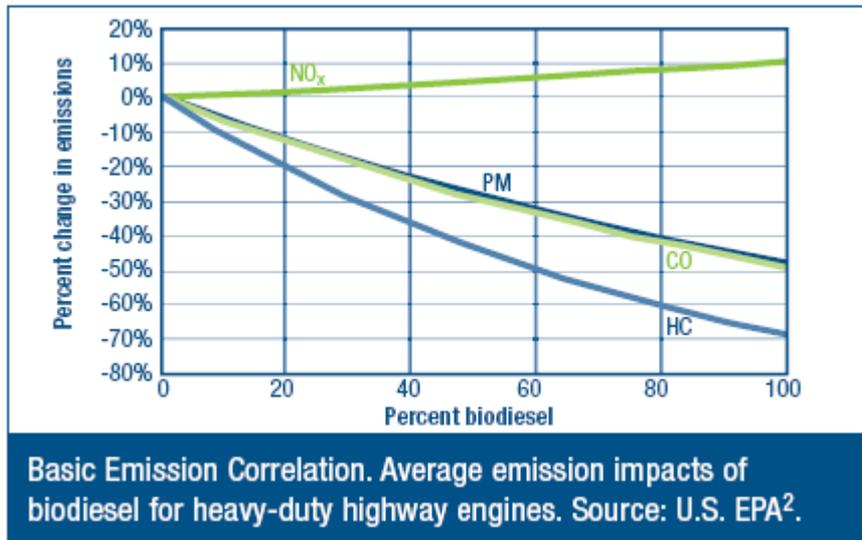
El biodiesel puede ser usado solo o mezclado en cualquier proporción con diesel obtenido como refinado del petróleo. Dependiendo de la proporción de la mezcla diesel-biodiesel, las mezclas de biodiesel pueden ser llamadas: B100 (puro, 100 % biodiesel), B20 (20 % biodiesel y 80 % fósil diesel), B5 (5 % biodiesel y 95 % fósil diesel), etc.

En resumen, el biodiesel reduce las emisiones de contaminantes (CO₂, CO, óxidos de azufre, partículas, compuestos aromáticos) tal y como se puede observar en las tablas adjuntas. Cuanto mas alto sea el porcentaje de biodiesel en la mezcla usada, mayores serán las reducciones. Sin embargo, se ha observado que en algunos casos las emisiones de NOx pueden aumentar. Así mismo, frena el consumo de productos derivados del petróleo. Por ultimo, la ausencia de azufre en sus moléculas es positiva, evitando sus efectos perjudiciales sobre el medio ambiente, y siguiendo así la tendencia de producir combustibles con bajo contenido en azufre.

Table 2: *Bio-diesel tail-pipe emission changes compared to the tail-pipe emissions of the conventional fossil diesel*

Emission Type	B100	B20
Carbon monoxide	-43.2 %	-12.6 %
Hydrocarbons	-56.3 %	-11.0 %
Particulates	-55.4 %	-18.0 %
Nitrogen oxides	+5.8 %	+1.2 %
Air toxics	-60 % / -90 %	-12 % / -20 %
Mutagenicity	-80 % / -90 %	-20 %
Carbon Dioxide (Life Cycle Emissions)	-78.3 %	-15.7 %

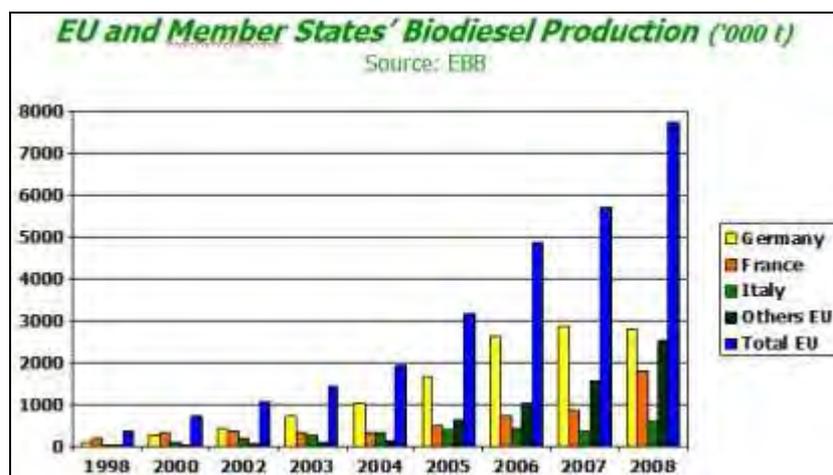
Source: US Department of Energy (DOE) – National Renewable Energy Laboratory



Fuente: Clean Cities (Fact Sheet). U.S.A. Department of Energy. Prepared by the National Renewable Energy Laboratory (NREL). April 2005

3.2.4. - Producción de biodiesel

Debido a políticas establecidas en la mayoría de los países de la Unión Europea sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, y al temor por la inseguridad en el suministro energético, debido al aumento del precio del petróleo y de las tensiones internacionales, la producción mundial de biodiesel ha ido en aumento. La razón es el reemplazo del diesel fósil en un cierto porcentaje generando una mezcla diesel+biodiesel.



La producción de biodiesel en la UE creció en el 2006 un 53%, pasando de los 3,2 millones de toneladas producidas en el 2005 a 4,9 millones de toneladas en el 2006. En el año 2007 la producción volvió a incrementarse, alcanzando los 5,5 millones de toneladas, lo que supone un incremento del 16.8 % con

respecto a 2006. En 2008 volvió a aumentar, de 5,5 a más de 7,5 millones de toneladas, lo que supone un incremento del 36 %.

Dentro de la UE los principales países productores de biodiesel son Alemania y Francia. En la tabla siguiente se muestran los principales productores de la Unión Europea en el año 2008.

España, según estos datos, ocupa el noveno lugar productores europeos de biodiesel en 2008 con 200.000 toneladas, un 23% más que en 2007. (En la fecha de presentación del presente proyecto estos fueron los datos mas actualizados disponibles).

Producción en la UE por países en 2008 y 2007

2008		2007	
COUNTRY	1000 TONNES	COUNTRY	1000 TONNES
Germany	2819	Germany	2890
France	1815	France	872
Italy	595	Italy	363
Belgium	277	Austria	267
Poland	275	Portugal	175
Portugal	268	Spain	168
Denmark/Sweden	231	Belgium	166
Austria	213	UK	150
Spain	207	Greece	100
UK	192	The Netherlands	85
Slovakia	146	Denmark	85
Greece	107	Poland	80
Hungary	105	Sweden	63
Czech Rep.	104	Czech Rep.	61
The Netherlands	101	Slovakia	46
Finland	85	Finland	39
Lithuania	66	Romania	36
Romania	65	Lithuania	26
Latvia	30	Slovenia	11
Ireland	24	Bulgaria	9
Bulgaria	11	Latvia	9
Cyprus	9	Hungary	7
Slovenia	9	Ireland	3
Malta	1	Cyprus	1
Luxemburg	0	Malta	1
Estonia	0	Estonia	0
TOTAL	7755	Luxemburg	0
		TOTAL	5713

Fuente EBB (European Biodiesel Board)

Para 2009 las capacidades de producción también aumentarán siguiendo la tendencia de los últimos años. A continuación se presentan las capacidades de

producción estimadas para los países de la UE en 2008 y 2009. Estas capacidades totales no se alcanzan en ningún caso, pues la mayoría de las plantas no operan al máximo de su capacidad de producción.

Capacidad de producción de los países de la UE en 2008 y 2009

2009	
COUNTRY	1000 TONNES
Germany	5200
Spain	3656
France	2505
Italy	1910
The Netherlands	1036
Greece	715
Austria	707
Belgium	705
UK	609
Poland	580
Portugal	468
Bulgaria	435
Finland	340
Czech Republic	325
Romania	307
Slovakia	247
Sweden	212
Hungary	186
Lithuania	147
Denmark	140
Latvia	136
Estonia	135
Slovenia	100
Ireland	80
Cyprus	20
Malta	8
Luxemburg	0
TOTAL	20909

2008	
COUNTRY	1000 TONNES
Germany	5302
France	1980
Italy	1566
Spain	1267
UK	726
Belgium	665
The Netherlands	571
Greece	565
Austria	485
Poland	450
Portugal	406
Bulgaria	215
Sweden	212
Slovakia	206
Czech Republic	203
Hungary	186
Finland	170
Lithuania	147
Denmark	140
Estonia	135
Latvia	130
Romania	111
Ireland	80
Slovenia	67
Malta	8
Cyprus	6
Luxemburg	0
TOTAL	15999

Fuente EBB (European Biodiesel Board)

A pesar que la producción de biodiesel representa una fuente energética segura, renovable y sostenible desde el punto de vista ambiental y es una alternativa a los combustibles de origen fósil, su viabilidad económica esta aun en entredicho, debido a los bajos rendimientos de extracción de aceites de los cultivos tradicionales, la competencia por estos cultivos con el mercado de la comida, y los problemas que aun existen para procesar ciertos tipos de aceites usados o residuales. La coproducción de otros productos de alto valor añadido se ha propuesto como solución a este problema.

3.3. LA GLICERINA

La glicerina, también conocida como glicerol, puede ser encontrado en todas las grasas y aceites como un éster graso y es un importante intermedio en el metabolismo de muchos organismos vivos. Fue descubierto en 1779 por Scheele por la saponificación del aceite de oliva y Chevreul demostró en 1813 que el glicerol es un éster de los ácidos grasos. El primer uso industrial del glicerol fue en 1866 cuando Nobel produce la dinamita, en donde el trinitrato de glicerol (nitroglicerina) es estabilizado por absorción en tierras diatomeas.

Este propanotriol puede ser producido a partir de tres procesos distintos:

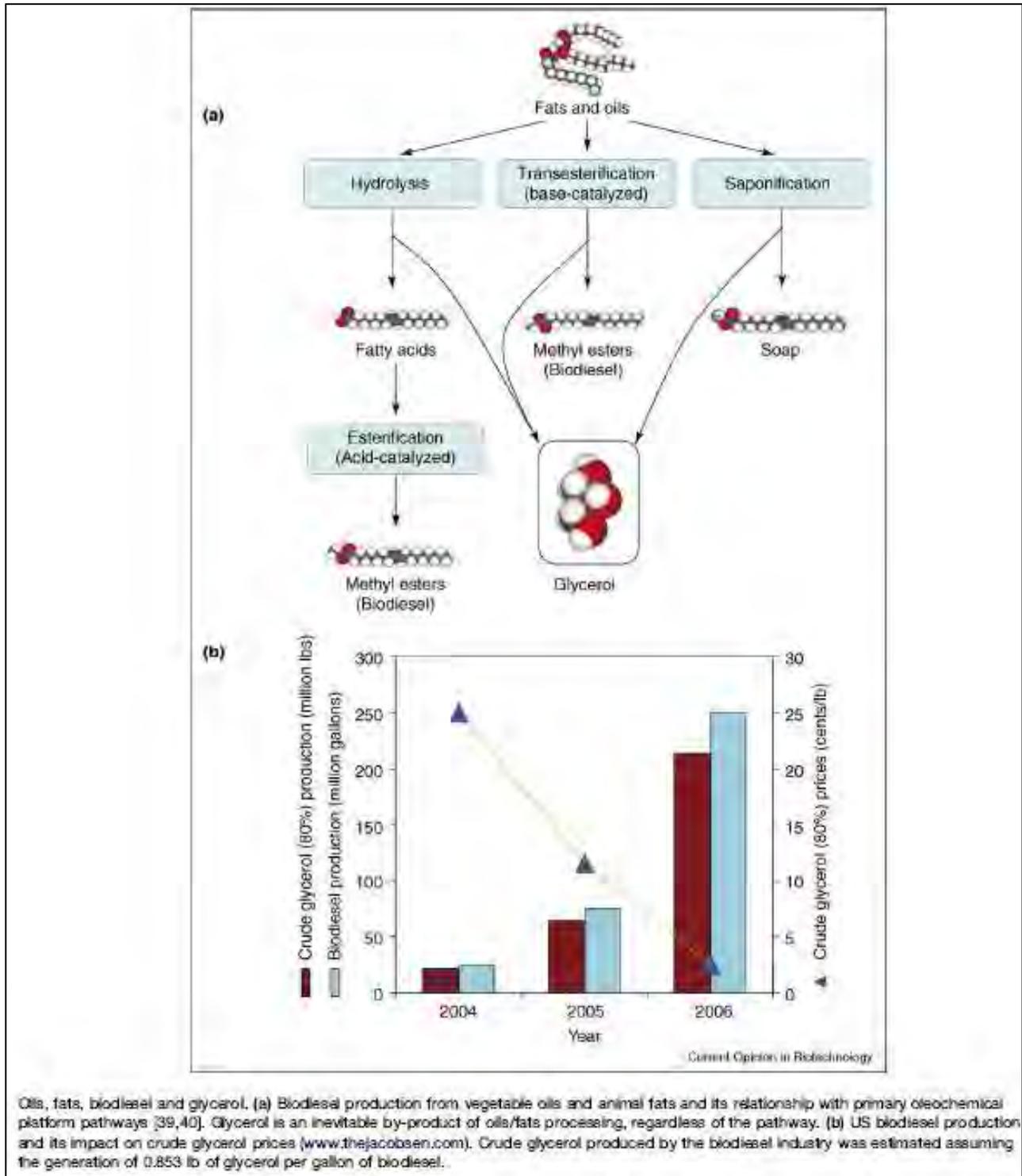
- Proceso de hidrólisis
- Saponificación o transesterificación de aceites vegetales o grasas animales, dando glicerol como subproducto.
- Producción tradicional de glicerina sintética usando epíclorhidrina.

Desde 2006, la producción de glicerol por transesterificación a partir de aceites ha superado la producción a partir de otros métodos en todo el mundo. Esto se debe al aumento de producción de biodiesel en Europa. La producción de glicerol sintético se ha reducido al mínimo ya que no es económicamente competitiva cuando se compara con otros métodos. La producción de glicerol por hidrólisis ha sido sustituida por el boom del biodiesel que ha generado una excesiva cantidad de glicerina producida llevando a una situación de sobreoferta. En algunos mercados del biodiesel, como Alemania, la glicerina cruda es tratada casi como un residuo y se paga por su retirada.

Producción mundial de glicerina								
Año	1992	1995	1999	2003	2005	2006	2008	2010
Jabonería	208	201	198	180	160	150	130	90
Ácidos grasos	268	286	322	350	410	430	475	515
Biodiesel	6	40	57	150	369	530	1.150	1.600
Alcoholes grasos	78	99	108	110	130	152	250	260
Sintética	78	80	75	80	20	-	-	-
Otros		15	54	50	35	20	15	20
Total	638	730	804	920	1.123	1.282	2.025	2.485

Evolución de la producción mundial de glicerina proveniente de las diversas industrias. Fuente Desmet Ballestra (en miles de toneladas métricas)

En el gráfico de a continuación se muestran los 3 métodos de producción explicados, a ve observa la tendencia al alza de producción de glicerina y biodiesel y el descenso de su precio.



Fuente: Anaerobic fermentation of glycerol: a path to economic viability for the biofuels industry Syed Shams Yazdani and Ramon Gonzalez

La producción de Glicerol como subproducto en la industria del Biodiesel genera un problema debido a la creciente oferta de glicerina a nivel mundial y a

una demanda prácticamente estancada de éste. Esto provoca que las empresas productoras de biodiesel no puedan vender este glicerol debido a la sobreoferta, llegando incluso a pagar por su retirada como si de un residuo se tratara. Por otro lado, este hecho puede considerarse una oportunidad de negocio porque se cuenta con una materia prima que cada año presenta un decaimiento en sus precios a la cual se le puede encontrar nuevos usos y/o utilizarlo como materia prima para nuevos bioprocesos.

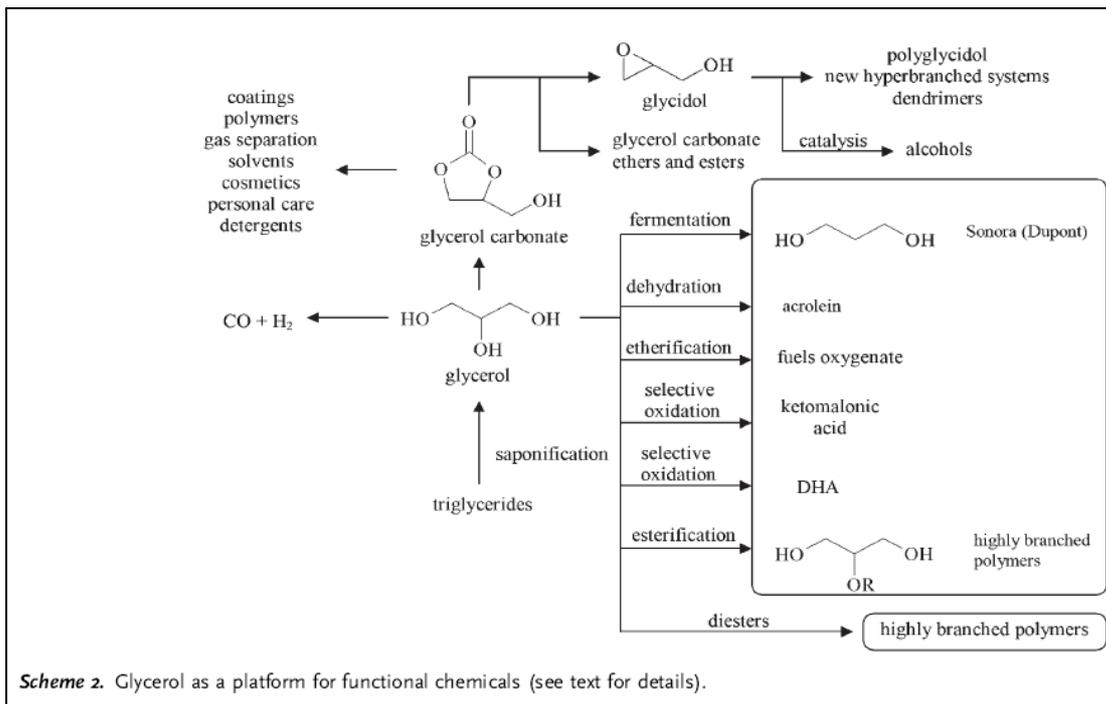
En la producción de biodiesel el glicerol representa el 10% en peso del biodiesel producido con una pureza de entre un 60 % y un 80%, dependiendo del tipo de aceite y proceso de producción usados. El subproducto glicerina puede ser recuperado pues tiene valor como producto químico industrial. Este se puede separar por sedimentación gravitacional o centrifugación. Al contrario del caso de la glicerina proveniente del jabón, la energía necesaria para recuperar la glicerina a partir de biodiesel es baja ya que se requiere de menos evaporación. Además, el proceso es más simple ya que hay poca cantidad de jabón que provoca emulsiones difíciles de separar. De esta forma, el costo de obtención es menor que para la glicerina del jabón y el costo del biodiesel se puede reducir si la producción de biodiesel se acompaña de la producción de glicerina y se consiguen aplicaciones rentables para su uso.

El problema que puede plantearse es que, si la glicerina es muy impura o no tiene mercado puede llegar a convertirse en un desecho que generará costos de manejo y no ingresos. Los precios de la glicerina tienen una tendencia de baja en los últimos años, especialmente en Europa, que se atribuye a una mayor disponibilidad del producto asociada a los volúmenes de biodiesel producidos. El tremendo crecimiento de la industria del biodiesel ha generado una enorme cantidad de glicerol en el mercado lo que ha provocado una dramática reducción de sus precios. Compañías como Dow Chemical y Procter and Gamble Chemicals han cerrado sus planta de producción de Glicerol por síntesis química (McCoy, 2005; McCoy, 2006). A los precios actuales, el glicerol, es muy competitivo con otras fuentes de carbono más tradicionales para producir vía microbiana productos químicos y combustibles.

Como ejemplo del decaimiento del precio de la glicerina, en USA este se redujo de 100 US\$ cts/lb en 1995 a menos de 40 US\$ cts/lb en 2005; en Europa el precio bajó de casi 1,500 €/t a menos de 500 €/t.

El actual precio de la glicerina cruda obtenida en las plantas de biodiesel en Europa esta alrededor de los 50 euros por tonelada. Se espera que el precio descienda más allá de los 40 euros por tonelada en 2015 debido al aumento en el número de proyectos de biodiesel.

Es por ello que el glicerol contara cada vez con más aplicaciones y se explotaran todas las vías posibles para usarlo como materia prima en la producción de otros subproductos de valor añadido. El siguiente esquema muestra todas las posibles vías para producir compuestos químicos a partir del glicerol.



Fuente: From Glycerol to Value-Added Products. Mario Pagliaro, Rosaria Ciriminna, Hiroshi Kimura, Michele Rossi, and Cristina Della Pina

3.4. Usos tradicionales de la glicerina

Cabe mencionar que la glicerina se ha venido empleando hasta ahora en cosmética, en fabricación de explosivos y en algunos productos alimentarios y farmacéuticos. No obstante, estos usos tradicionales son incapaces de absorber la oferta actual de glicerina. Es por eso que la utilización del subproducto rico en glicerol, generado en la producción de biodiesel, puede llevar consigo un beneficio económico, ya que si se descubre nuevas alternativas de uso que sean factibles tanto técnicamente como económicamente este puede ser explotado.

La glicerina es usada principalmente en aplicaciones para el cuidado personal. Se usa como emulsionificante, emoliente y acondicionador. También es usado en la industria farmacéutica y en la alimenticia como humectante, disolvente y endulzante. Es el principal ingrediente en productos técnicos como resinas, poliéteres, polioles y poliuretanos. El glicerol usado en aplicaciones técnicas esta creciendo en comparación con el usado en el cuidado personal, farmacéutico y comida debido a su amplio uso en la producción de epiclorhidrina, 1,3 propanodiol y propilenglicol.

A continuación se explican los principales usos tradicionales del glicerol:

3.4.1.-Industria de los alimentos

El glicerol como alimento es fácilmente digerible y no tóxico, y se metaboliza junto a los carbohidratos, aunque esté presente de alguna forma en todos los aceites vegetales y animales. En productos sazonados y coloreados, el glicerol actúa como un solvente y su viscosidad permite dar cuerpo al producto. En caramelos, retarda la cristalización del azúcar, y también es utilizado como medio de transferencia de calor donde está en contacto directo con el alimento. Además, se utiliza como lubricante en las maquinarias procesadoras y empacadoras de alimentos. Los poligliceroles y los ésteres de gliceroles han incrementado su uso en los alimentos, particularmente en mantecas y margarinas.

3.4.2.-Explosivos

La nitroglicerina es un éster orgánico altamente explosivo que se obtiene mezclando ácido nítrico concentrado con glicerina. Es un líquido pesado, aceitoso, incoloro o ligeramente amarillo, con una densidad de $1,60 \text{ g/cm}^3$ y un olor suave a quemado. Produce dos formas cristalinas: una con un punto de fusión de $2,8^\circ\text{C}$, y otra de $13,5^\circ\text{C}$. La nitroglicerina arde lentamente si se calienta al aire libre, pero explota al calentarla en un recipiente cerrado o si alcanza una temperatura de 218°C . Es muy sensible a los golpes por lo que resulta peligroso de transportar. Al detonar, produce alrededor de diez mil veces su propio volumen de gas. Es ocho veces más potente que la pólvora para masas iguales y trece veces más potente para volúmenes iguales.

3.4.3.-Industria Farmacéutica

En medicina la nitroglicerina se usa como vasodilatador para el tratamiento de la enfermedad isquémica coronaria, el infarto agudo de miocardio y la insuficiencia cardíaca congestiva. El glicerol también es utilizado como excipientes en la mayoría de los jarabes.

3.4.4.-Cosmetología

El glicerol es un hidratante activo o humectante, es decir que retiene la humedad. Se utiliza también en otros preparados para mejorar su conservación, ya que esta molécula permite retener el agua en el interior del envase, impidiendo que el producto se seque. La glicerina se utiliza también para fabricar jabones transparentes que pueden llegar a tener alrededor de un 15 a un 20% de glicerina pura.

3.4.5.- Industria tabaquera

Junto con otros agentes saborizantes es aplicada en un 2% respecto al peso del tabaco para impedir que se desprenda del durante el proceso. Ayuda a

mantener su humedad y de esta manera impide su secado e influye en el olor a quemado del tabaco cuando es consumido. También se usa para producir tabaco para masticar, donde agrega dulzura y previene la deshidratación.

3.4.6.- Lubricantes

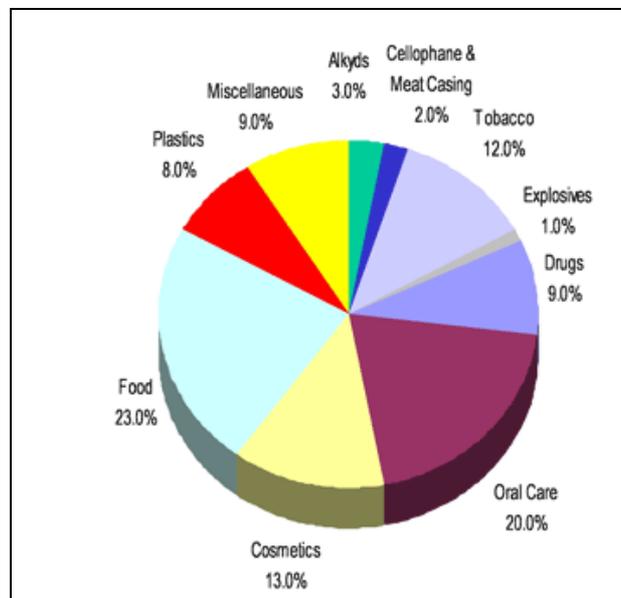
El glicerol puede ser usado como lubricante en lugares donde el aceite no puede cumplir ese papel. Es recomendado su uso en compresores de oxígeno porque es más resistente a la oxidación que los aceites minerales. Se usa como lubricante de bombas y otros equipos.

Para incrementar la capacidad de lubricación se le puede agregar grafito. Además, se puede reducir la viscosidad del glicerol agregándole agua, alcohol, o glicoles y puede ser incrementada por polimerización o mezclándolo con almidones.

3.4.7. - Polímeros

El glicerol es el iniciador para que el óxido de propileno, solo o con óxido de etileno, forme polímeros al reaccionar con diisocianatos produciendo espuma flexible de uretano. Además, los poliéteres con glicerina se utilizan para formar espuma rígida de uretano.

En el siguiente gráfico se muestran las principales aplicaciones en las que se usa el glicerol, y cuanto contribuyen en su mercado total:



www.naturalchem.com

3.5. Bioconversión de la glicerina

El uso de la fermentación anaerobia para convertir el glicerol, que se produce en grandes cantidades en la industria del biodiesel y a muy bajo precio, en productos de alto valor añadido, representa una buena alternativa para alcanzar viabilidad económica en la industria del biodiesel.

La producción de sustancias químicas por vía fermentativa ha estado relacionada con la utilización de azúcares (glucosa, lactosa, xilosa, etc.) como fuente de carbono. Esta tendencia, sin embargo, cambiará a corto plazo debido al aumento en el mercado de grandes cantidades de glicerina generada como subproducto de la producción de biodiesel.

Varios microorganismos son capaces de fermentar el glicerol y generar productos que tienen un amplio rango de aplicaciones: *Klebsiella Pneumoniae*, *Clostridium butyricum*, *Esterichia Coli*, etc. El éxito de estas tecnologías depende en fuerte medida del microorganismo involucrado que ha de ser manejable desde el punto de vista industrial.

La bacteria *E. coli* ha demostrado capacidad para la transformación de diferentes azúcares en un gran número de productos (Stafford and Stephanopoulos, 2001; González, 2005). Muy recientemente se ha demostrado su capacidad de fermentar glicerol y por tanto abre una puerta para constituirse en una novedosa plataforma para la producción de una amplia variedad de productos (Dharmadi et al, 2006).

Dharmadi et al. han demostrado que la capacidad de *E. coli* de fermentar anaeróticamente glicerol es dependiente del pH y de la disponibilidad de CO₂. Este microorganismo, considerado como el “workhorse” de la biotecnología moderna, ha demostrado gran facilidad de soportar modificaciones genéticas y por tanto podría ser utilizado como un buen candidato para la producción anaerobia de productos químicos utilizando el glicerol como materia prima. Además, el uso de *E. coli* como biocatalizador puede reducir los problemas asociados con el uso de otros microorganismos patógenos que no son seguros desde el punto de vista sanitario para aplicaciones industriales (Yazdani and Gonzalesm, 2007).

Estos procesos, en cualquier caso, requieren mejoras para la producción como la microencapsulación de estas especies (Bories et al, 2004; Zhao et al, 2006), pretratamiento del glicerol crudo (Cheng et al, 2006), adicción de aditivos al medio (Lin et al 2005) y estudios de presencia de inhibidores de crecimiento (Chen et al, 2005), sin olvidar las alternativas de la exploración de la ingeniería genética de organismos que de forma natural no fermentan el glicerol introduciendo genes de organismos que de forma natural si lo hacen. Por ejemplo genes de *Clostridium butyricum* se introdujeron en *Clostridium acetobutylicum* mejorando la eficiencia de la producción de 1,3-propanodiol (González-Pajuelo et al, 2005)) y en organismos más factibles desde el punto de vista industrial como *E. coli* (Zhu et al, 2002; Zhang et al, 2006).

Las biotransformaciones están ganando popularidad en el estudio del metabolismo de fármacos y otras sustancias, no solo por su estereoselectividad, regioespecificidad y conversiones en sus derivados sino también por la suavidad de las condiciones de reacción bajo las que se llevan a cabo. Este tipo de transformaciones presenta ventajas económicas frente a los procesos químicos tradicionales, por lo que se presentan como una alternativa viable para todos aquellos procesos productivos de principios bioactivos. Estas biotransformaciones pueden llevarse a cabo utilizando enzimas o microorganismos, ya sean libres, en disolución o inmovilizados, presentando cada una de estas técnicas ventajas e inconvenientes.

Se ha demostrado que los procesos microbianos pueden llevar a cabo reacciones que no son viables por los métodos químicos convencionales. De esta forma, se ha observado un crecimiento espectacular en el uso de las biotransformaciones, tanto en la investigación como en sus aplicaciones en el sector industrial.

De forma general se puede decir que los requerimientos básicos para una biotransformación se resumen en los siguientes:

- El cultivo debe contener las enzimas necesarias para la transformación del precursor al producto.
- El producto debe formarse por una vía metabólica más rápida que su metabolismo degradativo.
- El cultivo debe tolerar la adición de precursores y la formación del producto, o lo que es lo mismo, debe cultivarse en condiciones de ausencia de inhibiciones.
- El sustrato que se utiliza debe ser fácilmente asimilable por las células para la formación del producto deseado, independientemente del medio.

En general, el uso de residuos renovables como sustratos en una elección beneficiosa para el medio ambiente que contribuye a la reducción de los costes de tratamiento de residuos e incrementa el valor económico de los subproductos. Varios compuestos químicos actualmente producidos a partir del petróleo, pueden en principio ser producidos biotecnológicamente a partir del glicerol usando microorganismos. Esta bioconversión beneficiaría directamente al medio ambiente obteniendo polímeros biodegradables, promoviendo el uso del biodiesel y reduciendo la dependencia del petróleo. Se espera que el desarrollo de procesos para convertir glicerol residual en productos de alto valor haga a la producción de biodiesel más beneficiosa y por lo tanto ayude a establecer más biorefinerías.

Esto tendrá también un importante impacto social, ya que beneficiaría a los agricultores de plantas oleaginosas, las cuales actualmente son la base

principal para la producción de biodiesel. Las futuras investigaciones se centrarán en el aislamiento y caracterización de microorganismos que puedan usar glicerol como fuente de carbono y generar moléculas valiosas con propiedades especiales, ampliando de este modo las potenciales aplicaciones de este barato subproducto de la transesterificación.

La glicerina es una fuente versátil de carbono y de energía con muchas posibles aplicaciones en la fermentación industrial. La mayoría de las investigaciones se han centrado en el empleo del glicerol para la producción compuestos como el ácido succínico o el 1,3 propanodiol. Sin embargo, la glicerina también puede ser usada para obtener valiosos subproductos microbianos como proteínas y enzimas, medicinas, antibióticos y compuestos especiales.

3.6. Biotransformaciones de la glicerina: Nuevos usos.

Varios microorganismos son capaces de fermentar el glicerol y producir productos que tienen un amplio rango de aplicaciones. El éxito de estas tecnologías depende en fuerte medida del microorganismo involucrado que ha de ser manejable desde el punto de vista industrial.

El metabolismo fermentativo del glicerol ha sido estudiado con detalles para algunas especies tales como, *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*. (Bouvet, 1995), *Clostridium pasteurianum* (Biebl, 2001), *Klebsiella planticola* (Jarvis and Moore, 1997), *Enterobacter aerogenes* (Ito et al, 2005), *Propionibacteria acidipropionici* y *Propionibacteria freudenreichii* (Bories et al, 2004) y *Anaerobiospirillum succiniproducens* (Lee et al, 2001).

3.6.1.- Producción de proteína unicelular.

Mediante el uso de microorganismos como *Candida utilis* o *Torulopsis utilis* que pueden asimilar el glicerol y desarrollarse en medios muy variados es posible producir una elevada cantidad de biomasa rica en proteínas (Ninow et al, 2006).

3.6.2.- Producción de tensioactivos de origen biológico a partir de glicerol.

Los tensioactivos de origen microbiano poseen propiedades de detergencia, emulsificación, desmulsificación, espumante y humectante. Estos tensioactivos tienen ventajas con respecto a los manufacturados químicamente debido a su baja toxicidad, su degradabilidad natural y altas eficiencias a altas temperaturas, pH y salinidad. Estas propiedades los hacen útiles en varios procesos biotecnológicos, entre los cuales están su aplicación en la biorremediación de ambientes contaminados (Ciapina et al., 1996a).

La producción de tensoactivos de origen biológico es realizada por cepas pertenecientes al grupo de *Pseudomonas*, tales como las cepas *P. aeruginosa*

BIOMI E5, *P.aeruginosa* BIOMI E3 o *Rodococcus erithopolys* que producen biosurfactantes en medio salino con glicerol como fuente de carbono (Ciapina et al., 1996b; Sulbarán et al., 2005).

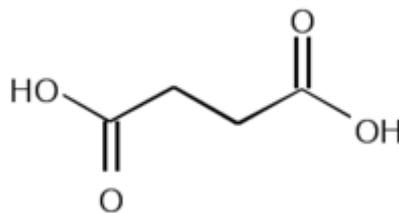
3.6.3.- Producción de etanol e hidrógeno de origen biológico.

El hidrógeno y el etanol pueden ser elaborados a partir del glicerol proveniente de la producción de biodiesel, mediante la utilización de la cepa *Enterobacter aerogenes* HU-101 (Ito et al., 2005) El remanente del glicerol puede ser diluido en un medio sintético para aumentar el rango de utilización de glicerol y la adición de extracto de levadura y triptona al medio sintético, aceleran la producción de hidrógeno y etanol (Nakashimada, 2002; Takeshi et al., 2005).

Recientemente se ha descrito que *E. coli* puede fermentar eficientemente el glicerol cuando el pH del medio de cultivo es ácido, siendo el etanol y el succínico los principales productos de esta fermentación, lo que hace de éste un atractivo modelo para el aprovechamiento del glicerol en la producción de etanol (Dharmadi et al., 2006).

3.6.4.- Producción de ácido succínico

El ácido succínico tiene especial mercado en industrias productoras de comida y productos farmacéuticos, surfactantes y detergentes, disolventes, plásticos biodegradables e ingredientes para estimular el crecimiento de plantas y animales. Debido a su estructura como ácido dicarboxílico lineal saturado, puede ser usado como compuesto intermedio y ser convertido en 1,4-butanodiol, tetrahidrofurfurano, γ -butirolactona, ácido adipico, n-metilpirrolidona y ésteres alifáticos lineales.



Estructura química del ácido succínico

Se espera un aumento de la demanda del ácido succínico ya que su uso está extendido en la síntesis de polímeros biodegradables como el succinato de polibutileno (PBS) y poliamidas. Se ha llevado a cabo también la síntesis de un nuevo polímero biodegradable (poli-1,3-propileno succinato), obtenido a través de la policondesación térmica de ácido succínico con 1,3 propanodiol.

El ácido succínico es normalmente producido bajo condiciones anaeróbicas a través de diferentes rutas metabólicas, como la carboxilación del fosfoenolpiruvato (PEP) y del piruvato, siendo *Anaerobiospirillum succiniciproducens* es uno de los productores de ácido succínico por esta vía.

Se ha demostrado que la producción de ácido succínico a partir de glicerol presenta varias ventajas sobre la glucosa, como una alta conversión a ácido succínico con una escasa formación de ácido acético. Esto es ventajoso porque el ácido acético crea dificultades en los procesos de separación para la recuperación del ácido succínico. Considerando los costes de separación y purificación del caldo de fermentación, la formación de estos subproductos es un problema a resolver a través de la ingeniería genética y la optimización del proceso de fermentación.

3.6.5.- Producción de dihidroxiacetona

La dihidroxiacetona es frecuentemente usada en la industria de los cosméticos y sirve como un bloque de construcción versátil para la síntesis orgánica de una gran variedad de compuestos. Debido a los rigurosos requerimientos de seguridad, la producción de DHA es más bien cara. Así pues, la síntesis de DHA es llevada a cabo de manera más económica usando un proceso microbiológico. Es producida vía oxidación del glicerol usando la bacteria acética *G. oxydans* en un proceso que requiere una buena oxigenación y un medio que contenga extracto de levadura.

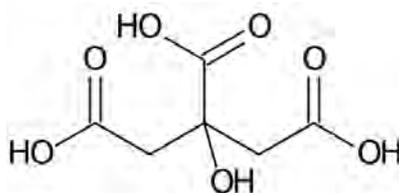
3.6.6.- Producción de ácido propiónico

El ácido propiónico es otra sustancia sintetizada en una ruta metabólica similar a la del ácido succínico. Es usado como agente antihongos en comida y alimentación para animales, y como compuesto básico para producir plásticos basados en celulosa, herbicidas, disolventes, perfumes, y medicinas para la artritis, y termoplásticos. Las numerosas aplicaciones industriales del ácido propiónico hacen que crezca el interés en el desarrollo de un proceso de producción biotecnológico basado en el glicerol renovable.

La producción de ácido propiónico a partir de glicerol ha sido evaluada para tres bacterias: *Propionibacterium acidipropionici*, *Propionibacterium acnes* y *Clostridium propionicum*. Considerando el tiempo de fermentación y la conversión, la mejor de ellas fue *P. acidipropionici*. La fermentación realizada por esta bacteria reveló cinco productos finales, siendo el ácido propiónico el principal de ellos. La formación de ácido acético fue baja comparada con la cantidad observada durante la fermentación de glucosa por *P. acidipropionici*. Ya que la eficiencia de la extracción del ácido propiónico por destilación está fuertemente limitada por el ácido acético, esta baja concentración obtenida usando glicerol como sustrato incrementa la cantidad de ácido propiónico recuperado y la eficacia del proceso. Se concluye que la glicerina es una fuente de carbono prometedora para la producción de ácido propiónico en términos de conversión y productividad.

3.6.7. - Producción de ácido cítrico

El ácido cítrico se produce en grandes cantidades por fermentación, con una producción total estimada en 1.4 millones de toneladas en 2004. Este ácido es ampliamente usado para crear un agradable sabor a fruta en la comida y es usado también como aditivo en detergentes, productos farmacéuticos y cosméticos. En general el ácido cítrico es producido por fermentación de molasas usando *Aspergillus niger*. En los últimos años, ha surgido un considerable interés al descubrir fuentes de carbono menos caras para la producción de ácido cítrico. Se ha descubierto que *Yarrowia lipolytica* crece en glicerol, concluyendo que la glicerina cruda puede ser un sustrato adecuado para la producción de ácido cítrico.



Estructura química del ácido cítrico

3.6.8.- Producción de 1,3-propanodiol y 2,3-butanodiol

La producción biotecnológica del 1,3-PDO a partir de glicerol ha sido demostrada para varias bacterias como *Lactobacillus brevis*, *L. buchnerii*, *Bacillus welchii*, *C. freundii*, *K. pneumoniae*, *C. pasteurianum*, *C. butyricum* y *E. agglomerans*.

La fermentación del glicerol por enterobacteriaceae resulta en la acumulación de dos productos principales, 1,3-PDO y acetato, mientras que los productos secundarios, lactato, formiato, succinato y etanol se producen en cantidades variables dependiendo de las condiciones de cultivo.

Con *C. butyricum*, el 1,3- PDO es el producto principal, con el ácido butírico y acético como subproductos, además de CO₂ y H₂. La bacteria *C. pasteurianum* crece en glicerol produciendo varios productos finales como n-butanol, 1,3-propanodiol, etanol, ácido acético, ácido butírico y ácido láctico.

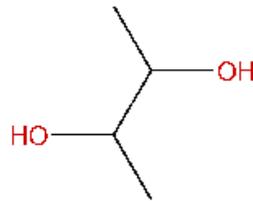
Usando *K. pneumoniae* para fermentar glicerol crudo, se obtiene concentraciones de 51.3–53 g/L de 1,3-PDO con una productividad de 1.7 g/L/h. El uso de glicerol crudo simplifica el proceso y reduce los costes de operación. En el primer informe de producción en planta piloto usando *K. pneumoniae M5a1*, se obtuvieron 58.8 g 1,3-PDO/L, un rendimiento de 0.53 mol/mol de glicerol y una productividad de 0.92 g/L/h.

La Ingeniería Genética puede ser usada para manipular las rutas metabólicas, de manera que la formación de subproductos se reduzca al mínimo o sea incluso eliminada. Igualmente puede eliminar rutas que compiten con el producto deseado o aumentar la producción de los metabolitos deseados.

Las células naturales de *E. coli* no fermentan glicerol a 1,3-PDO. Sin embargo se ha creado cepas de *E. coli* capaces de fermentar glicerol por medio de la

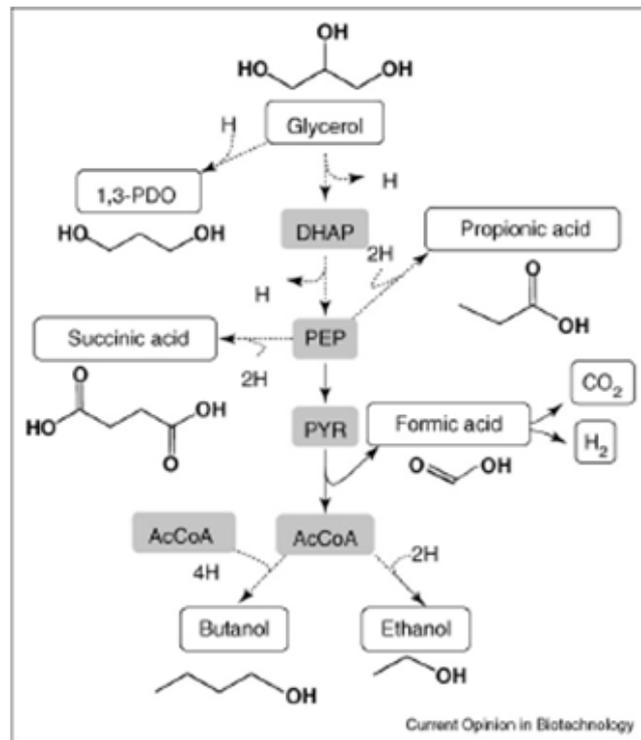
manipulación genética con genes de *K. pneumoniae* o *C. freundii*. Sin embargo la conversión de glicerol resulta baja, a causa principalmente de subproductos tóxicos.

El 2,3-Butanodiol es otro glicol que puede ser producido a partir del glicerol. Es un compuesto que puede añadirse como saborizante en comida. También puede ser convertido 1,3-butadieno, el cual se usa en la producción de goma sintética. Muchos derivados del 1,3 butanodiol tienen valor comercial, como agentes refrigerantes, disolventes y plásticos, aditivos para combustibles líquidos y poliuretanos para medicinas, productos cosméticos y lociones.



Estructura química del 2,3-butanodiol

El en grafico siguiente se pueden observar varios de los productos que se pueden obtener a partir del glicerol por medio de fermentación anaerobia.



Abbreviations: AcCoA, acetyl-coenzyme A; DHAP, dihydroxyacetone phosphate; PEP, phosphoenolpyruvate; PYR, pyruvate; 1,3-PDO, 1,3-propanediol.

Anaerobic fermentation of glycerol: a path to economic viability for the biofuels industry Syed Shams Yazdani and Ramon Gonzalez

4. FUNDAMENTOS DEL PROCESO

4.1.- LA MATERIA PRIMA: GLICERINA CRUDA

4.1.1.- Análisis general de la glicerina cruda

La producción de biodiesel en el mundo ha experimentado una curva exponencial de crecimiento durante los últimos años. El principal subproducto de esta producción es la glicerina cruda. Esta se genera aproximadamente en un 10% en peso, por lo que por cada tonelada de biodiesel se obtiene alrededor de 100 Kg. de glicerina. Este glicerol crudo tiene muy poco valor comercial a causa de sus impurezas. Como la producción de biodiesel sigue y seguirá creciendo, la cantidad de glicerina cruda generada puede llegar a ser muy considerable, convirtiendo su utilización y aprovechamiento en un tema urgente.

La composición de la glicerina cruda depende de la materia prima inicial y del proceso de producción del biodiesel. Antes de que pueda ser considerado como un subproducto de algún valor añadido, el glicerol crudo necesita ser caracterizado en cuanto a sus propiedades físicas, químicas y nutricionales, si como en este proyecto, pretende dársele un uso biológico o microbiológico. La mayoría de los procesos industriales utilizan una relación molar entre el alcohol y el aceite de 6 a 1, lo cual supone un exceso del 100% de alcohol, para que la reacción se complete en su totalidad. La mayoría del exceso de alcohol (mas del 60%) acaba en la capa de glicerol tras la reacción.

Los productores de biodiesel a gran escala refinan su glicerol crudo y lo trasladan al mercado alimenticio, farmacéutico y a la industria de los cosméticos. Por lo general se trata y refina por medio de filtraciones, adiciones químicas y destilaciones al vacío, para alcanzar diversos grados comerciales como grado de dinamita, destilado amarillo y químicamente puro, así como otros grados establecidos por la United States Pharmacopeia (USP). Como cada vez mas y mas glicerol es generado, se están estudiando vías económicas alternativas para su uso, y disminuir así el coste de producción del biodiesel.

En las tablas siguientes muestran los datos obtenidos al caracterizar el glicerol crudo obtenido al producir biodiesel a partir de aceites de mostaza, colza, canola, crambe, soja y aceites usados de cocina.

Los análisis se llevaron a cabo a partir del glicerol crudo recogido después de la separación del biodiesel sin ningún tratamiento posterior. Las medidas incluyen ácidos grasos, calor de combustión, elementos, contenido en carbono y nitrógeno y análisis de nutrientes.

El análisis de ácidos grasos en los aceites vegetales mostró que la mayoría de ellos están compuestos principalmente por tres o cuatros ácidos grasos. Los aceites de canola, soja y de cocina tienen mayor contenido de moléculas

cortas, mientras que en los de mostaza, colza y crambe dominan los mas largos y pesados. En la tabla siguiente se muestran los resultados de los análisis de elementos.

Feedstocks	IdaGold Mustard	PacGold Mustard	Rapeseed	Canola	Soybean	Crambe	WVO
Measurements on oils							
Calcium, ppm	2.7 +/- 0.2	4.9 +/-0.5	15.7+/- 0.6	7.6+/-0.9	3.1 +/- 0.2	47.7 +/- 0.6	BDL
Potassium, ppm	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Manesium, ppm	0.8+/- 0.0	1.3 +/- 0.1	2.1 +/- 0.1	1.6 +/- 0.0	1.2 +/- 0.1	28.3+/- 2.1	BDL
Phosphorus, ppm	BDL	8.0 +/- 0.9	13.0 +/- 0.9	10.0 +/- 0.8	10.0 +/- 0.9	256.7 +/- 5.8	BDL
Sulfur, ppm	26.0 +/- 2.2	23.0 +/- 1.5	24.0 +/- 1.1	22.0 +/- 1.8	22.0 +/- 0.6	44.0 +/- 1.2	28.0 +/- 2.7
Sodium, %wt	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Carbon,%wt	77.3 +/- 0.58	77.0 +/- 0.00	77.3 +/- 0.58	77.0 +/- 0.00	77.0 +/- 0.00	77.7 +/- 0.58	76.3 +/- 0.58
Nitrogen, %wt	0.22 +/- 0.03	0.21 +/- 0.02	0.17 +/- 0.12	0.22 +/- 0.01	0.22 +/- 0.06	0.22 +/- 0.01	0.25 +/- 0.03
Measurements on Crude Glycerol							
Calcium, ppm	11.7 +/- 2.9	23.0 +/- 1.0	24.0 +/- 1.7	19.7 +/- 1.5	11.0 +/- 0.0	163.3 +/- 11.6	BDL
Potassium, ppm	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	216.7 +/- 15.3	BDL
Magnesium, ppm	3.9 +/- 1.0	6.6 +/- 0.4	4.0 +/- 0.3	5.4 +/- 0.4	6.8 +/- 0.2	126.7 +/- 5.8	0.4 +/- 0.0
Phosphorus, ppm	25.3 +/- 1.2	48.0 +/- 2.0	65.0 +/- 2.0	58.7 +/- 6.8	53.0 +/- 4.6	136.7 +/- 57.7	12.0 +/- 1.5
Sulfur, ppm	21.0 +/- 2.9	16.0 +/- 1.4	21.0 +/- 1.0	14.0 +/- 1.5	BDL	128.0 +/- 7.6	19.0 +/- 1.8
Sodium, %wt	1.17 +/- 0.15	1.23 +/- 0.12	1.06 +/- 0.07	1.07 +/- 0.12	1.20 +/- 0.10	1.10 +/- 0.10	1.40 +/- 0.16
Carbon, %wt	24.0 +/- 0.00	24.3 +/- 0.58	25.3 +/- 0.58	26.3 +/- 0.58	26.0 +/- 1.00	24.0 +/- 0.00	37.7 +/- 0.58
Nitrogen, %wt	0.04 +/- 0.02	0.04 +/- 0.01	0.05 +/- 0.01	0.05 +/- 0.01	0.04 +/- 0.03	0.06 +/- 0.02	0.12 +/- 0.01

Los niveles de carbono y nitrógeno en las muestras de aceite y glicerol son muy homogéneos, representando el carbono sobre el 77% en los aceites y el 25% en la glicerina, y el nitrógeno sobre 0.22 y 0.55 respectivamente. La única excepción en estos datos es el contenido en carbono de los aceites de cocina usados, un 50% mas alto que la media. Esto se debe principalmente a la presencia de jabones y triglicéridos y ésteres disueltos sin reaccionar. El sodio, proviene del catalizador del proceso.

Es interesante puntualizar los altos niveles de calcio y fósforo en la glicerina proveniente del aceite de crambe en comparación con los otros. Esto puede deberse muy probablemente a las condiciones de la tierra donde fueron cultivadas las semillas. Adicionalmente, los elementos en todas las muestras, con la excepción del azufre en los aceites de cocina usados, se encontraban concentrados en la fase glicerina.

Hay estudios que afirman que la glicerina cruda puede ser usada como complemento alimenticio animal. El análisis nutricional de los aceites y el glicerol crudo se muestra en la siguiente.

Food nutrient analysis for oil and crude glycerol samples.

Feed stocks	Ida Gold Mustard	PacGold Mustard	Rapeseed	Canola	Soybean	Crambe	WVO
Oils							
Fat, %	98.2	99.8	98.9	97.3	97.0	98.7	99.9
Carbohydrates, %	1.36	BDL	1.05	2.36	2.91	1.18	BDL
Protein, %	0.08	0.07	0.06	0.09	0.09	0.10	0.10
Calories, kJ/kg	37.2	37.6	37.4	37.1	37.0	37.4	37.7
Ash, %	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Crude Glycerol							
Fat, %	2.03	1.11	9.74	13.1	7.98	131	7.98
Carbohydrates, %	82.8	83.8	75.5	75.2	76.2	78.6	26.9
Protein, %	0.14	0.18	0.07	0.06	0.05	0.44	0.23
Calories, kJ/kg	14.6	14.5	16.3	17.5	15.8	16.3	27.2
Ash, %	2.80	1.90	0.70	0.65	2.73	0.25	5.50

Note: BDL indicates values that are below the detection limit for the corresponding analytical method.

La eficacia del uso de la glicerina cruda como suplemento alimenticio en la comida de animales no está claro. Numerosas investigaciones se están llevando a cabo en distintas universidades. Los aceites y triglicéridos son básicamente grasas con una pequeña cantidad de proteínas e hidratos de carbono. Las discrepancias que existen están relacionadas con las cantidades de impurezas en los diferentes aceites. Los datos nutricionales de los aceites de primer uso muestran que son mayoritariamente hidratos de carbono y razonablemente, pueden ser mezclados con alimentos de alto contenido proteico y usados como suplemento alimenticio animal. El glicerol de aceites de cocina usados por otro lado, tiene mucho mayor contenido en grasas, lo que lo hace más útil. Las cenizas presentes en el glicerol crudo son principalmente sodio del catalizador.

Cuando es refinado hasta sustancia pura, el glicerol puede ser un subproducto valioso de la producción de biodiesel, con cientos de usos. Sin embargo, purificar hasta ese nivel, es costoso y generalmente queda fuera del alcance para plantas de tamaño pequeño. Además, el exceso de glicerina en el mercado como consecuencia del auge del biodiesel hace que el valor de esta disminuya cada vez más, haciendo esta alternativa cada vez menos interesante.

Deben ser explorados nuevos usos para la glicerina cruda para hacer al biodiesel más competitivo en el mercado. En cualquier caso, adecuado o no, el alto contenido en carbono y el hecho de que se considere como posible alimento para organismos complejos, suponen evidencias de que el glicerol

crudo puede ser usado como sustrato carbonado y fuente de energía para organismos simples que no requieren una alimentación tan compleja.

4.1.2.- Análisis particular de la glicerina cruda del proceso

En la planta proyectada, como se ha mencionado con anterioridad, la materia prima será el glicerol crudo proveniente de la planta de producción de biodiesel ya existente.

En la planta de biodiesel de GreenFuel, situada en Yorkshire (Reino Unido) obtenido concretamente de la multinacional de productos alimenticios McDonald's. Tiene por tanto de forma general todas las características analizadas en el apartado anterior de los aceites de cocina usados, y nos sirve como muestra para el presente proyecto, al ser también la materia prima el aceite de cocina usado.

Los datos aproximados de composición, en porcentaje en peso, del glicerol crudo que se obtiene en la planta de GreenFuel son:

- 60 % glicerol
- 10 % agua
- 15 % metanol
- 10 % materiales grasos (jabones)
- 5 % sales (Na₂SO₄/K₂SO₄)

Dado que el principal componente es el glicerol, las propiedades físicas y químicas de la glicerina cruda estarán próximas a las del glicerol puro, las cuales se especifican a continuación.

Chemical formula	C ₃ H ₅ (OH) ₃
Molecular mass	92.09382 g mol ⁻¹
Density	1.261 g cm ⁻³
Viscosity	1.5 Pa.s
Melting point	18.2 °C
Boiling point	290 °C
Food energy	4.32 kcal g ⁻¹
Flash Point	160 °C (closed cup)
Surface tension	64.00 mN m ⁻¹
Temperature coefficient	-0.0598 mN (mK) ⁻¹

CRC Handbook of Chemistry and Physics, 87th Edition. Boca Raton (FL): 2006.

Sin embargo a lo largo del proyecto, deberán realizarse ciertos cálculos que requerirán los valores exactos de algunas propiedades de la glicerina cruda, como la densidad y viscosidad.

4.2.- EL PRODUCTO FINAL: 1,3-PROPANODIOL.

4.2.1.- Introducción

El diglicol 1,3-propanodiol es el principal producto obtenido a través de la fermentación de la glicerina. Es un isómero del 1,2-propanodiol o del propilenglicol. El 1,3-propanodiol (PDO) fue observado por primera vez como producto de la fermentación del glicerol en 1881. Es uno de los productos de fermentación más antiguos que se conocen, pero durante un siglo se le ha prestado muy poca atención a él y a su ruta metabólica. Presenta varias aplicaciones interesantes: monómero para policondensaciones para producir plásticos con propiedades especiales, como los poliésteres, poliéteres y poliuretanos, monómero para compuestos cíclicos, como lubricantes del tipo poliglicol y puede servir también como disolvente.

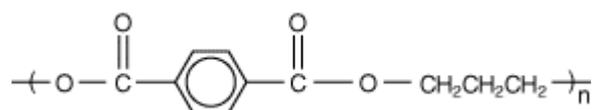
Table 1. Formula and some properties of PDO.

Structure	Formula: C ₃ H ₈ O ₂ Synonyms: trimethylene glycol, propylene glycol, 1,3-dihydroxypropane Molecular weight: 76.09 g/mol Melting point: -28 °C Boiling point: 210-212 °C Water solubility: fully miscible Density: 1.0597 g/L (25 °C)
-----------	--



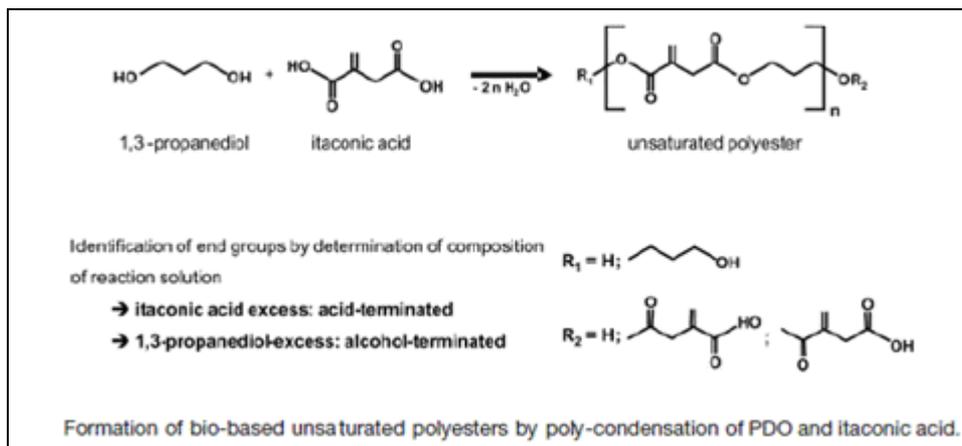
4.2.2.- Usos más importantes

1,3-PDO es un emergente producto químico, cuya producción biotecnológica ha creado recientemente mucho interés. El desarrollo de un nuevo poliéster, polipropileno tereftalato (PPT) a partir del 1,3 PDO requiere un incremento drástico en la producción de este compuesto. El PPT es un poliéster biodegradable que tiene un gran potencial para la producción de textiles, y que esta relacionado con el polietileno tereftalato (PET) y el polibutileno tereftalato (PBT), teniendo todos ellos propiedades únicas en los campos de la producción de textiles, fibras y termoplásticos.



Estructura química del PPT

El PPT fue desarrollado y patentado en 1941, pero su aplicación a partir del 1,3 PDO como precursor resultaba demasiado cara. Por ello, muchas compañías intentaron desarrollar nuevas tecnologías más eficientes para la producción del 1,3 PDO. Las compañías químicas Shell y DuPont tienen patentes relacionadas con nuevos polímeros de PPT obtenido a partir del 1,3 PDO. Una vez conseguida la materia prima básica, se realiza la producción del PTT mediante una reacción de policondensación entre el PTA (purified terephthalic acid) y el 1,3-PDO. Shell ha desarrollado el polímero Corterra® y DuPont Sorona® y Hytrel®, por esta vía.



Biotransformation of glycerol into 1,3-propanediol. Thomas Willke and Klaus Vorlop

Este compuesto tiene buena elasticidad y propiedades de uso en comparación con sus análogos de 2 y 4 carbonos, el polietileno tereftalato y el polibutileno tereftalato. Tiene el potencial de combinar la resistencia a las manchas inherente de los poliésteres y la resistencia del Nylon. Estas propiedades atrajeron a Shell a desarrollar un catalizador para producir 1,3-propanodiol a partir de gas de síntesis con óxido de etileno con mayores rendimientos.

Además de para producir PTT el 1,3-PDO puede ser usado también en formulaciones de refrigerantes para máquinas. Presenta una mayor estabilidad ante el calor, menos corrosión, especialmente en soldadura de plomo, y una menor toxicidad que los refrigerantes de etilenglicol. El PDO se puede usar también en tintas acuosas.

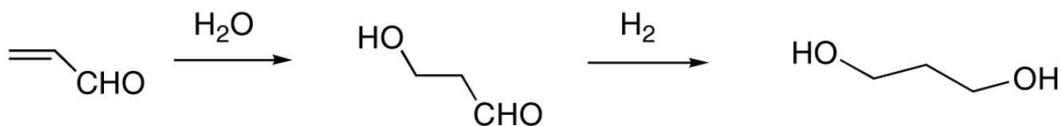
Como la demanda de este glicol a partir de fuentes biorenovables está aumentando, las compañías están examinando cómo conseguir una materia prima de bajo coste. En la actualidad, la materia prima de bajo coste en comparación con la glucosa es la glicerina proveniente de las plantas de biodiesel. Varias compañías están investigando en la producción de PDO a partir de glicerina. El glicerol ya ha sido utilizado por muchos fabricantes para la producción de propilenglicol. Sin embargo, muy poca cantidad del exceso de glicerol que proporciona la industria del biodiesel es usado para ello.

4.2.3.- Métodos de producción

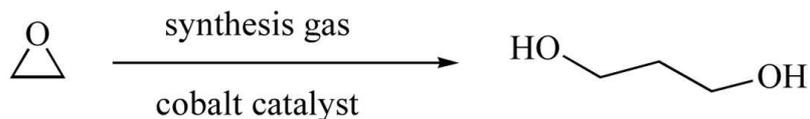
4.2.3.1.- Vía Química

La mayoría del 1,3-PDO se produce actualmente a través de la síntesis química. Por esta vía, existen dos rutas diferentes:

- Hidratación de acroleína: proceso utilizado por Degussa hasta Noviembre de 2006.



- Hidroformilación del óxido de etileno: proceso utilizado actualmente por Shell, donde el 1,3-PDO es obtenido de forma continua haciendo reaccionar el óxido de etileno con monóxido de carbono y oxígeno en presencia de un catalizador líquido.



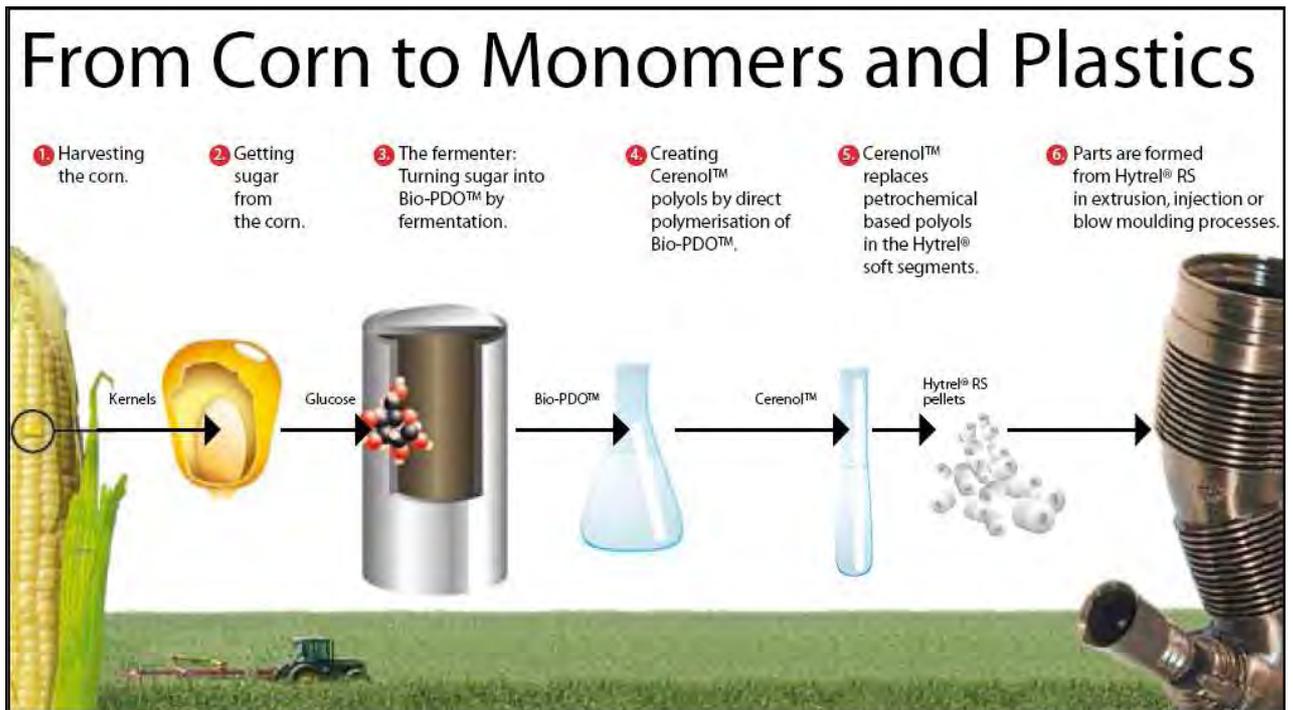
4.2.3.2.- Vía microbiológica con materias primas renovables

En DuPont, es producido con recursos renovables, gracias a la fermentación de glucosa proveniente del maíz, por medio de microorganismos recombinados.

Al principio, la comparación entre el uso de glucosa o glicerol como sustrato para generar 1,3-PDO favorecía la ruta de la glucosa, principalmente porque esta era más barata. Sin embargo, con la abundante sobreoferta de glicerina, la ruta de la glucosa es más cara ahora, pudiendo esta ser usada para otras aplicaciones como la fermentación alcohólica. Además, la glucosa compete directamente en el mercado de la comida y la alimentación animal, lo que no ocurre en el caso de la glicerina.

La síntesis química requiere altas temperaturas y presiones, precisa de catalizadores, produce compuestos tóxicos y generan rendimientos inferiores al 43%. Así pues, esta ruta resulta cara, por lo que el 1,3-PDO tiene aun un bajo volumen de mercado. Por ello, a causa de sus beneficios medioambientales y el uso de materias primas renovables, la síntesis microbiológica del 1,3-PDO supone una atractiva alternativa a la síntesis química.

Entre 2000 y 2008 DuPont sustituyó la acroleína por los azúcares como materia prima para la producción de 1,3-PDO. Se espera que la capacidad de producción de DuPont aumente dependiendo de la demanda de 1,3-PDO por parte de otras industrias. Metabolic Explorer es el competidor que se está introduciendo en este mercado. El 1,3-propanodiol es desde Junio de 2008 viable a partir de glicerol. Se espera la comercialización de esta conversión en el año 2010 por parte de Metabolic Explorer. Se espera que la planta piloto produzca 2500 toneladas en 2009.



Producción de 1,3 por fermentación para producirle polímero Hytrel® mediante el uso de recursos renovables realizada por DuPont

4.3.- KNOW-HOW DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

4.3.1.- Pretratamiento de la glicerina cruda

Aunque la utilización del glicerol crudo directamente en la fermentación sin tratamiento previo ofrece importantes ventajas frente al uso de glicerol puro a causa de su menor coste y su abundante disponibilidad, la mayoría de los estudios de esta fermentación de han realizado con glicerina pura. Solo unos cuantos han investigado recientemente el potencial del glicerol crudo proveniente de la producción de biodiesel para la síntesis de PDO, obteniendo en general mas o menos buenos resultados, dependido del microorganismo utilizado, el proceso de producción y la composición del glicerol crudo fermentado.

Existe un proyecto de investigación en el cual se analiza la diferencia en los resultados de la fermentación al llevarla a cabo con glicerol crudo y glicerol purificado en diferentes grados. La purificación progresiva del glicerol crudo se conseguía añadiendo ácido fosfórico al medio, en distintas etapas reduciendo el pH hasta un valor de 4. En cada adicción de ácido y reducción de pH se consigue la precipitación de jabones presentes.

SOB-RG grades	pH ^a % (w/w)	Soap ^a % (w/w)	Glycerol ^b % (w/w)	Methanol ^b
A ^d	4.0	n.d. ^c	90	<1.0
B ^d	5.0	1.0	88	1
C ^d	6.0	3.8	85	1.5
D ^d	7.0	9.3	75	1.0

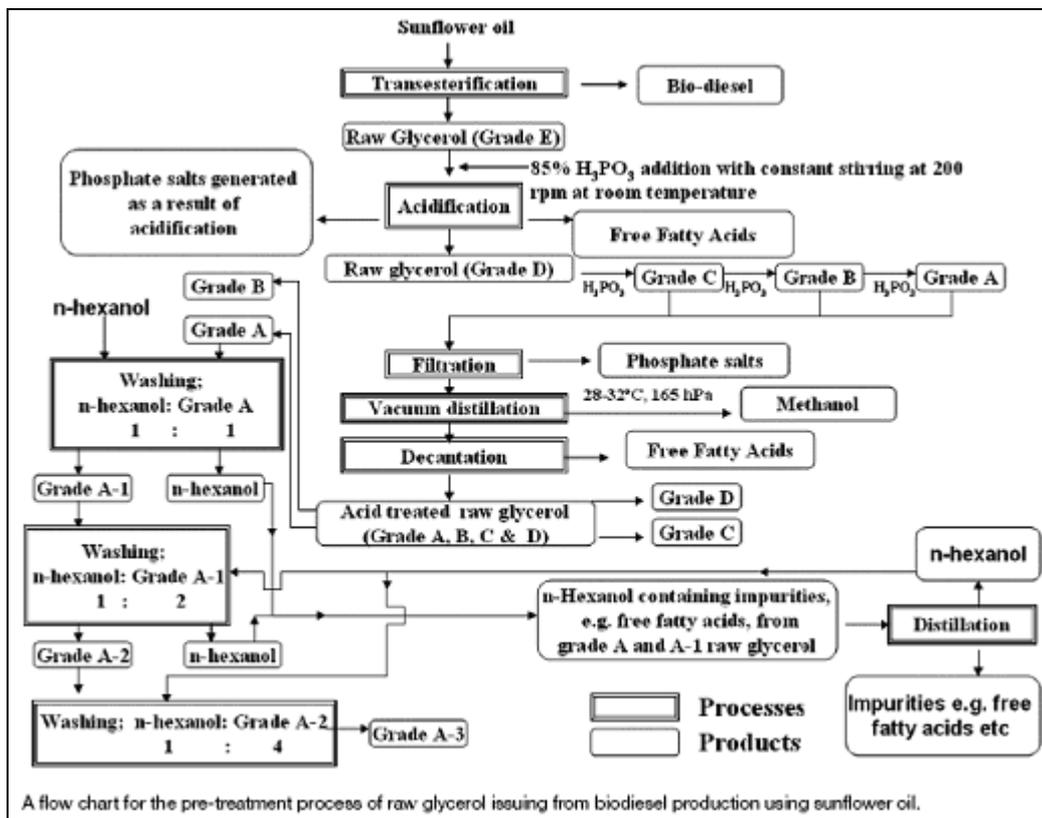
^a Before methanol distillation. ^c Not detected.
^b After methanol distillation. ^d Raw glycerol after acid treatment.

Posteriormente con algunos de los grados purificados se realizaba una filtración, necesaria para retirar la sales de fosfato generadas al añadir el ácido fosfórico. A continuación de procedía con una destilación para retirar el metanol, y finalmente un lavado con n-hexanol para eliminar las ultimas impurezas.

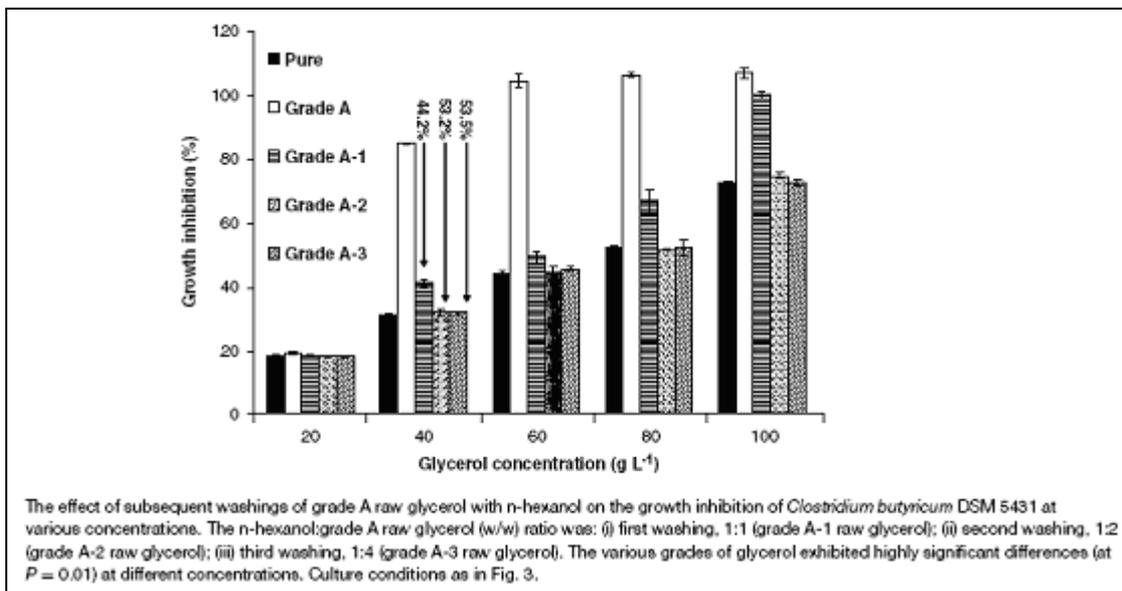
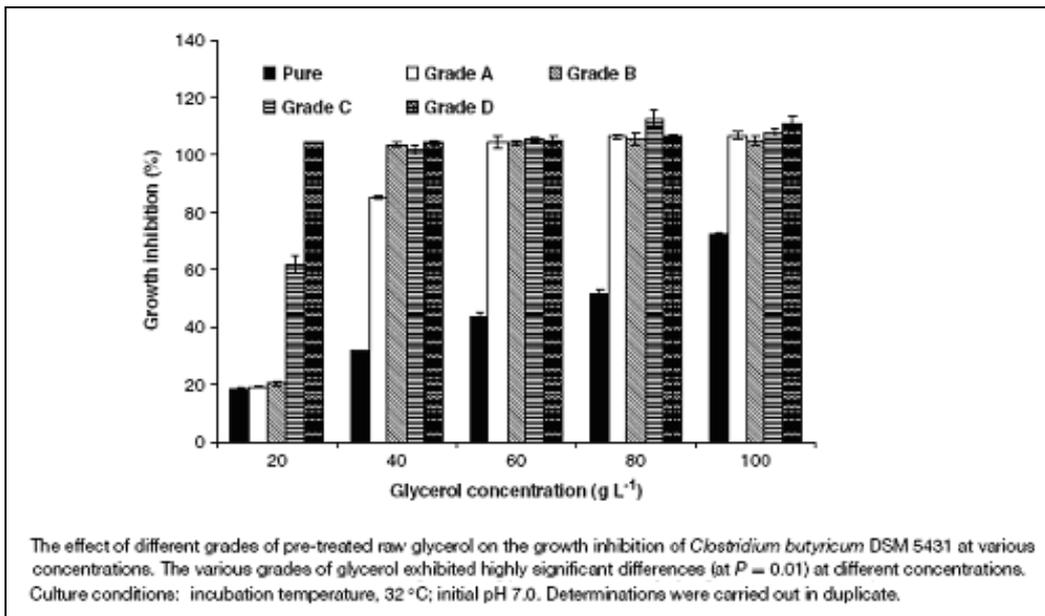
Characterization of various further grades of grade A sunflower oil biodiesel raw glycerol (SOB-RG) after n-hexanol washings

Glycerol grades	n-Hexanol/ raw glycerol ratio	Soap % (w/w)	Glycerol % (w/w)	Methanol % (w/w)
A-1	1:1	n.d. ^a	94	n.d. ^a
A-2	1:2	n.d. ^a	96	n.d. ^a
A-3	1:4	n.d. ^a	95.6	n.d. ^a

^aNot detected.



Los resultados demostraron que a mayor grado de purificación del glicerol menor efecto inhibitor se producía en el microorganismo y por tanto más efectiva era la bioconversión. Igualmente evidenciaban que a mayor concentración de glicerol en el medio, también mayor efecto inhibitor, por lo que en todo proceso de este tipo, debe fijarse una concentración máxima de sustrato que permita trabajar al microorganismo en buenas condiciones, para conseguir una correcta generación de producto. En las tablas siguientes se muestran estos efectos inhibitorios del grado de impurezas y de la concentración de glicerol.



Es por estas evidencias que en la planta se dispondrán de varias etapas de pretratamiento para eliminar aquellos productos responsables de la inhibición de la bioconversión, que como se ha visto anteriormente son básicamente los jabones y el etanol. Sin embargo, el grado de purificación que se alcanzara en este caso no será tan alto como el descrito en la investigación anterior, pues en nuestro proceso se dan unas diferencias claves, que hacen que no sea necesario purificar hasta tal extremo. Están son las siguientes:

- El glicerol crudo tratado en la investigación tiene una composición aproximada en porcentaje en peso de: glicerol 30%; metanol 50%; jabones 13%; agua 2%; sales (principalmente de sodio y potasio) sobre

2–3%; otras impurezas como materia orgánica, sobre 2–3%. En nuestro proceso el glicerol crudo es totalmente distinto, tiene mucho mayor contenido en glicerina, no habiendo tanta cantidad de impurezas: 60 % glicerol, 10 % agua, 15 % metanol, 10 % materiales grasos (jabones) y 5 % sales (Na_2SO_4).

- Utilizamos un microorganismo diferente; *Klebsiella Pneumoniae*. Este, como se verá en el apartado siguiente en la descripción del microorganismo, es más robusto y resistente que *Clostridium Buturicum*, por lo que no es necesario purificar al máximo el glicerol crudo.

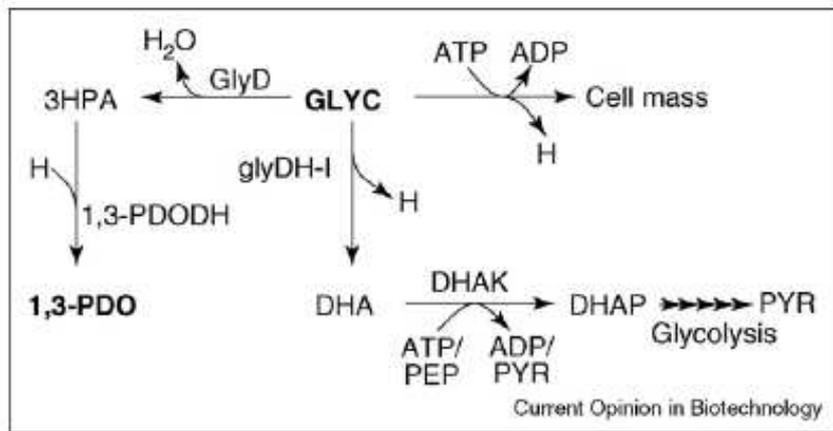
Resumiendo, la planta constará de unas etapas de pretratamiento que retirará básicamente los jabones y etanol, pero de forma grosera sin buscar un alto grado de purificación del glicerol, ya que como se ha indicado en los estudios que han fermentado glicerol crudo, este posee buenas características y componentes para no requerir tanta purificación. De esta manera no se incurrirá en costes excesivos de pretratamiento, y se aprovecharán las cualidades del glicerol crudo, haciendo la planta económicamente viable desde el principio.

4.3.2. Bioconversión

4.3.2.1- Ruta metabólica

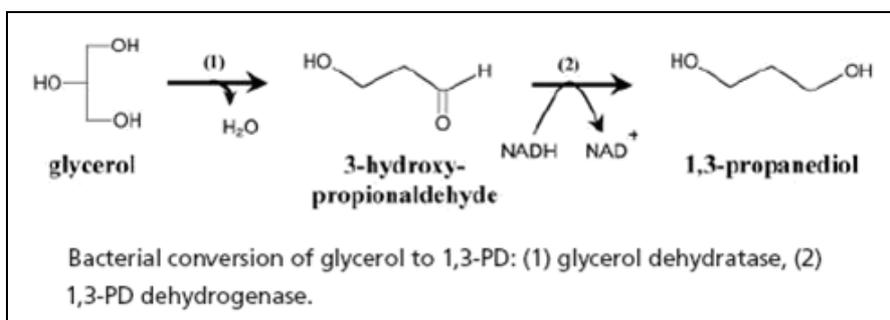
La fermentación de glicerol a 1,3-propanodiol realizada por bacterias se conoce desde hace casi 120 años, pero ha sido recientemente, desde 1990, cuando su importancia biotecnológica ha sido reconocida, y se han iniciado investigaciones directas en este tema. Hay mucho interés económico en esta reacción ya que como se ha explicado antes existe un exceso de glicerol en el mercado a consecuencia del auge de la industria del biodiesel. Además se ha demostrado que la glicerina cruda procedente de las plantas de biodiesel, puede ser un excelente sustrato para la producción de 1,3-propanodiol.

Las rutas metabólicas de la producción de PDO son ampliamente conocidas, aunque no entendidas por completo. A menudo los rendimientos teóricos no coinciden con los datos experimentales. Una parte del glicerol es oxidado vía dihidroxiacetona (DHA) a piruvato (glicólisis) y la otra es reducida vía 3-hidroxi-propionaldehído (3HPA) a PDO. Una pequeña cantidad de hasta 5% del glicerol es usado para la generación de biomasa si no hay otras fuentes de carbono presente.



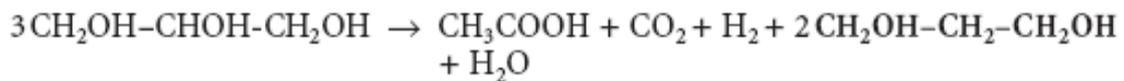
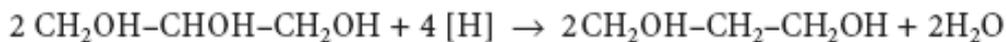
Current model for the 1,3-PDO-dependent fermentative metabolism of glycerol in species of the *Enterobacteriaceae* family, such as for the genera *Klebsiella* and *Citrobacter*. Abbreviations: DHA, dihydroxyacetone; DHAK, DHA kinase; DHAP, DHA phosphate; GLYC, glycerol; GlyD, glycerol dehydratase; glyDH-I, glycerol dehydrogenase type I; PEP, phosphoenolpyruvate; PYR, pyruvate; 1,3-PDO, 1,3-propanediol; 1,3-PDOH, 1,3-PDO dehydrogenase; 3HPA, 3-hydroxypropionaldehyde.

La ruta metabólica de la fermentación de glicerol a 1,3-propanodiol puede dividirse en dos pasos, como se muestra en la figura siguiente. En el primer paso, la reducción, el glicerol es deshidratado a 3-hidroxi-propionaldehído, que luego en el segundo paso es reducido a 1,3-propanodiol con el consumo de moléculas de poder reductor (NADH₂). Estas últimas son generadas en el metabolismo oxidativo del glicerol, que hace uso de la mayoría de las reacciones de glicólisis resultando en la formación de subproductos. Esta fermentación la llevan cabo los grupos de bacterias *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Ilyobacter*, *Klebsiella*, *Lactobacillus*, *Pelobacter*, y *Clostridium*.



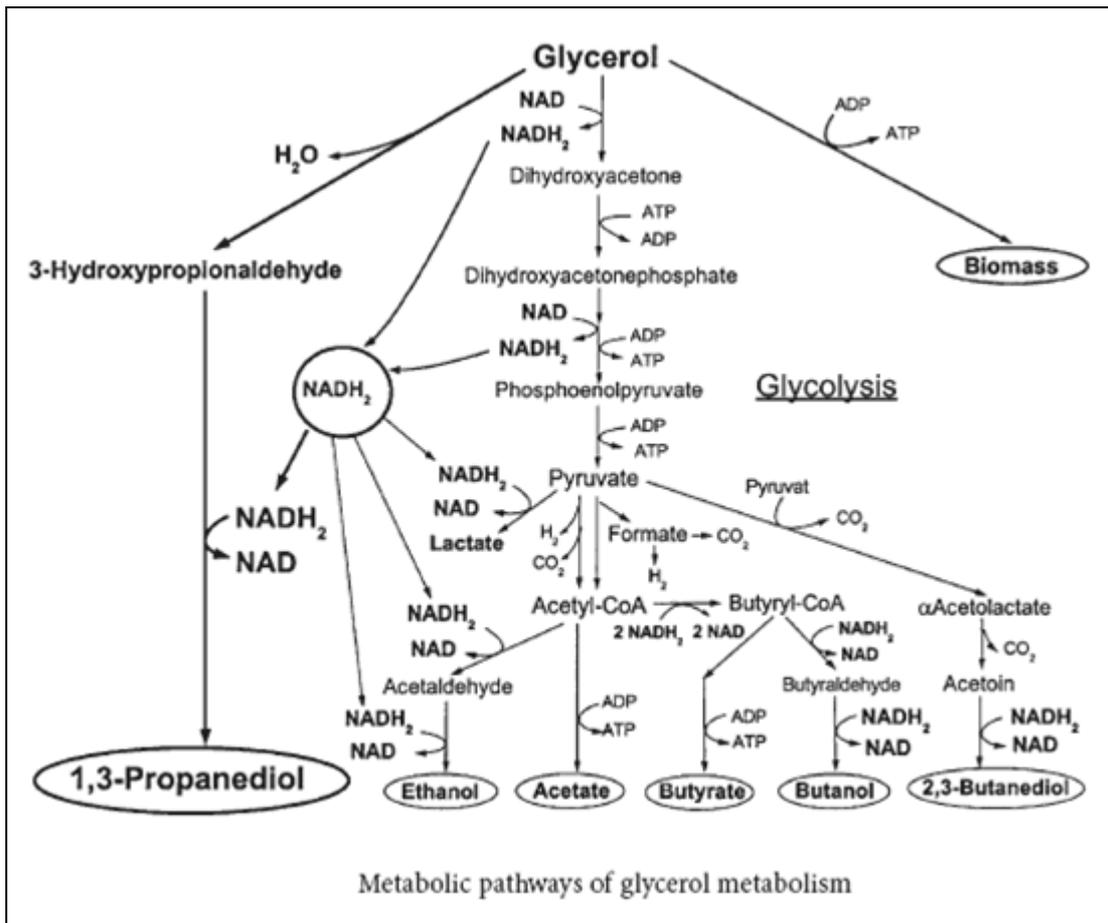


El rendimiento de la conversión a 1,3-PDO depende de la combinación y estequiométrica de los pasos reductivo y oxidativo. Se ha demostrado que la combinación de la generación de 1,3-PDO con ácido acético como único subproducto en la etapa oxidativa resulta en el máximo rendimiento de 1,3-PDO. Según esta combinación, la ecuación estequiométrica de la fermentación se puede escribir de la siguiente manera:



El rendimiento para esta conversión es de un 67% (moles de 1,3-PDO convertidos/moles de glicerol usados). Si se considera la generación de biomasa el rendimiento teórico máximo se reduce hasta el 64%. En la fermentación real usando *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* and *Enterobacter agglomerans* se forman otros subproductos como etanol, ácido láctico, ácido succínico, y 2,3-butanodiol. Se forma ácido butírico usando *Clostridium butyricum*, y butanol usando *Clostridium pasteurianum*. Todos estos subproductos están asociados con un descenso en la relación entre el 1,3-PDO y el ácido acético, en particular cuando se generan etanol y butanol, que no contribuyen en absoluto a la generación de NADH₂.

En el siguiente gráfico se muestran todas las rutas que pueden darse en el metabolismo del glicerol, llevando a la generación de diferentes subproductos. Como se ha dicho antes, la producción de ácido acético como único subproducto es la opción que da rendimientos de 1,3-PDO mayores, por lo que en la planta los esfuerzos irán dirigidos hacia fijar las condiciones de operación que hagan que este sea el único subproducto.



4.3.2.2. - Optimización de la bioconversión

Hay varias formas de optimizar la producción microbiana de 1,3-PDO a partir del glicerol. Las principales son:

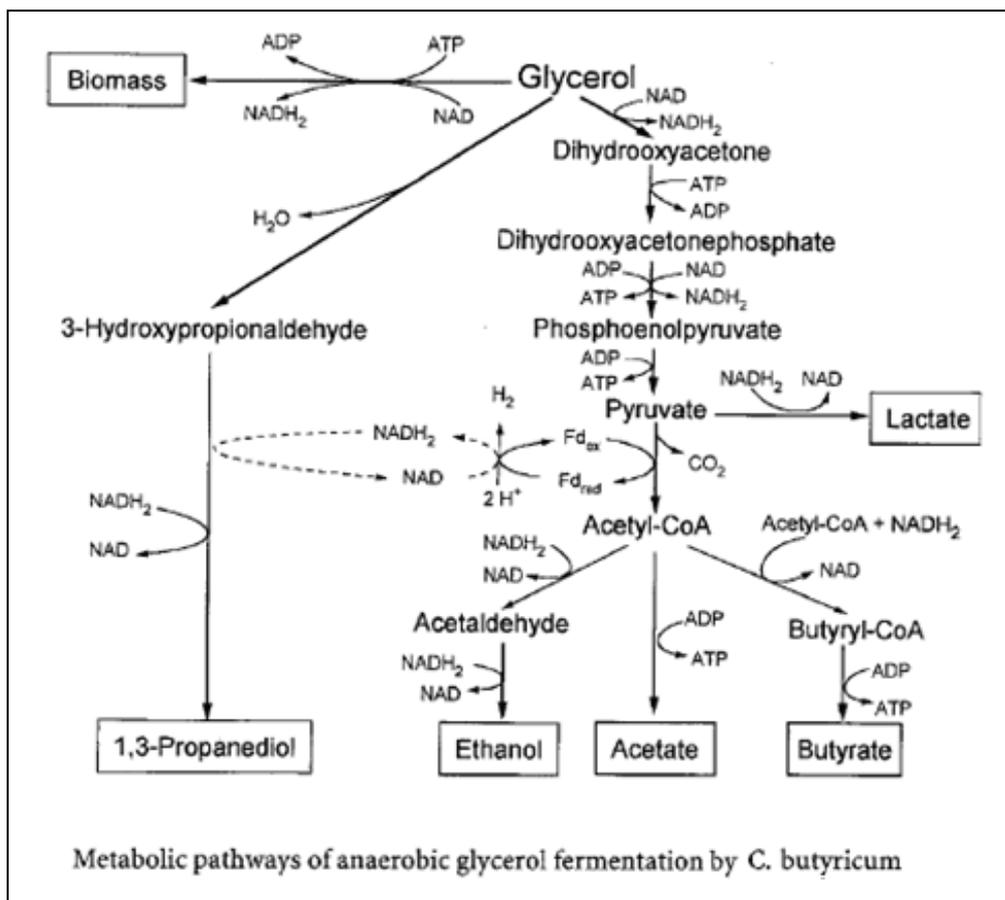
- Prevenir la formación de subproductos indeseados para alcanzar un alto rendimiento de producto.
- Aumentar la tolerancia del microorganismo al 1,3-PD para poder alcanzar una mayor concentración final de producto.
- Aumentar la productividad del bioreactor.

4.3.2.2.1.- Formación de subproductos

El control de subproductos se ha llevado a cabo principalmente en *K. pneumoniae*. Se ha demostrado en sistemas continuos que la producción de etanol está restringida a condiciones de limitación por el glicerol. Si la bacteria está limitada por otros nutrientes o inhibida por productos, el etanol es suprimido casi por completo. Sin embargo, bajo condiciones de alto exceso de

glicerol y severa inhibición de productos, otros subproductos, en particular ácido láctico y 2,3-butanodiol aparecen en el medio disminuyendo el rendimiento de 1,3-PD. Este es el caso particular de la fase latente en sistemas discontinuos desarrollados con altas concentraciones de glicerol. Un pH más bajo que 6.5 estimula de forma considerable la producción de 2,3- butanodiol.

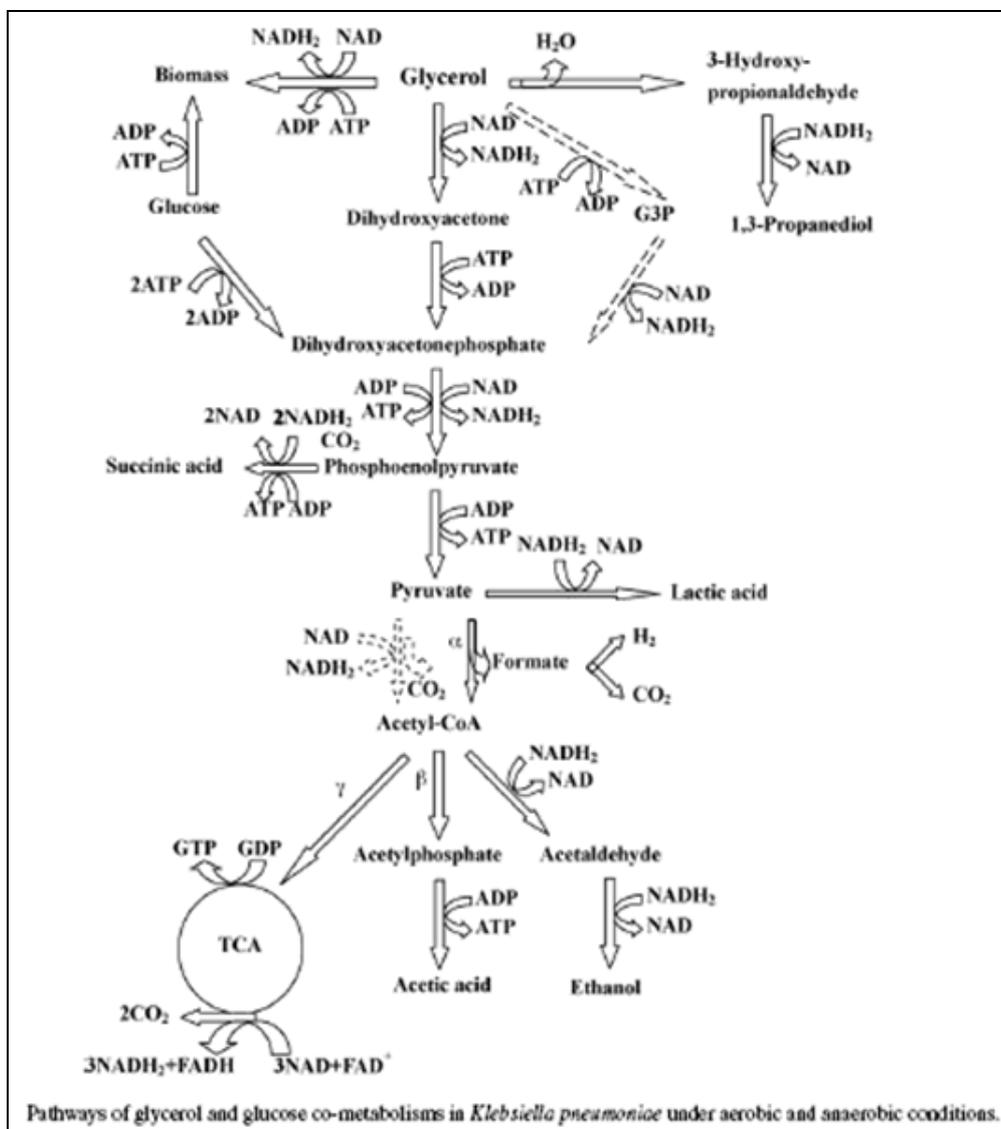
En *Clostridium butyricum* se ha encontrado que la formación de butirato también desciende bajo exceso de sustrato, aunque dependiendo también de la velocidad de crecimiento. Además de los productos líquidos, el hidrogeno gas liberado en el paso de piruvato a acetyl-CoA (Fig. 1) es también importante para el rendimiento de 1,3-PD puede consumir equivalentes reductores. Su formación puede ser variada. En *C. butyricum* los equivalentes reductores de esta reacción son transferidos a la ferredoxina y después pueden ser transferidos al NAD, en vez de liberarse como hidrogeno molecular, contribuyendo por lo tanto a la formación adicional de 1,3-PD. La enzima es particularmente activa bajo condiciones de exceso de sustrato.



Pathway and kinetic analysis of 1,3-propanediol production from glycerol fermentation by *Clostridium butyricum*. A.-P. Zeng

K. pneumoniae tiene la misma capacidad, pero usa otro mecanismo. Como se muestra en Menzel et al. *K. pneumoniae* puede usar simultáneamente las dos enzimas piruvato deshidrogenasa y piruvato formato liasa para la fragmentación anaeróbica del piruvato en la fermentación del glicerol, el primero particularmente bajo condiciones de suficiente sustrato.

El Piruvato deshidrogenasa genera NADH₂ a partir de la fragmentación, en vez de crear formato con la piruvato formato liasa, llevando a un mayor rendimiento de 1,3-PDO (0.72 mol/mol glicerol). Este puede ser aumentado hasta 0.88 mol/mol si el acetil-CoA de la fragmentación del piruvato es introducido en el ciclo TCA (tricarboxylic acid cycle o ciclo de Krebs) para generar poder reductor y adenosin trifosfato (ATP).



Stoichiometric analysis and experimental investigation of glycerol–glucose co-fermentation in *Klebsiella pneumoniae* under microaerobic conditions. Zhi-Long Xiu, Xi Chen, Ya-Qin Sun.

El efecto del oxígeno en la fermentación no se conoce todavía del todo, pero hay estudios que han demostrado que la producción de 1,3-PD bajo condiciones microaeróbicas es posible.

Los mejores rendimientos se obtienen cuando solo se forman ácido acético y propanodiol, con un valor de 0.72 mol/mol. En estos casos se genera muy poca biomasa.

4.3.2.2 - Tolerancia a los productos

La inhibición debido a los productos en la fermentación del glicerol ha sido estudiada en varias investigaciones. El inhibidor más fuerte es el 3-hidroxipropionaldehído. Este compuesto es normalmente un intermedio intracelular que no se acumula. Sin embargo, bajo condiciones de alto exceso de glicerol, puede ser excretado al medio. Mientras que *K. pneumoniae* es capaz de reducir el 3-hidroxipropanal acumulado a 1,3-PD, *Enterobacter agglomerans* muere en cuanto la concentración del aldehído alcanza los 2.2 g/l. y *C. butyricum* excreta solo soporta cantidades muy pequeñas de él.

El 1,3-PD es el producto menos tóxico en la fermentación del glicerol. Una concentración final de 60–70 g/l se consigue usualmente con cepas normales. Más de 85 g/l de 1,3-PD se pueden conseguir con estos microorganismos en fermentaciones fed-batch especiales. En un estudio reciente Colin et al. demostraron que *C. butyricum* puede tolerar hasta 83.7 g/l de propanodiol cuando se añade de forma externa. Estos valores representan la máxima concentración de producto alcanzable con cepas normales. La mejora a la tolerancia del 1,3-PD más allá de estos límites puede ser conseguida mediante mutaciones e ingeniería genética, pero el trabajo realizado en esta línea aun debe desarrollarse.

Según Biebl (1991), las concentraciones que inhiben la fermentación por *C. butyricum* son 60 g/L de 1,3-PDO, 27 g/L de acetato y 19 g/L de butirato, alcanzando el glicerol hasta 80 g/L. Barbirato et al. (1998) han experimentado que en fermentación discontinuas usando *C. butyricum* conteniendo 112 g/ de glicerina industrial, la concentración final de 1,3-PDO es de 63.4 g/L, la cual esta cercana a la máxima concentración tolerada por este microorganismo. El rendimiento de la conversión es de un 0.69 mol/mol y la productividad máxima es de 1.85 g/L/h, con butirato (7.5 g/L) y acetato (8.1 g/L) como los únicos subproductos.

Mu et al. (2006) usaron *K. pneumoniae* para fermentar glicerol crudo, obteniendo una concentración de 51.3–53 g/L de 1,3-PDO con una productividad de productividad de 1.7 g/L/h. En el primer informe de producción a escala de planta piloto usando *K. pneumoniae M5a1*, Cheng et al. (2007) obtuvieron 58.8 g 1.3-PDO/L, con un rendimiento de 0.53 mol/mol de glicerol y una productividad de 0.92 g/L/h.

4.3.2.2.3. - Productividad de birreactor

En cuanto a la optimización del proceso, casi todos los métodos existentes (discontinuo, fed-batch, y continuo) han sido probados y evaluados hasta ahora.

De forma continua con inmovilización o retención de células, la productividad puede ser sustancialmente incrementada, aunque no así la concentración final, por lo que los gastos de separación se incrementan.

Aprovechando la alta concentración conseguida en reactores discontinuos y los beneficios de un ligero exceso de glicerol permanentemente, los métodos más eficientes de cultivo parecen ser variaciones de reactores fed-batch que usan corrección automática del pH añadiendo álcali. Usando este método se han conseguido concentraciones de 70.4 g/l de 1,3-PDO en mutantes especialmente tolerantes a productos de *C. butyricum* [48] y 70–78 g/l para *K. pneumoniae* [53] estando la productividad en el rango 1.5–3.0 g/l/h. Los mejores resultados para sistemas continuos son 35–48 g/l para *K. pneumoniae* y *C. butyricum*, aunque la productividad es más alta en *K. pneumoniae*.

4.3.2.3 - Elección del microorganismo: *klebsiella pneumoniae*

4.3.2.3.1.- Justificación de la elección

Dos son los géneros principales de microorganismos que son capaces de fermentar glicerol a 1,3-propanodiol con mayor efectividad y eficiencia. Estos son los géneros *Clostridia* y *Enterobacteriaceae*. En la tabla siguiente se muestran algunas de las características generales de estas familias de microorganismos en cuanto a las fermentación que se está tratando.

Comparison of potential industrial PDO producers from glycerol.	
<i>Clostridia</i> <ul style="list-style-type: none">● Risk class 1 (GRAS)● Strictly anaerobic, therefore difficult to handle● Spore forming● Main by-products: acetic acid, butyric acid● Yield: about 0.5 kg PDO/kg glycerol● Max. theor. yield: 0.72 mol/mol	<i>Enterobacteriaceae</i> <ul style="list-style-type: none">● Risk class 2 (potentially pathogenic)● Facultative aerob, robust organisms, easy handling● No sporulation● Main by-products: ethanol, acetic acid● Yield: about 0.4 kg PDO/kg glycerol● Max. theor. yield: 0.72 mol/mol

Biotransformation of glycerol into 1,3-propanediol. Thomas Willke and Klaus Vorlop

Sin embargo dentro de estos grupos, solo dos microorganismos se contemplan a para llevar a cabo esta fermentación a escala industrial en todas las investigaciones y estudios en planta piloto realizados: *Klebsiella Pneumoniae* y

Clostridium Butiricum, pertenecientes al género *Enterobacteriaceae* y *Clostridium* respectivamente. Es resto de los mencionados en apartados anteriores no pueden compararse a estos en cuanto a productividad y posibilidad de uso a nivel industrial. Por tanto a la hora de seleccionar el microorganismo a utilizar la elección se centra en uno de estos dos.

Los datos de concentración, conversión, velocidad de la reacción, generación de subproductos y finalmente productividad de 1,3-PDO son muy cercanos para ambos microorganismos según las fuentes consultadas.

Species	Strain	Batch/ fed-batch	Yeast extract ($g\ l^{-1}$)	1,3-PD ($g\ l^{-1}$)	Y_{PD} (mol/mol)	Q_{PD} ($g\ l^{-1}\ h^{-1}$)	Reference
<i>K. pneumoniae</i>	ATCC 15380	B	1	57.7	0.56	2.4	Tag 1990
	ATCC 25955	Fb	6	58.1	0.44	1.0	Held 1996
	ATCC 25955	Fb	21	73.3	0.48	1.5	Held 1996
<i>C. butyricum</i>	DSM 5431	B	1	56.0	0.62	1.9	Biebl et al. 1992
	DSM 5431	Fb	1	58.0	0.68	2.7	Günzel et al. 1991
	DSM 5431	Fb	1	57.0	0.64	2.8	Reimann and Biebl 1996
	DSM 5431	Fb	1	70.3	0.68	1.5	Abbad-Andalousi et al. 1995
	mutant 2/2	Fb	1	70.5	0.66	0.9	Reimann and Biebl 1996
	VPI 3266	B	0	35.0	0.65	0.6	Saint-Amans et al. 1994
	VPI 3266	Fb	0	65.0	0.69	1.0	Saint-Amans et al. 1994
	E5	Fb	1	65.6	0.65	1.2	Petitdemange et al. 1965

Microbial production of 1,3-propanediol. H. Biebl á K. Menzel á A.-P. Zeng á W.-D. Deckwer

En las dos tablas siguientes pueden observarse cuales pueden llegar a ser las concentraciones iniciales de glicerol (factor importante a la hora del diseño, para determinar una concertación inicial) y el tiempo de fermentación. Ambos serán factores importantes para el diseño y la productividad, pues en función de ellos se fijará una concentración inicial de sustrato y un tiempo de reacción en los reactores, que como vemos en la segunda tabla suele rondar las 10 horas.

$C_{Glycerol,0}$, g/l	21.8	50.9	96.9	122.0	154.1	201.7
Glycerol consumption, %	99.9	99.4	99.9	99.6	88.5	53.0
$C_{Ethanol}$, g/l	1.1	1.1	3.0	4.0	5.1	4.2
$C_{Acetate}$, g/l	3.4	5.2	11.1	10.9	12.2	6.4
C_{PD} , g/l	9.4	22.3	43.2	56.2	57.7	31.9
PD yield, %	52	54	54	56	51	36
Productivity, g/l/h	1.1	1.4	2.3	2.3	1.5	0.4

Microbial conversion of glycerol to 1,3-propanediol. Wolf-Dieter Deckwer

Initial glycerol concentration (g/L)	Fermentation time (h)	Glycerol consumption (g/L)	Final 1,3-PD concentration (g/L)	Y_{PDOs} (mol/mol)	Productivity (g/L.h)
40	5	39.1	14.8	0.46	2.96
60	9	57.2	24.0	0.51	2.67
80	11	78.5	42.1	0.65	3.83
120	11	117.8	63.1	0.65	5.74

Incubation temperature, 37 °C; pH 7.0; Y_{PDOs} = moles of PDO produced/moles of glycerol consumed.

Microbial production of 1,3-propanediol from glycerol by encapsulated *Klebsiella pneumoniae*. Ya-Nan Zhao, Guo Chen, Shan-Jing Yao

Se da el caso además de que ambos microorganismos se encuentran clasificados dentro del “REAL DECRETO 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo”, en el grupo 2: “aquél que puede causar una enfermedad en el hombre y puede suponer un peligro para los trabajadores, siendo poco probable que se propague a la colectividad y existiendo generalmente profilaxis o tratamiento eficaz”. No existe por lo tanto ventaja alguna entre uno y otro en cuanto a estos factores mencionados.

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Klebsiella oxytoca</i>	2	
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2	
<i>Klebsiella</i> spp.....	2	
<i>Clostridium botulinum</i>	2	T
<i>Clostridium peffringens</i>	2	
<i>Clostridium tetani</i>	2	T.V.
<i>Clostridium</i> spp	2	

Sin embargo los siguientes factores hacen que la elección de *K. pneumoniae* sea la más apropiada para la bioconversión que se realiza en el proyecto:

- De lo expresado en el apartado referente al metabolismo, se llega a la conclusión de que se trata de un microorganismo mas robusto, que se adapta mejor a las condiciones que le rodean que *C. Butiricum*, ya que posee dos vías para metabolizar el piruvato procedente de la degradación del glicerol por vías alternativas a la de la generación de 1,3-PDO, las cuales se usan para generar energía. Así según las condiciones del medio, este microorganismo puede metabolizar el piruvato a etanol o a acido acético, disponiendo siempre de una vía para generar energía y poder reductor para la producción de 1,3-PDO, lo cual

no es posible con *Clostridium Butiricum*. Es decir, dos modelos de fermentación han sido experimentalmente demostrados: uno usa la vía del etanol como la ruta principal para generar energía y la otra una la ruta del ácido acético para esta tarea básica. La ruta preferente es la del ácido acético ya que tiene menos poder inhibitorio que el etanol.

- El ácido butírico es entre todos los subproductos que se pueden generar en esta fermentación, uno de los inhibidores más fuertes a pH neutro, tal y como se realiza la fermentación. Este ácido es un importante subproducto al usar *Clostridium Butiricum*, mientras que con *Klebsiella Pneumoniae* no se produce. Es por ello que en *Klebsiella* suelen alcanzarse concentraciones finales de producto algo mayores. Desde el punto de vista de los costes de separación y purificación, una alta concentración de producto final es muy deseable (esto se consigue especialmente en reactores discontinuos). Para conseguir esto, la formación de ácido butírico especialmente, y de etanol en menor medida deben ser mantenidas en el mínimo. A mayores concentraciones finales de producto, menores serán los costes de separación y purificación, los cuales suponen la mayor parte de los costes finales. La Ingeniería Genética puede ser muy útil manipulando las rutas metabólicas para que la formación de ácido butírico y etanol sea eliminada. Unas condiciones de cultivo y método de producción son también importantes para evitar la formación de estos compuestos. Por ejemplo, con un correcto grado de exceso de glicerol, la concentración de ácido butírico y etanol pueden ser reducidas.
- *Clostridium Butiricum* es un microorganismo estrictamente anaerobio, por lo que en presencia de oxígeno no puede seguir creciendo ni desarrollando sus actividades normales, con la dificultad que ello conlleva a nivel industrial, por la necesidad de aislar perfectamente los tanques de fermentación. Por el contrario *Klebsiella Pneumoniae* es un microorganismo facultativo, es decir, puede crecer y desarrollar sus actividades en tanto en presencia como en ausencia de oxígeno, aunque la fermentación en este proceso sea básicamente anaerobia. Por tanto con este último, el proceso resulta más sencillo de llevar a cabo. De hecho hay estudios en los que se proponen condiciones microaeróbicas para la fermentación.
- En la formación de 1,3-propanodiol a partir de glicerol con microorganismos de la familia *enterobacteria*, puede generarse 2,3-butanodiol como subproducto en una cierta cantidad variable. Este compuesto no inhibe la bioconversión, y tiene un valor similar al 1,3-propanodiol en las industrias poliméricas. Así pues con este

microorganismo la planta dispondría de una mayor adaptabilidad y respuesta ante las exigencias del mercado si decidiera generar este compuesto en la fermentación.

- El amplio conocimiento que se dispone de esta bacteria. Se trata de una de las bacterias más estudiadas tanto a nivel médico, como a nivel técnico, por lo que a la hora de trabajar con ella será más sencillo fijar las condiciones óptimas para su crecimiento y producción y las precauciones y medidas a tomar para evitar enfermedades en los trabajadores. Estas medidas se analizarán de forma profunda en el apartado de seguridad del proyecto.
- En la actualidad ya se han puesto en funcionamiento y experimentado con varias plantas piloto para la bioconversión del glicerol a 1,3-PDO usando *K. Pneumoniae*. Por el contrario, apenas se han realizado estudios a esta escala con *Clostridium Butricum*.

4.3.2.3.2.- Descripción del microorganismo

Klebsiella es una bacteria gram-negativa, con forma alargada y no móvil de la familia Enterobacteriaceae. Esta familia representa a bacterias que normalmente habitan en los intestinos de animales y humanos, como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

Klebsiella pneumoniae (*K. pneumoniae*) es una de las especies conocidas del género *Klebsiella*. Es una de las bacterias gram-negativas más estudiadas en todo el mundo (las bacterias gram-negativas no se tiñen de azul oscuro o violeta con el tinte de Gram, en contraste que las bacterias Gram-positivas). Se presenta encapsulada (con una capa de polisacárido exterior a la pared celular). Es facultativa anaerobia, lo que significa que tiene la capacidad de vivir en presencia de oxígeno y en ausencia de oxígeno dependiendo de la situación. Es mesófila, y puede sintetizar ATP (adenosin trifosfato) por respiración aerobia, pero puede también llevar a cabo fermentación anaerobia para producir energía.

Se encuentra de forma natural en la tierra, agua y vegetales. En humanos, se puede encontrar en la boca, piel, intestinos, faringe e intestinos. Sin embargo, bajo ciertas condiciones puede causar serias infecciones. Se trata de un organismo oportunista, es decir, no causa enfermedades en personas con un sistema inmune sano, pero puede afectar a gente con un sistema inmunitario débil.

Infecciones, diagnóstico y tratamiento

El propio nombre de la bacteria sugiere que puede causar neumonía en humanos. También puede causar infecciones abdominales y en el tracto urinario. Resulta complicado para *K. pneumoniae* infectar a personas sanas. Debido a que se trata de un microorganismo oportunista solo suele afectar a aquellas inmunitariamente deficientes, como pacientes de hospital, personas con enfermedades de pulmón crónicas o personas alcohólicas.

Este microorganismo suele entrar en el cuerpo por las vías respiratorias. Puede llegar a causar enfermedades que dañen seriamente los pulmones. Los síntomas más comunes de este tipo de infecciones son la tos y la secreción de mocos. El paciente puede sufrir también escalofríos, dolor de pecho y fiebre.

El diagnóstico se lleva a cabo mediante exámenes físicos, con pruebas más profundas como rayos X o análisis sanguíneos. El tratamiento se realiza usualmente con antibióticos como aminoglucósidos, bactericidas como las cefalosporinas y otros medicamentos prescritos. El tratamiento depende también de la salud del paciente y su historial médico.

Todas las medidas y actuaciones pertinentes para la prevención de que los trabajadores de la planta contraigan cualquier enfermedad o infección relacionadas con esta bacteria se analizarán en el apartado de seguridad e higiene.

Finnish Work Environment Fund financió un proyecto de investigación a principios de los años 80 para investigar los riesgos de salud relacionados con aerosoles contaminados en las máquinas usadas para procesar y producir papel en la industria papelera. *K.pneumoniae* fue uno de los microorganismos estudiados en esta investigación. Los resultados de este extenso proyecto fueron publicados en *Appl. Environ. Microbiology* (Seppo I. Niemelä, Pentti Väättänen, Juha Mentu, Antti Jokinen et al. 1985). Los escritores exponen al final de la discusión de este artículo: "La ausencia de correlación entre la existencia en el medio de microorganismos y la presencia de síntomas en los trabajadores de la industria indican que la permanente colonización de las bacterias del agua de proceso no es común o que la patogeneidad de estas bacterias en los humos es baja".

Se concluye por tanto que las defensas naturales de un trabajador adulto con una salud son suficientemente efectivas para defenderse de los patógenos encontrados en las aguas de proceso y en el aire de las industrias papeleras, entre los que se encuentran el microorganismo *Klebsiella Pneumoniae*. Esto no excluye por tanto la posibilidad de que un trabajador pueda ser infectado cuando está en un estado de salud anormal, por lo que en ningún caso se dejarán de tomar medidas de seguridad e higiene industrial, y de forma frecuente y periódica se realizarán análisis médicos a los trabajadores para comprobar los parámetros normales de salud.

4.3.3 – Separación y recuperación del producto

Para una producción económica de PDO, es esencial una estrategia que permita una separación del producto eficiente y que no requiera grandes cantidades de energía. Al ser el producto usado principalmente en la industria polimérica, el grado de purificación tiene que estar entre un 95% hasta más de un 99%, dependiendo del tipo de impurezas y de las propiedades requeridas para el producto.

La separación del 1,3-PDO juega un importante papel en su producción microbológica. Antes, el coste de producción dependía mucho del coste del sustrato (Deckwer 1995; Hermann and Patel 2007). Sin embargo, con la disponibilidad de abundantes y baratos sustratos (glicerol o glucosa), el coste de los procesos de separación y purificación pueden suponer una parte muy importante de los costes finales de producción, pudiendo llegar a suponer entre un 50–70%. Aunque los subproductos de la fermentación, como el etanol o el ácido acético puede separarse del 1,3-PDO, la concentración del producto buscado no suele ser suficientemente alta en el caldo de fermentación, entre un 5 y 15%, en fermentación del glicerol.

Por otro lado, un gran problema es que el 1,3-PDO es muy hidrofílico y además tiene un alto punto de ebullición (los puntos de ebullición 1,3- PD y del glicerol son 214°C, y 290°C respectivamente a presión atmosférica).

De hecho, es un desafío separar eficientemente el 1,3-PDO de una mezcla de múltiples componentes, como 1,3-PDO, agua, glicerol residual, subproductos (2,3-BD, etanol, ácido acético, etc.) macromoléculas (proteínas, ácidos nucleicos, polisacáridos), y sales, y hasta ahora no se ha encontrado el método probado como ideal para ello.

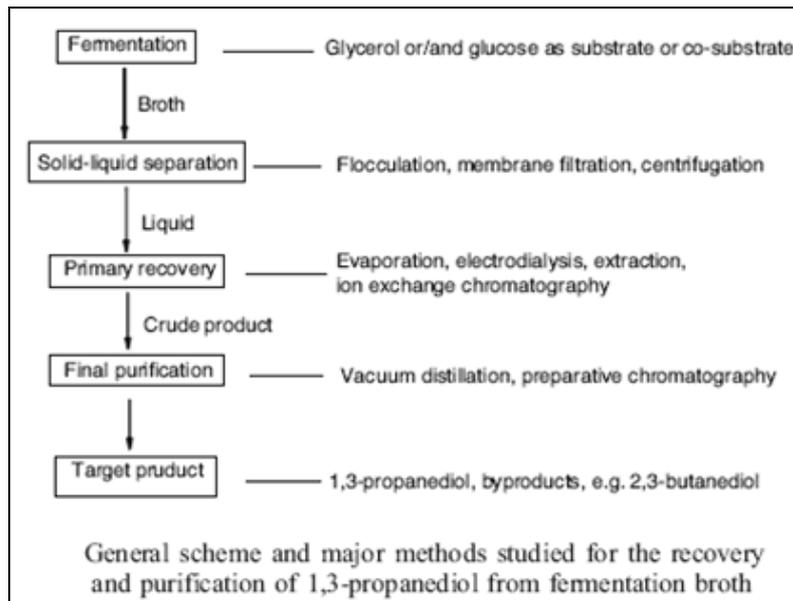
Hay numerosas opciones para la recuperación del PDO: en la mayoría de los casos es necesario retirar la biomasa primero por centrifugación o microfiltración. Además, debido a que la concentración del producto en el caldo de fermentación supone solo sobre un 10%, cualquier proceso de separación debe incluir un paso previo de retirada del agua, básicamente por evaporación, siendo este el paso de mayor consumo energético en el proceso de separación.

Tal y como se muestra en el esquema siguiente, el procesado de la mezcla de fermentación para recuperar el 1,3-PDO requiere 3 pasos principales.

1. Retirada de las células, mediante microfiltración o centrifugación alta velocidad, incluyendo un pretratamiento como ajuste del pH por adición de alguna base o de floculantes en el caldo.
2. Retirada de impurezas y una separación primaria del 1,3-PDO del caldo de fermentación, usando evaporación para retirar el agua, etanol y ácido acético, y desalinización, precipitación por adición de alcohol,

microfiltración y cristalización por dilución para retirar las proteínas y las sales. Otras opciones que se han descrito a nivel de laboratorio son extracción con solventes y extracción reactiva, cromatografía, adsorción con carbón activo y preevaporación con membrana de zeolita

3. Purificación final del 1,3-PDO por destilaciones al vacío o cromatografías a escala laboratorio.



Pretratamiento y separación sólido-líquido

Para la separación de las células de los caldos de fermentación se suelen usar técnicas de separación sólido-líquido como la microfiltración, centrifugación y decantación. La precipitación-floculación atrae mucha atención a escala industrial debido a su simplicidad, y reducido coste y se dispone de floculantes efectivos. El citosan y la poliacrilamida han sido probados para este propósito.

En otros casos se ha demostrado que modificando el pH del caldo de fermentación puede producir la precipitación de proteínas y moléculas orgánicas, purificando la mezcla fermentativa.

Evaporación/destilación

Usar las técnicas convencionales de evaporación o destilación para retirar el agua y purificar el 1,3-PD tiene el problema de un alto consumo energético, llevando a un alto coste del producto. El uso de estos métodos a vacío, reduce los costes.

Tras retirar la sales y macromoléculas orgánicas y deshidratar la mezcla mediante evaporación, se pueden usar columnas de rectificación o

evaporadores a vacío para separar los distintos componentes que pueden existir en la mezcla (ácido acético, etanol, glicerol, etc.) del 1,3-PDO.

El punto de ebullición del 1,3-PD es 214°C a presión normal. La destilación/evaporación al vacío ahorraría mucha energía debido al descenso de los puntos de ebullición. Antes de la destilación se requiere una desalinización y desproteización. Si no, su presencia crearía problemas de eficiencia en la separación y complicaciones técnicas en los equipos. La existencia de estas corrientes viscosas llevan a baja eficiencia de la destilación y un bajo rendimiento en la obtención del producto.

Para esta desalinización se ha propuesto usar electrodiálisis o columnas de intercambio iónico. Sin embargo resulta también muy interesante la técnica de precipitación y cristalización por adición de alcohol (Gao et al. 2007), de la que hablará más tarde.

Extracción

En comparación con la destilación, se considera que la extracción líquido-líquido o extracción reactiva posee varias ventajas, como un alto rendimiento y bajo consumo energético, por lo que se les ha prestado mucha atención en este campo en los últimos 10 años.

La extracción líquido-líquido podría aplicarse directamente con extractantes orgánicos para recuperar el producto si se encontrara un extractante adecuado. Se han realizado muchos esfuerzos para separar el 1,3-PD del caldo de fermentación mediante extracción. Sin embargo, la distribución del 1,3-PD en estos disolventes no es suficientemente buena para desarrollar un proceso de extracción simple y eficiente.

Se han probado gran cantidad de posibles solventes, como pentanol, propanol, hexanol, alcohol oleico, 4-metil-2-pentanona, isopropil acetato, tributil fosfato, ácido oleico o aceite de soja, pero la naturaleza hidrofílica del 1,3-PD hace que ninguno de ellos sea apto, por ser disolventes hidrofóbicos, a menos que se consuman grandes cantidades de ellos, lo que resulta económicamente inviable.

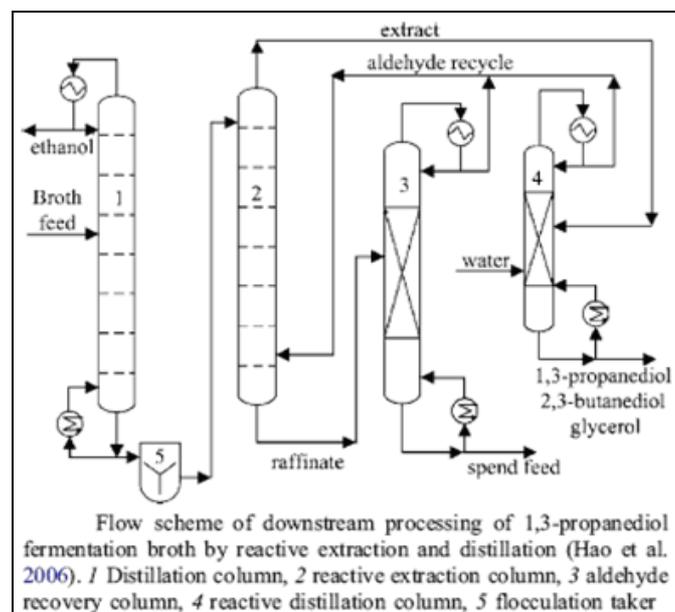
La extracción líquido-líquido convencional requiere manejar grandes cantidades de solvente y la eficiencia de la extracción del 1,3-PD en particular es demasiado baja. Por lo tanto, deben aplicarse otras estrategias de separación. Una posible alternativa que se ha estudiado es la extracción reactiva.

Malinowski (2000) estudió una extracción reactiva en la que el 1,3-PD se convertía en 2-metil-1,3-dioxano (2-MD) por medio de una reacción reversible entre 1,3-PD y acetaldehído, catalizada por una resina de intercambio iónico. Después se extraía el 2-MD usando un solvente orgánico como o-xileno, tolueno, o etilbenceno. El 1,3-PD era obtenido finalmente hidrolizando el 2-MD. Este método parece prometedor para un caldo de fermentación formulado

artificialmente. El rendimiento a 2-MD fue del 91-92%, la conversión media del 1,3-PD fue del 98%, y la recuperación del dioxano en el solvente orgánico del 75%. Sin embargo, las impurezas presentes en los caldos de fermentación reales causan la inactivación del catalizador en la reacción entre el 1,3-PD y el acetaldehído. Además, muchas sustancias presentes en el caldo, pueden reaccionar con el aldehído, como el etanol, 2,3-BD, glicerol y proteínas solubles. Por otro lado, la utilización del extractante (o-xileno, tolueno, o etilbenceno) queda limitada a gran escala debido a su toxicidad.

Hao et al. (2005, 2006) descubrieron que el butiraldehído puede actuar tanto como reactante como extractante en la extracción reactiva. Las proteínas, células y el etanol deben ser retirados antes de la extracción reactiva. El 1,3-PD, 2,3-BD, y glicerol reaccionan con el butiraldehído para formar 1,3-PD-acetal-(2-propil-1,3-dioxano), 2,3-BD-acetal-(2-propil-4,5-dimetil-1,3-dioxolano), y glicerol acetal. Los acetales producidos son hidrolizados en una destilación extractiva en una columna usando una resina de intercambio iónico fuertemente acidificada como catalizador. El producto obtenido es una mezcla de 1,3-PD (407 g/l), 2,3-BD (252 g/l), glicerol (277 g/l), y glicerol acetales (146 g/l). Para completar la separación se necesitan después destilaciones consecutivas.

El diagrama de flujo de este proceso descrito por Hao et al. (2006) se muestra en la figura siguiente. La necesidad de regenerar el 1,3-PD a partir de su derivado dioxolano, y la complejidad y coste de los compuestos utilizados hacen este proceso de extracción y purificación prohibitivos, más aun si se considerando que al menos 2 destilaciones más se requieren para conseguir el producto final.



Además de los métodos y técnicas mencionadas anteriormente, muchas otras se han estudiado hasta ahora, encontrando siempre inconvenientes o limitaciones, que impiden su uso. Todas ellas se resumen en la tabla siguiente.

Separation methods or unit operation	Application/investigation	Drawbacks or problems	References
Evaporation/distillation	Evaporation was used in the removal of water from the fermentation liquors Distillation was used for the final purification of 1,3-PD	Evaporation and distillation suffer from a large amount of energy consumption. In addition, desalination and deproteinization are required before evaporation	Ames 2002; Sanz et al. 2001
Electrodialysis	Electrodialysis has been used for desalination before evaporation	Low product yield due to loss of 1,3-PD during electrodialysis. Membrane pollution can be very serious	Gong et al. 2004; Hao and Liu 2005
Pervaporation	Na-ZSM-5 and X-type zeolite membranes were used to separate 1,3-PD from an aqueous mixture by pervaporation. The high 1,3-PD/glycerol selectivity was due to preferential adsorption of 1,3-PD	The performance of pervaporation needs to be verified by using real fermentative broth in the presence of impurities, e.g., proteins and salts	Li et al. 2001a, b, c, 2002
Chromatography	Combined strongly acidic cationic and weakly basic anionic resins were used to desalinate in the fermentation broth A cationic exchange resin was used for recovery of 1,3-PD Adsorption of 1,3-PD on hydrophobic zeolites or active charcoal was investigated for separation of 1,3-PD A preparative silica gel liquid chromatography was used to separate 1,3-PD after phase separation	Although high overall purity and yield of 1,3-PD could be obtained, the 1,3-PD solution was not concentrated but diluted because of the low selectivity and capacity of resin or adsorbent. This method consumed more energy than the simple evaporation and distillation In addition, the chromatographic matrix had to be regenerated frequently if the feed was not desalinated or deproteinized. This situation also occurred for ion-exchange resins used to desalinate due to high salt concentrations	Roturier et al. 2002; Hily and Binder 2002; Corbin and Norton 2003; Wilkins and Lowe 2004; Adkesson et al. 2005; Cho et al. 2006
Solvent extraction/liquid-liquid extraction	Many extractants have been investigated for the recovery of 1,3-PD from dilute broth. It is partly partitioned into the solvent phase only when adding a large amount of solvent into a concentrated broth	No effective extractant has been so far found for liquid-liquid extraction of 1,3-PD. Major problem is because 1,3-PD is hydrophilic	Malinowski 1999; Xiang et al. 2001; Baniel et al. 2004; Cho et al. 2006
Reactive extraction	Reactive extraction includes three key steps: reaction, extraction, and hydrolysis. A reversible reaction between 1,3-PD and aldehyde was used to form a dioxolane derivative (e.g., 2-MD). 2-MD is then extracted into an organic solvent and finally hydrolyzed into 1,3-PD	This process is quite complicated. The removal of proteins and ethanol as well as salts is necessary before reaction Additionally, the trace amount of aldehyde in 1,3-PD is prohibitive for polymerization of PTT	Broekhuis et al. 1994, 1996; Malinowski 2000; Hao et al. 2005, 2006

Perspectivas

La dificultad en encontrar un proceso de separación eficiente del 1,3-PDO del caldo de fermentación se debe a su carácter hidrofílico, su alto punto de ebullición y la complejidad del caldo de fermentación.

Las evaporaciones y destilaciones convencionales no solo requieren un alto consumo de energía, si no también una desalinización o deproteinización como pasos previos. La desalinización del caldo fermentativo por electrodiálisis da un bajo rendimiento de producto debido a la pérdida de 1,3-PDO en el efluente salino. Además, la duración de la membrana de electrolisis resulta demasiado a causa de la contaminación que causan las macromoléculas como proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos.

Una situación similar se da con la ultrafiltración, nanofiltración y la pervaporación con membrana de zeolita. La selectividad de esta membrana debe ser verificada usando mezclas reales de fermentación en vez de disoluciones modelo. Debido a la baja selectividad y capacidad de la resina, la disolución de 1,3-PDO resulta diluida en vez de concentrada usando cromatografía de intercambio iónico o absorción en zeolita. Además la matriz o medio cromatográfico debe ser frecuentemente regenerado si la alimentación no es desalinizada o desproteinizada. El método cromatográfico es poco adecuado económicamente para la recuperación del 1,3-PDO industrialmente.

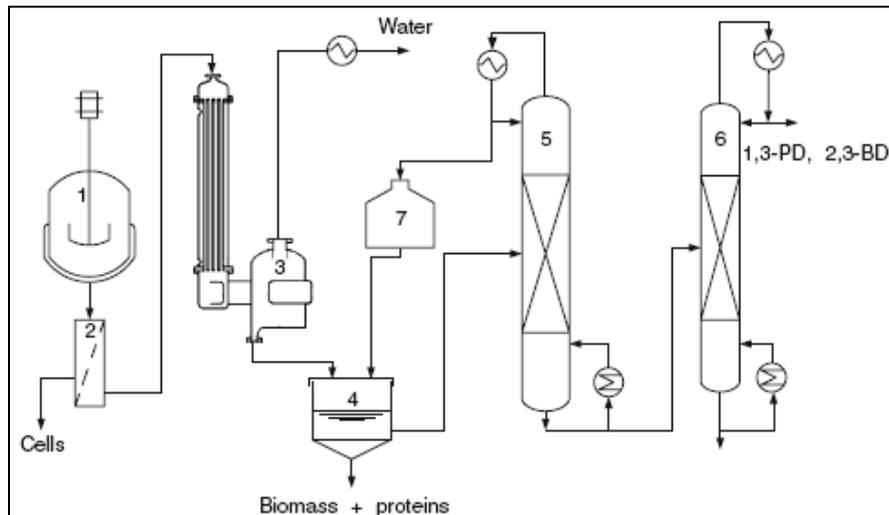
La extracción líquido-líquido podría representar un proceso simple y eficiente. Desafortunadamente, por ahora no se han encontrado extractantes efectivos para este propósito. La extracción reactiva requiere complejos pretratamientos (retirada de sales, proteínas y etanol) y postratamientos (hidrólisis o destilación extractiva). Además la cantidad de aldehído remanente en el 1,3-PDO resulta prohibitiva para la polimerización en la producción de PTT.

Se deduce por tanto de todo esto que se requiere una mayor investigación para desarrollar un proceso que sea suficientemente simple para llevar a cabo la purificación del 1,3-PDO presente en el caldo de fermentación de manera viable. Una de las claves en este campo, es como aplicar las técnicas de separación descubiertas en procesos a escala industrial en formas efectivas en cuanto a costes y tiempo, para aumentar la productividad y rendimiento. Conviene mencionar que hasta la fecha no se han encontrado ningún informe a cerca de cómo separar la mezcla 1,3-PDO y 2,3-BD, lo que podría resultar complejo debido a las similitudes entre ambos compuestos en muchos aspectos. Se necesita innovar en técnica de separación para resolver estos problemas e inconvenientes.

En este contexto, resulta muy interesante el siguiente método, que parece prometedor en esta tarea. La separación del 1,3-PD de caldo de fermentación real se lleva a cabo mediante una combinación de ultrafiltración y un tratamiento con alcohol, consiguiendo una alta pureza y rendimiento. En primer lugar se aplica una ultrafiltración para retirar células y macromoléculas como proteínas y ácidos nucleicos. Mediante el proceso de filtración se consigue una eliminación del 99% de células, 89% de proteínas y 69% de ácidos nucleicos. La corriente obtenida se concentra entonces mediante una evaporación, retirando el agua. A continuación se añade un alcohol (etanol) para retirar las macromoléculas restantes y las sales orgánicas e inorgánicas. Las proteínas y

otras macromoléculas precipitan y las sales cristalizan, pudiendo ser fácilmente separadas.

Este es el diagrama de flujo que proponen los autores del estudio para llevar a cabo la separación por este método.



Flow sheet of downstream processing of 1,3-propanediol from fermentation broth by alcohol precipitation and dilution crystallization (Gao et al. 2007).
1 Fermentator, 2 ultrafiltration module, 3 evaporator, 4 alcohol precipitation chamber, 5 ethanol recovery column, 6 rectifying column, 7 ethanol storage tank

Escalado a nivel industrial: el mayor desafío

El mayor desafío a encarar para una gran producción comercial de 1,3-PDO es el escalado a plantas a nivel industrial. En este proceso ya existen un par de plantas pilotos, en las cuales los productores tienen que adaptar los mecanismos de producción en laboratorio a plantas comerciales, con las complicación que ello conlleva. Los volúmenes de producción de estas plantas de pequeño-medio tamaño son suficientes para detectar algunos de los problemas antes de producir a escala industrial, pero además son útiles par ir introduciendo en el mercado el producto y recoger datos sobre su actuación.

Para que el escalado resulte exitoso, los costes deben ser reducidos al mínimo como principal objetivo. Otra prioridad es la calidad del producto final, lo cual puede resultar complicado por la dificultad de reproducir los resultados obtenidos en la fermentación llevada a cabo en el laboratorio. Las compañías que tengan éxito en este proceso de escalado a niveles industriales son las que dominaran el mercado del 1,3-PD en el futuro próximo.

Conclusiones

La separación y purificación del 1,3-PD representan un desafío tecnológico y un obstáculo económico para una producción microbiológica eficiente de estos dos compuestos a gran escala.

Los métodos y tecnologías estudiados hasta ahora tienen sus limitaciones e inconvenientes en términos de rendimiento y consumo energético. Para un mayor desarrollo, las técnicas clásicas de separación tienen que mejorarse o combinarse con otras tecnologías nuevas.

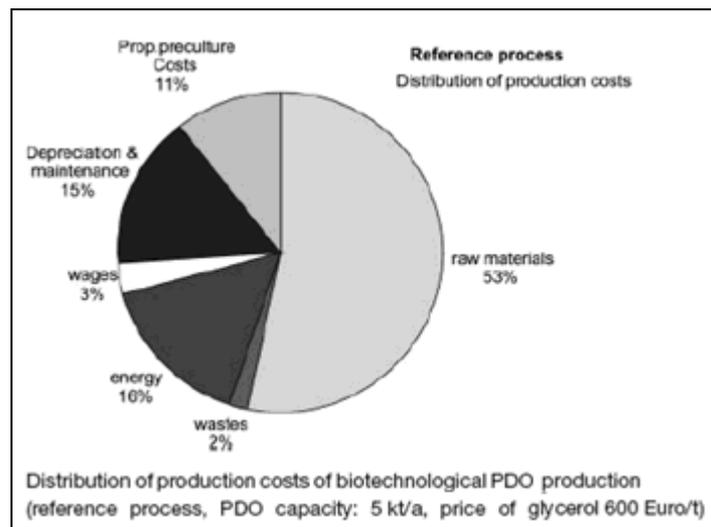
4.4. – ECONOMÍA DEL PROCESO

En el proceso de producción de 1,3-PDO por vía microbiológica, el precio de la materia prima resulta un factor muy importante para la viabilidad del proceso. Se ha demostrado que a un precio menor de 260 Euro/tonelada, la bioconversión puede ser beneficiosa y por tanto competitiva con la producción petroquímica. Con la tendencia de los precios del crudo, es probable un masivo apoyo y desarrollo del bioprocesos en los próximos años.

En el proyecto BIODIOL financiado por la UE, se desarrollo y evaluó una bioconversión integrada del glicerol crudo. Este proceso sostenible esta basado en cepas no modificadas genéticamente y usa aguas residuales de la industria del biodiesel, reuniendo todo los requisitos económicos, ecológicos, y sociales para una producción biotecnológica moderna.

Basados en los resultados del proceso de bioconversión conocido, se hizo una evaluación económica del proceso para una planta de producción de tamaño medio. El precio del PDO microbiológico queda decisivamente influenciado por el rendimiento, concentración final de PDO y tiempo de fermentación.

Por ejemplo, una fermentación prolongada incrementará el número de reactores necesarios para una producción constante. Los costes de materia prima están directamente emparejados al rendimiento, lo que significa que, por ejemplo, incrementando el rendimiento un 10%, se reducirá la demanda de material prima en la misma proporción por lo que implicaría menos costes en este sentido. En el grafico siguiente, se muestra como contribuían a los costes finales los distintos aspectos implicados en la producción de 1,3-PDO realizada en el estudio que se indica. En este estudio, la glicerina se adquiría a 600 €/Tn.



Biotransformation of glycerol into 1,3-propanediol. Thomas Willke and Klaus Vorlop

Dado que en nuestro caso, el glicerol crudo usado como materia prima se obtiene directamente de la planta de biodiesel, libre de costes, nos ahorraríamos ese gran porcentaje de costes, haciendo en este sentido, totalmente viable la planta.

Bio PDO vs. PDO

En general, para la producción en grandes cantidades de compuestos como el 1,3-PDO por rutas químicas, las materias primas (gas natural, nafta) tienen que ser primero descompuestas en moléculas pequeñas como C1-C4 (CO, H₂, olefinas) mediante procesos de craqueo y fisión endotérmica a temperaturas relativamente altas. Los productos deseados, son sintetizados catalíticamente a partir de estas moléculas, usualmente a altas presiones o por oxidación con oxígeno.

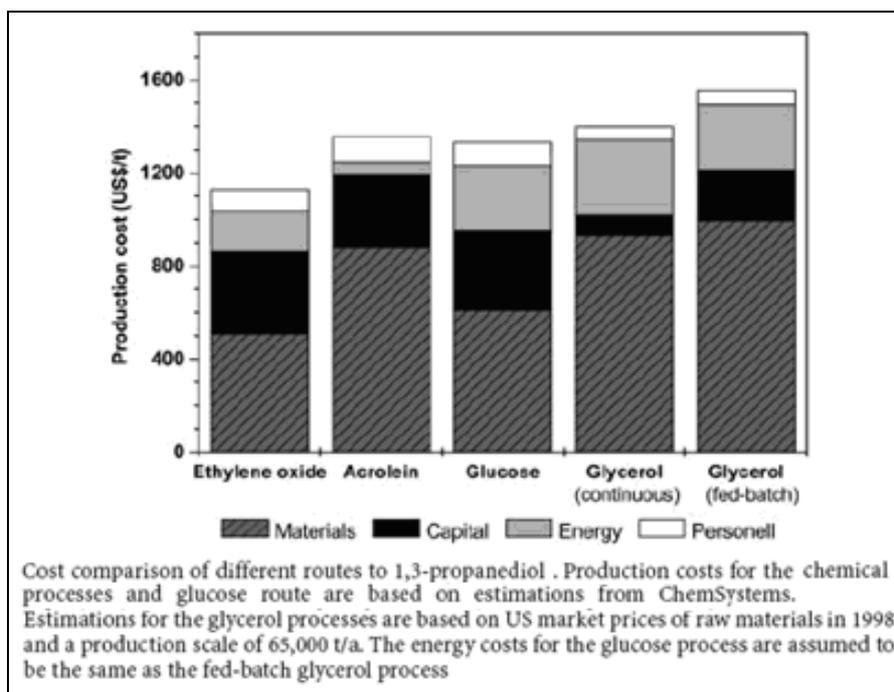
Los materiales con alto contenido en oxígeno, como la glucosa y la glicerina tienen un uso limitado para producir compuestos químicos en grandes cantidades, pero son excelentes sustratos para los procesos biológicos.

En términos de composición, la estructura los productos de la fermentación, están mucho más cercanos a las materias iniciales que en el caso de la petroquímica con sus respectivas materias primas. Esta similitud estructural entre las materias primas y los productos, y la inherente alta eficiencia y especificidad de los microorganismos hacen posible llevar a cabo bioprocesos generalmente con alta selectividad y bajo condiciones de operación benignas medioambientalmente.

A pesar de las ventajas de la producción biológica de compuestos químicos, generalmente se dice que este método de producción no es competitivo con la

síntesis química. En un reciente estudio realizado en la Universidad de Braunschweig, Alemania, se llevó a cabo una evaluación de los costes de todas las etapas de la producción de 1,3-PDO a partir de glicerol por vía fermentativa. El estudio consideraba cultivos en modo fed-batch y en continuo para la fermentación, un sistema de evaporación multietapas para la retirada del agua, y dos columnas de rectificación con 8 platos cada una para la separación y purificación del propanodiol.

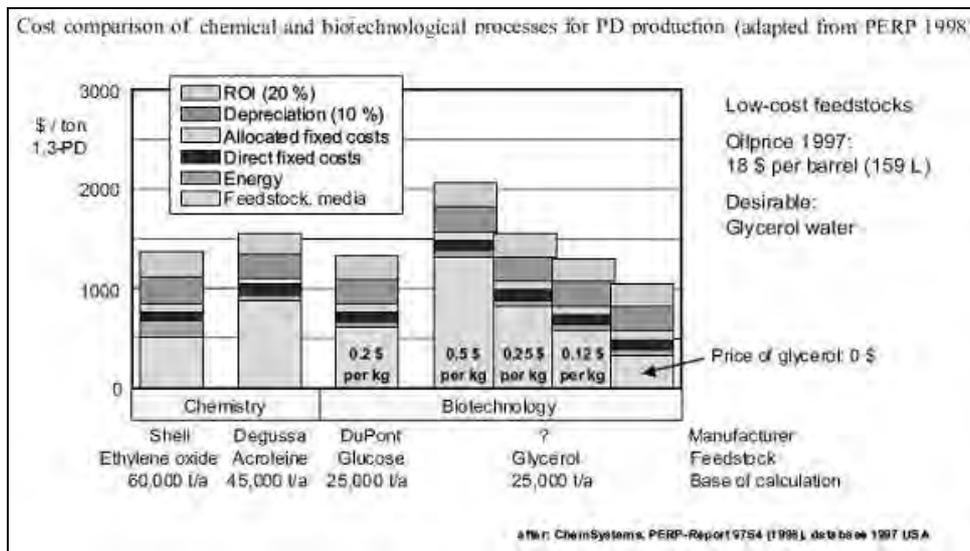
Los resultados fueron comparados con los datos correspondientes a los Bais de producción química y a los del proyecto Genencor/DuPont para la producción a partir de glucosa usando microorganismo tratados mediante Ingeniería Genética. A partir de varias estimaciones previas de costes, los resultados de estos cálculos son que la producción de 1,3-PD por fermentación, si se compara a altos volúmenes de producción (unas 65,000 Tn/año), puede llevarse a cabo a costes similares que los incurridos en la síntesis química.



Th. Willke . K.-D. Vorlop. Industrial bioconversion of renewable resources as an alternative to conventional chemistry

Es preciso mencionar que, si la comparación de costes se hace con los costes actuales del glicerol y glicerol crudo, (el estudio se realizo en 1998, usando los costes de materias primas de EE.UU.) todos los procesos biológicos pueden llevarse a cabo a costes mas bajos que los indicados en el gráfico. Como hemos visto antes, los costes a causa de las materias primas, pueden determinar de manera muy importante la economía del proceso.

Las compañías Shell y Degussa son dos grandes productores de óxido de etileno y acroleína respectivamente (las dos materias primas a partir de las cuales se puede producir PDO por vía química), lo que explica su elección de producir 1,3-PDO. Los resultados, mostrados en la figura siguiente, son útiles para comparar el coste de la producción de compuestos en grandes cantidades por vía química y por vía biológica, en términos de rentabilidad, energía, materia prima, y costes totales entre otros factores. En todos estos procesos la mayor parte en los costes la suponen las materias primas (40%–60%). Además, los costes energéticos pueden suponer una importante parte del coste final debido a los procesos de separación.



Th. Willke . K.-D. Vorlop. Industrial bioconversion of renewable resources as an alternative to conventional chemistry

La fermentación de la glucosa era en el año del estudio (1999) ligeramente mas favorable que la del glicerol, sin embargo en la actualidad, con el exceso de suministro de glicerol, esta diferencia no solo se ha reducido, si no que la situación ha cambiado, siendo mas favorable el proceso con glicerol por su menor precio. Además, en el estudio de costes mencionado, los subproductos de la fermentación eran tratados como residuos. En nuestro caso al poder disponer de subproductos valiosos como el 2,3-BD, recuperándolos los costes se reducirían aun más.

Por tanto, si el suministro de glicerol por parte de las industrias del biodiesel permanece como ahora, se conseguirán unos precios que hagan competir al 1,3-PDO proveniente de glucosa, glicerol y la petroquímica.

4.5.- MERCADO

4.5.1.- Datos actuales y futuros previstos

En 2008 el consumo de 1,3-PDO fue de 121,754 toneladas. La capacidad de producción por parte de los diferentes fabricantes en 2000 y 2008 se indica en la tabla siguiente considerando la producción de Degussa como producción de DuPont en 2000, la primera vendió su tecnología de producción a la segunda.

1, 3 Propanediol Market: Market Engineering Measurements (World), 2008

Measurement Name	Measurement	Trend
Market age/Product life cycle	Medium	Decreasing
Market size in revenues (2008)	\$204.5 million	Increasing
Market size in units (2008)	121,754 tonnes	Increasing
Potential market size in units (2015)	160,213 tonnes	Increasing
Forecast period market compound annual growth rate (CAGR)	5.1%	Increasing
Degree of competition	Medium	Increasing

Note: All figures are rounded; the base year is 2008. Source: Frost & Sullivan

1, 3 Propanediol Market: Capacity of 1, 3 Propanediol (World), 2000 and 2007

Company/Year	2000 (Tonne/Year)	2007 (Tonne/Year)
Shell	60,000	72,000
Dupont	40,000	43,000
Total	100,000	117,000

Note: All figures are rounded; the base year is 2008. Source: Frost & Sullivan

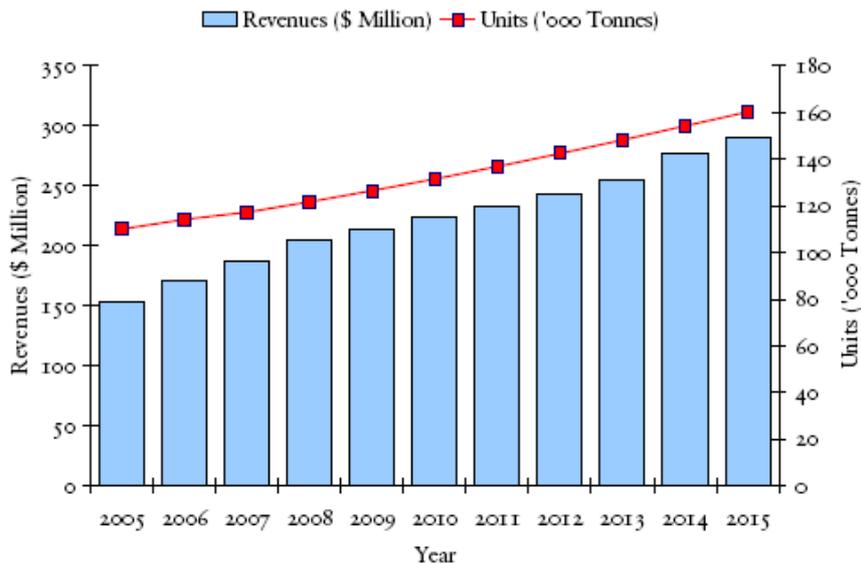
El consumo de 1,3-PDO se ha incrementado entre 2000 y 2008 de 100.000 a 117.000 toneladas por año. Se espera que el consumo de propanodiol de origen tanto biorenovable como del petróleo se incremente con una tasa de crecimiento anual del 4% durante el periodo comprendido hasta 2015. Este crecimiento es esperado debido al éxito del PDO producido de la glicerina y al suministro del polímetro PTT por parte de las compañías productoras, especialmente Shell con su compuesto Corterra.

1, 3 Propanediol Market: Unit Shipment and Revenue Forecasts (World), 2005-2015

Year	Units ('000 Tonnes)	Revenues (\$ Million)	Revenue Growth Rate (%)
2005	110.0	154.0	---
2006	114.2	171.4	24.2
2007	117.2	187.6	20.0
2008	121.7	204.5	44.9
2009	126.5	213.7	13.8
2010	131.5	223.6	15.6
2011	136.8	232.6	16.7
2012	142.4	243.5	16.2
2013	148.2	255.0	18.6
2014	154.2	277.5	21.5
2015	160.2	289.9	19.4

Compound Annual Growth Rate (2008-2015): 5.1%

Note: All figures are rounded; the base year is 2008. Source: Frost & Sullivan



Se espera que los productores incrementen las capacidades de producción a una tasa media de crecimiento anual del 3.5 % con el aumento de las aplicaciones del PDO biorenovable (la crisis mundial podrían matizar estas previsiones).

Los precios eran caros antes del avance que supuso la producción a partir de gas de síntesis usando un catalizador en 1999. En ese año, Shell construyó una planta de producción de 1,3-PDO usando esta técnica en Geismar (Louisiana) con una capacidad de 60,000 toneladas/año.

En el año 2000, Degussa disponía en Antwerp (Bélgica) de la tecnología para producir 1,3-PDO a partir de la hidratación de la acroleína, y vendía el compuesto a DuPont para su producción de polímeros. Degussa vendió esta tecnología en 2000 a DuPont, que utilizó este método hasta 2006. El éxito en la producción de 1,3-PDO biorenovable hizo a DuPont sustituir su producto basado en el petróleo, por el nuevo basado en fuentes biorenovables.

Para la producción de ropa se usa el 1,3-PDO en muchas aplicaciones, pero la fabricación de las moquetas se lleva la mayor parte del polímero Sorona producido por DuPont. La compañía también suministra Sorona a productores de prendas de ropa. Uno de los mayores clientes de DuPont es Mohauk, establecido en EEUU, que produce alfombras de alta calidad.

5. DESCRIPCION DEL PROCESO

5.1. ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL 1,3-PDO

Nuestro proceso de producción de 1,3-PDO puede estructurarse en etapas generales. En general, se puede decir que cualquier proceso químico/bioquímico debe tener las etapas de acondicionamiento de las materias primas, reacción o transformación de las materias, y separación o purificación de los productos. Así, en la planta existirán estas tres etapas generales, las cuales se explican más específicamente a continuación.

1. Pretratamiento: Los microorganismos implicados en la biotransformación, tienen la capacidad de metabolizar el glicerol crudo. No obstante, este no puede alimentarse los fermentadores directamente con el glicerol crudo subproducto de la producción de biodiesel. Como ya se ha comentado, este contiene una parte importante de impurezas (jabones, sales) generadas en la producción del biocombustibles, así como metanol, que al introducirse en exceso en la reacción de transesterificación no se consume y parte de él aparece con esta glicerina cruda.

Los microorganismos seleccionados (*K.Pneumoniae*) tienen la capacidad de metabolizar glicerol crudo hasta un cierto grado, es decir, no es preciso que se la glicerina que se les suministra se encuentre pura, si no que soportan la presencia de impurezas como las mencionadas antes, siempre que su concentración sea excesiva.

Por lo tanto, el glicerol crudo del que disponemos deberá ser tratado, de manera que la cantidad de impurezas en el se reduzca hasta niveles aceptables por los microorganismos. En base al know-how disponible, se ha decidido que este pretratamiento se realice con las siguientes operaciones:

1.1. Reducción del pH del glicerol crudo: Este glicerol crudo tiene un pH=6 aproximadamente. En estas condiciones, la mayor parte de las sales y jabones presentes se encuentran disueltos en la corriente. Reduciendo el pH hasta 4, se consigue que la solubilidad de estos compuestos se reduzca, y una importante parte de ellos aparezcan como sólidos en la corriente.

1.2. Retirada de las impurezas sólidas: Una vez que estas impurezas aparecen como partículas sólidas en la corriente, resulta mucho más sencillo separarlas. Para la separación sólido/liquido existen numerosos métodos ampliamente conocidos, como la decantación y la centrifugación que en función de las características de la corriente pueden realizar esta separación sin problemas.

1.3. Separación del metanol: El exceso de metanol aplicado en la producción del biodiesel, junto con su naturaleza química afín con el glicerol (ambos son alcoholes) hacen que este esté presente también en la corriente de glicerol crudo. En este caso, la intención a la hora de separarlo no responde solo a la capacidad de los microorganismos de actuar en su presencia, si no también a

la necesidad de recircularlo a la planta de biocombustibles, pues es una materia prima básica en su proceso de producción. Debido al interés económico que reside en esta separación, la intención es que este metanol sea separado por completo y lo mas puro posible, para la optima integración del proceso en la producción de biodiesel. Para ello las operaciones mas efectivas son aquellas basadas en la transferencia de calor entre fluidos, para el cambio de estado del metanol.

1.4. Esterilización de la glicerina cruda: A pesar de este pretratamiento consistente en la purificación en glicerol de la corriente, esta aun no se encuentra en condiciones de ser alimentada a los fermentadores donde actuarán los microorganismos. Esto es así debido a las condiciones inestériles de la corriente. El glicerol crudo que se usará, durante todo su proceso de generación en la planta de biodiesel ha podido ser contaminado por microorganismos de diversa índole.

La presencia de estos hace inviable que se alimente el glicerol crudo a los fermentadores sin una previa esterilización, que asegure que durante la bioconversión solo nuestros microorganismos estén presentes. De lo contrario, la productividad del proceso se vería seriamente dañada, por la acción de microorganismos oportunistas que reduzcan la actividad de los nuestros, o porque otros microorganismos presentes consumieran el substrato para la producción de otros compuestos no deseados.

2. Bioconversión: Una vez que la corriente de glicerol crudo ha sido afinada, reduciendo la concentración de impurezas en ella, esta puede ser introducida en los fermentadores donde ya previamente se habrá alimentado el medio de reacción con la concentración adecuada de biomasa.

A pesar del pretratamiento realizado, la fermentación no puede realizarse aun en estas condiciones. La corriente introducida tiene una concentración muy alta de glicerina, y las células no son capaces de metabolizar tal cantidad. Es decir, a partir de ciertos valores de concentración, se inhibe la actividad de la biomasa por excesiva concentración de sustrato. Es preciso por tanto, diluir el contenido de los reactores con agua, que vendrá principalmente, como veremos después, recirculada del proceso de la etapa de purificación del producto, acompañada con cierta cantidad de ácido acético, para aprovechar el agua introducida inicialmente en el sistema y reducir al mínimo así su consumo.

La bioconversión realizada por los microorganismos transformará la mayor parte de la glicerina introducida en el reactor en 1,3-PDO y ácido acético. La glicerina actúa en el proceso metabólico como fuente de carbono para la biomasa, que ésta habrá de consumir para vivir y reproducirse.

El ácido acético es un subproducto de la reacción biológica, que convendrá siempre reducir al máximo, aumentando así la productividad de la conversión a 1,3-PDO. De cara a ello, se considera que una vez que en el medio de reacción

esta presente el ácido acético, la ruta metabólica por la que el microorganismo lo produce se inhibe, y no genera más cantidad de este compuesto. Es por ello, que es viable la recirculación del agua acompañada de ácido acético obtenida en el proceso de separación que veremos posteriormente, sin separar previamente el acético, ya que este no se acumulará en el sistema al ser anulada su producción.

Además de los compuestos citados, durante la fermentación también se generaran gases en forma de CO_2 y H_2 que saldrán de forma libre de los reactores, tras pasar previamente por un filtro para evitar contaminación biológica al medio.

La productividad de toda la planta vendrá influenciada en gran medida por la efectividad de la bioconversión del glicerol y por el tiempo de fermentación para conseguir esa transformación. Para que esta transformación se produzca en el mayor grado posible y lo más rápidamente la reacción deberá ocurrir en las condiciones óptimas para los microorganismos. Para ello deberá mantenerse la temperatura de los fermentadores en 37°C y $\text{pH}=7$, condiciones que hacen que las células se encuentren más “cómodas”.

3. Separación y purificación del producto: Tras la fermentación, el contenido de los reactores es una mezcla de sustancias que componen el llamado caldo de fermentación, donde se encuentran los productos de la reacción (1,3-PDO y ácido acético), los reactivos que no se han consumido por completo (glicerina), el agua, la biomasa y algunas moléculas como las proteínas que han generado las células.

De toda esta compleja mezcla, debemos extraer el 1,3-PDO, el producto objetivo de la planta. Para ello se recurrirá a varias operaciones de separación, en las que de forma sucesiva se irán retirando componentes de la mezcla, hasta quedarnos únicamente con el propanodiol prácticamente puro. Estas serán:

3.1. Primera separación de sólidos: Antes de someter la corriente a operaciones más complejas para la separación de líquidos, hay que eliminar los sólidos, que complicarían la operación en estas unidades. En la primera etapa de retirada de sólidos, se eliminarán aquellos de mayor tamaño que resultan más fáciles de separar, y que además supondrán la mayor parte de los sólidos totales. Estas partículas retiradas en esta etapa serán la gran mayoría de la biomasa y los pocos jabones residuales que quedan procedentes del glicerol crudo. A la hora de seleccionar el método para llevar a cabo esta separación, habrá que tener en cuenta el tiempo de operación que este requiera, evitando aquellos métodos que ralenticen el funcionamiento general de la planta y por tanto reduzcan su productividad.

3.2. Segunda separación de sólidos: Con esta operación se retirarán por completo las partículas sólidas que quedan en la corriente. Se trata de una

operación de afino en la que los sólidos retirados serán muy pequeños (del orden de micras) como son las proteínas, sales no disueltas, etc.

3.3. Eliminación del agua y del ácido acético: Tras retirar la totalidad de los sólidos, el 1,3-PDO solo se encuentra acompañado de la glicerina, el ácido acético y el agua. Como siempre, la productividad será un factor clave a la hora de seleccionar la operación de separación. Por ello, y debido a que todos son líquidos miscibles entre ellos, los métodos más rápidos y efectivos son aquellos consistentes en el cambio de fase de los compuestos por la aportación de calor.

En esta etapa de separación, agua y ácido acético se separan conjuntamente, por dos razones; son compuestos con puntos de ebullición cercanos (100 y 118°C) por lo que su separación por estos métodos resulta dificultosa, y, como hemos hablado antes, esta corriente será recirculada a los fermentadores y la presencia del ácido acético resulta beneficiosa al inhibir su producción durante la bioconversión, aumentando la productividad del proceso.

3.4. Eliminación de la glicerina: Llegados a este punto, tras separar el acético y el agua de la corriente, solamente la glicerina no convertida en los fermentadores acompaña al 1,3-PDO. Estos dos compuestos si tienen temperaturas de ebullición distantes (213°C para el propanodiol y 290°C para el glicerol, a presión atmosférica). Será por tanto el 1,3-PDO el que sufra el cambio de fase, quedando totalmente separado de la glicerina. Esta glicerina, con el fin de aprovechar materia prima, será recirculada al proceso de pretratamiento para ser introducida de nuevo en los fermentadores.

Será siguiendo estas etapas como se estructurará el proceso productivo del 1,3-PDO a partir del glicerol crudo subproducto de la producción de biodiesel. Todo el proceso explicado se observa en el diagrama de bloques siguiente, donde se indican las tres etapas principales del proceso, y las operaciones que se realizarán en cada una de ellas, así como los fluidos añadidos y recirculaciones en ellas implicadas.

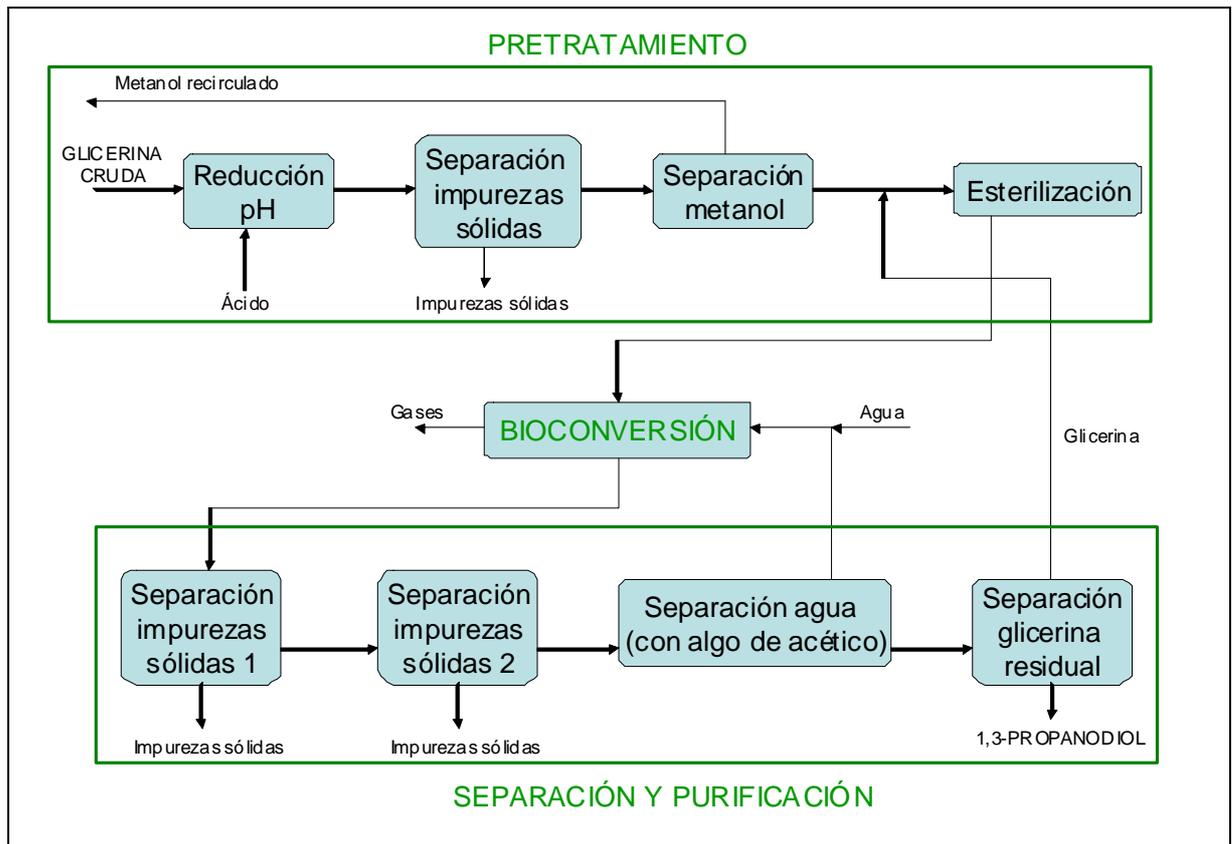


Diagrama de flujo de la planta

5.2. EQUIPOS Y MAQUINARIA DE PLANTA

El proceso se produce en la planta a través de las siguientes unidades:

1. Reactores biológicos: En ellos se introduce la corriente de glicerol crudo, pretratado y esterilizado, para que la fermentación discurra sin problemas y con el máximo rendimiento. Es preciso introducir además un importante volumen de agua en ellos, para diluir la glicerina, hasta las concentraciones soportables por los microorganismos (120 g/l).

En ellos, se produce la transformación del glicerol a 1,3-propanodiol mediante la fermentación anaerobia llevada a cabo por *Klebsiella Pneumoniae* durante 10 horas en cada uno de los 3 reactores discontinuos. En ellos las condiciones son de 37°C y pH=7.

Al tratarse de microorganismos facultativos y ser la fermentación anaerobia, no se suministrará oxígeno, pero tampoco se hará vacío para evitar la entrada de aire. El contenido de los fermentadores se agitará durante toda la reacción. Dispondrán de una vía de salida para los gases generados durante la fermentación.

Los reactores están construidos en acero inoxidable AISI 304 y se componen de un cuerpo cilíndrico cerrado con fondos superior e inferior semielípticos, para favorecer la mezcla durante la reacción y eliminar los volúmenes muertos.

Dispondrán en su interior de un serpentín de calefacción, por el que circulará vapor de agua a 150°C suministrado por la caldera 1, para cubrir el consumo calorífico de la reacción, y mantener constante la temperatura en 37°C.

Además, se instalará un agitador mecánico de hélice de tres palas que asegure una correcta mezcla del interior de cada reactor.

Las principales características de estos fermentadores son:

Reactores biológicos	
Material	Acero inoxidable AISI 304
Volumen total (m3)	24,7
Altura (m)	7,06
Diámetro (m)	2,194
Espesor mínimo (mm)	7
Modelo Agitador	NRI-D-1.10-25040-1
Potencia agitador	4

2. Tanque de mezcla: En él se realiza la mezcla de la glicerina cruda proveniente de la planta de producción de biodiesel con ácido sulfúrico 0,1M para reducir el pH de la mezcla a pH=4. En estas condiciones se produce la

precipitación de gran parte de los jabones y sales presentes en la corriente inicial de glicerol crudo.

Se trata de un tanque con carcasa cilíndrica, cerrado con fondos superior e inferior semielípticos, para eliminar los volúmenes muertos y favorecer la mezcla. El material de construcción es acero inoxidable AISI 304, debido a su resistencia a la corrosión, que pH ácidos como el nuestro pueden causar.

En el interior del tanque, sobre un suspendido desde la parte superior, ira montado un agitador. Su eje será movido por un motor al que se encuentra conectado.

Las características básicas del este tanque de mezcla son:

Tanque de mezcla	
Material	Acero inoxidable AISI 304
Volumen total (m3)	4,84
Altura (m)	3,23
Diámetro (m)	1,452
Espesor mínimo pared (mm)	6
Modelo Agitador	INOXPA NRI-B-1.11-25007-1
Potencia agitador (kW)	0,75

3. Agitadores del tanque de mezcla y fermentadores

El tipo de flujo que se produce en un tanque agitado depende del tipo de rodete, de las características del fluido y del tamaño y proporciones del tanque, placas deflectoras y agitador.

Este flujo global queda definido por la variación de cada una de las tres componentes de velocidad que experimenta el fluido de un punto a otro del tanque. Estas tres componentes de velocidad son:

1. Velocidad radial: actúa en dirección perpendicular al eje del rodete
2. Velocidad longitudinal: actúa en dirección paralela al eje.
3. Velocidad tangencial o rotacional: actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete.

Dado que en nuestro caso, para los dos agitadores, se dispondrá un eje vertical, las componentes radial y tangencial estarán en un plano horizontal y la componente longitudinal en uno vertical. Estas componentes son útiles, ya que dan lugar al flujo necesario para que se produzca la mezcla. Sin embargo con un eje vertical dispuesto centro del tanque, la componente tangencial de velocidad resulta perjudicial para la mezcla ya que crea un vórtice que genera

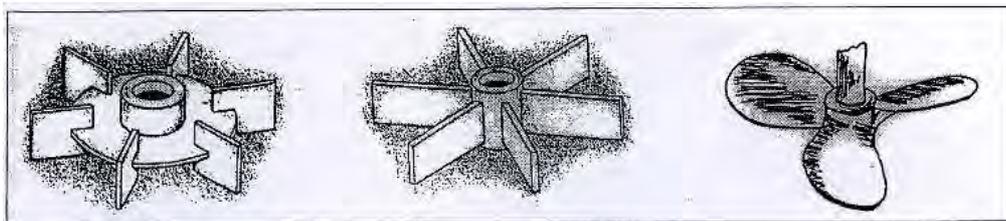
distintas capas de líquido sin mezclar sin que exista flujo longitudinal entre ellas.

Para solucionar esto en el tanque de mezcla, dado que es de un tamaño relativamente pequeño (unos 5m³) el rodete se dispondrá separado del centro del tanque. Se considera que con esta medida no será necesario instalar placas deflectoras.

Por el contrario, los tanques de fermentación, al ser de volúmenes mayores (unos 25 m³) requerirán la instalación de placas deflectoras para evitar la formación del mencionado vértice, quedando el agitador situado en el centro de los tanques.

Es preciso decidir el tipo de agitador que se colocarán en nuestros tanques. Existen básicamente tres tipos de agitadores:

1. Agitadores de hélice: impulsan el líquido hacia el fondo, donde la corriente se extiende radialmente en todas direcciones hacia las paredes, fluye sobre las mismas hacia arriba y retorna hacia la succión de la hélice desde la parte superior
2. Agitadores de paletas: producen un flujo radial intenso en el plano próximo a las palas, pero prácticamente no dan lugar a corrientes verticales.
3. Agitadores de turbina: impulsan al líquido radialmente contra las paredes laterales del tanque, y allí la corriente se divide, una parte de ellas fluye hacia abajo, hasta el fondo del tanque y vuelve al centro del rodete por la parte inferior, la otra parte fluye hacia la superficie del líquido y regresa al rodete por la parte superior.



Esquema de diferentes tipos de impulsores de agitación.

En ambos casos, se instalarán agitadores de hélices de tres palas, debido a su sencillez y efectividad en la agitación cuando se les suministra una adecuada potencia.

Las potencias y modelos de estos agitadores ya han sido definidas al hablar de los fermentadores y el tanque de mezcla en sus tablas de características básicas.

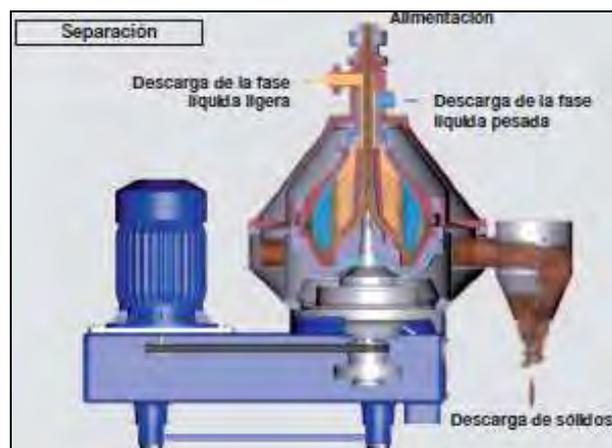
4. Centrífugas de decantación:

Centrífuga 1: Se produce una clarificación de sólidos, por la separación parcial de los jabones y las sales precipitadas por la acción de la fuerza centrífuga. No se eliminan por completo los sólidos, si no que se acondiciona la corriente para que las siguientes unidades funcionen sin problemas, y para que los microorganismos puedan metabolizarla, ya que, metabolizar un glicerol tan crudo no sería posible.

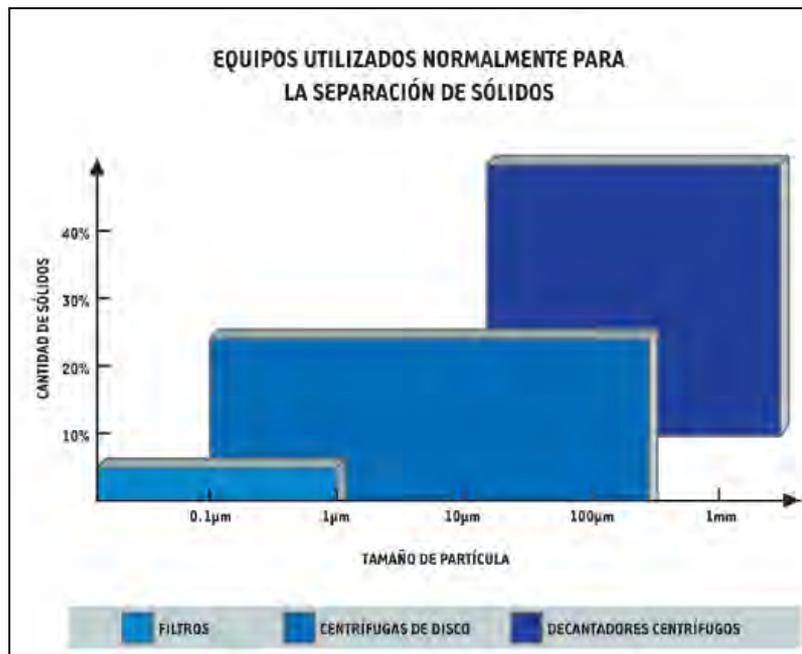
Centrífuga 2: Tras la fermentación, esta es la primera unidad de purificación del caldo de fermentación. En ella se separan la mayoría de los sólidos en forma jabones persistentes, biomasa y sales que la acompañan.

Debido a la naturaleza de los fluidos y de los sólidos presentes (no hay una gran diferencia de densidad con las fases ligeras), la decantación sería un método de separación lento y no del todo efectivo. Es por ello que recurrimos a la centrifugación para separar parte los sólidos presentes. Hay diferentes tipos básicos de centrífugas que se utilizan normalmente en la separación industrial.

- Centrífugas de discos: ideales para una gran variedad de aplicaciones de separación, con concentraciones de sólidos menores y partículas y gotas de menor tamaño. Se emplean en la separación tanto de fases líquidas como de líquidos y sólidos. Las aplicaciones de separación más difíciles implican a menudo tres fases, con una diferencia de densidad mínima de las fases líquidas separadas y en las que se requiere la separación de partículas muy pequeñas. En tales aplicaciones, las centrífugas de discos son muy eficientes.



- Decantadores centrífugos: se emplean generalmente para concentraciones de sólidos grandes con partículas de gran tamaño. Son ideales para clarificaciones en las que no se requiere una retirada absoluta de los sólidos. Permiten trabajar en un amplio rango de caudales y con líquidos de alta viscosidad.



Puesto que en ambas centrifuga no requerimos una eliminación total de los sólidos, sus tamaños no son especialmente pequeños (normalmente mas de 1 mm), y las concentraciones son considerables, las centrifugas de decantación proporcionan un método ideal para nuestra separación.

En la segunda centrífuga, se eliminarán la mayor parte de la biomasa y sólidos de mayor tamaño, pero no moléculas de menores dimensiones, que es por lo que se instala el microfiltro tras ella. Por ello, este tipo de centrifuga también es perfecta para este caso.

Las centrifugas decantadoras se utilizan para separar dos o más fases de peso específico diferente, es decir, en los procesos de clarificación de un líquido en los que se presentan materiales sólidos en suspensión. Eliminan los sólidos en suspensión, obteniéndose un líquido clarificado casi sin sólidos.

Gracias a su versatilidad, así como al know-how tecnológico, pueden utilizarse para los más diversos cometidos en la tecnología de procesos, desde la clarificación hasta la extracción, pasando por la separación, la clasificación y la concentración.

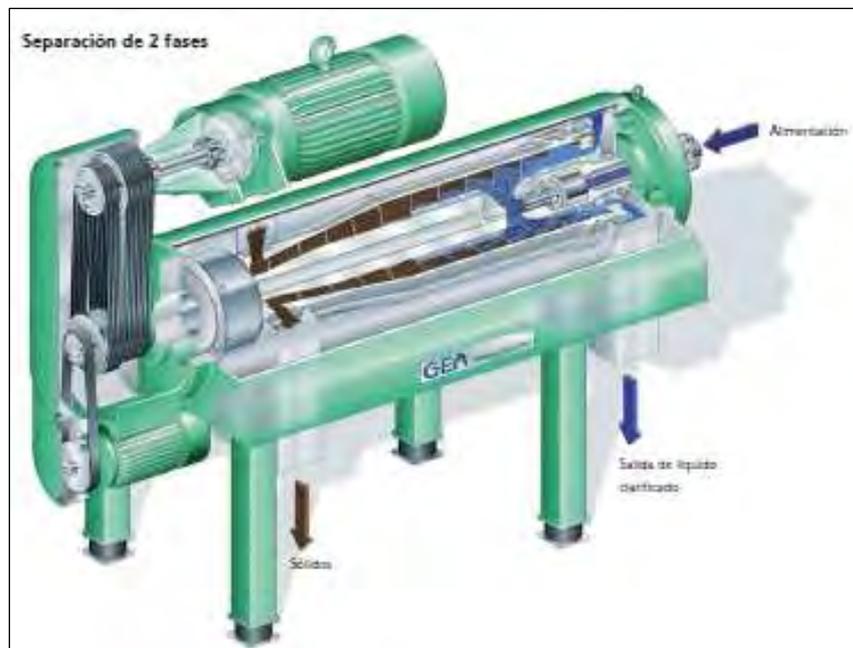
Ventajas

- Máxima deshidratación posible, con grados máximos de eliminación
- Alta seguridad operacional y disponibilidad
- Rápida adaptación de los parámetros de la máquina al registrarse cambios en el producto o el proceso
- Necesidad mínima de mano de obra y bajos costos operacionales
- Manejo, montaje y desmontaje sencillo

Actuación de la centrifuga decantadora

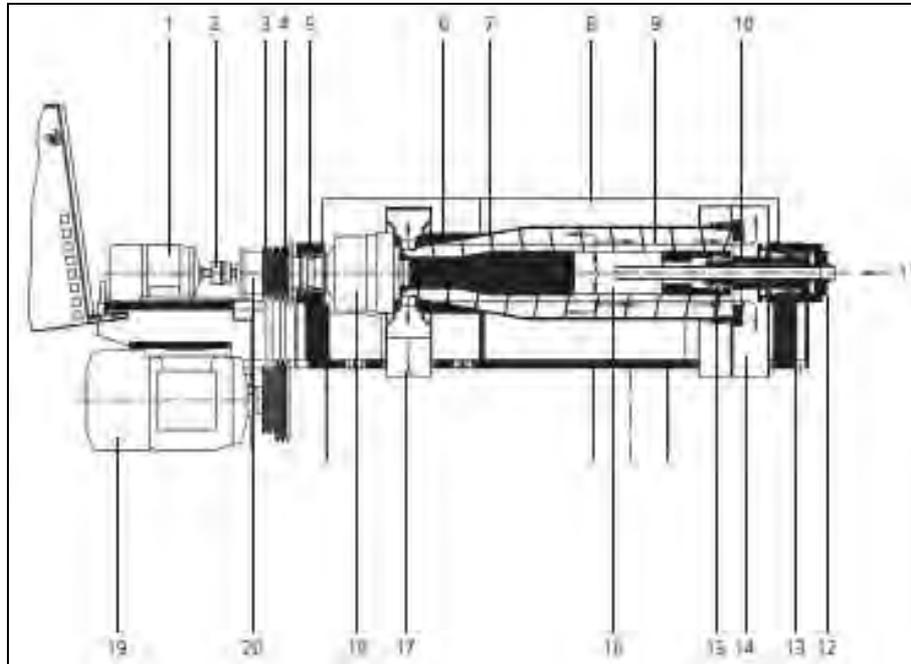
La separación de la fase sólida de la líquida se realiza en el interior de un tambor rodante de forma tronco-cónica y cilíndrica. La fase sólida, más pesada, se deposita sobre las paredes internas de tambor, siendo constantemente raspada por la cóclea interna hasta expulsarla a través de los orificios situados al final de la sección tronco-cónica.

Entre las condiciones esenciales para ello podemos citar una alta velocidad del tambor, un potente accionamiento del sinfín transportador y una velocidad de giro del sinfín que se adapte de forma automática a la carga de sólidos en la alimentación.



El producto se envía al tambor del decantador por el tubo de alimentación (11) y pasa al recinto de centrifugación (9) a través de la cámara de distribución (16). La fuerza centrífuga lanza las partículas sólidas contra la pared del tambor, siendo transportadas luego por el tornillo sinfín (7) hacia la salida (17).

El sinfín gira en la misma dirección que el rotor, pero a distinta velocidad, lo que hace posible a los sólidos desplazarse en sentido contrario al paso de hélice. Los sólidos se arrastran hacia el extremo cónico y el clarificado sale del recinto de centrifugación a través de un diafragma o disco regulador (10), siendo descargado por gravedad.



- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1 Motor de accionamiento secundario | 11 Alimentación |
| 2 Acoplamiento | 12 Tubo de entrada |
| 3 Accionamiento del sinfín | 13 Cojinete del tambor |
| 4 Accionamiento del tambor | 14 Descarga de la fase líquida clarificada |
| 5 Cojinete del tambor | 15 Cojinete del sinfín |
| 6 Tambor | 16 Cámara de distribución |
| 7 Sinfín transportador | 17 Descarga de sólidos |
| 8 Bastidor | 18 Engranaje primario |
| 9 Recinto de centrifugación | 19 Motor de accionamiento primario |
| 10 Diafragma | 20 Engranaje secundario |

Las características generales de las dos centrífugas son:

Centrífuga de decantación 1	
Modelo	INGOR DC1-220
Velocidad giro tambor (r.p.m.)	250
Velocidad límite sedimentación partículas (m/s)	0,0016
Tiempo de residencia mínimo en la centrífuga (s)	6,5
Grado separación sales (%)	50
Grado separación jabones (%)	70

Centrífuga de decantación 2	
Modelo	INGOR DC1-400
Velocidad giro tambor (r.p.m.)	62
Velocidad límite sedimentación partículas (m/s)	0,00045
Tiempo de residencia mínimo en la centrífuga (s)	24
Grado separación sales (%)	50
Grado separación jabones (%)	90
Grado separación biomasa (%)	90

5. Evaporadores: El papel de estas unidades es el de separar fluidos cambiándolos de fase líquida a vapor, para luego ser condensados. El cambio de fase se produce por el incremento de temperatura que sufren estos fluidos al intercambiar calor con un medio de calefacción. Este será en todos los evaporadores vapor de agua sobresaturado a 150°C.

Evaporador 1: El objetivo de la primera evaporación es separar por completo el metanol presente en la corriente que proviene de la centrífuga. Al contrario de cómo ocurría en esta con los jabones y sales, el metanol si se retira por completo, a pesar de que de acuerdo a la bibliografía consultada, el microorganismo elegido sea capaz de metabolizar glicerol crudo con presencia de algo de metanol.

Esto es así porque el metanol es una materia prima básica para la producción de biodiesel, y su recuperación para su reutilización favorece la integración de procesos en la industria del biodiesel y por tanto aumenta su rentabilidad. Este compuesto se utiliza en exceso en la producción para aumentar el rendimiento de la transesterificación, de modo que en el glicerol crudo se encuentra presente en cantidades importantes. En nuestro caso, supone más del 16% en peso de la corriente de alimentación al evaporador. Se trata además de un metanol casi puro, pues a diferencia de etanol, no forma azeótropo con el agua.

Evaporador 2: Se produce la evaporación de toda el agua y ácido acético presente en la corriente de entrada, saliendo de él una corriente de solo 1,3-propanodiol y glicerina.

La evaporación se lleva a cabo a 0,53 atm para disminuir el punto de ebullición del agua y acético y por tanto reducir el consumo energético, de manera que la evaporación se produce a 99°C. La corriente, con más de un 97% de agua se recirculara a los reactores, siendo almacenada previamente en el tanque T-01. El aporte de calor se realiza mediante vapor de agua sobrecalentado a 150°C.

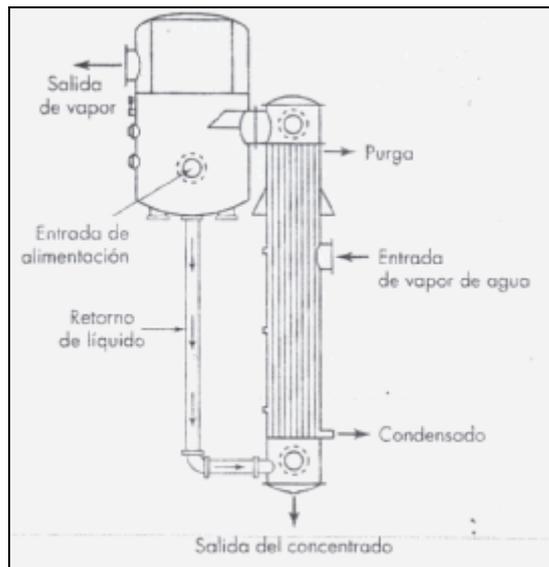
En este punto, se hacen dos suposiciones:

- Ya que toda la corriente proviene de los reactores, conocemos sus características, y asumimos que no tiene contaminación de microorganismos a tener en cuenta. Por ello, consideramos que con la evaporación que sufren el agua y el ácido acético, el grado de esterilidad es suficiente para que esta corriente pueda ser recirculada a los fermentadores.
- El ácido acético presente en la corriente, en aproximadamente un 3% en peso, no se acumulará en el sistema, ya que su presencia previa en el medio de reacción debido a la recirculación, inhibirá la ruta metabólica de producción de ácido acético en los microorganismos.

Evaporador 3: Se lleva a cabo la separación del 1,3-propanodiol, y de la glicerina pura residual presente. La evaporación del 1,3-PDO se lleva a cabo a presión reducida, para reducir el consumo energético. La glicerina se recircula al proceso de pretratamiento, justo antes del esterilizador, tras pasar previamente por el tanque T-04.

Para conocer el funcionamiento de los tipos de evaporadores, hay que saber primero cuales son las partes principales de la mayoría de los evaporadores:

- 1) Un intercambiador de calor tubular con vapor de agua en el lado de la coraza y el líquido que se desea concentrar en el interior de los tubos
- 2) Un separador o espacio de vapor para separar el líquido arrastrado por el vapor
- 3) Brazo de recirculación para el líquido desde el separador hasta el fondo del intercambiador (si opera como unidad de recirculación)
- 4) Entradas para el líquido de alimentación y el vapor de calentamiento, y salidas para el vapor, la solución concentrada, el vapor condensado y los gases no condensables procedentes del vapor de calentamiento.

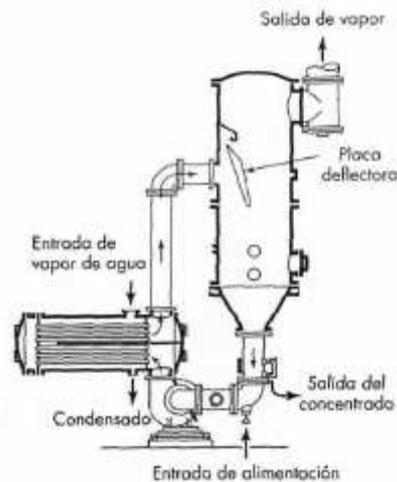


Después, los principales factores que distinguen a los evaporadores son el método por el que circula el fluido, el sistema de alimentación y que tipo de flujo realiza la película de líquido.

CIRCULACIÓN DEL FLUIDO

Circulación natural: el fluido circula de forma natural, entrando a los tubos a una velocidad de 0.3 a 1.2 m/s. La velocidad lineal aumenta muy rápido al formarse vapor en los tubos, de forma que por lo general las velocidades de transferencia de calor son satisfactorias. Sin embargo, con líquidos viscosos, el coeficiente global en una unidad de circulación natural resulta demasiado bajo desde el punto de vista de la eficacia. Coeficientes más elevados se obtienen en evaporadores de circulación forzada.

Circulación forzada: una bomba centrífuga impulsa el líquido a través de los tubos entrando con una velocidad de 2 a 5.5 m/s. Los tubos están sometidos a una carga estática suficiente para asegurar que no se produzca ebullición en los mismos; el líquido comienza a sobrecalentarse a medida que se reduce la carga estática con el flujo desde el calentador hasta el espacio de vapor, y se genera una mezcla de vapor y líquido pulverizado a la salida del intercambiador, justo antes de entrar en el cuerpo del evaporador. La mezcla de vapor y líquido choca contra una placa deflectora en el espacio de vapor. El líquido retorna a la entrada de la bomba, donde se mezcla con la alimentación fresca; el vapor sale por la parte superior del cuerpo del evaporador hacia el condensador, o al siguiente efecto. La parte del líquido que abandona el separador se retira de forma continua como concentrado.

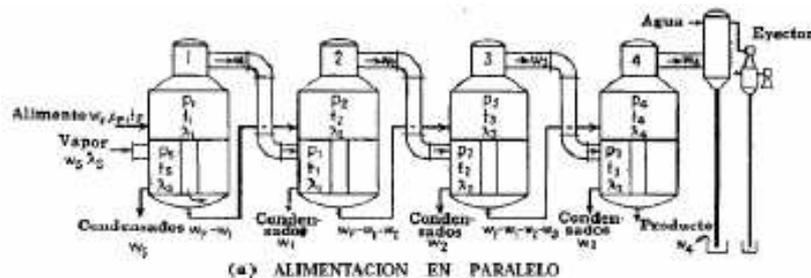


En el caso de líquidos poco viscosos, la mejora que se obtiene con circulación forzada no suele compensar los costes adicionales con respecto a la circulación natural; pero en cambio si se compensa con líquidos viscosos, en especial cuando hay que utilizar como materiales de construcción metales costosos.

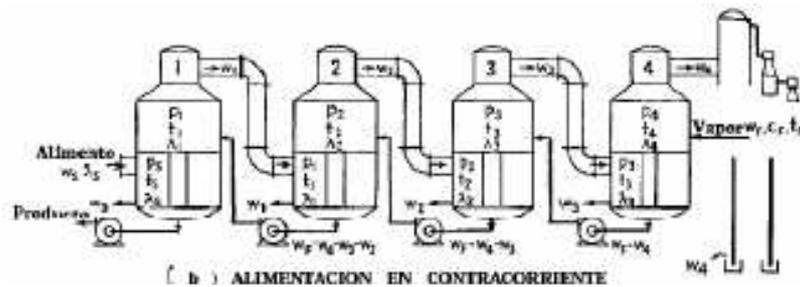
SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN

En cuanto a la dirección de la alimentación, en evaporadores multiefecto, existen básicamente dos posibilidades: en la misma dirección que el vapor (alimentación directa) o en sentido contrario al vapor (alimentación en contracorriente).

Alimentación directa: consiste en introducir mediante una bomba la disolución diluida en el primer efecto y hacerla circular después a través de los demás efectos. La concentración de la disolución aumenta desde el primer efecto hasta el último. Este modelo de flujo del líquido es el más sencillo. Requiere una bomba para introducir la alimentación en el primer efecto, ya que con frecuencia este está a una presión superior a la atmosférica, y una bomba para extraer la disolución concentrada del último efecto. Sin embargo, el paso de un efecto a otro se realiza sin bombas puesto que el flujo es en el sentido de presiones decrecientes, y todo lo que se requiere son válvulas de control en las líneas de unión.



Alimentación en contracorriente: método común en el que la alimentación diluida se introduce en el último efecto y se bombea después a través de los sucesivos efectos hasta el primero. Este método requiere una bomba entre cada pareja de efectos, además de la bomba de disolución concentrada, ya que el flujo tiene lugar en el sentido de presiones crecientes. La alimentación inversa conduce con frecuencia a una mayor capacidad que la alimentación directa cuando la disolución es viscosa, pero puede ser menos eficiente que la alimentación directa cuando la alimentación está fría.



La alimentación directa es siempre preferible desde el punto de vista del uso efectivo de los potenciales de temperatura. Sin embargo, la alimentación en contracorriente es necesaria cuando se trabaja con fluidos muy viscosos; la temperatura del primer efecto siempre es mayor que la de los efectos sucesivos por estar a mayor presión, por lo que la viscosidad de la disolución ya concentrada se reduce facilitando el flujo y aumentando la transferencia de calor. Hay que tener en cuenta también que con este tipo de alimentación es necesario impulsar el fluido en cada etapa aumentando los costes de bombeo y mantenimiento. No obstante, este incremento de costes suele compensarse con el aumento de la eficiencia del vapor que se da en contracorriente.

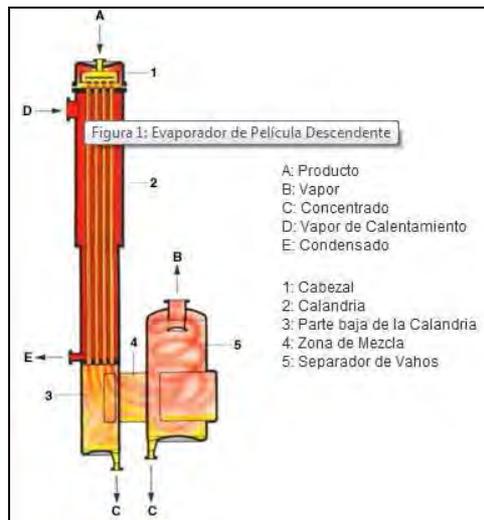
FLUJO DE LA PELÍCULA DE LÍQUIDO

La película de líquido que circula por los tubos del evaporador puede fluir básicamente de tres formas: película ascendente, película descendente o película agitada.

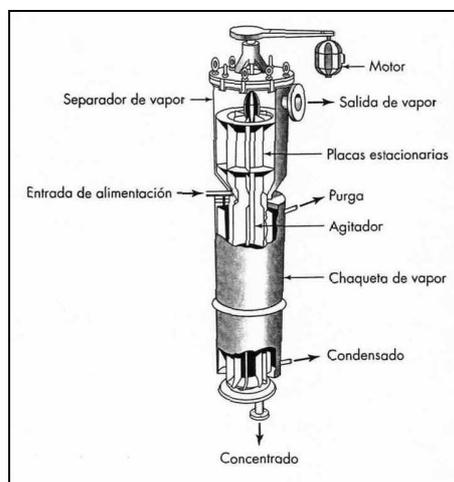
Película ascendente: la alimentación diluida entra al sistema y se mezcla con el líquido que retorna del separador. La solución concentrada es retirada por el fondo del calentador; el resto de la solución es parcialmente vaporizada conforme sube a través los tubos. La mezcla de líquido y vapor fluye desde arriba de los tubos dentro del separador, donde su velocidad se reduce en forma considerable. Para ayudar a eliminar gotas de líquido, el vapor golpea sobre ellas y entonces pasa alrededor de placas deflectoras colocadas antes de la salida del separador.

Película descendente: el líquido entra por la parte superior, desciende por el interior de los tubos calentados con vapor de agua, como una película y sale

por el fondo. Los tubos son largos —de 50 a 250 mm de diámetro—. El vapor procedente del líquido generalmente es arrastrado hacia abajo con el líquido y sale por el fondo de la unidad. Estos evaporadores parecen largos intercambiadores tubulares verticales con un separador de líquido y vapor en el fondo y un distribuidor de líquido en la parte superior, para proporcionar una distribución uniforme del líquido en forma de película dentro de los tubos. Funciona bien con líquido viscosos pues estos caen dentro de los tubos por sí mismo.



Película agitada: es un evaporador de película descendente modificado con un solo tubo encamisado que contiene un agitador interno. La alimentación entra por la parte superior de la sección encamisada y se dispersa en forma de película altamente turbulenta mediante las palas verticales del agitador. El concentrado sale por la parte inferior de la sección encamisada; el vapor asciende desde la zona de vaporización hasta un separador no encamisado, cuyo diámetro es algo mayor que el tubo de evaporación. En el separador, las palas del agitador proyectan hacia fuera el líquido arrastrado que choca contra unas placas verticales estacionarias. Las gotas coalescen sobre estas placas y retornan a la sección de evaporación. El vapor sale a través de los orificios situados en la parte superior de la unidad.



Tienen el inconveniente de ser más caros y requerir más mantenimiento. Su principal ventaja es su capacidad para conseguir elevadas velocidades de transferencia de calor con líquidos muy viscosos (hasta 1000 P) gracias a la agitación mecánica de la película.

En base a estas características generales, los tipos de evaporadores comunes disponibles en la industria, se dividen en los siguientes grupos:

- Evaporadores de tubos largos verticales
 - Evaporadores de circulación forzada
 - Evaporadores de película ascendente
 - Evaporadores de película descendente
 - Evaporadores de película agitada

- Evaporadores de tubos cortos horizontales

Según las características de los evaporadores y los tipos disponibles en la industria, realizamos las siguientes elecciones de evaporadores:

Evaporador EVPR-101: La considerable viscosidad de la corriente de entrada juega un papel determinante a la hora de elegir el evaporador más adecuado. El glicerol es un compuesto muy viscoso (749 cP a 25°C) y el alto contenido de este en la corriente de entrada al evaporador (mas del 65%) hace que debamos elegir un evaporador que funcione adecuadamente con fluidos de este tipo.

En base a esto se ha elegido un evaporador de tubos largos verticales, de circulación forzada y alimentación en contracorriente. No se ha optado por uno de película agitada por su alto coste y mantenimiento y porque nuestra corriente siendo viscosa, no lo es tanto como para requerir este evaporador.

Al tratarse de un evaporador instalado en una planta piloto, la corriente a tratar no será muy grande (3,139 m³/h). Esto, unido a que el punto de ebullición del etanol es relativamente bajo (64,7 °C) y que no esta presente en una gran cantidad (15 %) hace que decidamos que el evaporador sea simple y no de efecto múltiple y operar a presión atmosférica y no a presión reducida. Otro punto de vital importancia para no elegir un evaporador de múltiple efecto es el importante aumento de costes que este implicaría.

Evaporador EVPR-102: En esta corriente el contenido en glicerol es muy bajo, representando menos del 1%. La mayor parte de la corriente es agua (90%) por lo que la viscosidad será muy parecida a la del agua. Así pues, para llevar a cabo esta evaporación, a priori no es necesario utilizar circulación forzada ni una alimentación en contracorriente. Sin embargo, como se demostrará mas tarde, el elevado caudal a evaporar en esta unidad, hace que valga la pena

utilizar una circulación forzada, ya que aumenta a más del doble el coeficiente de transmisión de calor, reduciendo a la mitad el área de intercambio, y por tanto el coste del evaporador y el consumo energético.

Por tanto, el modelo elegido será un evaporador de tubos largos verticales, de circulación forzada y alimentación en contracorriente.

Como en el caso anterior, será de un solo efecto (evaporador simple), pues aunque trata caudales más altos, y el fluido (ácido acético) es más complicado de evaporar, la cámara de evaporación se encontrará a presión reducida para reducir la temperatura de ebullición del acético y facilitar el proceso. Además, como en el primer evaporador el aumento de costes es prohibitivo.

Evaporador EVPR-103: La corriente que alimenta a esta unidad posee un contenido no muy alto de glicerol, aunque si para tener en cuenta (casi un 9%). No obstante, la mezcla fluida llega con cierta temperatura al evaporador (80°C) por lo que la viscosidad del fluido se reduce. Igualmente ocurre con el fluido en el interior del evaporador, pero aun en mayor medida, al alcanzarse mayores temperaturas, para producir la evaporación del 1,3-propanodiol. Así pues, el evaporador más adecuado es uno de tubos largos verticales, circulación forzada y alimentación en contracorriente.

Una vez más será de un solo efecto, debido a que los costes son menores y el caudal a tratar es relativamente bajo. Además, la evaporación se realizará a vacío, con el fin de reducir el elevado punto de ebullición del 1,3-PDO (214°C).

En las siguientes tablas se presentan las características básicas de los evaporadores instalados en la planta:

Evaporador 1	
Modelo	EEC-Evaposep Model CS-500
Características	Tubos largos verticales
	Circulación forzada
	Alimentación en contracorriente
Consumo de vapor (kg/h)	456
Superficie mínima (m ²)	0,49
Presión cámara evaporación (atm)	1

Evaporador 2	
Modelo	EEC-Evaposep Model CS-5000
Características	Tubos largos verticales
	Circulación forzada
	Alimentación en contracorriente
Consumo de vapor (kg/h)	4832
Superficie mínima (m ²)	5,77
Presión cámara evaporación (atm)	0,52

Evaporador 3	
Modelo	EEC-Evaposep Model CS-500
Características	Tubos largos verticales
	Circulación forzada
	Alimentación en contracorriente
Consumo de vapor (kg/h)	85
Superficie mínima (m ²)	0,84
Presión cámara evaporación (atm)	0,10

6. Intercambiadores de calor: Considerando aparte el esterilizador, en la planta se precisan dos equipos que intercambien calor con la corriente de glicerol crudo pretratada, cada uno de ellos con funciones distintas. Estos son:

Pre calentador: El fluido que sale del evaporador libre ya de metanol se mezcla con la recirculación L24 de glicerol puro, y se hace pasar por este pre calentador con el fin de incrementar su temperatura antes de pasar por el cambiador de calor que le proporcionara la temperatura de esterilización. En esta unidad la corriente debe pasar de 70°C a 100°C. El intercambio de calor se hace con la corriente de salida del esterilizador que se encuentra a 140°C, de manera que no se consume vapor.

Además de pre calentarse la corriente a esterilizar, se enfría la corriente ya esterilizada, necesario para poder introducirla en los fermentadores

Enfriador: Tras pasar por el tubo de esterilización, la temperatura de la corriente debe reducirse desde los 140°C hasta los 37°C a los que se realiza la fermentación. Esto se realizara en un intercambiador de calor, en el que se usara agua fría a 25°C como fluido refrigerante.

Los factores principales a tener en cuenta en la elección de un tipo dado de intercambiador para un servicio concreto son los siguientes

- Temperaturas de trabajo, y estado (líquido o vapor) de los fluidos.
- Presiones de las corrientes y perdidas de presión admisibles.
- Caudales de los fluidos.
- Posibilidades de ensuciamiento del aparato.
- Acción corrosiva de los fluidos.
- Espacio disponible para la instalación.

Los intercambiadores de calor mas utilizados en la industria son los siguientes:

Intercambiadores de calor de doble tubo

Es el tipo más sencillo de intercambiador de calor. Está constituido por dos tubos concéntricos de diámetros diferentes. Uno de los fluidos fluye por el tubo de menor diámetro y el otro fluido fluye por el espacio anular entre los dos tubos. Ambos fluidos intercambian calor a través de la pared que separa los dos fluidos.

En este tipo de intercambiador son posibles dos configuraciones en cuanto a la dirección del flujo de los fluidos: flujo en contracorriente y flujo paralelo, en función de que el fluido refrigerante/calefactor y el fluido a tratar fluyan en direcciones opuestas o en la misma dirección, respectivamente.

Intercambiadores de calor de placas

Son intercambiadores diseñados para lograr una gran área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen. Su diseño se basa en sustituir las superficies tubulares por superficies planas con cierta rugosidad.

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

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

Estos intercambiadores se emplean normalmente cuando al menos uno de los fluidos es un gas, y en consecuencia se caracteriza por un coeficiente de convección pequeño. Pueden desmontarse con facilidad para su limpieza, y tienen poco volumen, aunque su precio es normalmente elevado.

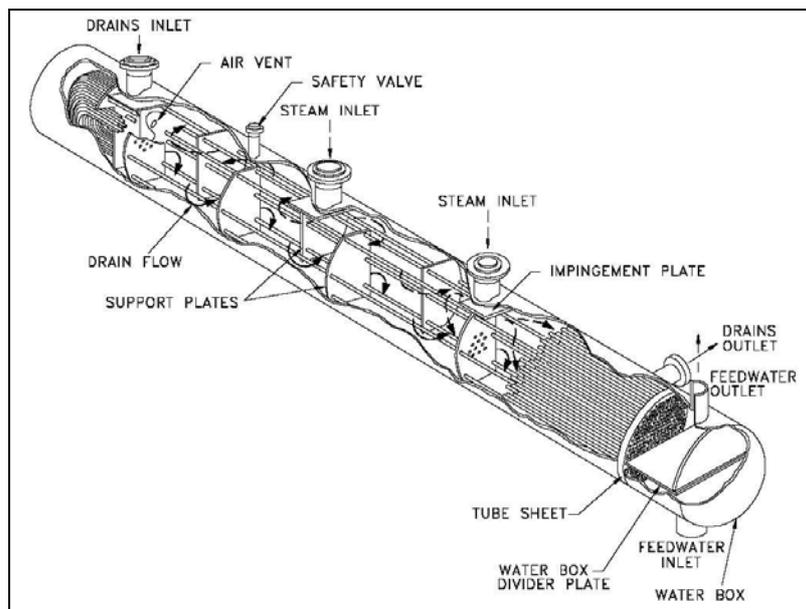
La eficiencia de la transferencia de calor en estos intercambiadores se debe a la turbulencia que presentan los fluidos a velocidades bajas. Esta turbulencia inducida se produce porque los fluidos fluyen en corrientes de pequeño espesor (3-5 mm) con cambios abruptos en su dirección y velocidad.

Intercambiadores de calor de carcasa y tubos

Es el tipo más común de intercambiador de calor en las aplicaciones industriales y se presenta en varios modelos distintos según sus aplicaciones.

Están compuestos por una carcasa cilíndrica en cuyo interior se dispone un haz de tubos de pequeño diámetro paralelamente al eje del cilindro. En los extremos del haz de tubos se dispone de cabezales que, mediante unas placas apropiadamente dispuestas, obligan al fluido que circula por el interior de los tubos a recorrer un camino sinuoso por el haz de tubos. Los cabezales pueden retirarse con cierta facilidad para proceder a la limpieza del intercambiador y a su reparación si fuese necesario. Asimismo, diversos tabiques deflectores colocados en la carcasa hacen que el fluido externo circule en dirección lo más perpendicular posible al haz de tubos, mejorándose la transmisión de calor. El intercambiador de carcasa y tubos se usa más frecuentemente para líquidos y altas presiones.

La transferencia de calor tiene lugar a medida que uno de los fluidos se mueve por el interior de los tubos mientras que el otro se mueve por fuera de estos, por el casco. Este tipo de intercambiadores se clasifica por el número de pasos por el casco y por el número de pasos por los tubos.



Los intercambiadores seleccionados para nuestra planta serán de carcasa y tubo, en ambos casos. Esta elección se basa en las características de las corrientes y las condiciones de operación (las corrientes a enfriar y calentar son líquidas, no poseen una temperatura demasiado elevada ni se requiere un salto térmico muy grande, no hay grandes presiones, ni son líquidos especialmente corrosivos). Se trata además de los cambiadores más versátiles y usados en la industria química.

Un factor fundamental para determinar el diseño de estos cambiadores, es determinar que fluido circulará por la carcasa y que fluido lo hará por el interior de los tubos. En general, las reglas aplicables para determinar que fluido va por el casco y cual por los tubos son

1. El fluido a mayor presión o temperatura va en los tubos.
2. El fluido más corrosivo va en los tubos.
3. Los fluidos más sucios van en los tubos
4. El fluido con menor pérdida de presión va en el casco.
5. El fluido del lado de la carcasa es un líquido de viscosidad elevada o un gas.

Con respecto al precalentador, dado que ambos fluidos (frío y caliente) son el mismo, se determina que el caliente será el que circule por el interior de los tubos, en base al criterio numero 1. Para el enfriador, según el criterio numero 5, Serra el agua la que fluya por los tubos, ya que el glicerol crudo a enfriar es de mayor viscosidad que esta.

En las tablas siguientes se indican las características básicas de estas dos unidades de intercambio de calor:

Precalentador	
Tipo de cambiador	Carcasa y tubos (4 pasos)
Modelo	BASCO Standard Type 500 U-Tube 06048
Área mínima intercambio calor (m2)	3,11

Enfriador	
Tipo cambiador de calor	Carcasa y tubos (4 pasos)
Modelo cambiador de calor	BASCO ASME/TEMA-C U-Tube 10120
Área mínima intercambio calor (m2)	11

7. Esterilizador: Una vez que se ha pretratado la corriente que se ha introducir en el reactor, hay que proceder a esterilizarla, con el fin de evitar contaminación de otros microorganismos en el fermentador. Si la fermentación es invadida por un microorganismo extraño las consecuencias pueden ser:

- Pérdidas de productividad, pues el microorganismo invasor también consume nutrientes.
- La contaminación puede desplazar al microorganismo deseado, y producir subproductos indeseados.
- Puede degradar nuestro producto de interés o incluso producir lisis celular.

La intención de una esterilización es eliminar por completo cualquier forma de vida presente en un sistema. Esta definición excluye por lo tanto cualquier

técnica que resulte solamente en un daño a los microorganismos o atenuación de la actividad de cualquier tipo.

Para evitar por completo la contaminación del sistema deben llevarse a cabo las siguientes acciones:

- Uso de un inóculo puro para empezar la fermentación
- Esterilizar el medio empleado
- Esterilización de todas las sustancias que sean añadidas a la fermentación durante el proceso.
- Mantenimiento de condiciones asépticas durante el proceso.

La extensión con la que estas medidas sean llevadas a cabo determinara la probabilidad de contaminación y la naturaleza de sus consecuencias. Existen básicamente tres tipos de métodos para esterilizar sistemas, las cuales se mencionan a continuación:

- Métodos químicos: Se realiza por la adicción de agentes químicos que producen la muerte de los microorganismos.
- Métodos físicos: Implican procedimientos físicos como la radiación o la ultrafiltración.
- Métodos térmicos: Se consigue la muerte de los microorganismos por la aplicación de calor.

Para aplicaciones industriales generales, siempre que no haya problemas graves de termoestabilidad con los compuestos presentes en el medio, se usa la aplicación de calor por vapor. Dado que en nuestra corriente hay compuestos químicos comunes sin alta sensibilidad al calor, este será el método que usaremos.

Esterilización térmica por vapor

En este caso, la cinética de inactivación es de primer orden respecto al número de microorganismos:

$$\frac{dN}{dt} = -k_d \cdot N \Rightarrow \ln \frac{n_t}{n_0} = -k_d \cdot t$$

donde: N: número de microorganismos en el tiempo t
K_d: constante de decaimiento o muerte, que depende de la temperatura siguiendo la ecuación de Arrhenius:

$$k_d = k_o \cdot e^{\left(\frac{-\Delta E_a}{RT}\right)}$$

k_o : factor de frecuencia (s^{-1})

E_a : energía de activación

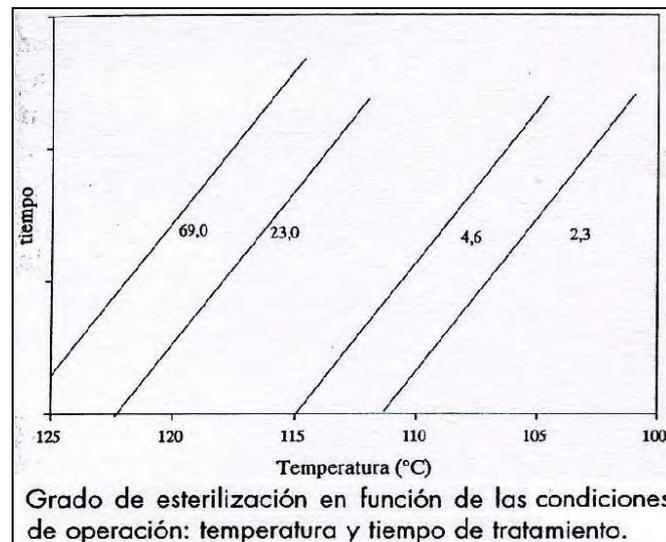
R : constante de los gases (8,314 J/K·mol)

T : temperatura (K)

El factor naba (∇) es utilizado como criterio de diseño para la esterilización. Es una medida de la reducción de microorganismos viables producida por un tratamiento a una temperatura dada, durante un tiempo concreto.

$$\nabla = \ln \frac{N_0}{N_t} \Rightarrow \nabla = \ln \left(\frac{N_o}{N_t} \right) = \int_{T_o}^T k_d \cdot dt = -k_d \cdot t$$

Toda esterilización será más efectiva cuanto más tiempo dure y a cuanto mayor temperatura se produzca. Si embargo largos tiempos de esterilización no suelen ser recomendables por la degradación térmica de algunas sustancias. En la siguiente figura se aprecia que, para un ∇ determinado, cuanto mayor temperatura menor tiempo se necesita, y viceversa.



Este tipo de esterilización puede llevarse cabo tanto en régimen continuo como discontinuo. En caso de ser discontinuo, habrá que tener en cuenta que el efecto final de esterilización ser la suma del proceso de calentamiento (∇_c) y enfriamiento (∇_e) más el tiempo de temperatura constante (∇_t):

$$\nabla = \nabla_c + \nabla_t + \nabla_e$$

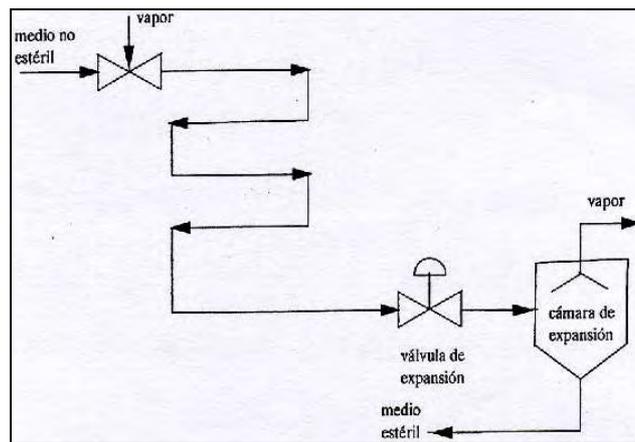
Sin embargo, debido a las características de nuestro proceso, totalmente en continuo hasta y desde los reactores biológicos discontinuos secuenciales, una esterilización en continuo es más ventajosa debido a las siguientes razones:

- La esterilización en discontinuo supondría instalar sistemas de esterilización en cada uno de los 3 reactores discontinuos presentes en la planta, lo que supondría una elevada inversión. Con un esterilizador continuo, el medio será esterilizado en un único equipo, y luego podrá ser distribuido de forma continua a cada reactor.
- Las esterilizaciones discontinuas requieren mucho tiempo para ser realizadas: entre el proceso de calentamiento, mantenimiento de temperatura y enfriamiento del medio, frecuentemente se gastan más 3 de horas. Con el esterilizador en continuo, los tiempos de calentamiento y enfriamiento prácticamente desaparecen. Esto unido a que se alcanza temperaturas mayores, hace que la esterilización sea mucho más rápida (minutos en vez de horas) y el proceso mucho más eficiente.
- Se evita el deterioro de cada uno de los tanques de fermentación por efectos de corrosión debido a las altas temperaturas del proceso de esterilización y a la presencia de vapor en la mayoría de los casos.
- En la esterilización continua se alcanzan temperaturas mayores. Al tener que tratar cantidades mucho menores de corriente por cada unidad de tiempo que en los tanques discontinuos, el proceso se hace mucho más corto, evitando la degradación térmica del medio de fermentación. Además, se estima que la cantidad de vapor necesitada para la esterilización continua es un 20-25% menor que en la discontinua.

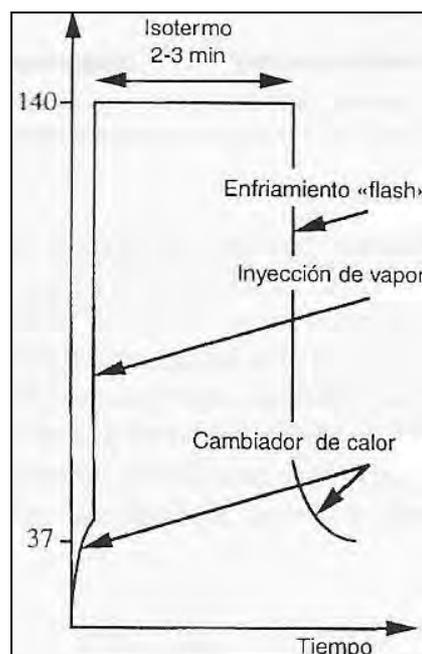
La precaución que se habrá que tener en cuenta, es usar conducciones en condiciones asépticas para el transporte hasta los tanques. Igualmente, al ser un equipo que suministra corriente a todos los tanques, un fallo en su funcionamiento supondría la parada de toda la planta, por lo que habrá que disponer de un esterilizador auxiliar.

Existen dos formas de llevar a cabo la esterilización de forma continua:

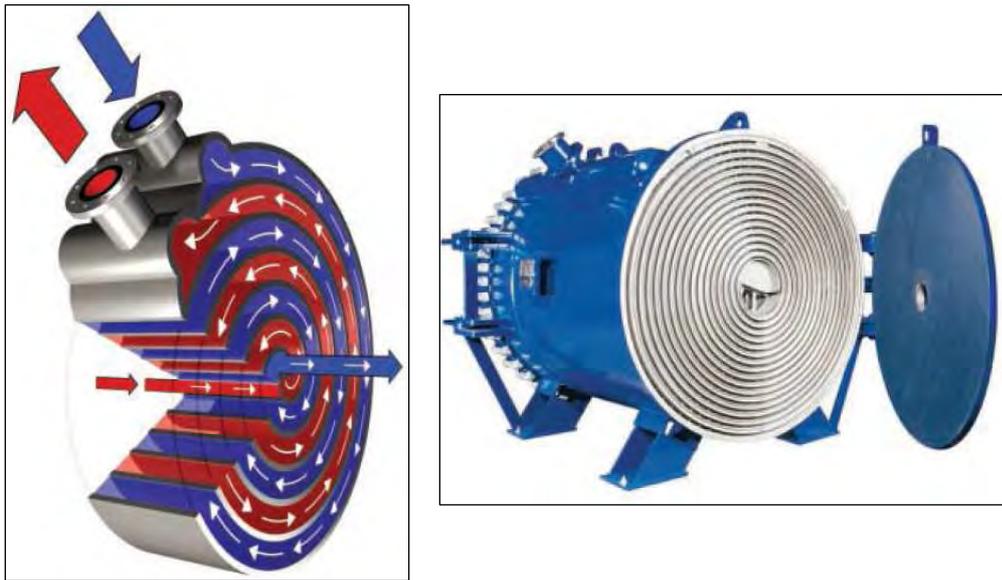
- a) Inyección directa de vapor: Resultan ser más eficientes dado que no hay barreras entre el medio y el vapor. Son más baratos al no requerir intercambiador de calor. Tienen problema de que se produce dilución del medio por la condensación del vapor además de la producción de espuma por la inyección de calor. Su gran inconveniente es que el vapor a usar debe estar en condiciones asépticas. Esto implica que no puede contener aditivos químicos, que comúnmente se usan para la generación del vapor, para evitar sus efectos de corrosión sobre las conducciones y equipos, lo cual la hace compleja.



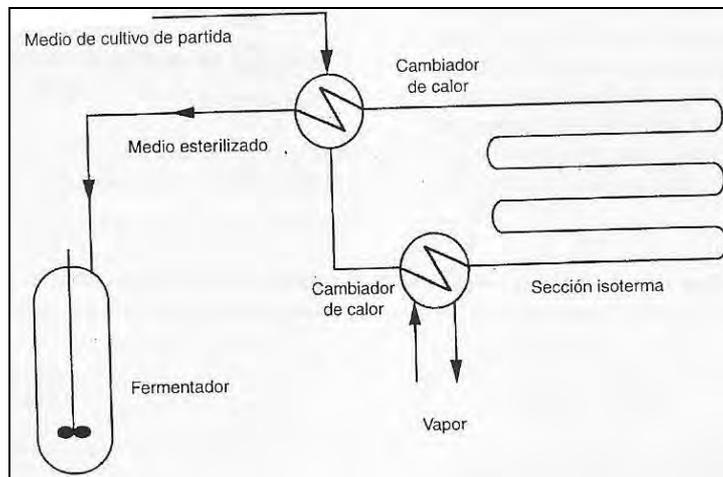
En el siguiente grafico se observa como se dan los perfiles de temperatura en este tipo de esterilizadores. Como se mencionó anteriormente los tiempos de calentamiento y el enfriamiento son despreciables.



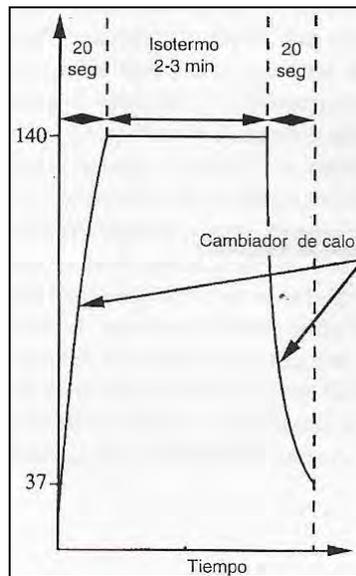
- b) Intercambiadores de calor: El modelo más adecuado para esta función son de doble espiral. Consisten en dos placas de acero inoxidable curvadas sobre un eje central, para formar una espiral doble, como se observa en la figura siguiente. El vapor se hace pasar por una espiral, y el medio por la otra en contracorriente. De esta manera se impide la contaminación del medio por el vapor. Además, estos intercambiadores disponen de sistemas de autolimpieza evitando los efectos de sedimentación y ensuciamiento sobre la superficie de intercambio de calor.



Como se observa en diagrama siguiente, existe un intercambiador de calor previo al intercambiador que proporciona la temperatura de esterilización. Sirve para precalentar la corriente antes de que entre al cambiador principal, y para enfriarla al salir de la zona de temperatura constante, aprovechando su calor en el precalentamiento.



En el grafico siguiente se observa el perfil de temperatura de la corriente en un intercambiador al pasar por las citadas zonas: precalentamiento, temperatura constante y enfriamiento. Aunque los tiempos de calentamiento y enfriamiento son algo mayores que en el caso anterior, a la hora de llevar al cabo el diseño se desprecian por ser cortos y partir desde temperaturas muy inferiores a la fijada para la esterilización.



Concluimos pues, que se tratará de un esterilizador continuo, en el que mediante un cambiador de doble espiral se suministra el calor necesario para que la corriente alcance una temperatura de 140°C. El medio de aporte de calor es por vapor de agua sobrecalentado a 150°C.

Tras alcanzar los 140°C, la corriente se hace pasar por un tubo de esterilización aislado térmicamente, manteniendo esta temperatura durante un tiempo determinado igual al que tarde es fluir por el tubo.

Sus características principales son:

Esterilizador	
Tipo cambiador de calor	Doble espiral
Modelo cambiador calor	Alfa Laval Doble Spiral Heat Exchager
Área mínima intercambio calor (m ²)	3,12
Consumo vapor (kg/h)	142
Longitud tubo esterilización (m)	10
Tiempo esterilización (min)	4,5
Temperatura esterilización (°C)	140

8. Microfiltro: Tras la centrifugación, en la que se han retirado la mayor parte de la biomasa y grasas, y sobre la mitad de las sales provenientes del fermentador, hay que proceder a una separación de afino, que nos permita eliminar las últimas impurezas sólidas de la corriente, antes de introducirla en los equipos de separación finales, evaporador y columnas de destilación.

Esto se realiza mediante un microfiltro que será capaz de separar partículas de mucho menor tamaño que la centrifuga (de 0,1 a 0,4 μm). Como en la filtración tradicional, el principio es la separación física. El tamaño de los poros de la membrana determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana. La clave reside en las membranas, generadas a partir de materiales especiales, con diámetros de poro extremadamente pequeños. Para hacer pasar el fluido a través de estas membranas de forma efectiva, este debe ser impulsado, estableciéndose una diferencia de presión a un lado y otro de la membrana de filtración.

Dos factores determinan la efectividad de una filtración de membrana: selectividad y productividad. La selectividad se expresa mediante el factor de retención ($\text{l/m}^2\cdot\text{h}$) que determina la cantidad de flujo retenido o que no ha pasado el filtro por hora y metro cuadrado de membrana. La productividad se expresa mediante el flujo ($\text{l/m}^2\cdot\text{h}$) que determina la cantidad de filtrado obtenido por hora y metro cuadrado de membrana. Ambas dependen de la membrana.

Sistemas de membrana

La elección de un determinado tipo de sistema de membrana está determinada por un gran número de aspectos, tales como costes, riesgos de adaptación de las membranas, densidad de embalaje y oportunidades de limpieza. Las membranas nunca son aplicadas como una única placa plana, porque una gran superficie a menudo da lugar a altos costes de inversión. Es por esto que los sistemas son construidos de forma muy compacta, de manera que se consigue una gran superficie de membrana en el mínimo volumen posible.

Las membranas se aplican en varios tipos de módulos. Hay dos tipos principales, llamados sistema tubular de membrana y sistema placa y marco de membrana. Los sistemas tubulares de membrana se dividen en membranas tubulares, capilares y de fibras huecas. Las membranas de placa y marco se dividen en membranas espirales y membranas almohadiformes.

Obstrucción de la membrana

Durante los procesos de filtración de membrana la obstrucción de la membrana es inevitable, incluso con un pretratamiento. Este ensuciamiento depende de muchos factores, tales como la calidad del agua, tipo y material de la membrana y diseño y control de los procesos.

Las partículas, la biobstrucción y “scaling” son los tres tipos principales de suciedad en una membrana. Estos contaminantes hacen que se requiera una mayor carga de trabajo, para poder garantizar una capacidad continua de las membranas. Llegará el punto en el que la presión aumentará tanto que ya no será rentable ni económica ni técnicamente.

Como regla general, el momento de limpiar la membrana será cuando ocurra una reducción del 10 por ciento ya sea en el caudal del agua de producto o en la calidad del agua.

Limpieza de la membrana

Las técnicas principales de limpieza para la eliminación de la suciedad de membrana son: lavado por chorro delantero, lavado por chorro trasero, lavado por chorro de aire y limpieza química.

Tipos de filtración

Los sistemas de membrana pueden ser gestionados a través de filtración frontal o de filtración tangencial.

Filtración frontal

Cuando se realiza una filtración frontal, se hace pasar todo el fluido a través de la superficie de la membrana. Al realizar la filtración el filtrado se irá depositando sobre la membrana formando una torta de sólidos, que crecerá con el tiempo. En consecuencia, el fluido experimentará una mayor resistencia a pasar a través de la membrana. En base a esto, la filtración frontal puede realizarse de dos maneras; a diferencia de presión constante a un lado y otro de la membrana, o a flujo de filtrado constante.

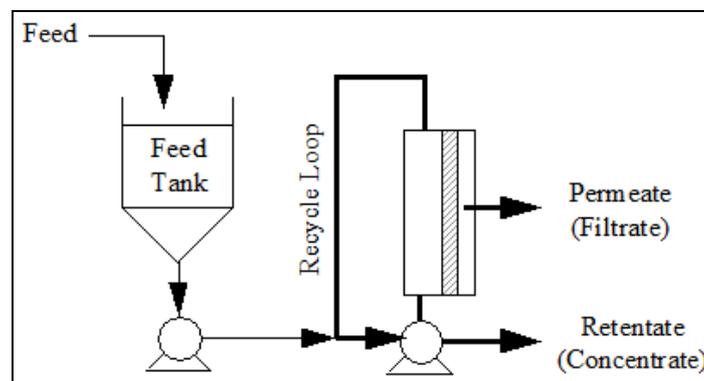
Cuando la presión a un lado y al otro de la membrana no cambia a lo largo del proceso, el flujo de filtrado irá decayendo, debido a la acumulación de sólidos sobre la membrana. Después de un tiempo el flujo habrá decrecido tanto que la membrana necesitará ser limpiada.

Por el otro lado, para conseguir un flujo de filtrado constante, habrá que ir aumentando progresivamente la diferencia de presión a un lado y otro de la membrana. De igual manera, llegará un momento que habrá que limpiar la membrana, pues la diferencia de presiones para mantener el flujo será tal que no resultara viable económicamente o peligrará la integridad de la membrana.

Filtración tangencial

Cuando se realiza una filtración tangencial, el fluido entrante es reciclado. Durante la recirculación el flujo entrante es paralelo a la membrana. Sólo una pequeña parte del agua entrante se usa para la producción de permeado, la mayor parte dejará el módulo. En consecuencia, la filtración tangencial tiene un mayor coste energético, pues todo el flujo de agua entrante necesita ser pasado a presión.

Sin embargo, con este sistema se reduce al mínimo la acumulación de sólidos, debido a la alta velocidad de flujo de fluido paralelo a la membrana que arrastra a los sólidos. Así pues el mayor consumo energético queda compensado por la mayor productividad, debido a la reducción de los tiempos y costes de limpieza.



La filtración de flujo transversal permite una operación continua de 24 horas al día, sin apagado ni limpieza por un periodo de hasta 3 semanas, dependiendo del tipo de proceso y del tipo de membrana.

Esto podrá realizarse siempre que la operación de los microfiltros este concluida, pues el ciclo de producción no se comenzará hasta que todo el volumen de 1,3-PDO de los 3 reactores haya sido separado en el evaporador 3, lo que supone un tiempo sobradamente suficiente.

Debido a las características de la microfiltración tangencial, que reduce las paradas por necesidad de limpieza o sustitución de membranas y por tanto

también los costes derivados de estas acciones, se elegirá un equipo de microfiltración tangencial.

En nuestro proceso hay que tratar un caudal de 16,485 m³/h. Según el catalogo de microfiltro tangenciales de Siemens, el mas adecuado para nuestra planta será el EF/EFC-2400 que es capaz de tratar desde 4,5 hasta 22 m³/h.

En los sistemas de microfiltración de Siemens se usan membranas tubulares poliméricas. Éstas están diseñadas para cargas altas de sólidos, y pueden con hasta entre 2 a 5% en peso de sólidos, un rango adecuado para nuestro proceso, pues nuestra corriente contiene aproximadamente un 2% de sólidos. La membrana KYNAR® usada es muy inerte químicamente, por lo que puede trabajar con la totalidad de los compuestos comunes, como los de nuestro proceso, y en rangos de pH de 0 a 14. Las membranas son resistentes a la abrasión, y suponen una barrera totalmente eficaz ante el paso de sólidos, desde células hasta metales por encima del límite de solubilidad, proporcionando por tanto un filtrado extremadamente limpio.

Todos los materiales del equipo en contacto con la corriente a tratar son de PVC, polietileno, acero inoxidable u otros materiales resistentes a la corrosión.



En el equipo se incluye un sistema de limpieza que causa un flujo inverso a través de la membrana en caso de que esta sea obstruida por contaminantes, permitiendo que el flujo tangencial de alta velocidad las arrastre. Este sistema prolonga la larga vida de la membrana y reduce los bajos requerimientos de limpieza ya característicos de estos sistemas aun más.

El sistema dispone de todo el equipamiento necesario para la operación, incluyendo las conducciones, sistema de limpieza, dos tanques de

almacenamiento de concentrado, y bombas de impulsión de líquidos. Las unidades están diseñadas para la operación continua y automática.

Sus características principales son:

Microfiltro	
Tipo filtración	Filtración tangencial
Modelo microfiltro	EF/EFC-2400
Tipo membrana microfiltración	KYNAR®
Factor de concentración (alimentación/retenido)	100
Concentración máx. partículas en retenido (g/l)	2000
Flujo permeado (L/m ² ·h)	100
Área filtración (m ²)	192

9. Tanques de almacenamiento: Todos estos tanques de almacenamiento son cilíndricos con fondos y techos planos.

Tanque T-01 de almacenamiento de recirculación de agua: Este tanque se almacena parte del agua (con un poco de ácido acético) que se evapora en el evaporador 2. Esta agua almacenada es la exacta que se necesita en los 3 tanques de fermentación. Parte del agua evaporada se purga renovando así la corriente.

Tanque T-02 de almacenamiento de corriente a purificar: Su función es almacenar el fluido libre de impurezas sólidas que va a ser purificado al máximo en los dos últimos evaporadores. La existencia de este tanque responde a necesidades de reducción energética y dimensionamiento de unidades. Mediante él, puede reducirse el caudal del fluido que sale del microfiltro (más de 19 m³/h), dándole salida a un caudal 4 veces menor.

De esta manera, reducimos el tamaño de los dos evaporadores siguientes, pues de lo contrario especialmente el evaporador 2 tendría un gran consumo de vapor (más de 16 Tn/hora) y tendríamos que instalar en la planta una caldera 2 de excesivas dimensiones y consumo. Obviamente, si reducimos el caudal 4 veces el tiempo de operación será también 4 veces mayor, por lo que podría pensarse que el consumo final sería igual. No obstante, la diferencia determinante es la siguiente; la generación de vapor se está realizando con una caldera de 5000 kg/h de vapor durante unas 12 horas, mientras que con una caldera para el caudal inicial, estaríamos hablando de una de 18.000-20.000 kg/h durante solo 3 horas. Esto resultaría del todo ineficaz energéticamente y difícilmente viable, debido a las complicaciones que tiene encender un equipo de tal magnitud para tan corto periodo de tiempo.

Por otro lado, así reducimos notablemente el tamaño de las unidades siguientes (especialmente el evaporador 2), que de la otra manera supondrían una inversión en inmovilizado notablemente mayor y sería bastante menos eficientes energéticamente.

Tanque T-03 de almacenamiento de residuos: Recoge los lodos de las centrifugas 1 y 2 y del microfiltro. Estos residuos se almacenan durante 5 días, momento en el que una gestora de residuos los recoge.

Tanque T-04 de almacenamiento de recirculación de glicerina: Recibe la glicerina separada en el evaporador 3, y la almacena hasta que se reinicie el ciclo de pretratamiento. En ese momento se incorpora esta glicerina a un caudal tal que se vacíe el tanque en 3 horas, las mismas en las que la corriente de glicerol crudo esta fluyendo por las conducciones del pretratamiento en el punto en el que se incorpora esta recirculación.

Tanque T-05 de almacenamiento de producto: Es donde se almacena la producción de 1,3-propanodiol. Cada 5 días como máximo el tanque es vaciado para suministrar materia prima a los clientes.

En el siguiente cuadro se muestran las principales características de todos ellos.

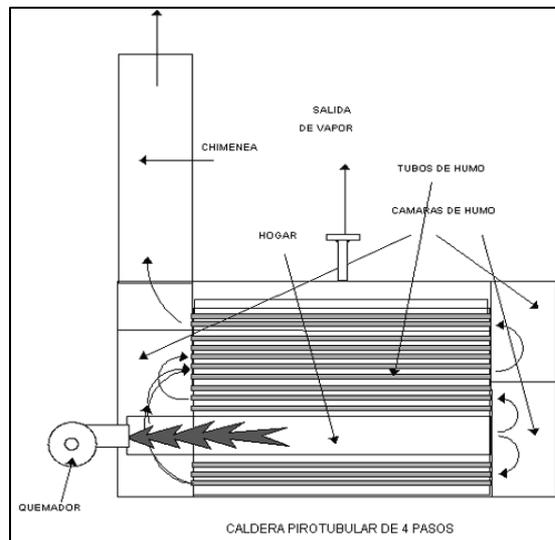
Tanques almacenamiento					
	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05
Volumen total (m3)	64,22	68,89	14,78	1,04	15,3
Diámetro (m)	3,46	3,54	2,12	0,88	2,15
Altura (m)	6,89	7,05	4,22	1,74	4,27
Material	AISI 304				
Espesor pared mínimo (mm)	8	8	6	5	6

9. Calderas de vapor: Las calderas o generadores de vapor son equipos que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. Con ellas se cubren las necesidades energéticas de las unidades que requieren aporte de vapor como los evaporadores, esterilizador, y cambiadores de calor.

Aunque existen numerosos diseños y patentes de fabricación de calderas, cada una de las cuales puede tener características propias, las calderas generadoras de vapor se pueden clasificar en dos grandes grupos; calderas pirotubulares y acuotubulares. Sus principales características se indican a continuación.

Calderas pirotubulares: Se denominan pirotubulares por ser los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera.

El combustible se quema en un hogar, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, y los gases resultantes, se les hace circular a través de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección. Según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen las calderas de uno o de varios pasos. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de ellos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea.



Calderas acuotubulares: En estas calderas, al contrario de lo que ocurre en las pirotubulares, es el agua la que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través del calderín constituye la superficie de intercambio de calor de la caldera. Adicionalmente, pueden estar dotadas de otros elementos de intercambio de calor, como pueden ser el sobrecalentador, recalentador, economizador, etc.

Estas calderas, constan de un hogar en el cual se produce la combustión del combustible y constituyendo la zona de radiación de la caldera. Desde dicho hogar, los gases calientes resultantes de la combustión son conducidos a través del circuito de la caldera, configurado este por paneles de tubos y constituyendo la zona de convección de la caldera. Finalmente, los gases son enviados a la atmósfera a través de la chimenea.

Con objeto de obtener un mayor rendimiento en la caldera, se las suele dotar de elementos, como los ya citados, economizadores y precalentadores, que hacen que la temperatura de los gases a su salida de la caldera, sea menor, aprovechando así mejor el calor sensible de dichos gases

Debido al principio de diseño, en calderas pirotubulares no pueden conseguirse unas producciones tan grandes ni unos parámetros de vapor tan extremos como en las acuotubulares. No obstante en nuestra planta, tales características no son necesarias, ya que las producciones que requerimos son perfectamente alcanzables por caldera pirotubulares (el máximo que requerimos es 5 Tn/h y las hay de hasta 50 Tn/h), y no se requieren grandes presiones de vapor, ni altas temperaturas (requerimos 1 atm y 150°C, y pueden alcanzar hasta 32 atm y 350° C).

Debido al temor que producen las consecuencias catastróficas de la explosión de una caldera, es preciso que estas sean construidas con los máximos niveles de calidad. En ese sentido las calderas acuotubulares, tienen un menor riesgo dada la menor capacidad de agua. No obstante, con la experiencia actual en la industria en este tipo de equipos, siempre y cuando se observen las necesarias medidas de calidad en fabricación y diseño, las calderas pirotubulares ofrecen un alto grado de seguridad y duración.

La calidad del agua de la caldera y del agua de alimentación, es de gran importancia para todo tipo de calderas de vapor. En el caso de las calderas acuotubulares, no es aconsejable su funcionamiento con salinidad en el agua, en la mayor parte de diseños al objeto de evitar la obstrucción en los tubos y que impida la transferencia térmica. Estos requisitos sólo pueden ser satisfechos mediante la instalación de complicados y costosos sistemas de tratamiento de agua las calderas pirotubulares pueden funcionar con salinidad en el agua. No se producen efectos perjudiciales sobre la superficie de calefacción de la caldera, debido a los depósitos de sal. Pueden utilizarse sencillas unidades de descalcificación de agua para su tratamiento.

Otra diferencia es el tamaño en relación con la capacidad térmica. Normalmente, las calderas pirotubulares requieren menos espacio para similares capacidades. En relación con la capacidad térmica generada, la caldera pirotubular contiene mucha más agua que la acuotubular. Por lo tanto, la caldera pirotubular es más resistente ante las fluctuaciones de vapor o demandas de vapor que excedan temporalmente la producción nominal de la caldera. Por regla general, las calderas pirotubulares ofrecen un mayor rendimiento que las acuotubulares.

Además, el mantenimiento y revisiones periódicas pueden llevarse a cabo de una forma más sencilla en las calderas pirotubulares que en las acuotubulares. Esto se debe en gran parte a que en las pirotubulares pueden realizarse pruebas hidrostáticas con presiones incrementadas mientras que en las acuotubulares no, así como al fácil acceso a las superficies de calefacción de

las piro tubulares, imposible en las acuotubulares por la existencia de zonas inaccesibles.

Por todo ello, hasta una producción de aproximadamente 200 t/h, 32 bar y 350°C, la mejor elección es, generalmente, el uso de calderas piro tubulares, debido a que son más económicas en su adquisición y mantenimiento. Es por ello, que nuestras calderas, tanto la 1 como la 2, serán calderas piro tubulares.

El combustible usado para la combustión en los quemadores será biodiesel procedente de la planta de biocombustibles. En ambos casos, el vapor generado será de una temperatura de 150°C y 1 atm de presión.

Caldera 1: Genera el vapor necesario en las unidades de pretratamiento que lo requieren; evaporador 1 y esterilizador. También suministra vapor para la calefacción de los tanques durante la reacción, ya que esta es endotérmica. No obstante la necesidad de calor para esta tarea es pequeña.

Su disposición es vertical, de manera que el quemador se dispone en la parte superior de la caldera, dirigiendo la llama hacia abajo. Se trata de una caldera modular, es decir, en el mismo modulo o equipo se encuentran integrados varios sistemas necesarios para el funcionamiento, como el quemador y el economizador.

Sus características son básicas son:

Caldera 1	
Tipo caldera	Piro tubular
Modelo	CERTUS tamaño 5
Generación de vapor (kg/h)	850

Caldera de vapor 2: En ella se genera el vapor requerido en los evaporadores 2 y 3. Es de dimensiones mayores que la anterior, ya que es un equipo con más potencia de generación de vapor, necesaria para abastecer de energía calorífica a estos dos últimos evaporadores.

Sus características básicas son:

Caldera 2	
Tipo caldera	Piro tubular
Modelo	ATTSU HH 5000
Generación de vapor (kg/h)	5000

5.3. BALANCE DE MATERIA Y DIAGRAMA DE FLUJO

A continuación se presenta una tabla en la que se muestra el balance de materia general de la planta. En él, se identifican cada una de las corrientes presentes mediante el nombre de la línea de conducciones por la que circula. Existen 25 líneas de tuberías con corrientes de distintas características, ya sea por su composición o por sus condiciones de temperatura (esta afecta decisivamente sobre la viscosidad, y de ahí que sea necesario diferenciarlas a pesar de ser idénticas en composición). Este balance de materia fue determinado mediante una simulación de la planta en el simulador SuperPro Designer.

La densidad de las corrientes se ha obtenido también del SuperPro Designer, que proporciona este dato de forma directa al especificar la composición del fluido. La viscosidad por el contrario se ha obtenido según la siguiente expresión que nos permite determinar la viscosidad de mezclas, teniendo en cuenta siempre la viscosidad de los componentes de la mezcla a su temperatura correspondiente (no se tiene en cuenta a las sales (Na_2SO_4) ya que se consideran disueltas en el agua).

$$\mu_{mezcla} = \mu_1 \cdot X_1 + \mu_2 \cdot X_2 + \mu_3 \cdot X_3 \cdots = \sum_{i=1}^{i=n} (\mu_i \cdot X_i)$$

Línea	Qv (l/h)	Qm (kg/h)	Componentes	% Peso	X molar	ρ_{med} (g/cm ³)	T (°C)	μ_i (Pa·s)	μ_{mezcla} (Pa·s)
L1	3384	3850	Glicerina	60	0,26	1,138	25	1,065	0,332
			Metanol	15	0,19			0,00055	
			Agua	10	0,22			0,001	
			Grasas (jabones)	10	0,03			2	
			Sales (Na_2SO_4)	5	0,01				
L2	2,6	2,4	H ₂ SO ₄ 0,1 M	100	1,00	0,908	25	0,001	0,001
L3 L3.1 L3.2	3387	3853	Glicerina	59,96	0,37	1,138	25	1,065	0,467
			Metanol	14,99	0,26			0,00055	
			Agua	10,06	0,31			0,001	
			Grasas (jabones)	9,99	0,04			2	
			Sales (Na_2SO_4)	5	0,02				
L4 L4.1 L4.2	3022	3406	Glicerina	66,15	0,38	1,127	25	1,065	0,429
			Metanol	16,54	0,27			0,00055	
			Agua	11,11	0,32			0,001	
			Grasas (jabones)	3,39	0,01			2	
			Sales (Na_2SO_4)	2,83	0,01				
L5.1 L5.2	366	447	Glicerina	12,82	0,15	1,221	25	1,065	0,262
			Metanol	3,21	0,11			0,00055	
			Agua	2,15	0,13			0,001	
			Grasas (jabones)	60,29	0,05			2	
			Sales (Na_2SO_4)	21,53	0,02				

Línea	Qv (l/h)	Qm (kg/h)	Componentes	% Peso	X molar	ρ_{med} (g/cm ³)	T (°C)	μ_i (Pa·s)	μ_{mezcla} (Pa·s)
L6	715	567	Metanol	99,33	0,99	0,793	65	0,00034	0,0003
			Agua	0,67	0,01			0,00045	
L7.1	2305	2839	Glicerina	79,36	0,53	1,232	65	0,07	0,039
			Agua	13,17	0,44			0,00045	
			Grasas (jabones)	4,07	0,02			0,14	
			Sales (Na ₂ SO ₄)	3,39	0,01				
L7.2	2395	2948	Glicerina	80,1	0,53	1,230	70	0,06	0,034
			Agua	12,6	0,44			0,0004	
			Grasas (jabones)	3,9	0,02			0,12	
			Sales (Na ₂ SO ₄)	3,3	0,01				
L8	2395	2949	Glicerina	80,1	0,53	1,230	100	0,034	0,019
			Agua	12,6	0,44			0,0003	
			Grasas (jabones)	3,9	0,02			0,068	
			Sales (Na ₂ SO ₄)	3,3	0,01				
L9	2395	2949	Glicerina	80,1	0,53	1,230	140	0,00018	0,0002
			Agua	12,6	0,44			0,0002	
			Grasas (jabones)	3,9	0,02			0,00036	
			Sales (Na ₂ SO ₄)	3,3	0,01				
L10	2395	2949	Glicerina	80,1	0,53	1,230	105	0,03	0,017
			Agua	12,6	0,44			0,00025	
			Grasas (jabones)	3,9	0,02			0,06	
			Sales (Na ₂ SO ₄)	3,3	0,01				
L11 L11.1 L11.2 L11.3	2395,7	2949	Glicerina	80,1	0,53	1,231	38	0,6	0,338
			Agua	12,6	0,44			0,00075	
			Grasas (jabones)	3,9	0,02			1,2	
			Sales (Na ₂ SO ₄)	3,3	0,01				
L12.1 L12.2 L12.3	2500	2509	Agua	92,2	0,94	1,004	37	0,001	0,001
			Biomasa	7,8	0,06			0,001	
L13.1 L13.2 L13.3	14789	14789	Agua	100	1,00	1,000	25	0,001	0,001
L14	19711	19888	Agua	88,72	0,96	1,009	38	0,00075	0,0028
			Biomasa	0,99	0,008			0,00075	
			1,3-propanodiol	6,16	0,02			0,022	
			Ácido acético	2,42	0,01			0,00101	
			Grasas (jabones)	0,6	0,0008			1,2	
			Glicerina	0,59	0,0012			0,6	
			Sales (Na ₂ SO ₄)	0,5	0,0007				
L15	19387	19509	Agua	90,23	0,97	1,006	38	0,00075	0,002
			Biomasa	0,1	0,0008			0,00075	
			1,3-propanodiol	6,27	0,02			0,022	
			Ácido acético	2,47	0,01			0,00101	
			Grasas (jabones)	0,06	0,0001			1,2	
			Glicerina	0,6	0,0013			0,6	

Línea	Qv (l/h)	Qm (kg/h)	Componentes	% Peso	X molar	ρ_{med} (g/cm ³)	T (°C)	μ_i (Pa·s)	μ_{mezcla} (Pa·s)
L16	322	368	Agua	7,99	0,16	1,140	38	0,00075	0,089
			Biomasa	48,22	0,72			0,00075	
			1,3-propanodiol	0,55	0,00			0,022	
			Ácido acético	0,22	0,00			0,00101	
			Grasas (jabones)	29,37	0,07			1,2	
			Glicerina	0,05	0,00			0,6	
			Sales (Na ₂ SO ₄)	13,59	0,04				
L17	194	227	Agua	58,05	0,84	1,173	38	0,00075	0,013
			Biomasa	8,66	0,09			0,00075	
			1,3-propanodiol	4,03	0,01			0,022	
			Ácido acético	1,59	0,01			0,00101	
			Grasas (jabones)	5,27	0,01			1,2	
			Glicerina	0,38	0,00			0,6	
			Sales (Na ₂ SO ₄)	21,99	0,04				
L18	19193	19282	Agua	90,61	0,97	1,005	38	0,00075	0,002
			1,3-propanodiol	6,29	0,02			0,022	
			Ácido acético	2,48	0,01			0,00101	
			Glicerina	0,6	0,00			0,6	
L19.1	4482	4488	Agua	97,34	0,99	1,001	38	0,00075	0,0008
			Ácido acético	2,66	0,01			0,00101	
L19.2	785	786	Agua	97,34	0,99	1,001	38	0,00075	0,0008
			Ácido acético	2,66	0,01			0,00101	
L19.3	3697	3702	Agua	97,34	0,99	1,001	38	0,00075	0,0008
			Ácido acético	2,66	0,01			0,00101	
L20	4798	4820	Agua	90,61	0,97	1,005	38	0,00075	0,002
			1,3-propanodiol	6,29	0,02			0,022	
			Ácido acético	2,48	0,01			0,00101	
			Glicerina	0,6	0,00			0,6	
L21	316	332	Glicerina	8,73	0,07	1,052	99	0,00034	0,0003
			1,3-propanodiol	91,27	0,93			0,00028	
L22	292	303	1,3-propanodiol	100	1,00	1,037	30	0,022	0,022
L23	23	29	Glicerina	100	1,00	1,261	132	0,00018	0,0002
L24	92	116	Glicerina	100	1,00	1,260	132	0,00018	0,0002
L25.1	409060	370	CO ₂	95,65	0,50	0,00091	38	0,00002	0,00001
L25.2			H ₂	4,35	0,50			0,000002	
L25.3									

La figura siguiente es el diagrama de flujo de la planta completa, en el que aparecen todas las conducciones y equipos instalados en ella. Las líneas en rojo indican conducciones de vapor, las verdes conducciones de inóculo, y las azules conducciones de agua. El resto de ellas, negras, son las conducciones por las que circula la corriente a transformar.

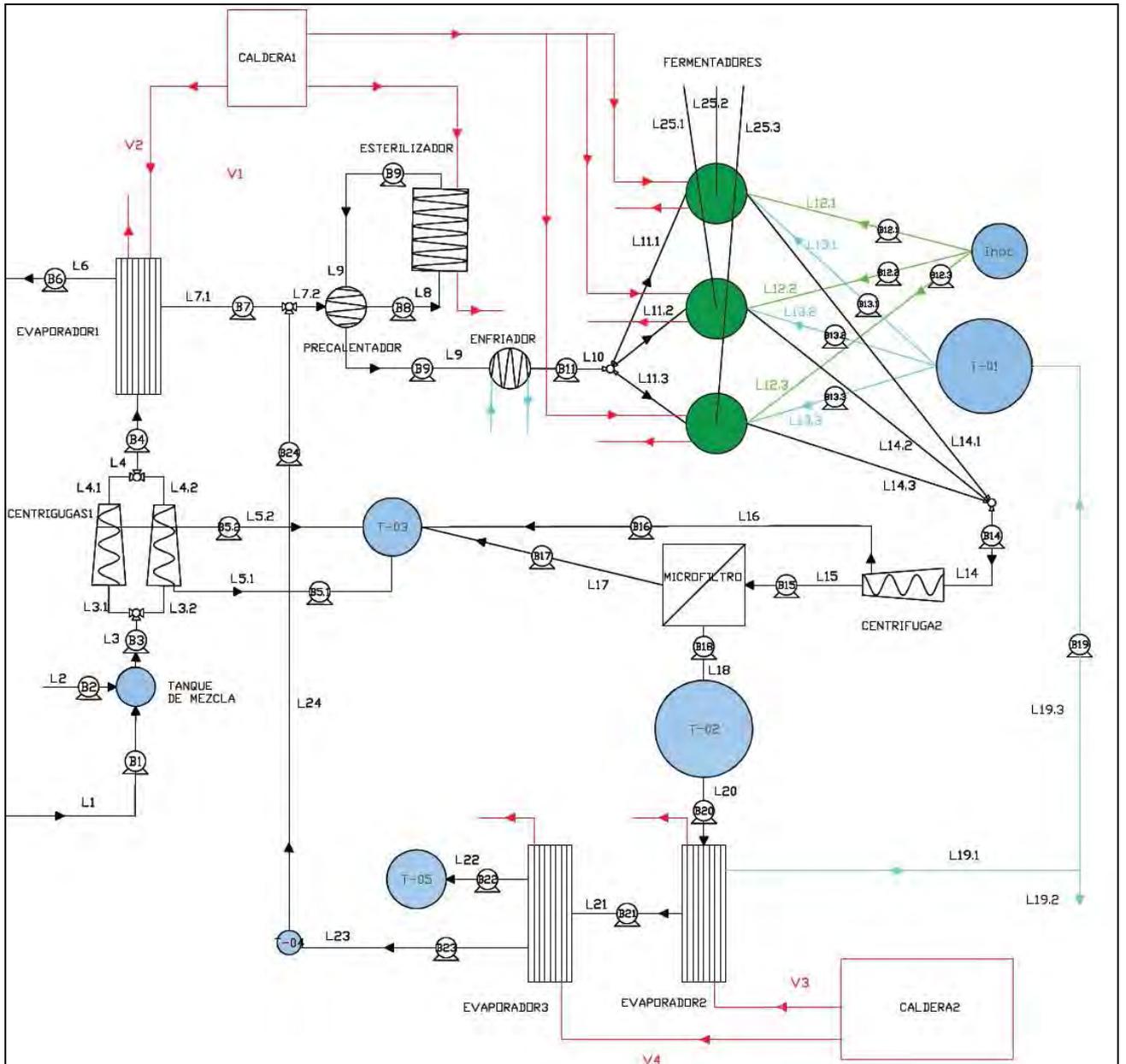


Diagrama de flujo de la planta

5.4. TEMPORIZACIÓN

El proceso se llevara a cabo de la siguiente manera:

1. Se introducirá corriente en el sistema de pretratamiento a un caudal tal que sea posible llenar cada reactor en una sola hora. Para ello, cada una de las unidades de pretratamiento ha sido dimensionada del tal modo que todo el volumen pase por ellas en una sola hora.
2. Una vez llenado el primer tanque, no se interrumpirá el suministro de corriente, si no que esta ira llenando directamente el segundo tanque. Igualmente, cuando se haya completado el llenado del segundo tanque, sin parar, la corriente será introducida en el tercero. La corriente glicerol crudo a pretratar se interrumpirá cuando se haya introducido en el sistema suficiente fluido como para llenar los tres tanques.

Esto supone un tiempo de operación de 3 horas para cada unidad de pretratamiento, ya que son 3 los tanques que hay que llenar de forma continua, en una hora cada uno.

3. Cuando se hayan cumplido las 10 horas de fermentación en el primer tanque, este será vaciado. Esto se hará con una caudal que permita que el tanque quede vacío en 1 hora.

Igual que en el llenado, el vaciado de tanques se hará de forma secuencial, sin parar, uno detrás de otro. Como cada tanque se llenó con una hora de diferencia, también es posible vaciarlos con esa hora de diferencia, ya que el tiempo de fermentación es el mismo en todos. Así pues, en un tiempo de 3 horas los 3 reactores estarán vacíos.

4. Después del vaciado, como en el pretratamiento, tanto la centrífuga como el microfiltro están dimensionados para que traten toda la corriente que sale de cada fermentador en una hora. Por tanto, de igual manera que antes cada unidad trabajara durante 3 horas, el tiempo necesario para tratar los volúmenes de los 3 reactores.
5. En el tanque de almacenamiento T-02 se consigue reducir 4 veces el caudal de alimentación a las siguientes unidades: los evaporadores 2 y 3. El tanque empezará a vaciarse a un caudal cuatro veces menor que con el que se ha llenado, en el momento en el que el volumen de fluido en su interior sea una tercera parte de su volumen útil total. El llenado hasta este punto requiere una hora.

Se deduce de esto que los evaporadores 2 y 3 estarán trabajando durante 12 horas cada uno por ciclo, 13 horas entre los dos, al estar 1 hora descompasados (el tiempo que tarda el fluido en pasar por el evaporador 2 para llegar al 3).

6. En el tanque de almacenamiento T-01 se almacena el agua de dilución de los 3 reactores, hasta que sea el momento de añadirla, es decir, cuando se precise de nuevo el llenado. El agua se añadirá con un caudal tal que todo el volumen necesario para cada reactor se suministre en una hora.
7. No se iniciara de nuevo la alimentación a la planta hasta que todo el volumen de los tres reactores haya salido por la última unidad de la planta.

En ese momento, ha pasado suficiente tiempo para permitir las operaciones de limpieza, mantenimiento y chequeado del primer tanque (15 horas). Esto nos permite operar con una mayor seguridad, ya que no estamos introduciendo corriente en la planta, con la incertidumbre de que algún problema haya podido ocurrir en los reactores o alguna unidad.

Si no lo hiciéramos así, y tal problema se diera, la corriente introducida terminaría igualmente en el reactor (no se dispone de otros medios de almacenamiento auxiliares), pero no se podría operar con él. Esto produciría pérdidas por el desaprovechamiento de la corriente introducida, y por la necesidad de volver a vaciar y limpiar el tanque para poder arreglarlo.

En los diagramas de Gant siguientes, se expone de forma resumida todo el proceso explicado anteriormente. Se observa que el tiempo total de un ciclo de operación (desde que se alimenta la planta, hasta que sale todo el volumen por la última unidad) es de 34 horas.

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

N	Equipo / horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
1	Tanque mezcla	█																																			
	Centrífuga 1		█																																		
	Evaporador 1			█																																	
	Pre calentador				█																																
	Esterilizador					█																															
	Enfriador						█																														
	Carga reactor							█																													
	Reacción								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Descarga reactor																					█															
	Centrífuga 2																						█														
	Microfiltración																							█													
	Carga T-02 (1/3)																								█												
	Evaporador 2																								█	█	█	█									
	Evaporador 3																									█	█	█	█	█							
	2	Tanque mezcla		█																																	
Centrífuga 1				█																																	
Evaporador 1					█																																
Pre calentador						█																															
Esterilizador							█																														
Enfriador								█																													
Carga reactor									█																												
Reacción										█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
Descarga reactor																																					
Centrífuga 2																																					
Microfiltración																																					
Carga T-02 (2/3)																																					
Evaporador 2																																					
Evaporador 3																																					

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

N	Equipo / horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
3	Tanque mezcla			■																																		
	Centrífuga 1				■																																	
	Evaporador 1					■																																
	Precalentador						■																															
	Esterilizador							■																														
	Enfriador								■																													
	Carga reactor									■																												
	Reacción										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Descarga reactor																					■																
	Centrífuga 2																						■															
	Microfiltración																							■														
	Carga T-02 (3/3)																								■													
	Evaporador 2																																	■	■	■	■	■
	Evaporador 3																																			■	■	■
N	Equipo / horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

Operación / horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
Tanque mezclado	█	█	█																																	
Centrifugación		█	█	█																																
Evaporación 1			█	█	█	█																														
Pre calentamiento				█	█	█	█																													
Esterilización					█	█	█	█																												
Enfriamiento						█	█	█	█																											
Llenado reactores							█	█	█																											
Fermentación								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█																
Vaciado reactores																		█	█	█	█															
Centrifugación 2																			█	█	█	█														
Microfiltración																					█	█	█													
Llenado T-02																						█	█	█	█											
Evaporación 2																							█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Evaporación 3																								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Llenado T-04																								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Llenado T-05																								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Llenado T-01																								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Llenado T-03		█	█	█																█	█	█	█													
Caldera 1			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█															
Caldera 2																							█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Operación / horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		

5.5. CONTROL

Para poner en funcionamiento mantener operativa correctamente una planta de este tipo es preciso disponer de un sistema de control automatizado. Este llevará a cabo el control de variables específicas fundamentales en el funcionamiento del proceso, actuando en función de las necesidades del sistema, aumentando, disminuyendo o manteniendo el valor de los parámetros que controla para asegurar el óptimo funcionamiento de la planta.

Los sistemas de control generan una serie de ventajas que los hacen imprescindibles en este tipo de plantas. Estas son:

- Funcionamiento seguro de la planta, al controlar variables que puedan ocasionar accidentes.
- Funcionamiento estable, asegurando una producción continua y sin variaciones en las características del producto.
- Ahorro de tiempo y dinero, al reducir la necesidad de personal que supervise las variables de los equipos y actúe sobre ellos in situ. La existencia de una sala de control permite centralizar todas estas acciones, resultando estas más rápidas y efectivas.

Los componentes básicos de todo sistema de control son los siguientes:

- Sensor: Mide la variable a controlar
- Transmisor: Recibe la medición y transforma el valor en una señal eléctrica interpretable por el controlador
- Controlador: Analiza la desviación del valor respecto al punto de consigna, y efectúa la orden o señal de control
- Convertidor: Recibe la señal electrónica del controlador y la transforma en señal neumática, eléctrica, electromagnética u óptica, según el sistema de transmisión.
- Elemento final de control: Se trata generalmente de una válvula de control, que se abre o cierra en un determinado rango, dependiendo de la señal recibida.

Existen numerosas estrategias de control, es decir, se pueden implementar distintos tipos de lazos de control de variables (lazo abierto, lazo abierto en adelanto, lazo en cascada, lazo cerrado, lazo fed-back, lazo fed-back forward, etc.). El tipo de lazo de control dependerá de factores como la velocidad de fluctuación de la variable medida y la necesidad de precisión.

En la planta habrá lazos de control que tendrán que ser instalados expresamente, y lazos de control que vendrán ya instalados con los equipos adquiridos para la planta. De cualquiera de las maneras, los lazos que se tratan en este apartado son aquellos indispensables para el correcto funcionamiento de planta. Estos son:

- Control de entrada de caudal de glicerina cruda a la planta, para evitar sobrepasar el caudal de diseño de la planta.
- Control de pH en el tanque de mezcla: Controla el caudal de ácido sulfúrico añadido al tanque, para que el pH sea el adecuado.
- Control del caudal de ácido sulfúrico: Establece la relación adecuada de caudales para que el pH dentro del tanque se ajuste al valor deseado.
- Control de nivel en el tanque de mezcla: ajusta el caudal de entrada de la glicerina cruda para tener un nivel de líquido adecuado en el tanque de mezcla.
- Control de composición de la corriente de salida de la centrifuga 1: Varia la velocidad de centrifugación según la composición de la corriente tratada, en caso de tener una composición de sólidos excesiva, o en caso de una variación en la composición de la corriente de entrada a la centrifuga.
- Control de temperatura en la cámara de evaporación de los 3 evaporadores: asegurando una correcta temperatura en el evaporador, conseguimos una correcta evaporación.
- Control de composición de la corriente separada en los 3 evaporadores: ante posibles perturbaciones en el interior de los evaporadores, aseguramos que la composición de las corrientes es la adecuada.
- Control de relaciones de caudales entre las líneas L7.1 y L24, para
- Control de la temperatura de esterilización: varía el caudal de vapor de calefacción en caso de ser necesario para asegurar que se da la temperatura de esterilización.
- Control de la temperatura de entrada de la glicerina cruda a los fermentadores: Regula el caudal de agua de refrigeración para dotar a la corriente de alimentación a los tanques de la temperatura adecuada.
- Control de temperatura en los fermentadores: modifica el caudal de vapor de calefacción según las necesidades de calor en los reactores.
- Control de composición de la corriente de salida de la centrifuga 1: Varia la velocidad de centrifugación según la composición de la corriente

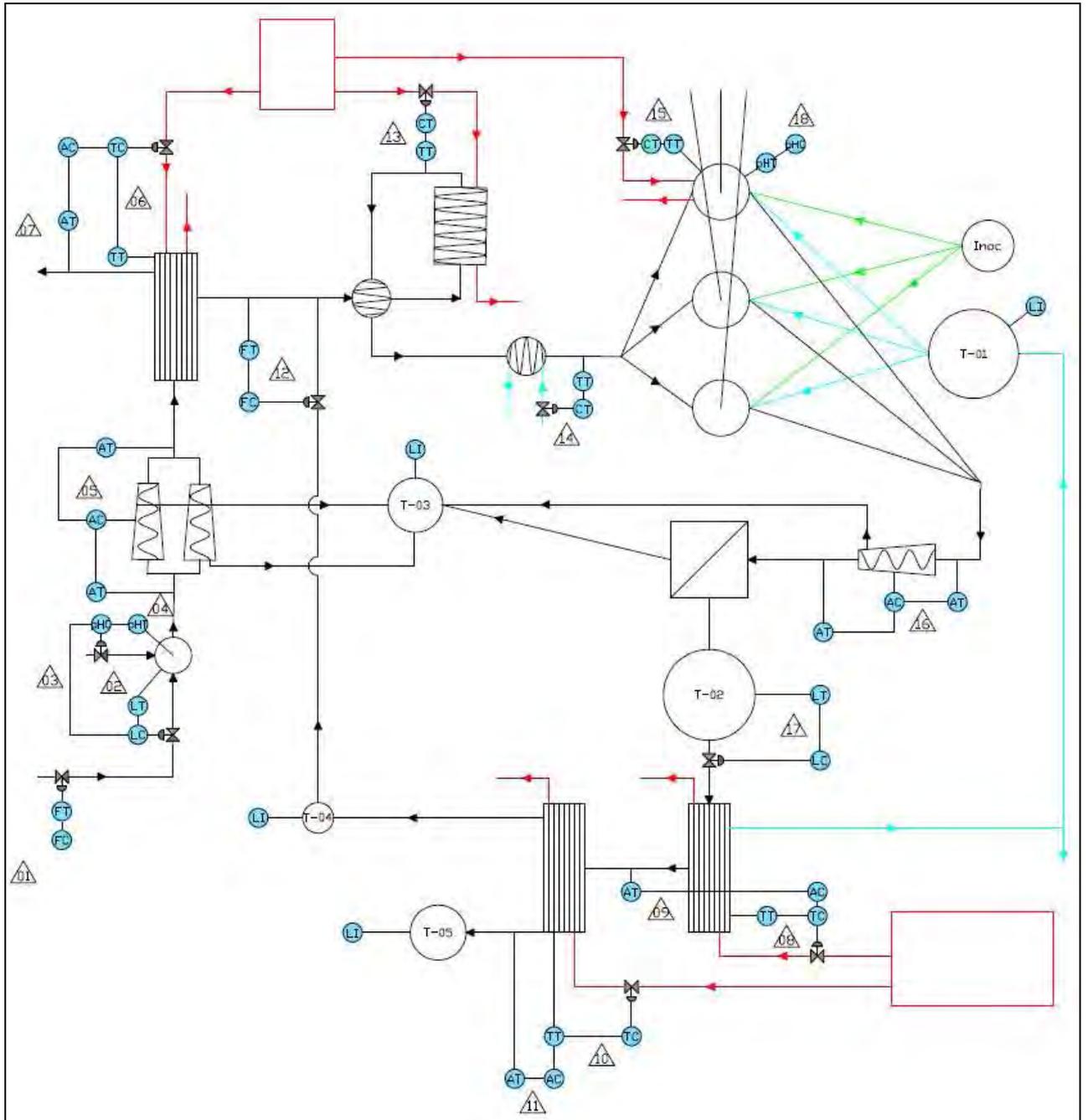
tratada, en caso de tener una composición de sólidos excesiva, o en caso de una variación en la composición de la corriente de entrada a la centrifuga.

- Control de nivel en el tanque T-02: Fija el volumen de llenado para el cual el tanque debe empezar a ser vaciado para alimentar a las unidades siguientes.

En el siguiente cuadro se especifican los lazos de control básicos que han de estar presentes en la planta, así como el tipo de lazo que corresponde en cada caso, la variable a controlar y el valor que ha de mantenerse (set point).

Nº Lazo	Variable Controlada	Set Point	Configuración Lazo
1	Caudal entrada glicerina cruda	3384 l/h (max.)	Cerrado
2	Nivel (Volumen)Tanque de Mezcla	0,8 V total	Cerrado
3	Caudal acido sulfúrico	2,4 l/h (max.)	Relación con lazo 2
4	pH Tanque de Mezcla	4	Cascada con lazo 3
5	Concentración sólidos salida centrifuga 1	6,20% (grasas + sales)	Feed Forward
6	Temperatura evaporador 1	69°C	Cascada
7	Composición corriente separada Evap. 1	99% metanol 1% agua	
8	Temperatura evaporador 2	105°C	Cascada
9	Composición corriente separada Evap. 2	91% 1,3-PDO 9% glicerina	
10	Temperatura evaporador 3	115°C	Cascada
11	Composición corriente separada Evap. 3	100 % 1,3-PDO	
12	Caudal recirculación glicerina del T-04	92 l/h	Relación
13	Temperatura esterilización	140°C	Cerrado
14	T. entrada glicerina cruda a reactores	37°C	Cerrado
15	Temperatura interna fermentadores	37°C	Cerrado
16	Concentración sólidos salida centrifuga 2	0,32% (grasas + sales)	Feed Forward
17	Nivel T-02 para inicial vaciado	1/3 V total	Cerrado
18	pH Fermentadores	7	Cerrado

En el siguiente gráfico, se indican de forma general, los lazos de control básicos necesarios para un buen funcionamiento de la planta, ya sean propios de los equipos, o se hayan instalado adicionalmente, con sus elementos principales.



Lazos de control básicos de la planta

6.BIBLIOGRAFÍA

6.1. Libros

Perry R.H. Perry's Chemical Engineers' Handbook. The McGraw Hill Companies. 8th Edition (2008)

Bruce E. Poling, John M. Prausnitz, John P. O'Connell. The Properties of Gases and Liquids. The McGraw Hill Companies. 5th Edition (2004)

D.F. Ruud, Charles C. Watson. Estrategia en Ingeniería de Procesos. Editorial Alhambra (1976)

Mutua de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales de la Seguridad Social nº 11. Curso de Prevención de Riesgos Laborales. M.A.Z. (2008)

Nauman Bruce. Handbook Of Chemical Reactor Design, Optimization, And Scaleup. Mcgraw-hill (2001)

Levenspiel,O. Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor. Editorial Reverté (1993)

Wallace Woon-Fong Leung. Industrial centrifugation technology. McGraw Hill (1998)

Ladislav Svarovsky. Solid-liquid separation. Butterworth-heinemann. 4th Edition (2001)

Paul E. Minton. Handbook Of Evaporation Technology. Noyes Data Corporation (1988)

Dr. Ing. Eberhard Franz, LOOS INTERNATIONAL. Dos Modelos de Generación de Vapor: Comparación de calderas pirotubulares y calderas acuotubulares

Cantero D., Gomez Montes de Oca J.M. Apuntes de la Asignatura Reactores Biologicos y Bioquimicos, Universidad de Cádiz (2008)

Munoz M.J., Blandino A. Apuntes Asignatura Operaciones Básicas de Flujo de Fluidos y Transmision de Calor, Universidad de Cádiz (2006)

Pereira C., Martinez de la Ossa E. Apuntes Asignatura Operaciones Básicas de Separación, Universidad de Cádiz (2007)

Ramirez Jimenez, R. Diseño de una instalación de purificación de glicerina obtenida como subproducto en la producción de biodiesel, Universidad de Cádiz (2007)

ASME Code for pressure piping, B31. ASME B31.3-2002

ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1. Rules for Construction of Pressure Vessels (2004)

Peters Max S., Timmerhaus Klaus D., West Ronald. E. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. McGraw Hill 5th Edition

6.2. Publicaciones de investigaciones

Fabien Barbirato, El Hassan Himmi, Thierry Conte, Andre Bories. 1,3-propanediol production by fermentation: An interesting way to valorize glycerin from the ester and ethanol industries (1996)

Seraphim Papanikolaou, Stylianos Fakas, Michel Fick, Isabelle Chevalot, Maria Galiotou-Panayotou, Michael Komaitis, Ivan Marc, George Aggelis. Biotechnological valorisation of raw glycerol discharged after bio-diesel (fatty acid methyl esters) manufacturing process: Production of 1,3-propanediol, citric acid and single cell oil (2008)

An-Ping Zeng, Hanno Biebl. Bulk Chemicals from Biotechnology: The Case of 1,3-Propanediol Production and the New Trends (2001)

A. Durand. Bioreactor designs for solid state fermentation (2003)

F. H. Deindoerfer, A. E. Humphrey. "Analytical Method for Calculating Heat Sterilization Times" (1958)

F. H. Deindoerfer, A. E. Humphrey. "Principles in the Design of Continuous Sterilizers" (1958)

Ke-Ke Cheng, De-Hua Liu, Yan Sun & Wei-Bin Liu. "1,3-Propanediol production by *Klebsiella pneumoniae* under different aeration strategies" (2004)

Ying Mu, Zhi-Long Xiu, Dai-Jia Zhang. "A combined bioprocess of biodiesel production by lipase with microbial production of 1,3-propanediol by *Klebsiella pneumoniae*" (2008)

Syed Shams Yazdani and Ramon Gonzalez. Anaerobic fermentation of glycerol: a path to economic viability for the biofuels industry (2007)

Mario Pagliaro, Rosaria Ciriminna, Hiroshi Kimura, Michele Rossi, and Cristina Della Pina. From Glycerol to Value-Added Products (2007)

Gervásio Paulo da Silva, Matthias Mack, Jonas Contiero. Glycerol: A promising and abundant carbon source for industrial microbiology (2008)

Th. Willke . K.-D. Vorlop. Industrial bioconversion of renewable resources as an alternative to conventional chemistry (2004)

Naresh Pachauri, Brian He. Value-added Utilization of Crude Glycerol from Biodiesel Production: A Survey of Current Research Activities (2006)

Duane T. Johnson and Katherine A. Taconi. The Glycerin Glut: Options for the Value-Added Conversion of Crude Glycerol Resulting from Biodiesel Production (2007)

Thomas Willke and Klaus Vorlop. "Biotransformation of glycerol into 1,3-propanediol" (2008)

National Biodiesel Development Board. C. Cameron and James A. Koutsky, Department of Chemical Engineering. "Conversion of Glycerol from SoyDiesel Production to 1,3-Propanediol" (1994)

Diana Paola Cárdenas, Carolina Pulido, Óscar Leonardo Aragón, Fabio Ancízar Aristizábal, Zulma Rocío Suárez y Dolly Montoya. "Evaluación de la producción de 1,3-propanodiol por cepas nativas de Clostridium sp. Mediante fermentación a partir de glicerol USP y glicerol industrial subproducto de la producción de biodiesel". (2006)

GenLin Zhang, BinBin Ma, XiaoLin Xua, Chun Li ,Liwei Wang. "Fast conversion of glycerol to 1,3-propanediol by a new strain of *Klebsiella pneumoniae*" (2007)

H. Biebl á A.-P. Zeng á K. Menzel á W.-D. Deckwer. "Fermentation of glycerol to 1,3-propanediol and 2,3-butanediol by *Klebsiella pneumoniae*" (1998)

Bernd Giinzel, Sems Yonsel, and Wolf-Dieter Deckwer. "Fermentative production of 1,3-propanediol from glycerol by *Clostridium butyricum* up to a scale of 2 m³" (1991)

K. Menzel, A.-P. Zeng, and W.-D. Deckwer. "High concentration and productivity of 1,3-propanediol from continuous fermentation of glycerol by *Klebsiella pneumoniae*" (1997)

S. Saint-Amans, P. Perlot, G. Goma and P. Soucaille. "High production of 1,3-propanediol from glycerol by *Clostridium butyricum* VPI 3266 in a simply controlled fedbatch system" (1994)

Ke-Ke Cheng, Jian-An Zhang, De-Hua Liu, Yan Sun, Hong-Juan Liu, Ming-De Yang, Jing-Ming Xu. "Pilot-scale production of 1,3-propanediol using *Klebsiella pneumoniae*" (2007)

Charles E Nakamura, Gregory M Whited. "Metabolic engineering for the microbial production of 1,3-propanediol" (2003)

Wolf-Dieter Deckwer. "Microbial conversion of glycerol to 1,3-propanediol" (1995)

X. Chen, D.-J. Zhang, W.-T. Qi, S.-J. Gao, Z.-L. Xiu, P. Xu. Microbial fed-batch production of 1,3-propanediol by *Klebsiella pneumoniae* under micro-aerobic conditions (2003)

Ying Mu, Hu Teng, Dai-Jia Zhang, Wei Wang, Zhi-Long Xiu. Microbial production of 1,3-propanediol by *Klebsiella pneumoniae* using crude glycerol from biodiesel preparations (2006)

Bin Bin Ma, Xiao Lin Xu, Gen Lin Zhang, Li Wei Wang & Min Wu, Chun Li. Microbial Production of 1,3-Propanediol by *Klebsiella pneumoniae* XJPD-Li under Different Aeration Strategies (2007)

Ya-Nan Zhao, Guo Chen, Shan-Jing Yao. Microbial production of 1,3-propanediol from glycerol by encapsulated *Klebsiella pneumoniae*(2006)

Seraphim Papanikolaou and George Aggelis. Modelling aspects of the biotechnological valorization of raw glycerol: production of citric acid by *Yarrowia lipolytica* and 1,3-propanediol by *Clostridium butyricum* (2003)

Ke-Ke Cheng, Hong-Juan Liu & De-Hua Liu. Multiple growth inhibition of *Klebsiella pneumoniae* in 1,3-propanediol fermentation (2004)

A.-P. Zeng, A. Ross, H. Biebl, C. Tag, B. Gunzel, and W.-D. Deckwer. Multiple Product Inhibition and Growth Modeling of *Clostridium butyricum* and *Klebsiella pneumoniae* in Glycerol Fermentation (1994)

Asad-ur-Rehman, Saman Wijesekara R.G, Nakao Nomura, Seigo Sato, Masatoshi Matsumura. Pre-treatment and utilization of raw glycerol from sunflower oil biodiesel for growth and 1,3-propanediol production by *Clostridium butyricum* (2008)

M. Gonzalez-Pajuelo, J. C. Andrade, I. Vasconcelos. Production of 1,3-propanediol by *Clostridium butyricum* VPI 3266 using a synthetic medium and raw glycerol (2004)

Mi-Hae Cho, Sun Im Joen, Sang-Hyun Pyo, Sungyong Mun, Jin-Hyun Kim. A novel separation and purification process for 1,3-propanediol (2006)

Jian Hao, Feng Xu, Hongjuan Liu and Dehua Liu. Downstream processing of 1,3-propanediol fermentation broth (2006)

Dagmar Šmídová, Petr Mikulášek, Radek Stloukal, Susanne Hirschmann. The biodiol production: separation of model biomass by microfiltration (2006)

Zhi-Long Xiu & An-Ping Zeng. Present state and perspective of downstream processing of biologically produced 1,3-propanediol and 2,3-butanediol (2007)

Jian Hao, Hongjuan Liu, and Dehua Liu. Novel Route of Reactive Extraction To Recover 1,3-Propanediol from a Dilute Aqueous Solution (2008)

Gao Sujun, ZHANG Daijia, SUN Yaqin, XIU Zhilong. Separation of 1,3-propanediol from glycerol-based fermentations of *Klebsiella pneumoniae* by alcohol precipitation and dilution crystallization (2007)

He Huang, Cheng S. Gong, George T. Tsao. Production of 1,3-Propanediol by *Klebsiella pneumoniae* (2002)

Ke-Ke Cheng, Jian-An Zhang, De-Hua Liu, Yan Sun, Ming-De Yang, Jing-Ming Xu. Production of 1,3-propanediol by *Klebsiella pneumoniae* from glycerol broth (2006)

Hai-Jun Liu, Dai-Jia Zhang, You-Hai Xu, Ying Mu, Ya-Qin Sun, Zhi-Long Xiu. Microbial production of 1,3-propanediol from glycerol by *Klebsiella pneumoniae* under micro-aerobic conditions up to a pilot scale (2007)

Thompson, J.C. and B. He. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks (2006)

Mario Pagliaro and Michele Rossi .The Future of Glycerol: New Uses of a Versatile Raw Material (2008)

C. H. Collins and A.J. Beale, *Butterworth-Heinemann*. Safety in Industrial Microbiology and Biotechnology (1992)

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Guia Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con agentes biológicos

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Guia Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con agentes biológicos

Frost and Sullivan. Strategic Analysis of the Worldwide Market for Biorenewable Chemicals (2008)

Joaquín Bermejo, Patricia Lesnaberes, Nora Arnesi, Mariano Gianello, Rodolfo Notario, Noemí Borda, Telma Gambandé y Blanca Bencomo. Factores de riesgo asociados a infecciones por *Klebsiella pneumoniae* resistentes a ceftazidima (2003)

Victor L. Yu, Dennis S. Hansen, Wen Chien Ko, Asia Sagnimeni, Keith P. Klugman, Anne von Gottberg, Herman Goossens, Marilyn M. Wagener, Vicente J. Benedi, and the International *Klebsiella* Study Group. Virulence Characteristics of *Klebsiella* and Clinical Manifestations of *K. pneumoniae* Bloodstream Infections (2007)

N. R. Caplenas, M. S. Kanarek, and A. P. Dufour. Source and Extent of *Klebsiella pneumoniae* in the Paper Industry (1981)

Xiaomei Zhang, Yin Li, Bin Zhuge, Xueming Tang, Wei Shen, Zhiming Rao, Huiying Fang and Jian Zhuge. Optimization of 1,3-propanediol production by novel recombinant *Escherichia coli* using response surface methodology (2006)

Xueming Tang, Yongsong Tan, Hong Zhu, Kai Zhao and Wei Shen . Microbial Conversion of Glycerol to 1,3-Propanediol by an Engineered Strain of *Escherichia coli* (2009)

George A. Kraus. Synthetic Methods for the Preparation of 1,3- Propanediol (2008)

Gunter Festel, Sarai Kolle, Dieter Sell. Biopolymers on the way up (2005)

Dong Zhang, Christine Sun, John Beard and Weili Zhao, Ian Carson and Charles Hwo. Innovative Poly(trimethylene Terephthalate (PTT) Polymers for Technical Nonwovens (2009)

A.S. Chandure, S.S. Umare, R.A. Pandey. Synthesis and biodegradation studies of 1,3-propanediol based aliphatic poly(ester carbonate)s (2008)

Chia-Jung Tsai, Wei-Che Chang, Chi-He Chen, Hsin-Ying Lu, Ming Chen. Synthesis and characterization of polyesters derived from succinic acid, ethylene glycol and 1,3-propanediol (2008)

6.3. Páginas web

www.shell.com

www.dupont.com

www.energy.eu

www.sciencelab.com

www.greenfuel.com

www.matche.com

www.ebb-eu.org

www.naturalchemistry.com

<http://www.mhhe.com/engcs/chemical/peters/data/>

6.4. Herramientas informáticas

SuperPro Designer

Microsoft Excel 2003

AutoCad 2008

ANEXO N° 1:

CALCULOS JUSTIFICATIVOS

1. DISEÑO DEL TANQUE DE MEZCLA

1.1. Cálculo del caudal necesario de ácido

En el tanque de mezclado deben introducirse la suficiente cantidad de ácido a una concentración determinada para hacer pasar el pH de la glicerina cruda proveniente de la planta de biodiesel de pH=6 a pH=4. Con esto, se conseguirá hacer precipitar parte de los sólidos del glicerol crudo, que serán básicamente jabones y sales (Na_2SO_4).

El ácido usado será ácido sulfúrico, por ser a la vez suficientemente fuerte para nuestro propósito, y ser el ácido más común y de más fácil acceso en la industria química. Se usará una concentración 0,1 M, suficiente para cumplir con nuestro propósito.

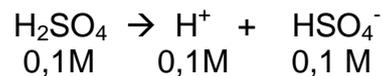
Los cálculos son los siguientes:

Glicerol crudo a pH=6, $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$, $[\text{H}^+] = 1 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l}$
Glicerol crudo a pH=4, $[\text{H}^+] = 1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$

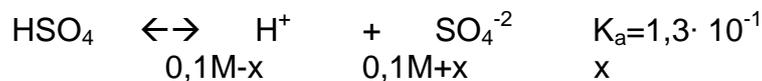
Cantidad de H^+ que debe aportar el ácido añadido:
 $[\text{H}^+] = 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-6} = 9,9 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l}$

Cantidad de H^+ que aporta el H_2SO_4 :

Al tratarse de un ácido diprótico hay que considerar las dos constantes de acidez. El primer equilibrio está desplazado por completo a la derecha, por lo que el ácido se disocia por completo.



En el segundo si hay que tener en cuenta la constante de acidez:



$$K_a = 1,3 \cdot 10^{-1} = \frac{(0,1+x)x}{(0,1-x)} \Rightarrow x = 0,047\text{M}$$

Al final, la cantidad total de H^+ que genera el ácido sulfúrico 0,1 M será:

$$[\text{H}^+] = 0,1 + 0,047 = 0,147\text{M}$$

Teniendo en cuenta esto, puede calcularse fácilmente la cantidad de ácido sulfúrico necesaria para reducir el pH de la corriente de glicerol crudo.

Se precisa añadir $9,9 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l}$ de H^+ para pasar de pH=6 a pH=4.

1 L de ácido sulfúrico 0,1M proporciona 0,147 mol/l de H⁺.
La corriente de glicerol crudo a tratar es de 3850 l/h.

$$9,9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{molH}^+}{\text{LGlicerolCrudo}} \frac{1\text{litroH}_2\text{SO}_4}{0,147\text{molH}^+} \frac{3850\text{LGlicerolCrudo}}{h} = 2,6 \frac{\text{lH}_2\text{SO}_4}{h}$$

1.2. Diseño preliminar del tanque

El tanque de mezcla debe ser capaz de recibir los 3850 l/h de glicerol crudo que la planta de biodiesel genera y mezclarlos con los 2,6 l/h de H₂SO₄ necesarios para que la mezcla alcance un pH=4 de forma continua, permitiendo que la totalidad del fluido pase por el tanque en una hora. Hay que puntualizar que en este sistema no se produce reacción química ninguna, solo un descenso del pH al añadir el ácido.

Para calcular el volumen de cada mezclador utilizamos el caudal total y el tiempo de residencia, que se ha supuesto de 1 hora.

$$V_{\text{minimo}} = Q \cdot \tau = 3850 \frac{\text{l}}{h} \cdot 1h = 3850\text{l}$$

Se sobredimensiona el volumen, por cuestiones de seguridad, considerando que el volumen necesario calculado corresponde al 80% del total.

$$Volumen_{\text{sobredimensionado}} = V_{\text{total}} / 0,8 = 4,813 \text{ m}^3$$

Como primer paso para el diseño del tanque, se le considerará como un cilindro vertical perfecto, por lo que a partir de volumen se podrá calcular el resto de las dimensiones (diámetro y altura), mediante las expresiones siguientes:

$$V = \pi R^2 H \Rightarrow H = \frac{V}{\pi R^2}$$
$$S = 2\pi R^2 + 2\pi R H \Rightarrow S = 2\pi R^2 + 2 \frac{V}{R}$$

Con el fin de construir el depósito usando la mínima cantidad posible de material y por tanto de forma más económica, se aplicará la condición de superficie mínima, para lo cual debe cumplirse que:

$$\frac{dS}{dR} = 0$$

Realizando la derivada y despejando R, conoceremos el valor óptimo de R.

$$R = \sqrt[3]{\frac{V}{2\Pi}}$$

Para terminar de definir las dimensiones del tanque hay que establecer la relación $H/D=k$. En nuestro caso, para disponer del volumen requerido, sin ocupar una gran superficie en la planta, establecemos una relación $H/D=2$. Teniendo en cuenta esto:

$$\frac{H}{D} = k \Rightarrow H = kD = 2kR$$
$$V = \Pi R^2 2kR = 2k\Pi R^3 \Rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V}{2k\Pi}}$$

La primera aproximación para las dimensiones del tanque, tomándolo como un cilindro perfecto nos da las siguientes dimensiones:

$$R=0,726 \text{ m}$$
$$H=2,904 \text{ m}$$

Al tratarse de un depósito de agitación y mezcla, sus fondos serán de tipo semielíptico para evitar la presencia de volúmenes muertos. A la hora de conocer el volumen final habrá que tener en cuenta además el volumen interno ocupado por el agitador. Se considera que en la agitación no se genera calor como para necesitar una refrigeración, por lo que no habrá serpentines ni camisas de refrigeración.

Las dimensiones reales serán calculadas mas adelante, cuando se conozcan todos los datos necesarios para ello.

En la tabla siguiente se resumen los datos calculados hasta ahora.

Caudal entrada glicerol crudo	3859 l/h
Caudal entrada H ₂ SO ₄ 0,1M	2,6 l/h
Tiempo residencia	1h
Volumen mínimo	3,850 m ³
Volumen sobredimensionado	4,813 m ³

1.3. Diseño del agitador del sistema

Potencia del agitador

Además de elegir el sistema de agitación, en nuestro caso un agitador de hélice de 3 palas, es necesario determinar la potencia que hay que suministrarle para conseguir una adecuada agitación y mezcla.

Esta potencia depende del tipo de flujo dentro del mezclador, determinado por el tipo de mezclador, su disposición y la presencia o no de placas deflectoras, y de las proporciones geométricas del equipo. Las variables que intervienen en el cálculo son las siguientes:

- Dimensiones principales del tanque y del rodete: D_T, D_a
 - Viscosidad μ y densidad ρ del líquido
 - Velocidad de giro N
 - La aceleración de la gravedad, g^1
- $$\left. \begin{array}{l} \text{ } \\ \text{ } \\ \text{ } \\ \text{ } \end{array} \right\} P = f(D_T, D_a, \mu, \rho, N, g)$$

Para el cálculo de la potencia del agitador es necesario recurrir a unos números adimensionales o factores de forma que relacionan varias variables con otra variable fija determinada. Normalmente esta variable fija presente en todos estos factores de forma es el diámetro del rodete del agitador (D_a).

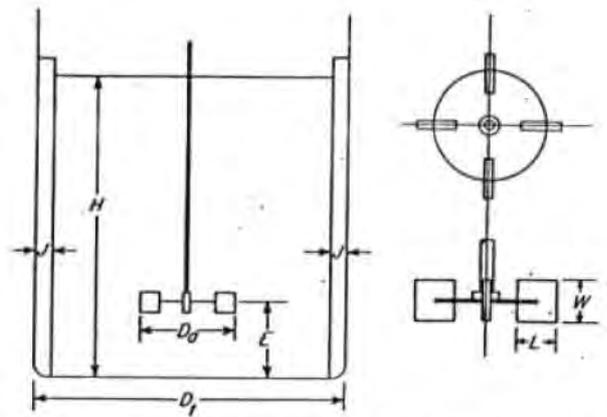
Como la glicerina, el metanol y el agua, los componentes presentes en mayor proporción son fluidos newtonianos, consideramos también que la glicerina cruda de nuestro proceso se comporta como un fluido newtoniano, manteniéndose su viscosidad constante independientemente del gradiente de velocidad. Así pues, la potencia (P) podrá calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} = f\left(\frac{N D_a^2 \rho}{\mu}, \frac{N^2 D_a}{g}, S_1, S_2, \dots, S_n\right)$$

Donde:

$\frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} = P_o$	número de potencia	}	$P_o = f(Re, Fr, S_i)$
$\frac{N D_a^2 \rho}{\mu} = Re$	número de Reynolds		
$\frac{N^2 D_a}{g} = Fr$	número de Froude		

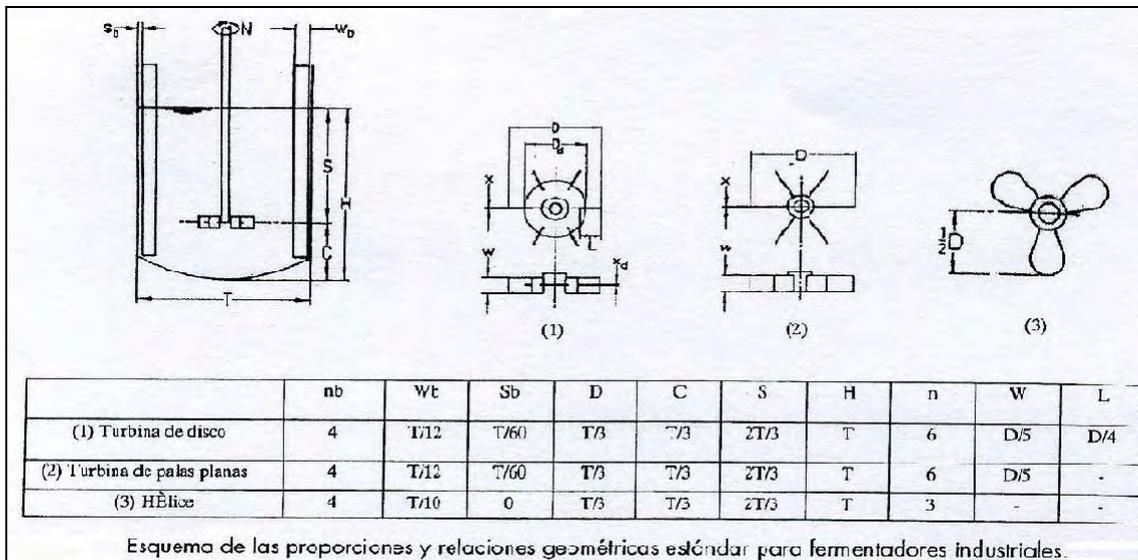
Los factores de forma S_i se definen teniendo en cuenta las dimensiones del tanque, tal y como se definen en la siguiente figura.



Dimensiones características de un agitador de turbina. (Rushton, Costich y Everett¹⁰, J)

$$S_1 = \frac{D_t}{D_a}; \quad S_2 = \frac{E}{D_a}; \quad S_3 = \frac{L}{D_a}; \quad S_4 = \frac{W}{D_a}; \quad S_5 = \frac{J}{D_a}; \quad S_6 = \frac{H}{D_a}$$

- D_t: diámetro del tanque
- E: altura del rodete sobre el fondo del tanque
- L: longitud de las palas del rodete
- W: anchura de las palas del rodete
- J: anchura de las placas deflectoras
- H: altura del líquido



Para nuestro agitador consideraremos los siguientes valores:

$$S_1 = D_t / D_a = 3,3 \quad D_a = D_t / 3,3 = 1,452 / 3,3 = 0,44 \text{ m}$$

$$S_2 = E / D_a = 1 \quad E = 0,44 \text{ m}$$

$$H = 0,8 \quad H_T = 0,8 \cdot 2,904 \quad H = 2,323 \text{ m}$$

El resto de los factores de forma no hay lugar a que sean definidos para agitador de hélice de tres palas.

Teniendo en cuenta que la velocidad de agitación será 220 r.p.m.=3,67 r.p.s, y la densidad (1130 kg/m³) y viscosidad (330 cP=0,33 Pa·s) del fluido:

$$Re = \frac{ND_a^2 \rho}{\mu} = \frac{3,67 \cdot (0,44)^2 \cdot 1130}{0,33} = 2433$$

Dado que hemos evitado la formación de vórtice desplazando el agitador fuera del centro del tanque y que el número de Reynolds es mayor que 300 el número de Froude (Fr) no se tiene en cuenta en los cálculos.

La siguiente grafica relaciona valores del Re y el factor de potencia, según el valor de los factores de forma S₁, S₂, S₆ y el paso de hélice.

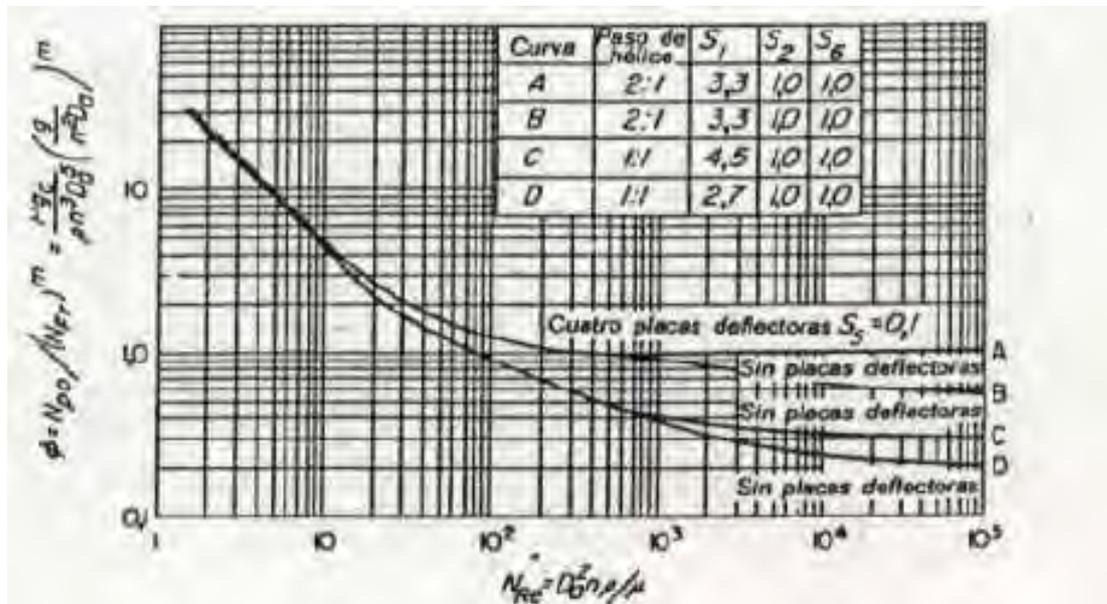


Fig. 1. Función de potencia φ frente a N_{RE} para agitadores de hélice de tres palas.

Según las características que hemos definido para el agitador, la curva que debemos seguir en la grafica es la B. Para el número de Reynolds calculado:

$$Re=2433 \quad \phi \approx 0,8$$

En nuestro, al no considerarse el número de Froude (Fr), la potencia se calcula mediante la expresión siguiente:

$$P = \phi N^3 D_a^5 \rho = 0,8 \cdot (3,67)^3 \cdot (0,44)^5 \cdot 1130 = 737W = 0,737KW$$

Así pues, conforme a todos los datos calculados, y tras buscar el agitador mas adecuado en el mercado, se elige el agitador **INOXPA NRI-B-1.11-25007-1**.

Volumen ocupado por el agitador

Para realizar este cálculo habrá que tener en cuenta las siguientes dimensiones aproximadas del agitador, que se han determinado según las expresiones de dimensiones típicas.

Longitud varilla sumergida en el líquido = H-E = 2,904-0,44 = 2,464 m

Diámetro varilla = 0,3 m

Diámetro palas = $D_a = 0,44$ m

Grosor palas = $W = 0,1$ m

El cálculo aproximado se realiza mediante las siguientes expresiones:

$$V_{agitador} = \frac{\pi}{4} \cdot D_a^2 \cdot W_{palas} + \frac{\pi}{4} \cdot D_{varilla}^2 \cdot (H - E) = 0,19m^3$$

Estos son los datos calculados para el agitador:

Tipo agitador	Hélice 3 palas
Acoplado agitador al tanque	Engranaje (caja reductora)
Re agitador	2340
Numero Potencia	0,8
Potencia agitador	0,737 KW
Da	0,44 m
E	0,44 m
H	2,464 m
W	0,1 m
Diámetro varilla	0,3 m

1.4. Diseño mecánico del tanque

Para realizar el diseño mecánico de un tanque como el que se pretende es necesario disponer de una serie de datos básicos. A continuación se irán especificando cada uno de ellos, indicando como se calculan y como afectan en el caso concreto de nuestro tanque de agitación y mezcla.

1.4.1. Presión de diseño: Es el valor de la presión que se utilizara para diseñar el tanque. Debe ser siempre superior a la máxima presión de operación que experimente el tanque. Su valor se fija eligiendo el mayor valor obtenido mediante las siguientes expresiones:

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

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

$$P \geq 3,5 \text{ Kg/cm}^2$$

Dado que el tanque trabaja a presión atmosférica ($1,033 \text{ kg/cm}^2$), el mayor de los valores es el de $3,5 \text{ Kg/cm}^2$. Ésta será por tanto la presión de diseño.

1.4.2. Temperatura de diseño: Es la temperatura que se usara para llevar a cabo el diseño del tanque. Se suele tomar como temperatura de diseño el valor obtenido mediante la siguiente expresión:

$$T_{\text{diseño}} = \text{Máxima temperatura de operación} + 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

La corriente de glicerol crudo circula a temperatura ambiente que se supone unos $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Por tanto, la $T_{\text{diseño}} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.4.3. Construcción del depósito. Material: La construcción del depósito se realizará por medio de placas de acero soldadas. El espesor varía en función de las dimensiones del depósito y cálculos.

Todas las chapas son fabricadas por mecanizado y siempre con maquinaria de estampación en frío. El material es acero inoxidable. Los aceros inoxidables son aleaciones a base de hierro, cromo, carbono y otros elementos, principalmente, el níquel, el molibdeno, el manganeso, el silicio, el titanio, etc., que les confieren una resistencia particular a algunos tipos de corrosión. La norma EN 10088 define a los aceros inoxidables como aquellas aleaciones férricas que contienen cromo en una proporción mínima del 10,5%.

Se usará acero inoxidable austenítico AISI 304, el más utilizado por su amplia variedad de propiedades, entre ellas la excelente resistencia a la corrosión, ya que el tanque contendrá una mezcla de $\text{pH}=4$. Se obtienen agregando Níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de 16 a 28%, el de Níquel de 3.5 a 22% y el de Molibdeno 1.5 a 6%.

Sus propiedades básicas son: excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene-limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

1.4.4. Velocidad y efecto del viento: No es necesario analizar este factor, ya que el equipo estará localizado en el interior de una nave que lo protege de la acción del viento.

1.4.5. Coeficiente sísmico (z): En el lugar de emplazamiento de la planta no se dan fenómenos sísmicos, por lo que no será necesario calcular este coeficiente.

1.4.6. Conexiones: Las conexiones más comunes en un recipiente son las siguientes:

- De entrada y salida de fluidos
- Para reguladores de nivel

- Para válvula de seguridad
- Para servicios tales como drenaje, venteo de limpieza, etc.

Las conexiones a un recipiente por las que el líquido pueda circular llevarán una válvula manual externa situada lo más próxima a la pared del recipiente.

Las conexiones por debajo del nivel del líquido, a través de las cuales éste no circula, llevarán un cierre estanco.

Salvo en casos excepcionales, las conexiones se realizan embridadas, ya que permiten su montaje y desmontaje sin tener que realizar ningún corte ni soldadura.

Solamente en casos de fluidos extremadamente tóxicos (nitrobenceno), o altamente explosivos (benceno) en contacto con el aire, se realizan las conexiones soldadas.

1.4.7. Venteos: Todo recipiente deberá disponer de sistemas de venteo o alivio de presión para prevenir la formación de vacío o presión interna, de tal modo que se evite la deformación del mismo como consecuencia de las variaciones de presión producidas por efecto de los llenados, vaciados o cambios de temperatura.

Los venteos normales de un recipiente tendrán, como mínimo, un tamaño igual al mayor de las tuberías de llenado y vaciado, y en ningún caso inferior a 35mm de diámetro interior.

En el caso de que un producto, por efecto de la acción de la humedad del aire, aumente su acción corrosiva, se tendrá en cuenta este efecto para disponer de un sistema que lo evite o corrija, salvo que se haya previsto tal posibilidad en el diseño.

Tanto en los líquidos tóxicos como corrosivos, se deberá evitar en la medida de lo posible la emisión a la atmósfera de vapores perjudicables de vapores líquidos corrosivos o tóxicos, y en todo caso, controlar sus efectos.

1.4.8. Tensión máxima admisible (E): Los recipientes sometidos a presión, como este tanque debido al fluido que contiene en su interior, ha de diseñarse con unos espesores de pared suficiente para soportar las tensiones a las que se verán sometidos sin deformación. Para ello, la tensión máxima a la que trabaja el material, debe ser menor que la tensión máxima admisible por el material.

La tensión máxima admisible por un material depende de la temperatura de trabajo, del material elegido y del coeficiente de seguridad que se adopte.

Según el código ASME VIII, División 1, la máxima tensión admisible (S) a la temperatura de diseño será el mínimo de los siguientes valores:

$$S = \min\left(\frac{R'}{4}; \frac{5}{8} y; f_L; \frac{2}{3} f_r\right)$$

Donde:

R' =tensión máxima admisible a la temperatura de diseño (kg/cm^2)

y =límite elástico o carga que produce una deformación permanente del 0,2 % a la temperatura de diseño (kg/cm^2)

f_L =carga que produce un alargamiento del 1% en 100.000 horas, por deformación viscosa, a la temperatura de diseño (kg/cm^2)

f_r =carga de rotura, por alargamiento en 100.000 horas, a la temperatura de diseño (kg/cm^2)

Para el acero inoxidable AISI 304 (siguiendo el Gráfico 3 del Anexo Gráfico)

$$\left. \begin{array}{l} R \approx 550 \text{ MPa} = 5606 \text{ kg}/\text{cm}^2; R/4=1401 \\ Y \approx 200 \text{ MPa} = 2038 \text{ kg}/\text{cm}^2; (5/8) \cdot Y = 1273 \\ f_r \approx 545 \text{ MPa} = 5559 \text{ kg}/\text{cm}^2 \end{array} \right\} S=1273 \text{ Kg}/\text{cm}^2$$

1.4.9. Eficiencia de la soldadura (S): La unión entre las chapas que componen el depósito se realiza por medio de soldaduras. Estas suponen discontinuidades en la superficie del depósito, donde las tensiones que este sufre se pueden concentrar.

Por esto, y por posibilidad de que se produzcan fallos en la soldadura mientras se realiza (debido al rápido calentamiento y enfriamiento al que esta sometido la zona próxima a la soldadura), hay que considerar la soldadura como una zona debilitada del tanque.

Teniendo en cuenta esto, a la hora de determinar el espesor del tanque, se introduce un factor de reducción de la tensión máxima admisible, la eficiencia de la soldadura (S), cuyo valor depende de la norma utilizada y de los controles realizados sobre ella.

Siguiendo el código ASME, estableciendo que las soldaduras del tanque son de tipo 1 y el nivel radiográfico solo por zonas, mediante el Gráfico 1 del Anexo Gráfico, concluimos que $S=0,85$.

1.4.10. Sobrespesor de corrosión (c): Es el espesor que se le añade a los espesores mínimos (t_{\min}) para compensar el efecto de la corrosión. Su valor depende del material usado para construir el tanque.

Acero inoxidable: $c = 0,8 - 1,5 \text{ mm}$

Aceros al carbono: $c = 1,5 - 3 \text{ mm}$

1.4.11. Espesor mínimo de pared: dentro de este apartado habrá que calcular de forma independiente los espesores mínimos de pared de las tres partes que componen el depósito: los fondos superior e inferior y la carcasa cilíndrica.

a) **Espesor mínimo de la carcasa:** Debe ser el mayor de los calculados por medio de las siguientes formulas:

$$t_{\min} = 2,5 + c(mm) \quad \text{Exigido en cód. ASME Sec. VIII Div. 1}$$

$$t_{\min} = 3(mm) \quad \text{Para acero inoxidable}$$

$$t_{\min} = \frac{D_{INT}}{1000} + 2,54 + c(mm)$$

$$t_{\text{circunferencial}} = \frac{P_D \cdot R_{INT}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_D} + c(mm) \quad \text{Soporte de tensiones circunferenciales}$$

$$t_{\text{longitudinal}} = \frac{P_D \cdot R_{INT}}{(2 \cdot S \cdot E) - 0,4 \cdot P_D} + c(mm) \quad \text{Soporte de tensiones longitudinales}$$

Siendo P_D = Presión de diseño = 3,5 kg/cm²
 R_{INT} = Radio interno = 0,72 m
 D_{INT} = Diámetro interno = 1,44 m
 c = Sobrespesor de corrosión = 1 mm
 S = Tensión máxima admisible = 942,02 kg/cm²
 E = Eficiencia de la soldadura = 0,85

El mayor de los valores obtenido es $t_{\min} = 5,38$ mm. Por cuestiones de seguridad, aumentamos el espesor un 2%, resultando $t_{\min} = 5,49$ mm. Como las chapas están normalizadas, habrá que recurrir a chapas de $t_{\min} = 6$ mm.

Así pues, el diámetro exterior de la carcasa cilíndrica será:

$$D_{EXT} = D_{INT} + 2 \cdot t = 1452 + 6 \cdot 2 = 1464mm$$

b) **Espesor mínimo de los cabezales semielípticos:** Para determinar este espesor lo primero que hay que conocer es el tipo de fondo que se va a utilizar. Esta selección se realiza en base a los requerimientos técnicos y al coste. En nuestro caso, se trata de fondos, superior e inferior, semielípticos de relación 2:1 entre ejes. Todos los fondos construidos en base al código ASME son construidos en chapa a la cual se le da la forma mediante estampación en frío.

Mediante la tabla de Formulas generales para recipientes del código ASME (Grafico 2 del Anexo Gráfico) calculamos el espesor mínimo en este tipo de fondos, teniendo en cuenta el diámetro tanto interior como exterior del casco cilíndrico.

$$t = \frac{P_D \cdot D_{INT}}{(2 \cdot S \cdot E) - 0,2 \cdot P_D} + c(mm) = 4,1mm$$

$$t = \frac{P_D \cdot D_{EXT}}{(2 \cdot S \cdot E) - 0,2 \cdot P_D} + c(mm) = 4,1mm$$

Resolviendo la expresión, resulta $t_{\text{fondo semielíptico}}=4,1$ mm. Aumentamos el valor por seguridad un 2%, resultando $t=4,23$ mm. Para ajustar el espesor a las chapas normalizadas, se requiere un $t_{\text{fondo semielíptico}}=5$ mm.

La presencia de todo fondo supone el paso de una figura bombeada a otra cilíndrica, que tiene lugar en la llamada línea de tangencia. Debido a la concentración de tensiones que se produciría en esta línea de unir cilindro y fondos en ella, se diseña una pestaña cilíndrica como prolongación del fondo, para evitar que haya que soldar las partes en esta línea débil.

La altura de esta faldilla cilíndrica (h) no debe ser menor que ninguno de estos valores:

$$h \geq 0,3 \cdot \sqrt{D_{EXT} \cdot t_f}$$

$$h \geq 3 \cdot t_f$$

$$h \geq 25mm$$

Siendo:

t_f = espesor de pared del fondo (mm)

D_{EXT} = diámetro exterior de la carcasa

El mayor de estos valores resulta: $h_1=28,1$ mm.

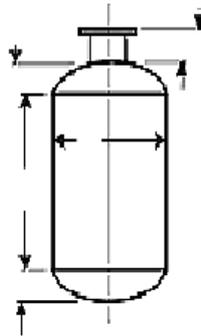
A continuación se resumen las características más importantes del tanque:

Presión diseño	3,5 kg/cm ²
Temperatura diseño	45 °C
Material deposito	Acero inox. AISI 304
Tensión máxima admisible	978,2 kg/m ²
Tipo soldadura	1 (examinada por zonas)
Eficiencia soldadura	0,85
Sobreespesor de corrosión	1 mm
Espesor mínimo carcasa	6 mm
Espesor mínimo fondos	5 mm
Tipo fondos	Semielípticos (ejes 2:1)
Altura pestañas	28,1 mm

1.4.12. Dimensiones reales del tanque: Una vez calculados los espesores del tanque, se puede determinar las dimensiones finales del tanque.

Al tratarse de un depósito de agitación y mezcla, sus fondos serán de tipo semielíptico para evitar la presencia de volúmenes muertos. A la hora de conocer el volumen final habrá que tener en cuenta además el volumen interno ocupado por el agitador. Se considera que en la agitación no se genera calor como para necesitar una refrigeración, por lo que no habrá serpentines ni camisas de refrigeración.

Así pues el volumen final del tanque (V) será la suma de: volumen de los fondos semielípticos (superior e inferior) (V_f), volumen de la parte cilíndrica (V_c), el volumen de las pestañas (V_p) y volumen ocupado por el agitador (V_a). El volumen total de carcasa, cabezales y pestañas debe ser $4,813 \text{ m}^3$ según el cálculo realizado al principio del capítulo. Así pues:



$$V = V_f + V_c + V_a + V_p = 4,813 + V_a$$

Calculamos en el apartado correspondiente que $V_a = 0,19 \text{ m}^3$. El volumen total debe ser entonces de $5,003 \text{ m}^3$.

El volumen de cada fondo semielíptico se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_f = 0,13 D_{\text{int}}^3 = 0,13 \cdot (0,726 \cdot 2)^3 = 0,39 \text{ m}^3$$

El volumen de las pestañas es:

$$V_p = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h = 0,046 \text{ m}^3$$

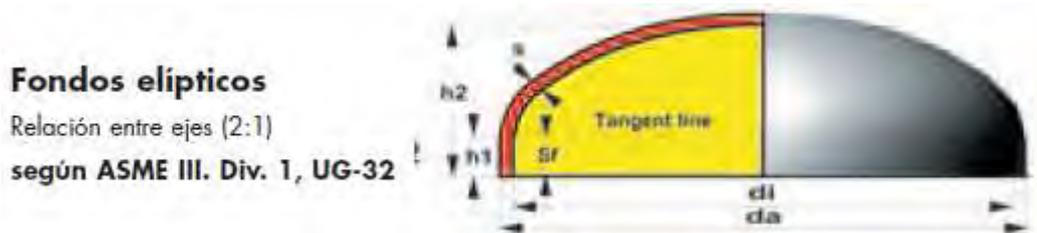
Entonces el volumen de la carcasa será:

$$V_c = 5,003 - 2 \cdot 0,39 - 2 \cdot 0,046 - 0,19 = 3,941 \text{ m}^3$$

Dado su diámetro interno es $D = 1,44 \text{ m}$, la altura de la carcasa es:

$$H = \frac{V_c}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = 2,38m$$

Los fondos elegidos son semielípticos con una relación entre ejes 2:1. Por lo tanto siendo el eje mayor el diámetro externo, la altura de la parte circular del fondo será la cuarta parte este eje mayor.



Por tanto, $h_2 = D_{ext}/4 = 1452/4 = 363 \text{ mm}$

Así, finalmente, se establecen las dimensiones definitivas del tanque:

$D_{ext} = 1464 \text{ mm}$

$H_T = H + h_1 + h_2 = 2380 + 2 \cdot 28 + 2 \cdot 363 = 3162 \text{ mm}$

En la siguiente se indican todos los datos relativos al diseño mecánico del tanque de mezcla.

La siguiente tabla resume las dimensiones de cada parte del tanque.

Volumen agitador	0,19 m ³
Altura fondos	0,363 m
Volumen fondos	2x0,39 m ³
Altura carcasa cilíndrica	2,38 m
Volumen carcasa cilíndrica	3,941 m ³
Volumen pestañas	2x0,046 m ³
Altura pestañas	28,1 mm
Diámetro interno	1,452 m
Diámetro externo	1,464 m
Altura final tanque	3,162 m
Volumen final tanque	5,001 m ³

1.4.13. Peso del tanque cargado: Para conocerlo es necesario calcular el peso del tanque vacío, el peso del agitador y el peso de todo el líquido que puede contener el tanque. El peso de los accesorios se estima que supone aproximadamente un 10% del peso total.

a) Peso del tanque vacío:

$$P = P_{cilindro} + P_{fondos} + P_{pestañas} + P_{accesorios\ deposito} = 760kg + 0,1 \cdot 760 \approx 912 kg$$

$$P = Superficie \cdot espesor \cdot \rho_{acero}$$

$$P_{cilindro} = (2 \cdot \pi \cdot (R_{INT})^2 \cdot H) \cdot e \cdot \rho_{acero} = 2 \cdot \pi \cdot 0,72^2 \cdot 2,38 \cdot 0,006 \cdot 7860 \approx 365Kg$$

$$P_{fondo} = (4 \cdot \pi \cdot R_{INT}^2) \cdot e \cdot \rho_{acero} = 4 \cdot \pi \cdot 0,72^2 \cdot 0,005 \cdot 7860 = 256kg \rightarrow P_{fondos} \approx 512kg$$

$$P_{pestañas} = (\pi \cdot (R_{INT})^2 \cdot H) \cdot e \cdot \rho_{acero} = \pi \cdot 0,72^2 \cdot 0,028 \cdot 0,006 \cdot 7860 = 1,52kg \rightarrow P_{pestañas} = 2kg$$

Para el cálculo de la superficie de la media elipsoide descrita por los fondos, se ha usado la expresión de la superficie externa de una esfera, por no disponer de la formula exacta para el calculo de la superficie externa de una elipsoide. El peso de los accesorios, según la bibliografía se evalúa en aproximadamente un 10% del peso del tanque.

b) Peso agitador:

$$P_{agitador} = V_{agitador} \cdot \rho_{acero} = 0,19 \cdot 7860 \approx 1493kg$$

c) Peso liquido:

$$P_{liquido} = V_{liquido} \cdot \rho_{liquido} = 3,850 \cdot 1137 \approx 4377kg$$

Así pues el peso total del tanque de mezcla lleno será $P \approx 6749$ kg. Este peso tendrá que tomarse en cuenta a la hora de determinar los soportes del depósito.

1.4.14. Soportes del tanque: Los sistemas de apoyo de los recipientes no están sometidos ni a presión interna ni externa, y por lo tanto, normalmente no se incluyen en los códigos o normas que regulan los recipientes. No obstante, es muy importante determinar los espesores necesarios de estos elementos para garantizar la estabilidad mecánica de los recipientes. En nuestro caso el soporte usado serán patas.

No nos centramos en el cálculo de estas estructuras pero de modo simple se expondrán una serie de recomendaciones a tener en cuenta en cada uno de los tipos de apoyo:

Faldón

- El diámetro medio del faldón y del recipiente tendrán el mismo valor, con el fin de evitar momentos debidos al peso.
- El espesor mínimo del faldón será 6 mm, en caso de que el recipiente tenga un espesor igual o superior a dichos 6 mm.

- El material del faldón será, generalmente, acero al carbono.
- El anillo base tendrá una anchura de 250 mm y un espesor mínimo de 20 mm.
- El número de pernos será múltiplo de 4; la distancia entre ellos no será menor de 400 mm, ni mayor de 600 mm, y su diámetro estará comprendido entre 16 mm y 60 mm.

Patatas

- Dado que el diámetro del tanque es mayor que 0,75 m, el número de patatas será 4.
- Las patatas serán construidas con perfiles IPN comerciales, normalmente en L, y de forma habitual en acero al carbono, salvo la placa de refuerzo soldada directamente al recipiente, que será del mismo material que éste.
- La longitud de las patatas será tal que quede medio metro entre la parte inferior del tanque y el suelo, con el fin de facilitar el montaje/desmontaje de los accesorios y conducción que el depósito tendrá.
- Irán igualmente espaciadas por todo el perímetro del tanque
- Los perfiles irán soldados a una placa cuadrangular, fijándose al suelo el conjunto, mediante dos pernos de anclaje. El diámetro de los pernos será de 20 mm y el de los taladros de 26 mm.

Ménsulas

- Se construyen en acero al carbono, salvo la placa de refuerzo soldada directamente al recipiente, que será del mismo material que éste.
- Su número deberá ser 2, 4 u 8, y raramente su número será mayor.

Sillas

- La distancia desde el eje de la cuna de la línea de tangencia será, normalmente, igual a un cuarto de diámetro interior del recipiente ($0,25 D_i$).
- El ángulo que abraza la silla al recipiente estará comprendido entre 120° y 140° .
- El material de construcción, al igual que las ménsulas y las patatas, es de acero al carbono, salvo las chapas refuerzo.

1.4.15. Pruebas hidráulicas: Todo recipiente debe ser comprobado antes de la puesta en operación. Una de las comprobaciones consiste en el ensayo de la prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de diseño.

Según la normativa la presión hidráulica se calcula:

$$P_{HM} = 1,5 \cdot P \cdot \frac{\sigma_a}{\sigma}$$

Donde: P_{HM} : Presión hidráulica mínima (Kg/cm^2)

P : Presión de diseño (Kg/cm^2)

σ_a : Tensión máxima admisible a temperatura de diseño (Kg/mm^2)

σ : Tensión máxima admisible a temperatura ambiente (Kg/mm^2)

En nuestro caso la tensión máxima admisible a temperatura de diseño y temperatura ambiente no varia. Teniendo en cuenta estos dos aspectos, la presión hidráulica se calculará como:

$$P_{HM} = 1,5 \cdot P = 1,5 \cdot 3,5 = 5,25 \text{kg} / \text{cm}^2$$

2. DISEÑO DE LA CENTRÍFUGA

2.1. Introducción

Para llevar a cabo el diseño de la centrifugadora primeramente hay que establecer las siguientes hipótesis:

- Se produce un flujo ideal de entrada a la centrifuga.
- Las partículas sólidas se encuentran uniformemente distribuidas a la entrada de la centrifuga.
- La alimentación alcanza la velocidad tangencial plena en cuanto llega a la cesta.
- No existe interacción entre las partículas sólidas presentes en la corriente.

Las principales variables de operación que intervienen en la centrifuga son:

- Diámetro de la cesta de centrifugación: Debe ser suficiente para alojar toda la corriente a tratar y para dejar espacio para que la separación de sólidos y líquido se realice de forma clara. A mayor diámetro, menor velocidad de giro desarrolla el tambor.
- Velocidad diferencial entre tambor de centrifugación y tornillo recuperador de sólidos: Debe ser tal que mantenga un grosor mínimo de la capa de sólidos sobre la pared del tanque, pero permitiendo que estos estén suficiente tiempo en su interior para ser separados en el grado y tamaño deseados, y para evitar un grado de mojado indeseado.
- Fuerza centrífuga: Viene dada por la velocidad de giro de la centrífuga. Al aumentar la velocidad de giro se consiguen los siguientes efectos, los 2 primeros positivos y el último negativo:
 - Aumento de la eficiencia de separación y del grado de clarificación.
 - Mayor compactación de la torta de sólidos y menor grado de mojado con la fase ligera.
 - Aumento de la dificultad de arrastre de la torta de sólidos

Finalmente, para fijar el balance de materia, hay que determinar el grado de mojado que tendrán los sólidos separados, de manera que se pueda fijar la composición de las corrientes de salida.

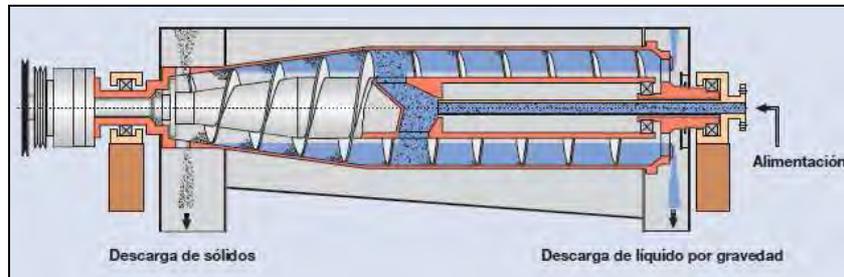
Para la centrifuga **CFGN-101** establecemos que la concentración de partículas sólidas en la fase pesada separada será de un **80% v/v**.

Para la centrifuga **CFGN-102**, al formar parte del proceso de separación del 1,3-PDO, la concentración de sólidos en la fase pesada será mayor para alcanzar un mayor grado de purificación. Se establece que será de un **90% v/v**.

2.2. Dimensiones generales

La centrifuga de decantación cuenta con un diseño entre lo que destaca:

- La relación entre la longitud del tambor y su diámetro (L/D) es de entorno a 4.3, lo que permite trabajar a una alta velocidad de rotación y una baja velocidad diferencial. La excepcional longitud del tambor unido al cociente entre L/D permite aumentar el tiempo de residencia de la mezcla dentro del equipo, prolongar la separación entre las dos fases y obtener una mejor y mayor separación.



- La velocidad diferencial entre el tambor y el tornillo está entre 5-25 rpm.
- Todas las piezas en contacto con el producto se realizan en acero inoxidable AISI 304L o 316L. Las principales partes mecánicas de la unidad (tambor, tornillo, lámina del tornillo) llevan aplicada una capa de W_2C (65%) con un espesor de entre 2 y 3 mm. Esta protección mejora la resistencia mecánica y prolonga la vida útil.
- En función de las necesidades de cada planta, los parámetros de operación como velocidad, velocidad diferencial, número de pasos y la apertura del tornillo pueden ser ajustados y corregidos

La empresa INGOR, dedicada a la fabricación de equipos industriales, ofrece en su catalogo de centrifugas los modelos siguientes, con las características indicadas en la tabla.

Modelo	Caudal de Alimentación (m ³ /h)	Evacuación de lodo (kg/h)	Peso (kg)	Long. del Tambor (mm)	Diámetro Tambor (mm)	Relación L/D	Velocidad giro (rpm)	Potencia Motor (kw)
DC1-220	2-6	400	900	930	220	4,2	4.800	11
DC1-300	4-11	800	1.400	1.300	300	4,3	4.200	11~15
DC1-350	6-17	1.200	1.800	1.550	350	4,4	3.700	15~22
DC1-400	9-28	2.000	2.200	1.750	400	4,4	3.200	18,5~30
DC1-450	12-35	2.500	2.600	1.940	450	4,3	2.800	22~37
DC1-530	23-70	5.000	4.000	2.270	530	4,3	2.500	30~45
DC1-650	37-90	8.000	6.500	2.800	650	4,3	2.200	37~55
DC1-760	47-110	10.000	8.500	3.040	760	4,0	2.000	55~90
DC1-900	70-150	15.000	12.000	3.600	900	4,0	1.800	75~135

El caudal de alimentación a la centrifuga **CFGN-101** es de 3,850 m³/h, por lo que la centrifuga de nuestra planta debe ser del modelo **DC1-220**.

El caudal de alimentación de la centrifuga **CFGN-102** es de 19,7 m³/h, por lo que debemos instalar una centrifuga como la del modelo **DC1-400**.

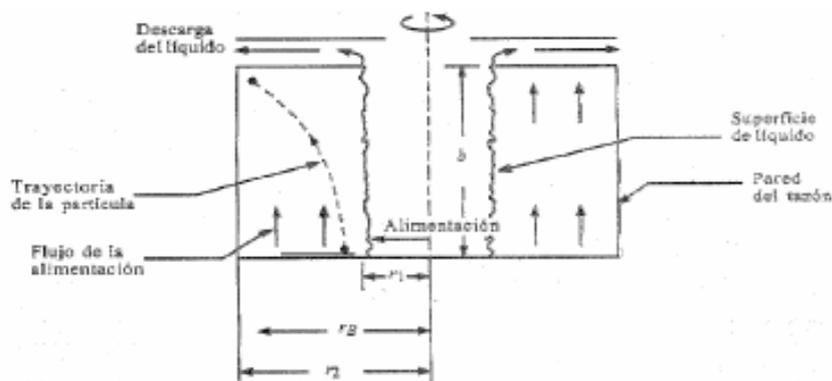
Para el resto de los cálculos de las centrifugas, se usaran por tanto los datos de la tabla siguiente:

Centrifuga	y (m)	r ₂ (m)	r ₁ (m)	Q _v (m ³ /s)	ρ fase sol. (kg/m ³)	ρ fase liq. (kg/m ³)	μ (Pa·s)	Dp (mm)
CFGN-101	0,93	0,11	0,1	9,4·10 ⁻⁴	1317	1138	0,47	1
CFGN-102	1,75	0,4	0,37	5,47·10 ⁻³	1123	1009	0,02	0,05

2.3. Velocidad de giro del tambor de centrifugación

Considérese el volumen de líquido del recipiente centrífugo que se representa en la figura. La entrada de la alimentación está en el fondo y la descarga de líquido está en la parte superior.

Supóngase que todo el líquido se mueve hacia arriba a través del recipiente con velocidad constante, arrastrando consigo partículas del sólido. Una partícula dada, comienza a sedimentar en el fondo del recipiente desde una posición cualquiera en el líquido desde el eje de rotación.



Precipitación de partículas en una centrifuga de sedimentación de razón subular.

Existe un movimiento en la dirección vertical (y) y también en la dirección radial (r). El movimiento en la dirección "y" viene dado por:

$$v_r = \frac{dy}{dt} = \frac{Q_v}{A} = \frac{Q_v}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}$$

donde:

- Q_v = Caudal volumétrico o flujo de alimentación;
- r_1 = Radio del nivel del líquido
- r_2 = Radio de la centrífuga.

Para determinar el movimiento en la dirección radial "r" consideraremos que la partícula se deposita en el intervalo de validez de la ley de Stokes. La velocidad límite cuando el radio es r será:

$$\left. \begin{array}{l} V = \frac{1}{18} \omega^2 r \frac{(\rho_p - \rho) D_p^2}{\mu} \\ V = \frac{dr}{dt} \end{array} \right\} \frac{dr}{dt} = \frac{1}{18} \omega^2 r \frac{(\rho_p - \rho) D_p^2}{\mu} \rightarrow dt = \frac{18 \mu}{(\rho_p - \rho) D_p^2 \omega^2} \frac{dr}{r}$$

El movimiento combinado en las dos direcciones que la partícula se mueve dentro de la centrífuga:

$$\frac{dr}{dy} = \frac{\frac{dr}{dt}}{\frac{dy}{dt}} = \frac{\frac{1}{18} \omega^2 r \frac{(\rho_p - \rho) D_p^2}{\mu}}{\frac{Q_v}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}}$$

Se puede calcular un caudal volumétrico óptimo para que una partícula que ingresa por el centro, alcance la pared en el tiempo de residencia t_R , tal que:

- $y = b$ (longitud de la centrífuga)
- $r = r_2$
- $r_1 =$ radio hasta la torta de sólidos

Así se determina la ecuación de diseño de una centrífuga de tazón tubular.

$$Q_v = \frac{(\rho_p - \rho) D_p^2 \omega^2 \pi b (r_2^2 - r_1^2)}{18 \mu \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Así pues, para calcular la velocidad de giro del tambor, despejamos ω^2 y introducimos los datos. En la tabla siguiente se muestran las características de las centrífugas y de las corrientes necesarias para el calculo de la velocidad de giro.

$$w_{CFGN-101} = \sqrt{\frac{18 \cdot Q_v \cdot \mu \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(\rho_p - \rho) \cdot D_p^2 \cdot \pi \cdot b \cdot (r_2^2 - r_1^2)}} =$$

$$\sqrt{\frac{18 \cdot 9,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,47 \cdot \ln\left(\frac{0,11}{0,10}\right)}{(1317 - 1138) \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi \cdot 0,93 \cdot (0,11^2 - 0,10^2)}} = 26,3 \text{ rad / s}$$

$$26,3 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ vuelta}}{2\pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \approx 250 \text{ rpm}$$

$$w_{CFGN-102} = \sqrt{\frac{18 \cdot Q_v \cdot \mu \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(\rho_p - \rho) \cdot D_p^2 \cdot \pi \cdot b \cdot (r_2^2 - r_1^2)}} =$$

$$\sqrt{\frac{18 \cdot 5,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02 \cdot \ln\left(\frac{0,4}{0,37}\right)}{(1123 - 1009) \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi \cdot 1,75 \cdot (0,4^2 - 0,37^2)}} \approx 6,4 \text{ rad / s}$$

$$18 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ vuelta}}{2\pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \approx 61,3 \text{ rpm}$$

Las densidades y viscosidades son las calculadas en el balance general de materia.

Dado que las dos centrifugas seleccionadas pueden girar a más velocidad de la calculada, serán apropiadas para realizar nuestra separación. Las velocidades de giro calculadas serán las mínimas para conseguir la separación deseada.

2.4. Velocidad límite de sedimentación de las partículas

El balance de fuerzas aplicado a una partícula (que cae) indica que, cuando la fuerza externa es la centrífuga:

$$m \frac{dV}{dt} = m a_c - m \frac{\rho}{\rho_p} a_c - C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A_p$$

$$m \frac{dV}{dt} = m \omega^2 r - m \frac{\rho}{\rho_p} \omega^2 r - C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A_p$$

$$a_c = \omega^2 r$$

la partícula se mueve a velocidad constante cuando F_e (fuerza externa) = F_f (fuerza de flotación) + F_r (fuerza de rozamiento)

$$m\omega^2 r - m \frac{\rho}{\rho_p} \omega^2 r - C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A_p = 0$$

A partir de aquí, reagrupando, se obtiene que la velocidad límite de las partículas viene dada por:

$$V_t = \sqrt{\frac{2m\omega^2 r (\rho_p - \rho)}{C_D \rho_p \rho A_p}}$$

Para el caso de partículas esféricas, si la esfera tiene un diámetro D_p , el área de la superficie proyectada sería $A_p = (\pi/4) D_p^2$, por lo que:

$$V_t = \sqrt{\frac{8m\omega^2 r (\rho_p - \rho)}{C_D \rho_p \rho D_p^2 \pi}}$$

Si además se considera que:

$$m = \rho_p \frac{\pi}{6} D_p^3$$

$$V_t = \sqrt{\frac{4 D_p \omega^2 r (\rho_p - \rho)}{3 C_D \rho}}$$

Al igual que en la sedimentación, la velocidad de separación de las partículas por centrifugación depende del coeficiente de rozamiento C_D , el cual tomará un valor u otro en función del tipo de régimen. Así:

$$\text{Laminar} \rightarrow \text{Stokes} \rightarrow C_D = \frac{24}{Re_p} \rightarrow V_t = \frac{1}{18} \omega^2 r \frac{(\rho_p - \rho) D_p^2}{\mu}$$

$$\text{Turbulento} \rightarrow \text{Newton} \rightarrow C_D = 0,44 \rightarrow V_t = 1,74 \omega \sqrt{r D_p \frac{\rho_p - \rho}{\rho}}$$

$$\text{Transición} \rightarrow C_D = \frac{18,5}{Re_p^{0,4}} \rightarrow V_t = \left[\frac{4}{55,5} \omega^2 r (\rho_p - \rho) D_p^{1,6} \left(\frac{\rho}{\mu} \right)^{0,4} \right]^{1/1,4}$$

Consideramos que nuestras centrifugaciones tienen lugar en régimen laminar. Así pues:

$$V_{t-CFGN-101} = \frac{(26,3)^2 \cdot 0,11 \cdot (1317 - 1138) \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2}{18 \cdot 0,47} = 0,0016 \text{ m/s}$$

$$V_{t-CFGN-102} = \frac{(6,4)^2 \cdot 0,14 \cdot (1123 - 1009) \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2}{18 \cdot 0,02} = 0,00045 \text{ m/s}$$

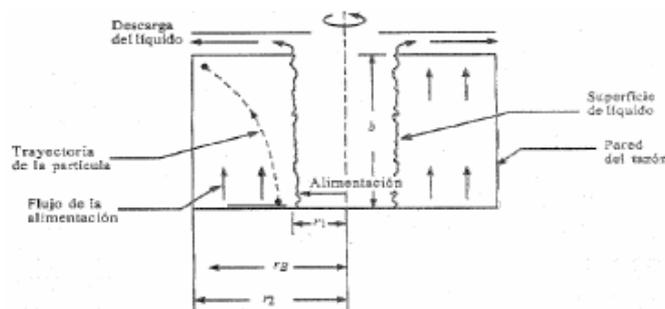
En cuanto a la centrífuga CFGN-101, puesto que nuestro proceso se trata de una clarificación, no todos los sólidos se retiran por completo. Todas las partículas con una velocidad mayor (V) que la velocidad límite (V_t) calculada serán separadas en la centrífuga. Esta velocidad límite viene determinada por el tamaño mínimo de partícula que se quiere separar. Se pretende separar todas aquellas de un diámetro mayor de 1 mm. Se considera que el 70% de los jabones y el 50 % de las sales minerales tendrán un tamaño mayor que este. Se asume que este grado de separación es suficiente para permitir trabajar a los microorganismos en condiciones óptimas.

Al hablar de la centrífuga CFGN-102, el proceso de separación es más exigente. Aunque tampoco se separaran por completo todos los sólidos, se requiere un grado de separación mayor que en una clarificación. Se considera que esta centrífuga es capaz de separar todas aquellas partículas con un diámetro mayor de 0,5 mm. Se estima entonces que en la centrífuga se separan el 90% de la biomasa, el 90% de los jabones y el 50% de las partículas de Na_2SO_4 .

2.5. Tiempo de residencia en la centrífuga

A la hora de diseñar una centrífuga hay que tener en cuenta el tiempo de retención t_R o tiempo requerido por las partículas para desplazarse desde la superficie interior del líquido hasta la superficie del recipiente separador. Es decir, el tiempo mínimo que la partícula sólida debe estar dentro de la centrífuga.

Su tiempo de sedimentación está limitado por el tiempo de residencia del líquido dentro del recipiente, y al final de este tiempo la partícula estará a una distancia r_B del eje de rotación. Si $r_B < r_2$, la partícula abandona el recipiente con el líquido; si $r_B = r_2$, se deposita sobre la pared del recipiente y es separada del líquido.



Precipitación de partículas en una centrífuga de sedimentación de tazón subular.

Haciendo el mismo planteamiento que en el apartado 2.3:

Movimiento en la dirección vertical (y):

$$v_r = \frac{dy}{dt} = \frac{Q_v}{A} = \frac{Q_v}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}$$

donde:

Q_v = Caudal volumétrico o flujo de alimentación;

r_1 = Radio del nivel del líquido

r_2 = Radio de la centrífuga.

Movimiento en la dirección radial:

$$\left. \begin{array}{l} V = \frac{1}{18} \omega^2 r \frac{(\rho_p - \rho) D_p^2}{\mu} \\ V = \frac{dr}{dt} \end{array} \right\} \frac{dr}{dt} = \frac{1}{18} \omega^2 r \frac{(\rho_p - \rho) D_p^2}{\mu} \rightarrow dt = \frac{18 \mu}{(\rho_p - \rho) D_p^2 \omega^2} \frac{dr}{r}$$

Integrando entre $r = r_1$ para $t = 0$ y $r = r_2$ para $t = t_R$:

$$\int_0^{t_R} dt = \frac{18 \mu}{(\rho_p - \rho) D_p^2 \omega^2} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} \rightarrow t_R = \frac{18 \mu}{(\rho_p - \rho) D_p^2 \omega^2} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$t_{R-CFGN-101} = \frac{18 \cdot 0,47}{(1317 - 1138)(1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (26,3)^2} \ln \frac{0,11}{0,10} = 6,5s$$

$$t_{R-CFGN-101} = \frac{18 \cdot 0,02}{(1123 - 1009)(0,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (6,4)^2} \ln \frac{0,4}{0,37} = 24s$$

Normalmente, no se opera con este tiempo en la separación, ya que no solo pretendemos separar los sólidos, si no además, que la torta obtenida este lo mas seca posible de fase ligera, para así conseguir la máxima eficiencia del proceso. Se trata solo por tanto de un tiempo mínimo que siempre debe cumplirse, pero que no condiciona el diseño.

El tiempo real que las partículas pasaran dentro de la centrífuga vendrá determinada por nuestro caudal de operación, para el cual se ha calculado en el apartado 3.1 la ω adecuada que permite llevar a cabo la separación de forma correcta.

Para resumir, estos son los datos principales de las centrifugas de nuestra planta:

Centrifuga	CFGN-101	CFGN-102
Tipo centrifuga	Centrifuga de decantación	Centrifuga de decantación
Accionamiento	2 Motores, sist. dif. vel. cesta/tormillo	2 Motores, sist. dif. vel. cesta/tormillo
Control de la vel. Dif.	Sistema eléctrico	Sistema eléctrico
Caudal de alimentación (m ³ /h)	3,387	19,711
Caudal másico de lodo (kg/h)	447	366
Caudal de liquido clarificado (m ³ /h)	3,022	18,800
Conc. sólidos en fase pasada (v/v)	0,8	0,9
Peso (kg)	900	2200
Longitud tambor (m)	0,93	1,75
Diámetro tambor (m)	0,22	0,4
Espesor torta sólidos (m)	0,001	0,003
Velocidad giro tambor (r.p.m.)	250	62
Velocidad diferencial (r.p.m.)	5-25	5-25
Vel. límite sediment. Partículas (m/s)	0,0016	0,00046
Tiempo mínimo residencia (s)	6,5	24
Separación sales (Na ₂ SO ₄)	50%	50%
Separación jabones	70%	90%
Separación biomasa	No aplica	90%

3. DISEÑO DE LOS EVAPORADORES

3.1. Balances de materia

Estableciendo los balances de materia en los evaporadores, podemos el flujo másico de las corrientes.

$$F \cdot x_F = E \cdot y_E + S \cdot x_S$$

$$F = E + S$$

Evaporador EVPR-101: Este evaporador tiene la función de separar el metanol presente. Establecemos que la corriente evaporada (E) tendrá un contenido del 99% en metanol ($X_E=0,99$), siendo el resto agua que también se ha evaporado con él, debido a ciertas interacciones moleculares que hacen que algunas moléculas de agua acompañen al metanol y por ser la sustancia con el siguiente punto de ebullición menor. Debido a que no resulta difícil evaporar el metanol de nuestra corriente, para simplificar cálculos, consideramos que se evapora la totalidad el metanol presente ($X_S=0$).

$$F = 3406 \frac{kg}{h}$$

$$3406 \cdot 0,165 = E \cdot 0,99 + S \cdot 0 \Rightarrow E \approx 568 \frac{kg}{h}$$

$$S = 3406 - 568 = 2838 \frac{kg}{h}$$

Evaporador EVPR-102: Con este evaporador se pretende evaporar todo el ácido acético y agua presente en la corriente para purificar al máximo el 1,3-PDO. Se considera entonces que en la corriente evaporada (E) se encontrará todo el acético y agua presentes en la entrada del evaporador.

$$F = 4820 \frac{kg}{h}$$

$$4820 \cdot 0,906 + 4820 \cdot 0,024 = E \Rightarrow E \approx 4482,6 \frac{kg}{h}$$

$$S = 4820 - 4482,6 = 337,4 \frac{kg}{h}$$

Evaporador EVPR-103: Su función es terminar de purificar el 1,3-PDO presente en la corriente. Esto se consigue evaporándolo ya que se trata del componente más volátil, quedando el glicerol líquido. Consideramos que todo el 1,3-PDO está presente en la fase vapor.

$$F = 332 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$E = 332 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,913 \approx 303 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$S = 332 - 303 = 29 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3.2. Balances de energía

Ahora, para establecer el balance de energía del proceso, a fin de conocer la cantidad de vapor necesario para evaporar las corrientes E, se usan las variables del siguiente esquema:

W= caudal vapor calefacción

H_w=entalpía vapor

h_w=entalpía líquido

E=caudal corriente evaporada

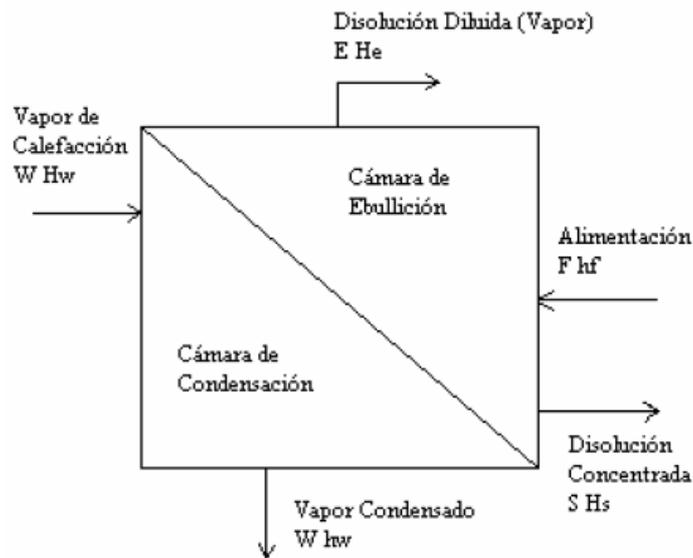
H_e=entalpía corriente evaporada

F=caudal alimentación

h_f=entalpía alimentación

S=caudal dis. concentrada

H_s=entalpía dis. concentrada



El balance de energía resulta:

$$W \cdot H_w + F \cdot h_f = W \cdot h_w + E \cdot H_e + S \cdot H_s + Q_{perdido}$$

Donde se pueden hacer las siguientes simplificaciones:

- $h_{liq} = C_p \cdot (T_f - T_0)$ (calores de disolución despreciables)
- Temperatura de referencia: la de la cámara de ebullición: $h_s = 0$

- $H_e = \lambda_e =$ entalpía de vaporización de la corriente evaporada

Considerando que no hay pérdidas de calor con el exterior, queda:

$$W \cdot (H_w - h_w) = E \cdot \lambda_e + F \cdot C_p \cdot (T_{eb} - T_o)$$

Para calcular la cantidad de vapor necesario (W) primero hay que conocer las características del vapor suministrado. Esto consiste en definir la presión y temperatura que tendrá. Nuestro vapor será vapor sobresaturado a 150°C y 1 atm. Habrá que conocer la cantidad de calor que se obtiene por kg. condensado de este vapor sobresaturado. Para que se condense, el vapor tendrá que descender su temperatura hasta los 100°C, y una vez ahí, realizarse el cambio de estado. El incremento de entalpía del paso de vapor sobresaturado a vapor saturado lo obtenemos del diagrama de Mollier (Gráfico 4 del Anexo Gráfico), y la entalpía de vaporización de la tabla de propiedades del vapor de agua saturado (Gráfico 5 del Anexo Gráfico). Así pues la energía implicada en este proceso será:

$$\Delta H_{condensacion} = (H_{vap,sobresat} - H_{vap,sat}) + \lambda_w = (2780 - 2680) + 2257 = 2357 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Después hay que calcular las variables implicadas en el balance de energía referentes a la corriente en las cámaras de ebullición de cada evaporador.

Dado que para ninguno de los sistemas de los evaporadores (metanol-agua-glicerina / ácido acético-agua-glicerina-1,3PDO / glicerina-1,3PDO) se han encontrado datos de equilibrio, se ha realizado la simplificación en todos ellos de que el compuesto que se desea evaporar se evapora por completo al alcanzar su temperatura de ebullición y tras darle el calor necesario para su vaporización, aplicándole un factor de corrección a esta temperatura normal de ebullición. Al existir interacciones entre las moléculas que componen el sistema, la temperatura de ebullición de los componentes no es la misma que tendrían si estuvieran puros, por lo que es preciso aplicar este factor de corrección para compensar los errores que esta suposición pueda causar.

Para encontrar un factor de corrección adecuado, se buscó un sistema disponible que representara en lo máximo posible a todos los componentes presentes en los 3 sistemas. En base a esto se eligió el sistema glicerol-agua.

Equilibrio líquido-vapor Glicerol/Agua P = 760 mmHg		
Punto ebullición (°C)	% molar agua	
	liquido	vapor
278.8	2.75	93.15
247.0	4.67	94.73
224.0	6.90	95.63
219.2	7.67	97.43
210.0	9.01	97.83
202.5	10.31	97.24
196.5	11.59	98.39
175.2	17.56	98.99
149.3	30.04	99.64
137.2	38.47	99.76
136.8	38.95	98.78
131.8	43.58	99.76
121.5	56.33	99.84
112.8	70.68	99.93
111.3	73.86	99.94
106.3	84.42	99.96

Como se puede observar en los datos de equilibrio, en este sistema el agua comienza a evaporarse a los 106,3°C en vez de a los 100°C como lo haría si estuviera pura. Así pues el factor de corrección sobre las temperaturas de ebullición de los componentes a evaporar de los sistemas será:

$$\text{Factor de corrección (FC): } \frac{T_{eb,H_2Omezcla}}{T_{eb,H_2Opura}} = \frac{106,3}{100} = 1,06$$

Evaporador EVPR-101:

Todos los datos corresponden a una presión de 1 atm. Esta será la presión a la que trabaje el evaporador.

$$T_{eb,met}(1atm) = 64,7^{\circ}C = 337,7K \rightarrow FC(1,06) : 68,6^{\circ}C$$

$$\lambda_e(1atm) = \lambda_{met} \cdot X_{met} + \lambda_w \cdot X_w = 1099 \frac{KJ}{Kg} \cdot 0,99 + 2257 \frac{KJ}{Kg} \cdot 0,01 = 1110,58 \frac{KJ}{Kg}$$

$$C_{p_f} = C_{p_w} \cdot X_w + C_{p_{met}} \cdot X_{met} + C_{p_{glicerol}} \cdot X_{glicerol} = 4,22 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \cdot 0,12$$

$$+ 2,53 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \cdot 0,18 + 2,83 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \cdot 0,7 \approx 3 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

Donde X representa la fracción másica del componente, y como simplificación la C_{p_f} se ha calculado teniendo en cuenta los componentes principales de la

mezcla en cuanto a composición: glicerol, metanol y agua, que suponen más del 94%.

Evaporador EVPR-102:

En este evaporador, la cámara de evaporación se encuentra a menor presión de la atmosférica, concretamente a 0,52 atm (400 mmHg). De esta forma conseguimos reducir el punto de ebullición del agua y del ácido acético que tenemos que separar.

A esta presión la temperatura de ebullición del ácido acético es de 99°C y la del agua 82°C (ver Gráfico 6 del anexo Gráfico).

Para conocer la cantidad de calor a aportar para producir la evaporación, hay que calcular el calor latente de vaporización (λ) del ácido acético y del agua, y el calor específico (C_p) del acético, agua y 1,3-PDO en estas condiciones.

Para calcular λ se recurre a la ecuación de Pitzer, siempre que $0,6 < T_r \leq 1$. Para sólidos y líquidos la variación de la presión influye sobre la C_p de manera despreciable, por lo que se usarán los valores a 1 atm y 25°C.

Agua

$$T_{\text{agua}}(0,52\text{atm}) = 82^\circ\text{C} = 355\text{K} \rightarrow FC(1,06) : 86,9^\circ\text{C}$$

$$(\Delta H_v)_{\text{agua}} = 2304 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Acido acético

$$T_{\text{eb,ac.acético}}(0,52\text{atm}) = 99^\circ\text{C} = 372\text{K} \rightarrow FC(1,06) : 105^\circ\text{C}$$

$$(T_c)_{\text{ac.acético}} = 591,5\text{K} \rightarrow T_r = \frac{T}{T_c} \approx 0,64$$

$$0,6 < T_r \leq 1 \Rightarrow \frac{\Delta H_v}{R \cdot T_c} = 7,08(1 - T_r)^{0,354} + 10,95(1 - T_r)^{0,456} \cdot \omega$$

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$\omega_{\text{ac.acético}} = 0,2907$$

$$(\Delta H_v)_{\text{ac.acético}} = 689 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\lambda_e(0,52) = \lambda_{\text{acético}} \cdot X_{\text{acético}} + \lambda_w \cdot X_w = 689 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \cdot 0,03 + 2304 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \cdot 0,97 \approx 2256 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Al no disponer en la bibliografía del calor específico del 1,3-PDO, se recurre a estimarlo mediante el método de contribución de grupos de Ruzicka-Domalski (ver Gráfico 7 del Anexo Gráfico):

$$\frac{C_p}{R} = A + B\left(\frac{T}{100K}\right) + D\left(\frac{T}{100K}\right)^2$$

$$A = \sum_{i=1}^N n_i \cdot a_i$$

$$B = \sum_{i=1}^N n_i \cdot b_i$$

$$D = \sum_{i=1}^N n_i \cdot d_i$$

Grupo	nt	at	bt	dt
O-(H,C)	2	12,952	-10,145	2,6261
C-(2H,2C)	1	2,7972	-0,0549	0,1067
C-(2H,C,O)	2	1,4596	1,4657	-0,2714
	Σ	17,208	-8,734	2,461

$$C_p = 1,39 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

$$C_{p,agua}(298K) = 4,18 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

$$C_{p,ac.acético}(298K) = 2,18 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

$$C_{p,1,3-PDO}(298K) = 1,39 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

$$C_{p_f}(0,26atm) = C_{p-w} \cdot X_w + C_{p-1,3-PDO} \cdot X_{1,3-PDO} + C_{p-acético} \cdot X_{acético} =$$

$$4,18 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \cdot 0,895 + 1,39 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \cdot 0,07 + 2,18 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \cdot 0,028 \approx 3,9 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

Donde X representa la fracción másica del componente, y como simplificación la C_{p_f} se ha calculado teniendo en cuenta los componentes principales de la mezcla en cuanto a composición: agua, 1,3-PDO y ácido acético, que suponen el 99%).

Evaporador EVPR-103:

En este evaporador, la cámara de evaporación se encuentra a presión reducida, para disminuir la temperatura de ebullición del 1,3-PDO (213°C). Para determinar la presión exacta a la que deberá estar, tenemos que calcular la presión de vapor del 1,3-PDO (el componente que se evapora) a una temperatura determinada. Fijamos que la temperatura a la que el 1,3-PDO debe evaporarse sea de 115°C, para que el gradiente térmico entre la corriente y el vapor sea notable, facilitando el intercambio de calor.

Dado que no se disponen de datos de presión de vapor del 1,3-PDO en función de temperatura, hay que calcularla. Esto se hará mediante la ecuación de Riedel:

$$\ln P_{vap} = A + \frac{B}{T} + C \cdot \ln T + D \cdot T^6$$

No obstante, para esta ecuación es preciso conocer el valor de las constantes A, B, C y D que no están disponibles en ninguna fuente bibliográfica para el 1,3-PDO. Es preciso por tanto recurrir a métodos de estimación para poder obtener sus valores.

En este sentido Riedel encontró la siguiente expresión, que permite calcular estas constantes y la presión de vapor a una temperatura dada:

$$\ln P_{vap,r} = A^+ + \frac{B}{T_r} + C^+ \cdot \ln T_r + D^+ \cdot T_r^6$$

Donde:

$$A^+ = -35Q$$

$$B^+ = -36Q$$

$$C^+ = 42Q + \alpha_c$$

$$D^+ = -Q$$

$$Q = K(3,758 - \alpha_c)$$

$$K = 0,373 - 0,030 \cdot h$$

$$h = 0,74 \cdot \ln \frac{(P_c / 1,01325)}{(1 - T_{b,r})}$$

$T_{b,r}$ es la temperatura de ebullición reducida: $T_{b,r} = \frac{T_b}{T_c}$

El parámetro α_c se define como: $\alpha_c = \frac{d \ln P_{vap}}{d \ln T_r}$, en el punto crítico.

Sin embargo esta definición no es útil a la hora de calcularlo, y por tanto se establecieron estas otras ecuaciones para hacerlo:

$$\alpha_c = \frac{3,758K\psi_b + \ln(P_c / 1,01325)}{K\psi_b - \ln T_{b,r}} \quad \psi_b = -35 + \frac{36}{T_{b,r}} + 42 \ln T_{b,r} - T_{b,r}^6$$

Como se observa, para usar estas ecuaciones, también preciso conocer la presión y temperaturas críticas del 1,3-PDO, que igualmente, tuvieron que estimarse por no estar disponibles. Esto se realizó por el método de contribución de grupos de Joback (ver Gráfico 8 del Anexo Gráfico), que establece que:

$$P_c(\text{bar}) = (0,113 + 0,032 \cdot n_A - \sum \Delta p)^{-2} = 57,22 \text{bar}$$

$$T_c = T_b \left[0,584 + 0,965 \sum \Delta T - (\sum \Delta T)^2 \right]^{-1} = 657 \text{K}$$

Siendo $n_A = n^\circ$ de átomos de la molécula = 13

Δp = contribución de presión de los grupos de moléculas

T_b = Temperatura de ebullición normal (K) (213°C=486K)

N_k = numero de grupos de contribución

ΔT = contribución de temperatura de los grupos

Grupo	n	Δp	$\sum \Delta p$
CH 2	3	0	0
OH	2	0,0112	0,0224
			0,0224

Grupo	n	ΔT	$\sum \Delta T$
CH 2	3	0,0189	0,0567
OH	2	0,0741	0,1482
			0,2049

Partiendo de los datos necesarios: $T_b = 213^\circ\text{C} = 486\text{K}$, $T_c = 657\text{K}$, $P_c = 57,22 \text{ bar}$, se realizan todos los cálculos indicados, resultando que para la temperatura de 115°C la presión de vapor del 1,3-PDO son $0,0025 \text{ bar}$. Al ser tan baja, se establece que la evaporación de realizara a vacío total en el evaporador.

Hay que recordar que hay que aplicar el factor de corrección a la temperatura de ebullición del 1,3-PDO, por no encontrarse puro y no disponer de los datos de equilibrio del sistema 1,3-PDO-glicerina.

$$T_{eb,0atm}(1,3-PDO) = 115^\circ\text{C} \rightarrow FC(1,06) : 122^\circ\text{C} = 395\text{K}$$

El siguiente paso para el diseño de esta unidad es calcular el calor latente de vaporización (λ) y el calor específico (C_p) del 1,3-PDO en estas condiciones de presión.

Para calcular el calor de vaporización se recurre a la ecuación de Pitzer, que ya hemos utilizado para el evaporador anterior, siempre que $0,6 < T_r \leq 1$:

$$(T_c)_{1,3-PDO} = 657\text{K} \rightarrow T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{395}{657} = 0,601$$

$$0,6 < T_r \leq 1 \Rightarrow \frac{\Delta H_v}{R \cdot T_c} = 7,08(1 - T_r)^{0,354} + 10,95(1 - T_r)^{0,456} \cdot \omega$$

Para poder usarla, es preciso conocer el factor acéntrico ω . Este, dado que no se ha podido encontrar en ninguna fuente bibliográfica, se ha tenido que estimar mediante el método de Constantinou y Gani de contribución de grupos (ver Gráfico 9 del Anexo Gráfico), que sigue la siguiente expresión:

$$\omega = 0,4085 \cdot \left\{ \ln \left[\sum_k N_k (w1k) + 1,1507 \right] \right\}^{(1/0,5050)}$$

Los grupos que intervienen en la molécula de 1,3-PDO y sus contribuciones son:

Grupo	N k	w1k	$\Sigma \Delta T$
CH ₂	3	0,147	0,441
OH	2	0,737	1,474
			1,915

Por tanto: $\omega = 0,4085 \cdot \left\{ \ln [1,915 + 1,1507] \right\}^{(1/0,5050)} = 0,511$

$$0,6 < T_r \leq 1 \Rightarrow \frac{\Delta H_v}{R \cdot T_c} = 7,08(1 - T_r)^{0,354} + 10,95(1 - T_r)^{0,456} \cdot \omega$$

$$T_c = 657K$$

$$T_r = 0,601$$

$$R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

$$\omega_{1,3-PDO} = 0,511$$

$$\lambda = (\Delta H_v)_{1,3-PDO} = 631 \frac{KJ}{Kg}$$

Para sólidos y líquidos el efecto de la presión sobre la variación de C_p es despreciable, por lo que se usaran los valores a 1 atm y 25°C.

$$C_{p,1,3-PDO}(298) = 1,39 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

$$C_{p,glicerol}(298) = 2,43 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

$$C_{p_f} = C_{p-1,3-PDO} \cdot X_{1,3-PDO} + C_{p,glicerol} \cdot X_{glicerol} \approx$$

$$1,39 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \cdot 0,92 + 2,43 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \cdot 0,08 \approx 1,47 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

3.3. Consumo de vapor y agua de refrigeración

Una vez conocidas todas las variables, podemos calcular W, resultando:

$$W_{EVPR-101} = \frac{E \cdot \lambda_e + F \cdot C_p \cdot (T_{eb} - T_o)}{\Delta H_{condensacion}} =$$
$$\frac{568 \frac{Kg}{h} \cdot 1110,58 \frac{KJ}{Kg} + 3406 \frac{Kg}{h} \cdot 3 \frac{KJ}{Kg \cdot K} (341,6K - 298K)}{2357 \frac{KJ}{Kg}}$$

$$\mathbf{W \approx 456 \text{ kg/h}}$$

$$W_{EVPR-102} = \frac{E \cdot \lambda_e + F \cdot C_p \cdot (T_{eb} - T_o)}{\Delta H_{condensacion}} =$$
$$\frac{4482 \frac{Kg}{h} \cdot 2256 \frac{KJ}{Kg} + 4820 \frac{Kg}{h} \cdot 3,9 \frac{KJ}{Kg \cdot K} (378K - 310K)}{2357 \frac{KJ}{Kg}}$$

$$\mathbf{W \approx 4832 \text{ kg/h}}$$

$$W_{EVPR-103} = \frac{E \cdot \lambda_e + F \cdot C_p \cdot (T_{eb} - T_o)}{\Delta H_{condensacion}} =$$
$$\frac{303 \frac{Kg}{h} \cdot 631 \frac{KJ}{Kg} + 332 \frac{Kg}{h} \cdot 1,47 \frac{KJ}{Kg \cdot K} (388K - 372K)}{2357 \frac{KJ}{Kg}}$$

$$\mathbf{W \approx 85 \text{ kg/h}}$$

Los 3 evaporadores disponen de una corriente refrigerante que permite la condensación del vapor separado. El refrigerante será agua a 25°C. El intercambio de calor entre la corriente fría (agua) y la caliente (vapor separado) no se realizará solo hasta que se produzca la condensación, si no se

continuará hasta que el fluido tenga la temperatura adecuada para dirigirse a la siguiente unidad.

Así, las temperaturas de salida del fluido condensado y del fluido concentrado tras la evaporación serán.

Evaporador	T vapor separado (°C)	T salida a siguiente unidad (°C)	T salida concentrado (°C)
1	65	65	65
2	99	37	99
3	132	30	132

El agua caliente que ha servido como refrigerante se recircula para precalentar la corriente a evaporar, de manera que se aprovecha el calor transferido a ella, reduciendo así el consumo de vapor. Por tanto, los consumos de vapor calculados en este apartado son el consumo máximo de las unidades, pues no se ha considerado este precalentamiento con el agua recirculada. Mediante este consumo máximo, podemos dimensionar las unidades para las condiciones más desfavorables de consumo energético.

Para calcular el flujo de agua fría necesaria para llevar a cabo esta condensación y enfriamiento de las corrientes basta con realizar un balance de energía a cada evaporador. Fijamos la temperatura de salida del agua fría en los 3 casos en 90°C.

El calor que debe retirarse de la corriente, tiene que ser igual al aportado al fluido refrigerante:

$$Q_{retirado} = Q_{aportado}$$

$$Q_{retirado} = E \cdot \lambda_e + F \cdot C_p \cdot (T_{eb} - T_{salida})$$

$$Q_{aportado} = m \cdot C_p \cdot (T_{salida} - T_{entrada})$$

Así pues, el caudal de agua de refrigeración se calcula mediante la expresión:

$$m = \frac{E \cdot \lambda_e + F \cdot C_p \cdot (T_{eb} - T_{salida})}{C_p \cdot (T_{salida} - T_{entrada})}$$

En base a esta expresión y a la tabla anterior en la que especificamos las temperaturas de salida de las corrientes evaporadas en los evaporadores, los caudales de agua se especifican en la tabla siguiente:

	E (kg/h)	λ_e (kJ/kg)	F (kg/h)	Cp (kJ/kg·K)	T _{eb} (°C)	T _{sal} (°C)	Cp med agua (kJ/kg·K)	T ent refrig (°C)	T sal refrig (°C)	m (kg/h)
Evap. 1	568	1110,58	3406	3	68,6	68,6	4,192	25	90	2315
Evap. 2	4482	2256	4820	3,9	105	37	4,192	25	90	41800
Evap. 3	303	631	328	1,47	115	30	4,192	25	90	852

3.4. Superficie de evaporación

La superficie necesaria para llevar a cabo la evaporación con ese flujo de vapor depende de la diferencia de temperatura entre la corriente y el vapor, y del coeficiente global de transmisión de calor del evaporador:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \Rightarrow A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T}$$

En la tabla siguiente se muestran valores típicos de coeficientes globales para distintos tipos de evaporadores.

Tipo de evaporador	General U	
	W/m ² · K	Btu/h · pie ² · °F
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

Según nuestra elección de evaporador, tomando el valor más desfavorable:

$$\text{EVPR-101: } U=2300 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}=8280 \text{ KJ/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{EVPR-102: } U=1100 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}=3960 \text{ KJ/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{EVPR-102: } U=2300 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}=8280 \text{ KJ/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{EVPR-103: } U=2300 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}=8280 \text{ KJ/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Como se explicó en la memoria, al elegir el tipo de evaporadores, se observa que con una circulación forzada se dobla el U. Debido al elevado caudal que se trata en este evaporador, vale la pena elegir esta circulación, reduciendo así a la mitad el área de intercambio como se verá después, y por tanto el coste de la unidad y su consumo energético.

El incremento de temperatura es la diferencia de temperatura entre la cámara de condensación y la cámara de ebullición. Así pues:

$$\begin{aligned} \text{EVPR-101: } \Delta T &= 150-68,6 = 81,4^{\circ}\text{C} \\ \text{EVPR-102: } \Delta T &= 150-105 = 45^{\circ}\text{C} \\ \text{EVPR-103: } \Delta T &= 150-115,5 = 34,5^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Hay que conocer también la potencia calorífica que conseguimos con nuestro caudal de vapor:

$$Q_{\text{EVPR-101}} = W \cdot \lambda_w = 456 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2357 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 1074792 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \approx 298 \text{KW}$$

$$Q_{\text{EVPR-102}} = W \cdot \lambda_w = 4832 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2357 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 11389024 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \approx 3163 \text{KW}$$

$$Q_{\text{EVPR-103}} = W \cdot \lambda_w = 85 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2357 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 200345 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \approx 56 \text{KW}$$

Consideramos que los tubos del evaporador trabajaran a un 75 % del flujo crítico de calor. Por tanto:

$$Q_{\text{max}}(\text{EVPR} - 101) = \frac{Q}{0,75} = \frac{1074792}{0,75} = 1433056 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{max}}(\text{EVPR} - 102) = \frac{Q}{0,75} = \frac{11389024}{0,75} = 15185365 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{max}}(\text{EVPR} - 103) = \frac{Q}{0,75} = \frac{200345}{0,75} \approx 267127 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

Sustituimos los valores, resultando el área de evaporación:

$$\mathbf{A_{\text{EVPR-101}}=0,49 \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{A_{\text{EVPR-102}}=12,06 \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{A_{\text{EVPR-102}}=5,77 \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{A_{\text{EVPR-103}}=0,10 \text{ m}^2}$$

Estas serán las áreas mínimas de transferencia de calor de las que deberán disponer los evaporadores elegidos para poder llevar a cabo correctamente la operación de separación deseada.

En la tabla siguiente se resumen las principales características de estos tres evaporadores.

Evaporador	EVPR-101	EVPR-102	EVPR-103
Tipo evaporador	Circulación forzada Película descendente	Circulación forzada Película descendente	Circulación forzada Película descendente
Caudal de entrada (F) (kg/h)	3538	4820	332
Caudal evaporado (E) (kg/h)	590	4482	303
Caudal salida (S) (kg/h)	2948	337	29
Comp.corriente vaporizada (Y_e)	0,99 metanol, 0,01 H ₂ O	0,97 H ₂ O, 0,03 acético	1 1,3-PDO
% evaporación	100 % metanol	100% H ₂ O, 100% acético	100% 1,3-PDO
P cámara evaporación (atm)	1	0,52	0
Consumo de vapor (kg/h)	456	4832	85
Presión del vapor (bar)	1,013	1,013	1,013
Potencia calorífica (kW)	298	3163	56
Coef. global transm. calor (U) (KJ/h·m ² ·K)	8280	8280	8280
Área de intercambio (A) (m ²)	0,49	5,77	0,10

En base al área de intercambio de calor mínima, la capacidad de evaporación, el caudal de alimentación, y el consumo de vapor, podemos elegir un modelo concreto de evaporador. Según los datos obtenidos del fabricante que se muestran en la tabla siguiente, las elecciones son:

Evaporador 1: Evaporador EEC-Evaposep Model CS-500

Evaporador 2: Evaporador EEC-Evaposep Model CS-5000

Evaporador 3: Evaporador EEC-Evaposep Model CS-500

EEC Evapo-Sep Model CS 200 to 5000.

EEC Evapo-Sep	Unit	M 200	M 500	M 1000	M 2000	M 3000	M 5000
Design Calculations							
Evaporation capacity	liter/h	200	500	1,000	2,000	3,000	5,000
Cooling water, blower	liter/h	16	32	56	102	150	252
Blower capacity	m3/h	283	708	1,417	2,835	4,252	7,087
Blower power consumption	kW	14	29	52	92	136	230
Motor size	kW	18	37	55	110	160	250
Separator/process vessel	liter	500	500	1000	1,500	2,000	3,000
Process pump	liter/h	2000	2000	5,000	10,000	15,000	20,000
Feed pump	liter/h	300	750	1,500	3,000	4,500	7,500
Auxiliary steam supply	kg/h	19	56	120	250	378	628
Vaporizer heat capacity	kW	148	369	738	1,477	2,215	3,692
Total heat transfer surface	m2	5	14	27	54	81	135
Total el. Power consumption	kW	15	31	57	101	150	253
Energy recovery	%	82	82	82	83	83	83
Dimensions Separator Skid	L x W x H	2.0 x 1.5 x 1.8	2.0 x 1.5 x 1.8	2.5 x 1.7 x 2.0	2.0 x 1.9 x 2.2	2.2 x 2.0 x 2.4	2.6 x 1.9 x 2.2
Compressor Skid					1.4 x 1.9 x 1.8	1.4 x 2.0 x 2.0	1.4 x 1.9 x 1.8
Weight	kg	4500	4800	6000	4000 3000	4600 3300	5500 3900

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN

4.1. Diseño del esterilizador de corriente

4.1.1. Intercambiador de calor para la esterilización

El primer paso es hacer pasar la corriente por el intercambiador de esterilización, en el cual debe dársele a la corriente la temperatura de esterilización y donde residirá el tiempo calculado en el apartado siguiente.

Es preciso conocer la cantidad de vapor necesario para que la corriente alcance esta temperatura. Esto es, calcular el caudal másico de vapor para elevar la temperatura de nuestra corriente precalentada de su temperatura (100°C) a la temperatura de esterilización (140°C). El vapor utilizado será del mismo tipo del utilizado en el evaporador, es decir, vapor sobresaturado a 150°C y 1 atm de presión.

El caudal másico de corriente es 2949 Kg/h. Este caudal será introducido a una cierta presión en los intercambiadores y tubo esterilizador, pues de lo contrario, a los 140°C de esterilización de produciría la evaporación del agua presente en la corriente, dividiendo el flujo entre vapor y líquido lo que complicaría el proceso. A 140°C el vapor es vapor saturado exactamente a 3,5 atm (según la tabla de propiedades termofísicas del vapor saturado). Por tanto para que a esa temperatura el agua no se evapore, la presión deberá ser mayor. Así pues, se suministrará la corriente con una presión de 4 atm.

Consumo de vapor

Los cálculos para determinar el caudal de vapor son similares a los realizados en el apartado del diseño de los evaporadores.

En este caso, como no se produce la evaporación de la corriente, (se suministra a 4 atm) no hay que contabilizar el calor latente de vaporización. La variación de la C_p de los líquidos con la presión es despreciable, por lo que se usará la misma usada hasta ahora. El balance de energía queda:

$$W \cdot \Delta H_{condensacion} = F \cdot C_p \cdot (T_f - T_o)$$

$$\Delta H_{condensacion} (1atm) = (H_{vap,sobresat} - H_{vap,sat}) + \lambda_w = (2780 - 2680) + 2257 = 2357 \frac{KJ}{Kg}$$

Despejando W, e introduciendo todos los valores ya conocidos, queda:

$$W = \frac{F \cdot C_p \cdot (T_f - T_o)}{\Delta H} = \frac{2949 \frac{Kg}{h} \cdot 2,837 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \cdot (413 - 373)}{2357 \frac{KJ}{Kg}} \approx 142 \frac{Kg}{h}$$

Calculo del área de intercambio de calor

Se calcula de la misma manera que en el apartado anterior:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml}$$

La temperatura de salida de la corriente caliente, será 105°C, pues será el vapor de agua condensado. No podrá ser menor puesto que 100°C es también la temperatura de entrada de la corriente fría. Así pues:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{c,e} - T_{f,s}) - (T_{c,s} - T_{f,e})}{\ln\left(\frac{T_{c,e} - T_{f,s}}{T_{c,s} - T_{f,e}}\right)} = \frac{(150 - 140) - (105 - 100)}{\ln\left(\frac{150 - 140}{105 - 100}\right)} = 7,21^\circ C$$

El intercambiador por seguridad, se diseña para que el calor que intercambian los fluidos sea solo el 75% de el calor total que se pueda intercambiar en el. Así pues:

$$Q_{\max} = \frac{Q}{0,75} = \frac{142 \frac{Kg}{h} \cdot 2357 \frac{KJ}{Kg}}{0,75} \approx 446259 \frac{KJ}{h}$$

El intercambiador de doble espiral, es en definitiva un intercambiador de calor de placas. Según la bibliografía, los coeficientes usuales para este tipo de cambiadores están en el rango $U=3500-7000 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Dado que el cambiador de espiral posee sistema de autolimpieza, no hay lugar a que se depositen sólidos sobre la superficie de intercambio de calor, por lo que no se considerara reducción del coeficiente global con el tiempo debido a este factor. Así pues, se tomara el valor medio de $U=5500 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}=19800 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \Rightarrow A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{446259 \frac{KJ}{h}}{19800 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 7,21^\circ C} \approx 3,12 m^2$$

La empresa Alfa Laval, especialista en la construcción de este tipo de equipos, dispone de intercambiadores de doble espiral de las siguientes características, que cumplen con lo que nuestro equipo requiere.

	Minimum	Maximum
Area range per body	1 m ² 10 ft ²	700 m ² 7000 ft ²
Design temperature	-100 °C -150 °F	400 °C 750 °F
Design pressure	Full vacuum	40 barg and above 580 psig and above
Pressure vessel codes	PED, ASME, AS1210 and others	
Standard construction materials	Stainless steel, carbon steel	
Other construction materials	Any metal that can be cold formed and welded – including Duplex, titanium, Hastelloy, 904L	

4.1.2. Longitud del tubo esterilizador y tiempo de esterilización

Para el diseño de un esterilizador por aplicación de vapor en intercambiador de calor, el parámetro principal a determinar es la longitud (L) de la zona de esterilización, es decir, la en la que la temperatura se mantiene constante en la temperatura de esterilización (T). Después, podrá calcularse el tiempo que el fluido pasa en esa zona mediante su velocidad (u).

Los criterios de diseño son:

1. Si no se conoce k_d , se adopta el valor correspondiente a la destrucción de las esporas.
2. Imposibilidad de esterilidad absoluta, se espera que sobreviva a lo más 10⁻³ esporas, es decir, que 1 de 1000 fermentaciones se contamine ($N_t = 10^{-3}$ esporas)
3. Si la esterilidad inicial es desconocida, se asume una concentración, [No], del orden de 10⁹ esporas/ml (10⁹ esporas/m³)

El algoritmo de resolución debe considerar que en este tipo de proceso de esterilización los tiempos de calentamiento y enfriamiento son despreciables ($\nabla_{\text{calentamiento continuo}} = \nabla_{\text{enfriamiento continuo}} = 0$). Por tanto, teniendo en cuenta los datos indicados, el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$E_a = 300 \text{ KJ/mol}$$

$$K_d = 10^{36} \text{ s}^{-1}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$T_{\text{esterilización}} = 140 \text{ °C} = 413 \text{ K}$$

$$Q_{\text{corriente}} = 2396 \text{ l/h}$$

$$D_{\text{conducción}} = 0,15 \text{ m}$$

$$N_0 = 10^9 \text{ esporas/m}^3$$

$$N = 10^{-3} \text{ esporas}$$

$$V_{\text{mantención, continuo}} = \ln \frac{N_0}{N_t} = k_d \cdot e^{\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right)} \cdot t_{\text{mantención}}$$

$$t_{\text{mantención}} = \frac{\ln \frac{N_0}{N_t}}{k_d \cdot e^{\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right)}} = \frac{\ln \left(\frac{10^9 \text{ esporas} / \text{m}^3 \cdot 2,396 \text{m}^3}{10^{-3} \text{ esporas}} \right)}{10^{36} \text{ s}^{-1} \cdot e^{\left(\frac{-300000 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \cdot 413 \text{ K}}\right)}} \approx 250 \text{ s} \approx 4,17 \text{ min}$$

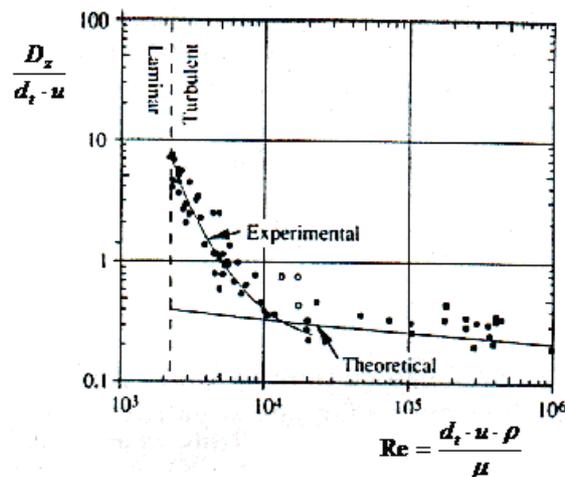
$$u = \frac{Q}{A} = \frac{2,396 \text{m}^3 / \text{h}}{\pi \cdot 0,075^2} = 135,6 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 0,037 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L_{\text{mantención}} = t_{\text{mantención}} \cdot u = 250 \text{ s} \cdot 0,037 \text{ m/s} = 9,28 \text{ m}$$

Sin embargo, en el cálculo previo, no se ha tenido en cuenta la naturaleza del flujo del fluido existente en el interior de la conducción de esterilización, lo cual afecta directamente en el proceso.

Idealmente, todo el fluido que entra en el equipo simultáneamente, debe pasar el mismo tiempo dentro del esterilizador y salir al mismo tiempo, o de lo contrario no podríamos controlar el tiempo que el fluido reside dentro del equipo. Además, no se debe producir mezcla del fluido, pues una mezcla entre el fluido que entra y el que está dentro crearía problemas de contaminación. Un flujo con estas características se denomina flujo pistón y es solo un modelo ideal, ya que en la realidad, el flujo del fluido suele ser más rápido en el centro de la conducción que en las paredes de la misma.

No obstante, en condiciones de régimen turbulento ($Re > 3000$) las características del flujo se asemejan al modelo ideal de flujo pistón. El grado de desviación respecto a este modelo ideal es evaluado por el grado de dispersión que se da en el sistema. La siguiente grafica, nos permite relacionar el $Re_{\text{modificado}}$ y el grado de dispersión axial (D_z). Para un flujo pistón ideal, $D_z = 0$.



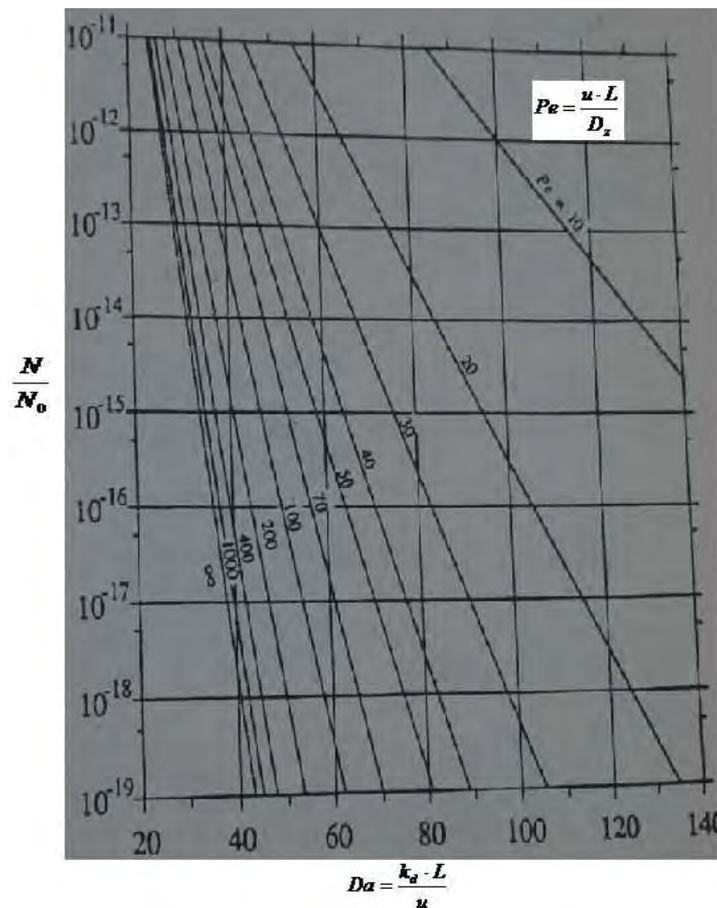
La extensión de la destrucción de las células ($\nabla=N_0/N$) puede ser calculada relacionando la constante específica de muerte (k_d) y el grado de dispersión del fluido.

En este punto aparecen dos números adimensionales son los que nos permiten llevar a cabo esta relación: el numero de Peclet (Pe) y el numero de Damkohler (Da). El grado de dispersión queda inmerso en el Pe y el numero que evalúa la constante de muerte es el Da. La siguiente ecuación da la relación entre el factor ∇ , y los números Da y Pe.

$$\frac{N(L)}{N_o} = \frac{4 \cdot \xi \cdot \exp(Pe/2)}{(1 + \xi)^2 \cdot \exp(Pe/2) - (1 - \xi)^2 \exp(-0.5 \cdot Pe)}$$

Donde: $\xi = \sqrt{1 + \frac{4 \cdot Da}{Pe}}$

Esta ecuación queda gráficamente de la siguiente forma, que facilita el cálculo:



Para alcanzar el grado deseado de esterilización, habrá que encontrar una longitud de la conducción (L) tal que nos de unos Da y Pe que nos lleven a valor requerido de N/N_0 . Esto se hace suponiendo una L inicial y viendo si nos lleva al resultado deseado.

En nuestro caso los resultados, los datos son los siguientes:

$$E_a = 300 \text{ KJ/mol}$$

$$K_d = 10^{36} \text{ s}^{-1}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{k}$$

$$T_{\text{esterilización}} = 140 \text{ }^\circ\text{C} = 413 \text{ K}$$

$$Q_{\text{corriente}} = 2396 \text{ l/h}$$

$$D_{\text{conducción}} = 0,15 \text{ m}$$

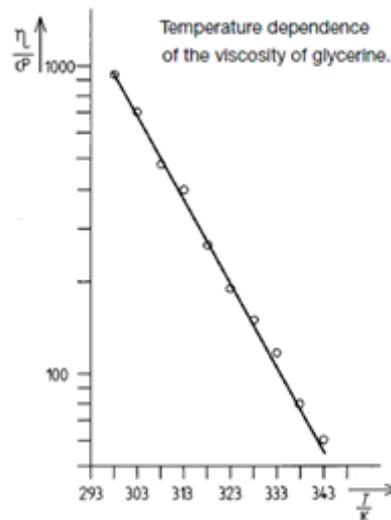
$$N_0 = 10^9 \text{ esporas/m}^3$$

$$N = 10^{-3} \text{ esporas}$$

$$\rho_{\text{corriente}} = 1230 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{corriente}} = 0,0002 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0,2 \text{ cP}$$

La densidad y viscosidad de la mezcla han sido calculadas teniendo en cuenta la composición de la mezcla de salida del evaporador previo al esterilizador y la temperatura de esterilización (140°C). Esta última, influye de forma importante en la viscosidad de la mezcla, que a temperatura ambiente hubiera sido muy viscosa por el alto contenido en glicerina, llevándonos a Re muy bajos y a una dispersión axial muy alta, complicando mucho el proceso de esterilización.



Sin embargo, la alta viscosidad de la glicerina a 25 °C (superior a los 900 cP) se reduce hasta solo 0,2 cP a 140°C.

$$\nabla = \ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = \ln\left(\frac{2,396 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 10^9 \text{ esporas} / \text{m}^3}{10^{-3} \text{ esporas}}\right) = 28,5$$

$$\text{Re} = \frac{d_t \cdot u \cdot \rho}{\mu} = 34132 > 3000 \rightarrow \frac{D_z}{d_t \cdot u} = 0,15$$

$$D_z = 0,15 \cdot d_t \cdot u = 0,00083$$

$$K_d = K_0 \cdot e^{\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right)} = 0,113s^{-1}$$

$$Pe = \frac{u \cdot L}{D_z} = 44,57 \cdot L$$

$$Da = \frac{k_d \cdot L}{u} = 3,07 \cdot L$$

Probando con varios valores, se encuentra que con $L=10$ m se consigue la esterilización deseada:

$$Pe = \frac{u \cdot L}{D_z} = 445,7$$

$$Da = \frac{k_d \cdot L}{u} = 30,5$$

$$\frac{N}{N_0} = 1 \cdot 10^{-13} \rightarrow \ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = 29,93 > 28,25$$

Así pues, teniendo en cuenta el flujo de fluido, la longitud adecuada para conseguir la esterilización deseada es $L=10$ m. Por tanto, el tiempo que el fluido pasara en el interior del tubo de esterilización será:

$$L_{\text{mantención}} = t_{\text{mantención}} \cdot u \rightarrow t_{\text{mantención}} \approx 270s \approx 4,5 \text{ min}$$

4.2. Intercambiador de calor precalentador

Hay que calcular el área de intercambio de calor necesaria para que la corriente se precaliente a una temperatura determinada, antes de que pase por el intercambiador de calor en el que se suministra vapor sobresaturado, para alcanzar la temperatura de esterilización más rápidamente.

Para ello se utiliza la ecuación siguiente:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml}$$

Calor intercambiado entre corrientes

Se fija que la temperatura que debe alcanzar el fluido frío debe ser 100°C . Se sabe además que tras pasar por el evaporador su temperatura inicial y unirse con la corriente L24, su temperatura es 70°C . Además se conoce la

temperatura inicial del fluido caliente, pues será la temperatura de esterilización en el tubo, 140°C.

El calor intercambiado entre fluidos viene dado por las expresiones siguientes, de forma general, y para las corrientes caliente y fría:

$$Q_{cedido} = Q_{absorbido} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q = m_F \cdot C_{pF} \cdot \Delta T_F$$

$$Q = m_C \cdot C_{pC} \cdot \Delta T_C$$

Siendo: C_{pC} , C_{pF} =calores específicos de los fluidos caliente y frío (KJ/Kg·K), que en nuestro caso al tratarse del mismo fluido serán iguales=2,837 KJ/Kg·K

m_F, m_C = caudales máscicos de los fluidos frío y caliente, que para nuestro caso también serán el mismo=2949 kg/h

ΔT_F , ΔT_C =incremento de T de los fluidos frío y caliente al pasar por el cambiador de calor (K)

El calor específico de las corrientes se ha calculado teniendo en cuenta la composición de la mezcla solo en agua y glicerina (suponen el 94% de la corriente) para simplificar cálculos. Además, para el calculo de las C_p del agua y la glicerina, se ha calculado la C_p media entre la máxima y mínima temperatura experimentada por el fluido (35 y 140°C).

De estas expresiones se puede calcular la temperatura de salida fluido caliente, necesaria para seguir con los cálculos.

$$Q_{cedido} = m_C \cdot C_{pC} \cdot \Delta T_C = Q_{absorbido} = m_F \cdot C_{pF} \cdot \Delta T_F$$

$$2949 \cdot 2,837 \cdot (140 - T_{cf}) = 2949 \cdot 2,837 \cdot (100 - 70) = 250989 \text{ KJ/h}$$

$$T_{cf} = 110^\circ \text{C}$$

Incremento de temperatura medio logarítmico (ΔT_{ml})

Se calcula teniendo en cuenta las temperaturas de entrada y salida al cambiador de los fluidos frío y caliente, mediante la siguiente expresión:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{c,e} - T_{f,s}) - (T_{c,s} - T_{f,e})}{\ln\left(\frac{T_{c,e} - T_{f,s}}{T_{c,s} - T_{f,e}}\right)} = \frac{(140 - 100) - (110 - 70)}{\ln\left(\frac{140 - 100}{110 - 70}\right)} = \frac{0}{0} = \text{in det erm.}$$

Esto ocurre debido a que como se trata del mismo caudal y fluido en ambas corrientes, el ΔT es el mismo. Por tanto $\Delta T_{ml} = \Delta T = 40^\circ\text{C}$.

Coeficiente global de transmisión de calor

El cambiador de calor elegido para esta operación de calentamiento/enfriamiento será de carcasa y tubos. Concretamente se ha elegido el intercambiador BASCO Standard Type 500 U-Tube.

Para este cambiador de calor, el fabricante especifica un coeficiente de transmisión de calor de 150 a 180 $\text{Btu/h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$ cuando el fluido caliente es de composición 50% glicol y el frío agua. Elegimos estos valores, pues estas corrientes son las más cercanas a la nuestra de todas las especificadas en el catálogo del fabricante. Fijamos en valor en $150 \text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F} = 3066 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$, ya que el fluido es algo viscoso y puede tender a ensuciar la superficie de intercambio.

El intercambiador por seguridad, se diseña para que el calor que intercambian los fluidos sea solo el 75% de el calor total que se pueda intercambiar en él. Así pues:

$$Q_{\max} = \frac{Q}{0,75} = \frac{250989}{0,75} \approx 334652 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

Así pues, finalmente, el área del intercambiador de calor será:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \Rightarrow A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{334652 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}}{3066 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h}} \cdot 35^\circ\text{C}} = 3,1 \text{m}^2 = 33,4 \text{ft}^2$$

Ahora con los datos de área de intercambio y caudal máximo de fluido tratado, podemos elegir un modelo exacto del tipo de cambiador elegido. La densidad de la corriente es de 1230 kg/m^3 , así que, nuestro caudal será:

$$2949 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{m}^3}{1230 \text{kg}} = 2,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 10,6 \frac{\text{gal}}{\text{min}} (\text{GPM})$$

En modelo más adecuado de los especificados en el catálogo del fabricante resulta ser el **06048**, con tubos de 3/8", y de 4 pasos.

Standard Type 500 U-Tube Heat Exchangers

Model	Shell Dia.	No. Tubes		Surface			Connection Size – (Max Flow)			
		3/8"	5/8"	1/4"	3/8"	5/8"	Shell	1-Pass	2-Pass	4-Pass
05048 per foot	5-1/4"	34	8	-	27 6.8	11 2.7	1-1/2	-	1-1/2 (44)	1 (22)
06048 per foot	6-1/4"	52	14	-	51 10.2	18.5 4.6	2	-	2 (77)	1-1/2 (38)
08048 per foot	8-5/8"	104	34	-	82 20.5	44.5 11.2	3	-	2-1/2 (185)	2 (93)

4.3. Enfriador de corriente para el reactor biológico

En este ultimo cambiador del sistema de esterilización, se enfría la corriente que sale del precalentador/enfriador hasta los 37°C a los que se lleva a cabo la fermentación en el reactor biológico.

Los cálculos son similares a los realizados en el apartado 3.2 donde se diseñaba el precalentador/enfriador. Solo habrá que tener en cuenta que la temperatura de entrada del fluido caliente son 105°C (la temperatura de salida tras el precalentador/enfriador) y debe salir a 37°C. Esta se suministrara con una presión de 1,5 atm para evitar la presencia de vapor de agua, al estar durante un tiempo la corriente por encima de los 100°C. El fluido refrigerante será agua a 25°C (calor específico $C_p=4,18$ KJ/Kg·K).

Habrà que determinar tanto la temperatura de salida del fluido refrigerante, como su caudal. Determinamos que la temperatura de salida del fluido frío sea 65°C. Esta agua caliente servirá como agua de servicio para las instalaciones de la planta.

$$Q_{cedido} = m_C \cdot C_{pC} \cdot \Delta T_C = Q_{absorbido} = m_F \cdot C_{pF} \cdot \Delta T_F$$

$$2949 \cdot 2,837 \cdot (105 - 37) = m_F \cdot 4,18 \cdot (65 - 25) \approx 568909 \text{ KJ/h}$$

$$m_F \approx 3403 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \text{ agua}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{c,e} - T_{f,s}) - (T_{c,s} - T_{f,e})}{\ln\left(\frac{T_{c,e} - T_{f,s}}{T_{c,s} - T_{f,e}}\right)} = \frac{(105 - 65) - (37 - 25)}{\ln\left(\frac{105 - 65}{37 - 25}\right)} \approx 23^\circ \text{C}$$

$$Q_{\max} = \frac{Q}{0,75} = \frac{568909}{0,75} \approx 758546 \frac{KJ}{h}$$

El tipo de cambiador será de carcasa y tubo BASCO ASME/TEMA-C U-Tube con un $U=150 \text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F}=3066 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \Rightarrow A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{758546 \frac{KJ}{h}}{3066 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot 23^{\circ}C} \approx 11m^2 = 118ft^2$$

Ahora el modelo mas adecuado para las características requeridas es el 10120 con tubos de 5/8" y 4 pasos.

ASME/TEMA-C U-Tube Heat Exchangers

Model	Shell Dia.	No. Tubes		Surface			Connection Size – (Max Flow)			
		3/8"	5/8"	1/4"	3/8"	5/8"	Shell	1-Pass	2-Pass	4-Pass
10120 per foot	10-3/4"	174	58	-	350 34	195 19	4 FL	-	4 FL (316)	2-1/2 (158)
12120 per foot	12-3/4"	260	88	-	527 51	297 29	6 FL	-	4 FL (480)	3 (240)

4.4. Esterilización de los fermentadores

Puesto que el medio es esterilizado en continuo en una unidad distinta, cada fermentador de la planta ha de ser esterilizado antes de que el medio sea añadido. Esto se consigue haciendo pasar una corriente de vapor por el tanque a través de todas las entradas a él, excepto la salida de vapor, por la cual se deja que el vapor salga lentamente. La presión del vapor se mantiene a 15 PSI en el tanque durante aproximadamente 20 min. Es esencial que después del ciclo, se haga pasar aire estéril por el fermentador y se mantenga una presión positiva; de lo contrario de puede producir vacío y aire no estéril entraría en el tanque.

En la tabla siguiente se resumen los datos básicos del esterilizador diseñado:

Corriente a esterilizar	
Caudal másico	2948 Kg/h
$C_{p_{media}}$ (35 a 140°C)	2,837 KJ/Kg.K
Tipo esterilizador	Continuo, intercambiadores de doble espiral
Partes	Pre calentador/enfriador Calentador a T esterilización Tubo esterilización Enfriador a T fermentación
Tubo esterilización	
V_{min}	28,5
L (sin dispersión axial)	9,28 m
$t_{mantención}$ (sin dispersión axial)	4,17 min.
Re	34132
L (con dispersión axial)	10 m
$t_{mantención}$ (con dispersión axial)	4,5 min.
Grado dispersión axial	0,00083
∇	29,93
Pre calentador/enfriador	
Calor intercambiado	250989 KJ/h
$T_{entrada}$, fluido frío	70°C
T_{salida} , fluido frío	100°C
$T_{entrada}$, fluido caliente	140°C
T_{salida} , fluido caliente	110°C
ΔT_{ml}	40°C
U	3066 W/m ² °C
A	3,11 m ²
Calentador a T esterilización	
Consumo vapor (150°C, 1atm)	142 kg/h
Calor intercambiado	446259 KJ/h
$T_{entrada}$, fluido frío	100°C
T_{salida} , fluido frío	140°C
$T_{entrada}$, fluido caliente	150°C
T_{salida} , fluido caliente	105°C
ΔT_{ml}	7,21
U	5500 W/m ² °C
A	3,12 m ²
Enfriador a T fermentación	
Calor intercambiado	568909 KJ/h
$T_{entrada}$, fluido frío	25°C
T_{salida} , fluido frío	65°C
$T_{entrada}$, fluido caliente	105°C
T_{salida} , fluido caliente	37°C
Caudal refrigerante (agua)	3652 Kg./h
ΔT_{ml}	23°C
U	3066 W/m ² °C
A	11 m ²

5. DISEÑO DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS

5.1. Corrientes de entrada a los reactores

La corriente que se introducirá en cada uno de los reactores de la planta para que se lleve a cabo la biotransformación del glicerol a 1,3-PDO, tras pasar por todo el proceso de pretratamiento, tiene las siguientes características y composición:

Caudal volumétrico	2396 l/h
Caudal másico	2949 kg/h
Densidad	1231 g/l
Temperatura	37 °C
Presión	1 atm

Componente	% peso	Concentración (g/l)
Glicerina	79,4	977
Agua	13,2	161,3
Grasas (jabones)	4,1	50,1
Sales (Na ₂ SO ₄)	3,4	41,7

Además, para que el proceso se lleve a cabo correctamente, hay que introducir una corriente de agua de dilución, para que dentro del reactor se alcance una concentración de glicerol que el microorganismo pueda metabolizar. Es preciso conocer la cantidad de agua que hay que introducir en los reactores con este fin. Para ello, lo primero que hay que determinar cual será la concentración de glicerol en el interior de los biorreactores. En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos en un estudio en el que se realizó la fermentación con *Klebsiella Pneumoniae* con distintas concentraciones hínceales de glicerol.

	21.8	50.9	96.9	122.0	154.1	201.7
C _{Glycerol,0} , g/l	21.8	50.9	96.9	122.0	154.1	201.7
Glycerol consumption, %	99.9	99.4	99.9	99.6	88.5	53.0
C _{Ethanol} , g/l	1.1	1.1	3.0	4.0	5.1	4.2
C _{Acetate} , g/l	3.4	5.2	11.1	10.9	12.2	6.4
C _{PD} , g/l	9.4	22.3	43.2	56.2	57.7	31.9
PD yield, %	52	54	54	56	51	36
Productivity, g/l/h	1.1	1.4	2.3	2.3	1.5	0.4

Microbial conversion of glycerol to 1,3-propanediol Wolf-Dieter Deckwer

Como se observa, la fermentación puede llevarse a cabo dentro un amplio rango de concentraciones de glicerol, pero para que el proceso sea lo más

eficiente posible habrá que seleccionar la alternativa que de mejores resultados.

Estos pueden valorarse teniendo en cuenta el consumo de glicerol alcanzado y la concentración de 1,3-PDO conseguida y la productividad. Analizando estas tres variables, se llega a la conclusión de que la concentración que da mejores resultados es la de 122 g/l de glicerol, pues conseguimos la productividad y concentración de 1,3-PDO más altas, y además el consumo de glicerol es casi total.

Por último, ha de considerarse también otra adición a los reactores: el medio de reacción. En él se encontrarán los microorganismos que llevan a cabo la fermentación y todos los nutrientes que requieren para ello, excepto el glicerol, suministrado en la corriente principal. Esta corriente también añadirá un volumen de fluido al reactor que influirá en la dilución de la glicerina, reduciendo por tanto el volumen de agua necesario. Por lo general, el volumen del medio de reacción es sobre un 10% del volumen total del tanque. La concentración de microorganismo en este medio de reacción será de 10 g/l. Esta concentración es resultado de la dilución del medio de reacción en el fermentador. Este medio proviene del reactor de inoculación con una concentración de 78 g/l

Así pues, estimando inicialmente el volumen de los tanques en 25 m³, y teniendo en cuenta que el llenado del mismo con la corriente principal se realiza en una hora con 2,396 m³, los cálculos para determinar las cantidades de medio de reacción y de agua de dilución son las siguientes:

Volumen de corriente introducido: 2396 l
Masa de corriente introducida: 2949 kg
Contenido en glicerol (80,1%): 2362 kg
Concentración deseada en el reactor: 120 g/l
Volumen medio reacción (10% volumen reactor): 2500 l
Volumen agua dilución: 14789 l

$$0,120 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = \frac{2362 \text{kg}}{V_{\text{total}}} \rightarrow V_{\text{total}} \approx 19685 \text{l}$$

$$V_{\text{total}} = V_{\text{corriente}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{medioreacción}} \rightarrow V_{\text{agua}} = 19685 - 2500 - 2396 = 14789 \text{l}$$

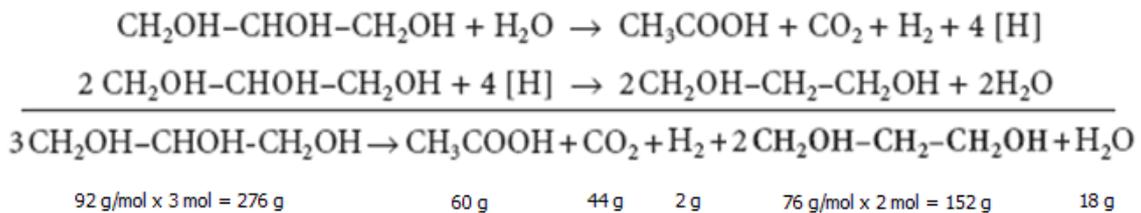
5.2. Generación de volumen en la reacción

5.2.1. Generación de volumen líquido

De cara a conocer el volumen total que deben tener los tanques de fermentación no basta con conocer el volumen que se va a introducir en el

tanque, si no que también hay que saber cuanto se genera durante la reacción, de manera que el tanque pueda contener también a este nuevo volumen que aparece.

Para ello, hay que disponer de la ecuación estequiométrica que sigue la biotransformación. En nuestro proceso consideraremos que las condiciones fijadas llevarán a la generación de ácido acético como único subproducto. Como se explicó en apartados anteriores, de entre los dos que *Klebsiella Pneumoniae* puede generar (ácido acético y etanol) es el de menor efecto inhibitorio. Además del ácido acético, y el deseado 1,3-PDO se generan inevitablemente CO₂, H₂O y H₂. La ecuación estequiométrica y la combinación de masas en la reacción son las siguientes:



Dado que el CO₂ y el H₂ en las condiciones de la reacción se encuentran en estado gaseoso, escapan del reactor libres. Por tanto, habrá que evaluar el incremento de volumen que supone la generación del ácido acético, 1,3-PDO y agua. Ello se hará considerando una conversión total del glicerol, para obtener el hipotético máximo volumen posible generado. Para realizar los cálculos se tendrá en cuenta la masa de producto generado, y la densidad del mismo:

Ácido acético ($\rho = 1,049 \text{ kg/l}$): $0,276 \text{ kg} \rightarrow 0,060 \text{ kg}$
 $2362 \text{ kg} \rightarrow x = 513,5 \text{ kg} = 489,5 \text{ l}$

1,3-PDO ($\rho = 1,036 \text{ kg/l}$): $0,276 \text{ kg} \rightarrow 0,152 \text{ kg}$
 $2362 \text{ kg} \rightarrow x = 1300,8 \text{ kg} = 1255,6 \text{ l}$

H₂O ($\rho = 1,000 \text{ kg/l}$): $0,276 \text{ kg} \rightarrow 0,018 \text{ kg}$
 $2362 \text{ kg} \rightarrow x = 154 \text{ kg} = 154 \text{ l}$

Glicerol ($\rho = 1,261 \text{ kg/l}$): $2362 \text{ kg} = 1873,1 \text{ l}$

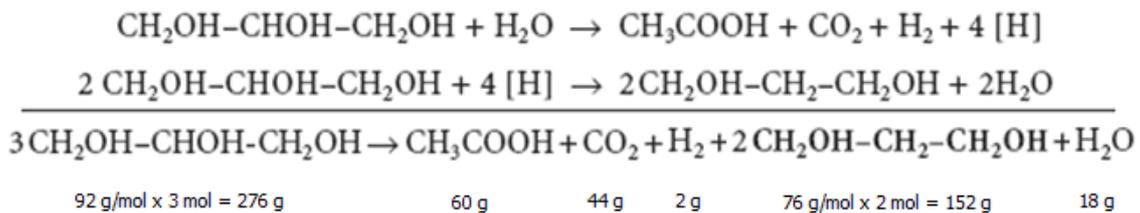
Volumen generado = $(489,5 + 1255,6 + 154) - 1873,1 \approx 26 \text{ l}$

Aunque el volumen generado no es especialmente importante en comparación con el volumen total de corrientes (19685 l), será tenido en cuenta para el cálculo del volumen del tanque.

5.2.2. Generación de volumen gaseoso

En nuestra biotransformación, además del 1,3-PDO, el ácido acético y el agua, se generan CO_2 y H_2 en forma gaseosa. Es conveniente conocer el volumen de gas generado durante el transcurso de la fermentación, para disponer una salida adecuada a tal volumen y para recuperarlo en caso de que esto fuera interesante o necesario desde el punto de vista económico o medio ambiental.

Para el cálculo de estos volúmenes de gases se recurre una vez más a la ecuación estequiométrica de la biotransformación.



De nuevo, a partir de la cantidad inicial de glicerol introducida en los reactores, podemos calcular el volumen generado de cada uno de los gases en cada reactor, teniendo en cuenta las condiciones ambientales de presión y temperatura (se ha considerado que estos gases en estas condiciones se comportan como gases ideales):

$$\begin{array}{l}
 \text{CO}_2 \text{ (44 g/mol): } 0,276 \text{ kg} \rightarrow 0,044 \text{ kg} \\
 2362 \text{ kg} \rightarrow x = 376,5 \text{ kg} = 8558 \text{ mol}
 \end{array}$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{8558 \cdot 0,082 \cdot (37 + 273)}{1} = 217543 \text{ l} \approx 217,5 \text{ m}^3$$

$$\begin{array}{l}
 \text{H}_2 \text{ (2 g/mol): } 0,276 \text{ kg} \rightarrow 0,002 \text{ kg} \\
 2362 \text{ kg} \rightarrow x = 17,1 \text{ kg} = 8558 \text{ mol}
 \end{array}$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{8558 \cdot 0,082 \cdot (37 + 273)}{1} = 217543 \text{ l} \approx 217,5 \text{ m}^3$$

El volumen de ambos gases es el mismo, ya que se genera de ambos un mol, y están en las mismas condiciones ambientales. Por tanto, el volumen total de gases emitido es 435 m^3 por cada tanque de fermentación.

5.3. Concentraciones finales y productividad

Mediante la ecuación estequiométrica y los cálculos del volumen final de fluido en el reactor, podemos calcular también las concentraciones finales de productos de la reacción, siendo de especial interés la concentración final de 1,3-PDO, el producto deseado, cuyo valor condicionará la productividad y economía del proceso.

Para ello, lo primero es conocer en que extensión se producirá la reacción, es decir, hasta que grado se llevara a cabo la transformación del glicerol. En el cuadro siguiente se observan los resultados obtenidos al fermentar distintas concentraciones iniciales de glicerol en un reactor discontinuo, con los microorganismos inmovilizados en lecho fijo. Dado que nuestro reactor es también discontinuo y el proceso es básicamente el mismo (incluido el mismo microorganismo y las condiciones de reacción: T=37°C, pH=7), consideramos que los resultados serán similares y nos servirán de orientación.

Initial glycerol concentration (g/L)	Fermentation time (h)	Glycerol consumption (g/L)	Final 1,3-PD concentration (g/L)	$Y_{PDO/S}$ (mol/mol)	Productivity (g/L h)
40	5	39.1	14.8	0.46	2.96
60	9	57.2	24.0	0.51	2.67
80	11	78.5	42.1	0.65	3.83
120	11	117.8	63.1	0.65	5.74

Incubation temperature, 37°C; pH 7.0; $Y_{PDO/S}$ = moles of PDO produced/moles of glycerol consumed.

Microbial production of 1,3-propanediol from glycerol by encapsulated *Klebsiella Pneumoniae*

Ya-Nan Zhao, Guo Chen, Shan-Jing Yao

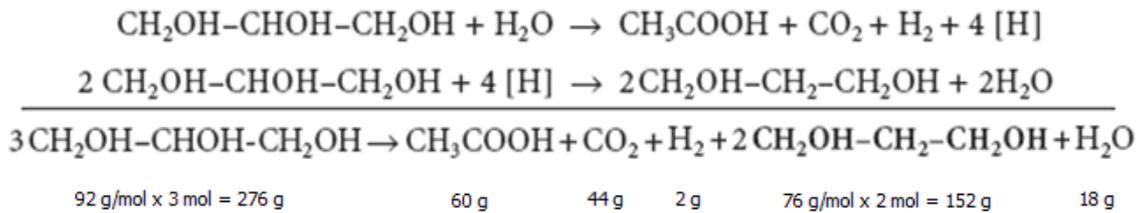
En este estudio, para una concentración inicial de glicerol de 120 g/l, como en nuestro caso, el glicerol se consume aproximadamente en un 98%. En nuestro caso, asumiremos una extensión del 95% respecto al glicerol. Teniendo en cuenta la cantidad de glicerol que se introduce en los tanques (2362 kg), esto supondrá unas cantidades de:

$$\text{Moles iniciales: } n_0 = \frac{2362000 \text{ g}}{92 \text{ g/mol}} = 25674 \text{ mol}$$

$$\text{Moles finales: } n_f = \frac{2362000 \cdot (1 - 0,95) \text{ g}}{92 \text{ g/mol}} = 1283,7 \text{ mol}$$

$$\text{Conversión: } X_{\text{glycerol}} = \frac{n_0 - n_f}{n_0} = 0,95$$

Calcularemos ahora la concentración final de productos de la reacción.



Teniendo en cuenta la extensión de la reacción, la masa de glicerol que reacciona es:

$$2362 \text{ kg} \cdot 0,95 = 2244 \text{ kg}$$

Entonces, siguiendo la ley de las proporciones constantes de Lavoisier, las masas generadas de los productos líquidos que permanecen en el reactor (los gases escapan de él de forma natural) son:

$$\begin{array}{l} \text{Ácido acético: } 0,276 \text{ kg} \rightarrow 0,060 \text{ kg} \\ 2362 \text{ kg} \rightarrow x = 513,5 \text{ kg} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1,3\text{-PDO: } 0,276 \text{ kg} \rightarrow 0,152 \text{ kg} \\ 2362 \text{ kg} \rightarrow x = 1300,8 \text{ kg} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{H}_2\text{O: } 0,276 \text{ kg} \rightarrow 0,018 \text{ kg} \\ 2362 \text{ kg} \rightarrow x = 154 \text{ kg} \end{array}$$

El volumen total de fluido dentro del reactor era aproximadamente $V_{\text{total}}=19711$ l, la concentración final de estos productos resulta:

$$\text{Acido acético: } 513500 \text{ g} / 19711 \text{ l} = 26 \text{ g/l}$$

$$1,3\text{-PDO: } 1300800 \text{ g} / 19711 \text{ l} = 66 \text{ g/l}$$

$$\text{H}_2\text{O: } (14778000 + 154000) \text{ g} / 19711 \text{ l} = 757 \text{ g/l}$$

Como vemos, la concentración de 1,3-PDO alcanzada es prácticamente igual a la del estudio usado como base de nuestros cálculos.

Finalmente, vamos a determinar la productividad del proceso en cuanto a la generación del proceso. El tiempo de fermentación del estudio para 120 g/l iniciales de glicerol son 11 h. En nuestro caso, el tiempo de fermentación serán 10 horas. Así pues, la productividad resulta:

$$\text{Productividad de 1,3-PDO} = \frac{1300800 \text{ g}}{19711 \text{ l} \cdot 10 \text{ h}} = 6,6 \frac{\text{g}}{\text{l} \cdot \text{h}}$$

5.4. Diseño preliminar del tanque

Los reactores biológicos deben tener un tamaño tal que sean capaces de albergar los 2396 l de la corriente de glicerol pretratada, los 2500 l de medio de reacción, los 14778 l de agua de dilución y los 26 litros de incremento de volumen líquido generado en la reacción.

Se trata de reactores discontinuos, que serán llenados y vaciados en un tiempo de 1 hora. Por tanto el volumen mínimo para alojar todas estas corrientes es:

$$V_{\text{mínimo}} = 2396 + 2500 + 14789 + 26 = 19711 \text{ l} \approx 19,7 \text{ m}^3$$

Para sobredimensionar el volumen, por cuestiones de seguridad, se ha considerado que el volumen necesario calculado corresponde al 80% del total :

$$\text{Volumen}_{\text{ sobredimensionado}} = V_{\text{min}} / 0,8 \approx 24,6 \text{ m}^3$$

Como primer paso para el diseño del tanque, se le considerará como un cilindro vertical perfecto, por lo que a partir del volumen se podrá calcular el resto de las dimensiones (diámetro y altura), mediante las expresiones siguientes:

$$V = \pi R^2 H \Rightarrow H = \frac{V}{\pi R^2}$$

$$S = 2\pi R^2 + 2\pi R H \Rightarrow S = 2\pi R^2 + 2\frac{V}{R}$$

Con el fin de construir el depósito usando la mínima cantidad posible de material y por tanto de forma más económica, se aplicará la condición de superficie mínima, para lo cual debe cumplirse que:

$$\frac{dS}{dR} = 0$$

Realizando la derivada y despejando R, conoceremos el valor óptimo de R.

$$R = \sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}}$$

Para terminar de definir las dimensiones del tanque hay que establecer la relación H/D=k. En nuestro caso, para disponer del volumen requerido, sin ocupar una gran superficie en la planta, establecemos una relación H/D=2. Teniendo en cuenta esto:

$$\frac{H}{D} = k \Rightarrow H = kD = 2kR$$

$$V = \Pi R^2 2kR = 2k\Pi R^3 \Rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V}{2k\Pi}}$$

La primera aproximación para las dimensiones del tanque, tomándolo como un cilindro perfecto nos da las siguientes dimensiones:

$$R=1,25 \text{ m}$$

$$H=5 \text{ m}$$

Al tratarse de un reactor en el que se realizará agitación y mezcla, sus fondos serán de tipo semielíptico para evitar la presencia de volúmenes muertos. A la hora de conocer el volumen final habrá que tener en cuenta además el volumen interno ocupado por el agitador. Se considera que en la agitación no se genera calor como para necesitar una refrigeración, por lo que no habrá serpentines ni camisas de refrigeración.

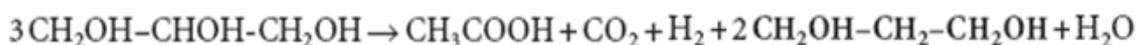
Las dimensiones reales serán calculadas mas adelante, cuando se conozcan todos los datos necesarios para ello.

En la tabla siguiente se resumen los datos calculados hasta ahora.

Caudal entrada glicerol crudo	2396 l/h
Caudal entrada H ₂ O	14778 l/h
Caudal entrada medio reacción	2500 l/h
Tiempo llenado y vaciado	1h
Volumen mínimo	19,7 m ³
Volumen sobredimensionado	24,6 m ³

5.5. Entalpía de la reacción

Conociendo la ecuación estequiometría de la reacción y aplicando la ley de Hess, podemos conocer el calor desprendido o absorbido por la reacción, es decir, la entalpía de reacción.



Según la Ley de Hess:

$$\Delta H_r = (\sum \Delta H_f)_{\text{productos}} - (\sum \Delta H_f)_{\text{reactivos}} =$$

$$\left[(\Delta H_f)_{\text{ac.acético}} + (\Delta H_f)_{\text{CO}_2} + (\Delta H_f)_{\text{H}_2} + 2 \cdot (\Delta H_f)_{1,3\text{-PDO}} + (\Delta H_f)_{\text{H}_2\text{O}} \right] - \left[3 \cdot (\Delta H_f)_{\text{glicerol}} \right]$$

Los datos de entalpía de formación conocidos son los siguientes:

$$(\Delta H_f)_{H_2O} = -285 \text{ KJ / mol}$$

$$(\Delta H_f)_{CO_2} = -393,5 \text{ KJ / mol}$$

$$(\Delta H_f)_{H_2} = 0 \text{ KJ / mol}$$

$$(\Delta H_f)_{ac. acetico} = -487 \text{ KJ / mol}$$

$$(\Delta H_f)_{glicerol} = -669,6 \text{ KJ / mol}$$

No se pudo encontrar en ninguna fuente la entalpía de formación del 1,3-PDO por lo que se recurrió a la estimación de esta mediante el método de Benson. Este se basa en la contribución de grupos funcionales presentes en las moléculas de los compuestos, asignándole a cada uno un valor. Además de ser el más preciso de este tipo de métodos (existen otros como el de Joback y el de Constantinou y Gani), el método de Benson se usa especialmente para sustancias líquidas orgánicas simples, como el 1,3-PDO, sin cometer grandes errores en la mayoría de los casos, tal y como se demuestra en "Estimation of the Thermodynamic Properties of Hydrocarbons at 298,15K" (E.S.Domalski and E.D.Hearing, 1993).

Según el método de Benson, la entalpía de formación puede estimarse de la siguiente manera:

$$\Delta H_f^\circ(298K) = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \Delta H_i$$

Benson tabuló igualmente contribuciones para distintos grupos (ver Gráfico 10 del Anexo Gráfico). Así, según este método, la entalpía de formación del 1,3-PDO es:

$$\Delta H_f^\circ(298K) = 1 \cdot (-20,64) + 1 \cdot (-30,14) + 2 \cdot (-158,56) = -367,9 \text{ KJ / mol}$$

Una vez conocidas todas las entalpías de formación de los compuestos que interviene en la reacción, podemos aplicar la Ley de Hess, para conocer el calor que se absorbe o genera en la reacción.

Por simplicidad, este cálculo se hará utilizando estas entalpías de formación estándar, es decir, a 298K, aunque la reacción tenga lugar a 311K (38°C), pues la diferencia de temperatura es pequeña y el error cometido será despreciable. En caso de querer realizar los cálculos de forma exacta, habrá que tener en cuenta que la entalpía de formación a otra temperatura puede calcularse como:

$$\Delta H_f = \Delta H_f^0 + \int_{T_0}^{T_1} C_p \cdot \Delta T$$

Así pues, sustituyendo los valores en la expresión de la Ley de Hess para nuestro caso, la entalpía de reacción resulta:

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= [(\Delta H_f)_{ac.acético} + (\Delta H_f)_{CO_2} + (\Delta H_f)_{H_2} + 2 \cdot (\Delta H_f)_{1,3-PDO} + (\Delta H_f)_{H_2O}] \\ &- [3 \cdot (\Delta H_f)_{glicerol}] = [(-487) + (-393,5) + (0) + 2 \cdot (-367,9) + (-285)] - [3 \cdot (-669)] \\ &= 105,7 KJ\end{aligned}$$

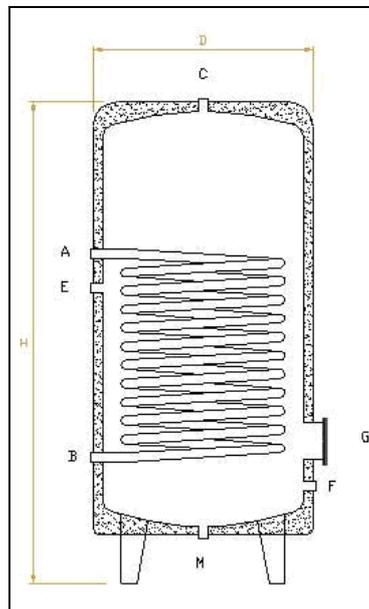
5.6. Calefacción de los tanques de fermentación

Los tanques se calientan mediante serpentines colocados en el interior de los mismos. Se hará circular por su interior vapor producido en la caldera 1.

Se tratará de serpentines en espiral, colocados verticalmente a lo largo de la altura del tanque.

5.6.1. Diseño del serpentín de calefacción

El diseño del serpentín de refrigeración consiste en determinar el área necesaria de serpentín para mantener la temperatura de 37°C constante en el reactor. A partir del área necesaria, se podrá establecer el diámetro externo y la longitud del tubo del serpentín.



5.6.2. Cálculo del aporte de calor

Para realizar este diseño lo primero que hay que conocer es el calor total que hay que aportar durante toda la reacción en cada uno de los tanques.

Según los cálculos realizados en el apartado anterior, por cada 3 moles de glicerol consumidos se consumen 105,7 KJ. Sabiendo que en cada tanque se introducen 2949 kg de corriente de materia prima a metabolizar, y que su contenido en glicerol es de un 80,1% en peso, determinamos la masa de glicerol presente en cada tanque. A continuación, tras pasar esta masa a moles, podemos calcular la cantidad de calor total consumido en cada tanque.

$$\text{Masa glicerol} = 2949 \cdot 0,801 = 2362,1 \text{Kg}$$

$$n_{\text{glicerol}} = \frac{2362100 \text{g}}{92 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 25675 \text{mol}$$

$$\begin{aligned} 3 \text{ mol glicerol} &\rightarrow 105,7 \text{ KJ} \\ 25675 &\rightarrow x \approx 904615,8 \text{ KJ} \end{aligned}$$

Ese es el calor que será preciso aportar al sistema de reacción durante las 10 horas que dura la fermentación.

5.6.3. Caudal de vapor de calefacción

Como fluido calefactor se usará vapor de agua sobrecalentado a 150°C. Como vimos en el apartado de cálculo de los evaporadores, la condensación de este vapor cede un calor total de 2357 kJ/kg. Así, la cantidad de vapor para aportar la energía necesaria durante las 10 horas será:

$$Q_{\text{disipado}} = 2357 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot W = 904615,8 \text{kJ}$$

$$W = 383,8 \text{kg}$$

$$383,8 \text{kg} \div 10 \text{h. fermentacion} = 38,38 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

5.6.4. Cálculo del área de intercambio

Para el cálculo del área, habrá que tener en cuenta el coeficiente global de transmisión de calor del serpentín y el incremento de temperatura medio logarítmico.

$$Q_g = U_s \cdot A_s \cdot \Delta T$$

En la tabla siguiente, se dan los valores típicos de varios tipos de serpentines comunes en la industria. Para nuestro caso, los dos casos marcados son de características similares. Se usará el valor de 250 BTU/h·ft²·°F, para considerar el caso más desfavorable. En unidades del S.I. esto es 1419,6 W/m²·°C.

Overall Heat-Transfer Coefficients for Coils Immersed in Liquids				
U Expressed as Btu/h · ft ² · °F				
Substance inside coil	Substance outside coil	Coil material	Agitation	U
Steam	Water	Lead	Agitated	70
Steam	Sugar and molasses solutions	Copper	None	50-240
Steam	Boiling aqueous solution			600
Cold water	Dilute organic dye intermediate	Lead	Turbosagitator at 95 r.p.m.	300
Cold water	Warm water	Wrought iron	Air bubbled into water surrounding coil	150-300
Cold water	Hot water	Lead	0.40 r.p.m. paddle stirrer	90-360
Brine	Amino acids		30 r.p.m.	100
Cold water	25% oleum at 60°C.	Wrought iron	Agitated	20
Water	Aqueous solution	Lead	500 r.p.m. sleeve propeller	250
Water	5% NaOH		22 r.p.m.	155
Steam	Fatty acid	Copper (pancake)	None	96-100
Milk	Water		Agitation	300
Cold water	Hot water	Copper	None	105-180
60°F. water	50% aqueous sugar solution	Lead	Mild	50-60
Steam and hydrogen at 1500 lb./sq. in.	60°F. water	Steel		100-165
Steam 110-146 lb./sq. in. gage	Vegetable oil	Steel	None	23-29
Steam	Vegetable oil	Steel	Various	39-72
Cold water	Vegetable oil	Steel	Various	29-72

NOTES: Chilton, Drew, and Jebens [*Ind. Eng. Chem.*, 36, 510 (1944)] give film coefficients for heating and cooling agitated fluids using a coil in a jacketed vessel. Because of the many factors affecting heat transfer, such as viscosity, temperature difference, and coil size, the values in this table should be used primarily for preliminary design estimates and checking calculated coefficients.
 °C = (°F - 32)/1.8; to convert British thermal units per hour-square foot-degrees Fahrenheit to joules per square meter-second-kevin, multiply by 5.6783.

Considerando que el fluido dentro del reactor se encuentra a los 37°C que se desean mantener, la diferencia de temperatura entre los dos fluidos es:

$$\Delta T = 150 - 37 = 113 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

El área de transmisión de calor necesaria será:

$$A_s = \frac{Q_g}{U_s \cdot \Delta T} = \frac{904615,8}{1419,6 \cdot 113} = 5,6 \text{ m}^2$$

En general, serpentines de 38,1, 50,8 y 63,4 mm (1½, 2 y 2½ in) son los más usados por ser los más económicos en cuanto a fabricación. El grosor de la pared varía según el uso y el material de construcción. Los serpentines de acero al carbono se hacen normalmente con un Schedule de 80 o mayor para permitir corrosión. Cuando se usan aceros inoxidables u otras aleaciones que no sufren corrosión o excesiva presión, pueden ser hechos con Schedule de 5 o 10 para reducir los costes al mínimo, aunque una se precisa una alta calidad de soldadura para asegurar una operabilidad sin problemas de estas finas paredes. Como en nuestro caso se trata de un serpentín de aleación de plomo (tal y como se especifica en la tabla de coeficientes globales anterior) usaremos un serpentín de 64,3 mm de diámetro externo.

Con esto, podemos estimar la longitud que tendrá el serpentín mediante la expresión:

$$L = \frac{A}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{5,6}{2 \cdot \pi \cdot (0,0643/2)} = 27,72 \text{ m}$$

El número de vueltas del serpentín dependerá del diámetro del mismo. Este deberá ser tal que quede centrado en el interior del reactor, guardando una cierta distancia sobre las paredes del mismo. Se recomienda que esta distancia sea como máximo de 0,6 m. Además, debe dejar espacio suficiente en el interior de la espiral para poder alojar el eje del agitador. No habrá problemas con respecto a las palas de este, pues se dispondrán en la parte inferior del tanque, por debajo de la espiral del serpentín. Así pues, teniendo en cuenta que el radio interno del tanque es 1,25 m y el radio del eje del agitador es 0,2 m, establecemos el radio de la espiral en 0,65 m. El número de vueltas será por tanto:

$$n^{\circ} \text{ vueltas} = \frac{L}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{27,72}{2 \cdot \pi \cdot 0,65} = 7,78 \rightarrow 8 \text{ vueltas}$$

También será necesario conocer el volumen ocupado por el serpentín, para poder incluirlo en el volumen del tanque a la hora de determinar su volumen total final. Para ello, se tiene en cuenta el diámetro externo del tubo, y su longitud:

$$V_s = \pi \cdot r^2 \cdot L = \pi \cdot (0,0634/2)^2 \cdot 27,72 = 0,087 \text{ m}^3$$

5.7. Agitación y aireación

5.7.1. Aireación

La fermentación del glicerol para conseguir 1,3-PDO con *Klebsiella Pneumoniae* es anaerobia. No será necesario por lo tanto la implementación de un sistema de aireación de los tanques.

Es importante decir además, que la presencia del oxígeno en la cantidad normal atmosférico en el tanque no afecta al sistema, pues este oxígeno no sería superior al introducido en el tanque en condiciones microaeróbicas, tal y como se ha hecho en algunos estudios, y que concluyeron que no se observaban diferencias notables. Esto se debe a que nuestro microorganismo es facultativo.

Teniendo en cuenta esto, tampoco es necesario aislar el tanque herméticamente para evitar la entrada de aire atmosférico.

5.7.2. Diseño del agitador del sistema

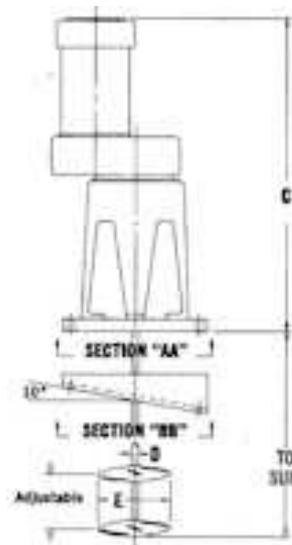
En el interior del tanque, sobre un suspendido desde la parte superior, ira montado un agitador. El eje del agitador será movido por un motor al que se encuentra conectado.

Dado que en nuestro caso se dispondrá un eje vertical las componentes radial y tangencial estarán en un plano horizontal y la componente longitudinal en uno vertical. Las componentes radial y longitudinal son útiles, ya que dan lugar al flujo necesario para que se produzca la mezcla. Sin embargo con un eje vertical dispuesto centro del tanque, la componente tangencial de velocidad resulta perjudicial para la mezcla ya que crea un vórtice que genera distintas capas de líquido sin mezclar sin que exista flujo longitudinal entre ellas. Para solucionar esto, se instalarán en los tanques placas deflectoras.

Se instalara un agitador de hélice de tres palas, que debido a su sencillez y efectividad en la agitación cuando se le suministra una adecuada potencia.



Agitador de hélice de tres palas



Potencia del agitador

Además de elegir el sistema de agitación es necesario determinar la potencia que hay que suministrarle para conseguir una adecuada agitación y mezcla. Los fundamentos para estos cálculos son los mismos que se usaron para el diseño del agitador del tanque de mezcla.

Consideramos también la mezcla del interior del reactor se comporta como un fluido newtoniano, manteniéndose su viscosidad constante independientemente del gradiente de velocidad, ya que todos los fluidos que la componen tienen esa característica. Así pues, la potencia (P) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} = f\left(\frac{ND_a^2 \rho}{\mu}, \frac{N^2 D_a}{g}, S_1, S_2, \dots, S_n\right)$$

Donde:

$$\frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} = Po$$

número de potencia

$$\frac{ND_a^2 \rho}{\mu} = Re$$

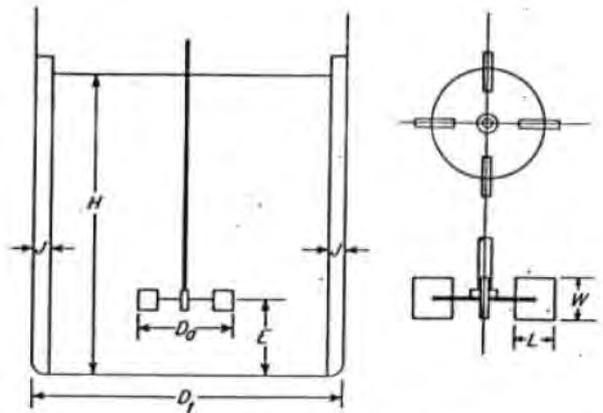
número de Reynolds

$$\frac{N^2 D_a}{g} = Fr$$

número de Froude

$$Po = f(Re, Fr, Si)$$

Los factores de forma S_i se definen teniendo en cuenta las dimensiones del tanque, tal y como se definen en la siguiente figura.



Dimensiones características de un agitador de turbina. (Rushton, Costich y Everett(1969))

$$S_1 = \frac{D_t}{D_a}; \quad S_2 = \frac{E}{D_a}; \quad S_3 = \frac{L}{D_a}; \quad S_4 = \frac{W}{D_a}; \quad S_5 = \frac{J}{D_t}; \quad S_6 = \frac{H}{D_a}$$

D_t : diámetro del tanque

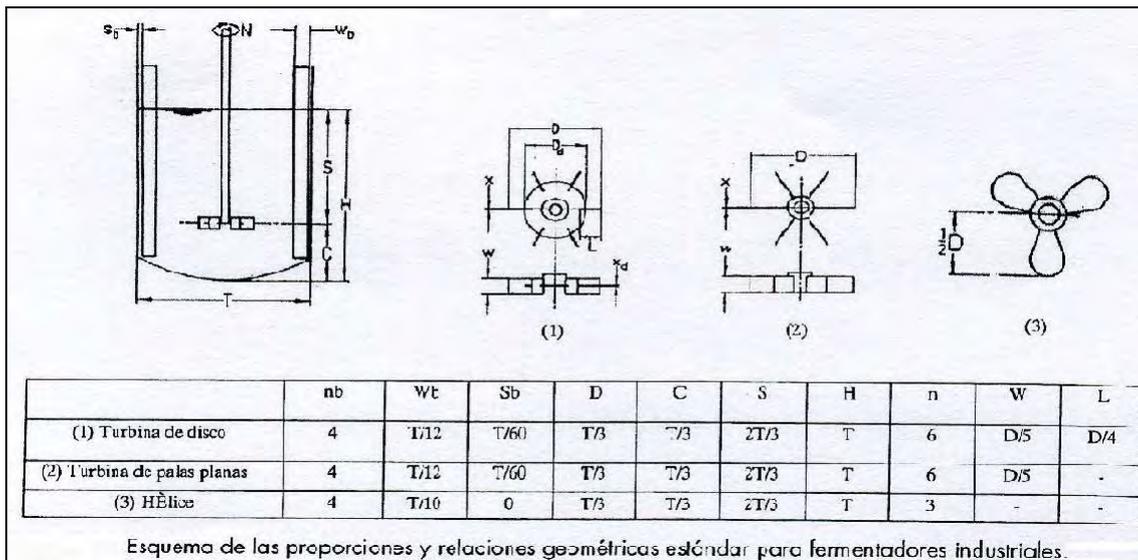
E : altura del rodete sobre el fondo del tanque

L : longitud de las palas del rodete

W : anchura de las palas del rodete

J : anchura de las placas deflectoras

H : altura del líquido



Para nuestro agitador consideraremos los siguientes valores:

$$S_1 = D_t / D_a = 3,3 \quad D_a = D_t / 3,3 = 2,5 / 3,3 = 0,757 \text{ m}$$

$$S_2 = E / D_a = 1 \quad E = 0,757 \text{ m}$$

$$S_5 = J / D_a = (0,1 D_t) / D_t \quad S_5 = 0,1$$

$$H = 0,8 H_T = 0,8 \cdot 5 \quad H = 4 \text{ m}$$

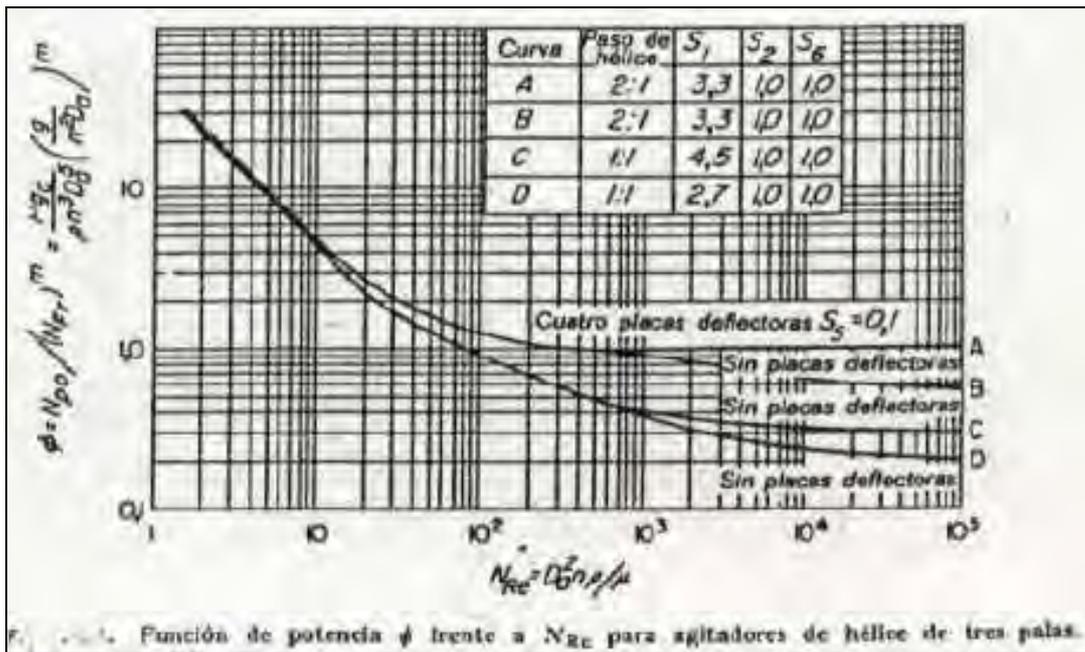
El resto de los factores de forma no hay lugar a que sean definidos para agitador de hélice de tres palas.

La velocidad de agitación será 150 r.p.m. = 2,5 r.p.s, y la densidad y viscosidad del fluido se aproximarán a las del agua, por suponer esta alrededor del 80% como agua de dilución, y por estar además presente en cada una de las otras dos corrientes (medio de reacción y glicerol pretratado) en proporción importante:

$$Re = \frac{ND_a^2 \rho}{\mu} = \frac{2,5 \cdot (0,757)^2 \cdot 1000}{0,1} = 14326$$

Dado que hemos evitado la formación de vórtice instalando placas deflectoras y que el número de Reynolds es mayor que 300 el número de Froude (Fr) no se tiene en cuenta en los cálculos.

La siguiente grafica relaciona valores del Re y el factor de potencia, según el valor de los factores de forma S₁, S₂, S₆ y el paso de hélice.



Según las características que hemos definido para el agitador, la curva que debemos seguir en la gráfica es la A. Para el número de Reynolds calculado:

$$Re=14326 \quad \phi=1$$

En nuestro caso, al no considerarse el número de Froude (Fr), la potencia se calcula mediante la expresión siguiente:

$$P = \phi N^3 D_a^5 \rho = 1 \cdot (2,5)^3 \cdot (0,757)^5 \cdot 1000 = 3884W = 3,884KW$$

De acuerdo con todos los datos calculados, el modelo elegido para la instalación de agitador en los reactores es el **NRI-D-1.10-25040-1**.

Volumen ocupado por el agitador

Para realizar este cálculo habrá que tener en cuenta las siguientes dimensiones aproximadas del agitador, determinadas mediante las dimensiones típicas de agitadores.

Longitud varilla sumergida en el líquido = H - E = 5,23 - 0,66 = 4,57 m

Diámetro varilla = 0,4 m

Diámetro palas = D_a = 0,66 m

Grosor palas = W = 0,2 m

El cálculo aproximado se realiza mediante las siguientes expresiones:

$$V_{agitador} = \frac{\pi}{4} \cdot D_a^2 \cdot W_{palas} + \frac{\pi}{4} \cdot D_{varilla}^2 \cdot (H - E) = 0,623m^3$$

Estos son los datos calculados para el agitador:

Tipo agitador	Hélice 3 palas
Acoplado agitador al tanque	Engranaje (caja reductora)
Re agitador	14326
Numero Potencia	1
Potencia min. agitador	3,884 KW
Da	0,757 m
E	0,757 m
H	5 m
W	0,2 m
Diámetro varilla	0,4 m

5.8. Diseño mecánico del tanque

El fundamento para el diseño mecánico de los fermentadores es el mismo que el utilizado en el diseño mecánico del tanque de mezcla. Por tanto, no nos detendremos tanto a la hora de explicar las distintas variables.

5.8.1. Presión de diseño: El mayor valor obtenido mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}P &\geq 1,1 \times \text{Presión máxima de operación (kg/cm}^2\text{)} \\P &\geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ kg/cm}^2 \\P &\geq 3,5 \text{ Kg/cm}^2\end{aligned}$$

Dado que el tanque trabaja a presión atmosférica (1,033 kg/cm²), el mayor de los valores es el de 3,5 Kg/cm². Ésta será por tanto la presión de diseño.

5.8.2. Temperatura de diseño: Se determina por la siguiente expresión:

$$T_{\text{diseño}} = \text{Máxima temperatura de operación} + 20^{\circ}\text{C}$$

En el reactor la reacción se realizara a 37°C, que es la temperatura óptima para los microorganismos. Por tanto, la $T_{\text{diseño}}=57^{\circ}\text{C}$.

5.8.3. Construcción del depósito. Material: La construcción del depósito se realizará por medio de placas de acero soldadas. El espesor varía en función de las dimensiones del depósito y cálculos.

Todas las chapas son fabricadas por mecanizado y siempre con maquinaria de estampación en frío. Se usará acero inoxidable austenítico de la calidad 1.4301

o AISI 304, el más utilizado por su amplia variedad de propiedades: excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene-limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

5.8.4. Velocidad y efecto del viento: No es necesario analizar este factor, ya que el equipo estará localizado en el interior de una nave que lo protege de la acción del viento.

5.8.5. Coeficiente sísmico (z): En el lugar de emplazamiento de la planta no se dan fenómenos sísmicos, por lo que no será necesario calcular este coeficiente.

5.8.6. Conexiones: Las conexiones más comunes en un recipiente son las siguientes:

- De entrada y salida de fluidos
- Para reguladores de nivel
- Para válvula de seguridad
- Para servicios tales como drenaje, venteo de limpieza, etc.

Las conexiones a un recipiente por las que el líquido pueda circular llevarán una válvula manual externa situada lo más próxima a la pared del recipiente.

Las conexiones por debajo del nivel del líquido, a través de las cuales éste no circula, llevarán un cierre estanco.

Salvo en casos excepcionales, las conexiones se realizan embridadas, ya que permiten su montaje y desmontaje sin tener que realizar ningún corte ni soldadura.

5.8.7. Venteos: Los fermentadores deberán disponer de sistemas de venteo o alivio de presión para prevenir la formación de vacío o presión interna, de tal modo que se evite la deformación del mismo como consecuencia de las variaciones de presión producidas por efecto de los llenados, vaciados o cambios de temperatura.

Los venteos tendrán, como mínimo, un tamaño igual al mayor de las tuberías de llenado y vaciado, y en ningún caso inferior a 35mm de diámetro interior.

5.8.8. Tensión máxima admisible (E): La tensión máxima a la que trabaja el material, debe ser menor que la tensión máxima admisible por el material.

Esta depende de la temperatura de trabajo, del material elegido y del coeficiente de seguridad que se adopte.

Según el código ASME VIII, División 1, la máxima tensión admisible (S) a la temperatura de diseño será el mínimo de los siguientes valores:

$$S = \min\left(\frac{R}{4}; \frac{5}{8} y; f_L; \frac{2}{3} f_r\right)$$

Donde:

R=tensión máxima admisible a la temperatura de diseño (kg/cm²)

y=limite elástico o carga que produce una deformación permanente del 0,2 % a la temperatura de diseño (kg/cm²)

f_L=carga que produce un alargamiento del 1% en 100.000 horas, por deformación viscosa, a la temperatura de diseño (kg/cm²)

f_r=carga de rotura, por alargamiento en 100.000 horas, a la temperatura de diseño (kg/cm²)

Los valores se usaran a la temperatura 57° para el acero inoxidable AISI 304 (Ver Gráfico 3 del Anexo Gráfico) son:

$$\left. \begin{array}{l} R \approx 550 \text{ MPa} = 5606 \text{ kg/cm}^2; R/4=1401 \\ Y \approx 200 \text{ MPa} = 2038 \text{ kg/cm}^2; (5/8) \cdot Y = 1273 \\ f_r \approx 545 \text{ MPa} = 5559 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right\} S=1273 \text{ Kg/cm}^2$$

5.8.9. Eficiencia de la soldadura (S): La unión entre las chapas que componen el depósito se realiza por medio de soldaduras. Estas suponen discontinuidades en la superficie del depósito, donde las tensiones que este sufre se pueden concentrar. Además, por posibilidad de que se produzcan fallos en la soldadura mientras se realiza hay que considerar la soldadura como una zona debilitada del tanque.

Teniendo en cuenta esto, a la hora de determinar el espesor del tanque, se introduce un factor de reducción de la tensión máxima admisible, la eficiencia de la soldadura (S), cuyo valor depende de la norma utilizada y de los controles realizados sobre ella.

Siguiendo el código ASME, estableciendo que las soldaduras del tanque son de tipo 1 y el nivel radiográfico solo por zonas, mediante la tabla siguiente, concluimos que S=0,85 (ver Gráfico 1 del Anexo Gráfico).

5.8.10. Sobreepesor de corrosión (c): Es el espesor que se le añade a los espesores mínimos (t_{min}) para compensar el efecto de la corrosión. Su valor depende del material usado para construir el tanque.

Acero inoxidable: c = 0,8 – 1,5 mm

Aceros al carbono: c = 1,5 – 3 mm

5.8.11. Espesor mínimo de pared: dentro de este apartado habrá que calcular de forma independiente los espesores mínimos de pared de las tres partes que componen el depósito: los fondos superior e inferior y la carcasa cilíndrica.

a) **Espesor mínimo de la carcasa:** Debe ser el mayor de los calculados por medio de las siguientes formulas:

$$\begin{aligned}t_{\min} &= 2,5 + c(mm) && \text{Exigido en cód. ASME Sec. VIII Div. 1} \\t_{\min} &= 3(mm) && \text{Para acero inoxidable} \\t_{\min} &= \frac{D_{INT}}{1000} + 2,54 + c(mm) \\t_{\text{circunferencial}} &= \frac{P_D \cdot R_{INT}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_D} + c(mm) && \text{Para soportar tensiones circunf.} \\t_{\text{longitudinal}} &= \frac{P_D \cdot R_{INT}}{(2 \cdot S \cdot E) - 0,4 \cdot P_D} + c(mm) && \text{Para soportar tensiones long.}\end{aligned}$$

Siendo P_D = Presión de diseño = 3,5 kg/cm²
 R_{INT} = Radio interno = 1,09 m
 D_{INT} = Diámetro interno = 2,18 m
 c = Sobrespesor de corrosión = 1,5 mm
 S = Tensión máxima admisible = 1273 kg/cm²
 E = Eficiencia de la soldadura = 0,85

El mayor de los valores obtenido es $t_{\min} = 6,22$ mm. Por cuestiones de seguridad, aumentamos el espesor un 2%, resultando $t_{\min} = 6,34$ mm. Como las chapas están normalizadas, habrá que recurrir a chapas de $t_{\min} = 7$ mm.

Así pues, el diámetro exterior de la carcasa cilíndrica será:

$$D_{EXT} = D_{INT} + 2 \cdot t = 2500 + 7 \cdot 2 = 2514 \text{ cm}$$

b) **Espesor mínimo de los cabezales semielípticos:** Para determinar este espesor lo primero que hay que conocer es el tipo de fondo que se va a utilizar. Esta selección se realiza en base a los requerimientos técnicos y al coste. Se tratará de fondos, superior e inferior, semielípticos de relación 2:1 entre ejes. Todos los fondos construidos en base al código ASME son construidos en chapa a la cual se le da la forma mediante estampación en frío.

Mediante la tabla de fórmulas generales para recipientes del código ASME (ver Gráfico 2 del Anexo Gráfico), calculamos el espesor mínimo en este tipo de fondos, teniendo en cuenta el diámetro tanto interior como exterior del casco cilíndrico.

$$t = \frac{P_D \cdot D_{INT}}{(2 \cdot S \cdot E) - 0,2 \cdot P_D} + c(mm) \approx 6,3mm$$

$$t = \frac{P_D \cdot D_{EXT}}{(2 \cdot S \cdot E) - 0,2 \cdot P_D} + c(mm) \approx 6,3mm$$

Resolviendo la expresión, resulta $t_{\text{fondo semielíptico}} \approx 6,3$ mm. Aumentamos el valor por seguridad un 2%, resultando $t \approx 6,43$ mm. Para ajustar el espesor a las chapas normalizadas, se requiere un $t_{\text{fondo semielíptico}} = 7$ mm.

La presencia de todo fondo supone el paso de una figura bombeada a otra cilíndrica, que tiene lugar en la llamada línea de tangencia. Debido a la concentración de tensiones que se produciría en esta línea de unir cilindro y fondos en ella, se diseña una pestaña cilíndrica como prolongación del fondo, para evitar que haya que soldar las partes en esta línea débil.

La altura de esta faldilla cilíndrica (h) no debe ser menor que ninguno de estos valores:

$$h \geq 0,3 \cdot \sqrt{D_{EXT} \cdot t_f}$$

$$h \geq 3 \cdot t_f$$

$$h \geq 25mm$$

Siendo:

t_f =espesor de pared del fondo (mm)

D_{EXT} =diámetro exterior de la carcasa

El mayor de estos valores resulta: $h_1 = 102$ mm.

Presión diseño	3,5 kg/cm ²
Temperatura diseño	57 °C
Material deposito	Acero inox. AISI 304
Tensión máxima admisible	978,2 kg/m ²
Tipo soldadura	1 (examinada por zonas)
Eficiencia soldadura	0,85
Sobreespesor de corrosión	1 mm
Espesor mínimo carcasa	7 mm
Espesor mínimo fondos	7 mm
Tipo fondos	Semielípticos (ejes 2:1)
Altura pestañas	102 mm

5.8.12. Dimensiones reales del tanque: Una vez calculados los espesores del tanque, se puede determinar las dimensiones finales del tanque.

El volumen final del tanque (V) será la suma de: volumen de los fondos semielípticos (superior e inferior) (V_f), volumen de la parte cilíndrica (V_c), el volumen de las pestañas, el volumen ocupado por el agitador (V_a) y el volumen ocupado por el serpentín de calefacción (V_s). El volumen total de carcasa, cabezales y pestañas debe ser $24,6 \text{ m}^3$. Así pues:

$$V = V_f + V_c + V_a + V_p = 24,6 + V_a + V_s$$

Calculamos en los apartados correspondiente que $V_a = 0,623 \text{ m}^3$. y $V_s = 0,087 \text{ m}^3$. Por tanto $V = 25,31 \text{ m}^3$.

El volumen de cada fondo semielíptico se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_f = 0,13D_{\text{int}}^3 = 0,13 \cdot (1,25 \cdot 2)^3 \approx 2,031 \text{ m}^3$$

El volumen de las pestañas es:

$$V_p = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h \approx 0,5 \text{ m}^3$$

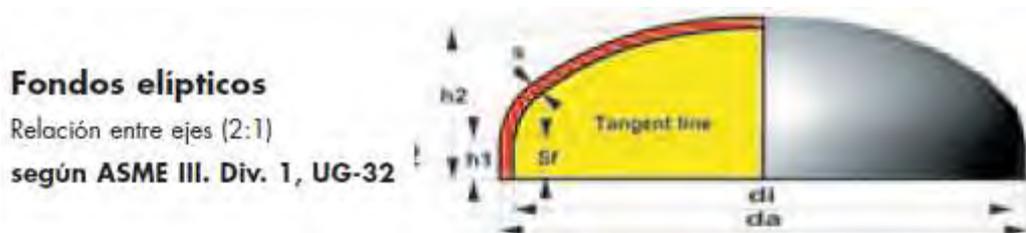
Entonces el volumen de la carcasa será:

$$V_c = 25,31 - 2 \cdot 2,031 - 2 \cdot 0,5 - 0,623 - 0,087 = 19,538 \text{ m}^3$$

Dado su diámetro interno es $D = 2,5 \text{ m}$, la altura de la carcasa es:

$$H = \frac{V_c}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = 3,98 \text{ m}$$

Los fondos elegidos son semielípticos con una relación entre ejes 2:1. Por lo tanto siendo el eje mayor el diámetro externo, la altura de la parte circular del fondo será la cuarta parte este eje mayor.



Por tanto, $h_2 = D_{\text{ext}}/4 = 2514/4 = 628,5 \text{ mm}$

Así, finalmente, se establecen las dimensiones definitivas del tanque:

$$D = 2,514 \text{ m}$$

$$H_T = H + h_1 + h_2 = 3,98 + 2 \cdot 0,102 + 2 \cdot 0,6285 = 5,441 \text{ m}$$

La siguiente tabla resume las dimensiones de cada parte del tanque:

Volumen serpentín	0,087 m ³
Volumen agitador	0,623 m ³
Altura fondos	0,628 m
Volumen fondos	2x2,031 m ³
Altura carcasa cilíndrica	3,98 m
Volumen carcasa cilíndrica	19,538 m ³
Volumen pestañas	2x0,5 m ³
Altura pestañas	102 mm
Diámetro interno	2,5 m
Diámetro externo	2,514 m
Altura final tanque	5,441 m
Volumen final tanque	25,31 m ³

5.8.13. Peso del tanque cargado: Para conocerlo es necesario calcular el peso del tanque vacío, el peso del agitador, el peso del serpentín y el peso de todo el líquido que puede contener el tanque. El peso de los accesorios se estima que supone aproximadamente un 10% del peso total.

d) Peso del tanque vacío:

$$P = \text{Superficie} \cdot \text{espesor} \cdot \rho_{\text{acero}}$$

$$P_{\text{cilindro}} = (2 \cdot \pi \cdot (R_{\text{INT}})^2 \cdot H) \cdot e \cdot \rho_{\text{acero}} = 2 \cdot \pi \cdot 1,25^2 \cdot 3,98 \cdot 0,007 \cdot 7860 \approx 2150 \text{ Kg}$$

$$P_{\text{fondo}} = (4 \cdot \pi \cdot R_{\text{INT}}^2) \cdot e \cdot \rho_{\text{acero}} = 4 \cdot \pi \cdot 1,25^2 \cdot 0,007 \cdot 7860 = 1080 \text{ kg} \rightarrow P_{\text{fondos}} \approx 2160 \text{ kg}$$

$$P_{\text{pestañas}} = (\pi \cdot (R_{\text{INT}})^2 \cdot H) \cdot e \cdot \rho_{\text{acero}} = \pi \cdot 1,25^2 \cdot 0,102 \cdot 0,007 \cdot 7860 = 27,5 \text{ kg} \rightarrow P_{\text{pestañas}} = 55 \text{ kg}$$

$$P = P_{\text{cilindro}} + P_{\text{fondos}} + P_{\text{pestañas}} + P_{\text{accesorios}} = 4365 \text{ kg} + 0,1 \cdot 4365 \approx 4801 \text{ kg}$$

El peso de los accesorios, según la bibliografía supone aproximadamente un 10% del peso del tanque.

e) Peso agitador:

$$P_{\text{agitador}} = V_{\text{agitador}} \cdot \rho_{\text{acero}} = 0,623 \cdot 7860 \approx 4897 \text{ kg}$$

f) Peso líquido:

$$P_{\text{liquido}} = V_{\text{liquido}} \cdot \rho_{\text{liquido}} = 19,504 \cdot 1000 \approx 19504 \text{kg}$$

d) Peso serpentín:

$$P_{\text{serpentin}} = V_{\text{serpentin}} \cdot \rho_{\text{cobre}} = 0,087 \cdot 8960 \approx 779 \text{kg}$$

Así pues el peso total del tanque de mezcla lleno será $P \approx 29981$ kg. Este peso tendrá que tomarse en cuenta a la hora de determinar los soportes del depósito.

5.8.14. Soportes del tanque: Para estos reactores, el soporte patas. De forma general a continuación se exponen los tipos de soportes que los fermentadores podrán llevar.

Faldón

- El diámetro medio del faldón y del recipiente tendrán el mismo valor, con el fin de evitar momentos debidos al peso.
- El espesor mínimo del faldón será 6 mm, en caso de que el recipiente tenga un espesor igual o superior a dichos 6 mm.
- El material del faldón será, generalmente, acero al carbono.
- El anillo base tendrá una anchura de 250 mm y un espesor mínimo de 20 mm.
- El número de pernos será múltiplo de 4; la distancia entre ellos no será menor de 400 mm, ni mayor de 600 mm, y su diámetro estará comprendido entre 16 mm y 60 mm.

Patatas

- Dado que el diámetro del tanque es mayor que 0,75 m, el número de patas será 4.
- Las patas serán construidas con perfiles IPN comerciales, normalmente en L, y de forma habitual en acero al carbono, salvo la placa de refuerzo soldada directamente al recipiente, que será del mismo material que éste.
- La longitud de las patas será tal que quede medio metro entre la parte inferior del tanque y el suelo, con el fin de facilitar el montaje/desmontaje de los accesorios y conducción que el depósito tendrá.
- Irán igualmente espaciadas por todo el perímetro del tanque.

- Los perfiles irán soldados a una placa cuadrangular, fijándose al suelo el conjunto, mediante dos pernos de anclaje. El diámetro de los pernos será de 20 mm y el de los taladros de 26 mm.

Ménsulas

- Se construyen en acero al carbono, salvo la placa de refuerzo soldada directamente al recipiente, que será del mismo material que éste.
- Su número deberá ser 2, 4 u 8, y raramente su número será mayor.

Sillas

- La distancia desde el eje de la cuna de la línea de tangencia será, normalmente, igual a un cuarto de diámetro interior del recipiente ($0,25 D_i$).
- El ángulo que abraza la silla al recipiente estará comprendido entre 120° y 140° .
- El material de construcción, al igual que las ménsulas y las patas, es de acero al carbono, salvo las chapas refuerzo.

5.8.15. Pruebas hidráulicas: Todo recipiente debe ser comprobado antes de la puesta en operación. Una de las comprobaciones consiste en el ensayo de la prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de diseño.

Según la normativa la presión hidráulica se calcula:

$$P_{HM} = 1,5 \cdot P \cdot \frac{\sigma_a}{\sigma}$$

Dónde:

P_{HM} : Presión hidráulica mínima (Kg/cm^2)

P: Presión de diseño (Kg/cm^2)

σ_a : Tensión máxima admisible a temperatura de diseño (Kg/mm^2)

σ : Tensión máxima admisible a temperatura ambiente (Kg/mm^2)

En nuestro caso la tensión máxima admisible a temperatura de diseño y temperatura ambiente no varia. Teniendo en cuenta estos dos aspectos, la presión hidráulica se calculará como:

$$P_{HM} = 1,5 \cdot P = 1,5 \cdot 3,5 = 5,25 \text{ kg / cm}^2$$

5.9. Inoculación

Como sabemos, para realizar la transformación anaerobia del glicerol a 1,3-PDO, es necesario disponer de un medio de reacción en el que esté el microorganismo seleccionado, *Klebsiella Pneumoniae*.

En reactores industriales discontinuos como los nuestros, el volumen de medio de reacción inicial suele suponer entre el 10 y 20% del volumen total del reactor. Anteriormente hemos visto que el volumen de nuestros tanques de fermentación es de unos 25 m³. Por tanto nuestro volumen de medio de reacción será de 2,5 m³.

Elegimos el mínimo dentro del rango común (10%), ya que el el 1,3-PDO es un metabolito primario, asociado por tanto al crecimiento de la población microbiana. Así, a lo largo de las 10 horas de fermentación el volumen de población aumentará, pero nunca excediendo el volumen recomendable.

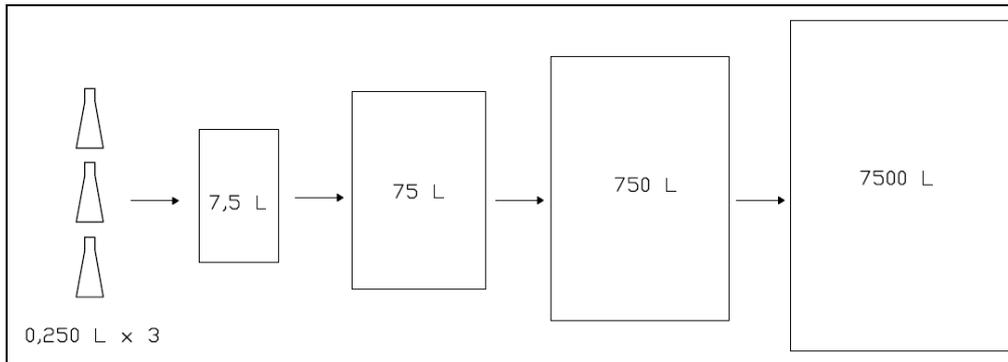
Sin embargo, no es posible o viable económicamente, comprar tal volumen de medio de reacción con los citados microorganismos, en las condiciones que queremos. Es por ello, que es preciso disponer de un sistema en el que a partir de un volumen menor de microorganismos cultivados y generados a escala laboratorio, se pueda conseguir tal volumen. Es ahí donde entran los reactores de inoculación.

En la planta existirá un solo reactor de inoculación, por lo que este debe producir el volumen de medio de reacción suficiente para abastecer a los tres fermentadores en cada ciclo de producción. Esto es, 7,5 m³ por ciclo.

En la imagen siguiente, se observa el protocolo de inoculación que se llevara a cabo en la planta para conseguir los 7,5 m³ de medio de reacción. Esto se hará mediante 4 pasos de escalado, suponiendo en cada paso el volumen de inoculación el 10% del volumen del reactor siguiente. El tiempo de crecimiento de la biomasa será de 10 horas, que como en los reactores industriales, es el tiempo que consideramos suficiente para que los microorganismos metabolicen todo el glicerol aportado. Por tanto la duración total del proceso de obtención del inóculo para los 3 reactores dura, en principio, 40 horas.

La concentración inicial del glicerol y de biomasa serán idénticas a las establecidas en los reactores industriales; 120 g/l y 10 g/l, respectivamente. De esta manera nos aseguramos que la población de microorganismos tenga el comportamiento deseado, pues han pasado por 4 etapas de crecimiento bajo esas condiciones, adaptándose perfectamente.

No obstante, esta adaptación no es consecuencia principal de este escalado, sino más bien de la selección de las cepas de microorganismo adecuada, modificada genéticamente y entrenada para la producción del 1,3-PDO a partir de glicerol bajo estas condiciones.



De esta manera, en varios pasos en laboratorio, se consigue producir la cantidad de microorganismos suficientes para alimentar el reactor de inoculación que después servirá para dotar a los fermentadores del medio de reacción necesario.

Este será el protocolo para conseguir el volumen de inóculo para los 3 tanques inicialmente, partiendo de cero. Se puede, una vez llegado a este punto, implementar otro protocolo, que evite partir desde los matraces iniciales para la generación de inóculo necesario en cada ciclo. Esto consistiría en no vaciar por completo el ultimo tanque de inoculación, dejando en el un 10 % de su volumen. Así, a partir de este volumen, se podría partir para generar los 7,5 m³ de inóculo, sin tener que pasar por todos los pasos de escalo previo.

Para ello habría que disponer de un reactor de inoculación mayor. Calcular este volumen exacto para llevar a cabo esta estrategia sería considerar que del reactor aloja los 7,5 m³ necesitados que salen de él, más el 10 % de este volumen. Esto es:

$$7,5 \text{ m}^3 + 0,1 \cdot 7,5 \text{ m}^3 = 8,25 \text{ m}^3$$

Además, para generar ese volumen adicional que quedaría en el tanque, habría que prolongar algo la fermentación, para dar tiempo a los microorganismos a generar ese volumen.

Sin embargo, a pesar de implementar este protocolo que reduce de forma sustancial el tiempo de generación de inóculo, se seguirá produciendo inóculo de forma continua de la manera inicial, es decir, desde los matraces de 250 ml.

Actuando así, nos aseguramos tener siempre disponible un volumen de inóculo disponible para ser usado en caso de que el obtenido a partir del 10% adicional en ultimo tanque de inoculación se contamine o deje de actuar como deseamos.

Debido a que no es el objetivo del presente proyecto, no se entrará en más detalles a cerca de los pasos indicados en el laboratorio hasta alcanzar los 75 litros de alimentación del reactor de inoculación.

A cerca de las condiciones de este reactor para generar los 7500 litros, hay que decir que todas las variables intensivas serán idénticas a la de los reactores de 25 m³, por lo que no se entrara de nuevo en el cálculo de variables extensivas del sistema que vienen influenciadas por las primeras, por ser innecesario una vez ya explicado.

Igualmente, los sistemas del reactor (calefacción, agitación, etc.) y el diseño mecánico serán del mismo tipo, pero adecuados al tamaño de este reactor. Así pues, una vez definidos para los fermentadores, quedan también definidos para el reactor de inoculación.

6. DISEÑO DEL MICROFILTRO

6.1. Cálculos y parámetros básicos

El cálculo de los parámetros básicos del microfiltro se ha realizado simulando la unidad en SuperPro Designer como parte de la planta, aprovechando que fue simulada por completo para conocer los balances de materia de todos los equipos.

Según el modelo matemático explicado en el programa, los parámetros básicos de diseño son los siguientes:

Balance de materia

En la filtración tangencial en membranas, la fracción (F_i , rango 0-1) de un componente (i) que permanece en el retenido es estimada según la siguiente ecuación (McGregor, 1986):

$$F_i = \frac{1}{CF + R_i(1 - CF)}$$

donde CF= factor de concentración=alimentación/retenido

R_i = coeficiente de rechazo del componente i (rango: 0-1)

Con esta microfiltración se pretende que el coeficiente de rechazo para los componentes a separar sea 1, para que la corriente quede totalmente libre de ellos. Esto significa que para todos ellos, $F_i=1$.

El factor de concentración (CF) máximo calculado por el simulador resulta CF=100. Esto no es mas que una medida del grado de separación. Dado que la intención es conseguir en esta unidad la purificación total de la corriente de sales, biomasa y jabones, la separación de estos componentes debe ser total, y por tanto el facto de concentración máximo. Así pues, dividiendo los litros de corriente de alimentación entre los litros de corriente separada, resulta el citado CF:

$$CF = \frac{19387}{193} \approx 100$$

Por ultimo hay que hablar de la concentración máxima de partículas en el retenido. Este parámetro establece el peso máximo de partículas por litro en el retenido. Es necesario conocer este parámetro ya que, como se ha dicho antes, la corriente de alimentación en los filtros tangenciales es recirculada, y por lo tanto, a medida que transcurre la filtración la cantidad de sólidos retenidos aumenta. Un exceso de sólidos en esta corriente recirculada influirá tanto en el proceso de filtración como en el de impulsión de la corriente. Se ha fijado que el valor máximo debe ser de 2000 g/l.

Tamaño del equipo

El flujo de permeado o productividad (J) (average filtrate flux) viene dado por la siguiente expresión:

$$J = \frac{Q \left(1 - \frac{1}{CF} \right)}{A / n^{\circ} \text{ unidades}}$$

donde Q=caudal de alimentación

A=área de la membrana de la unidad

n° unidades= unidades necesarias para realizar la filtración.

Se ha fijado que $J=100 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$. El caudal de alimentación al equipo es $16,485 \text{ m}^3/\text{h}$. Con estos datos, el simulador es capaz de calcular el número de unidades de filtración necesarias para realizar la separación de los sólidos en el grado especificado. Para ello previamente hay que fijar cual es el área máxima permitida de membrana del microfiltro, la cual se ha fijado en 200 m^2 , un valor común entre los equipos consultados en la bibliografía. Con esta área, resulta que es precisa una sola unidad para filtrar nuestra corriente.

En nuestro proceso hay que tratar un caudal de 16,485 m³/h. Según el catalogo de microfiltro tangenciales de Siemens, el mas adecuado para nuestra planta será el EF/EFC-2400 que es capaz de tratar desde 4,5 hasta 22 m³/h. En la tabla siguiente se incluyen las principales características de los modelos disponibles.

SPECIFICATIONS								
Model Number	EF/EFC-400	EF/EFC-424	EF/EFC-1200	EF/EFC-2400	EF/EFC-3600	EF/EFC-4800	EF/EFC-7200	EF/EFC-10800
Capacity (Nominal)	4-24 gpm 1-5.5 m ³ /hr	8-48 gpm 2-11 m ³ /hr	8-48 gpm 1.8-11 m ³ /hr	20-96 gpm 4.5-22 m ³ /hr	36-144 gpm 8-33 m ³ /hr	42-192 gpm 9-43 m ³ /hr	72-288 gpm 16-65 m ³ /hr	108-322 gpm 4-98 m ³ /hr
Tubes per Module	4	4	10	10	10	10	10	10
Quantity (min-max)	4-12	8-24	6-12	12-24	18-36	24-48	36-72	54-108
Concentration Tank Volume (Note: Included with EFC Series only.)	275 gallons 1.0 m ³	550 gallons 2.1 m ³	660 gallons 2.5 m ³	1,375 gallons 5.2 m ³	1,700 gallons 6.4 m ³	2,600 gallons 9.8 m ³	4,280 gallons 16.2 m ³	5,000 gallons 18.9 m ³
Process Pump(s)	Qty. 1 7.5 HP	Qty. 1 15 HP	Qty. 1 20 HP	Qty. 1 30 HP	Qty. 1 50 HP	Qty. 2 30 HP	Qty. 2 50 HP	Qty. 3 50 HP
Dimensions (L x W x H)	11'-10" x 4'-10" x 11" 3,607 x 1,473 x 2,718 mm	18'-3" x 5'-4" x 11'-7" 5,563 x 1,626 x 3,531 mm	24'-7" x 5'-10" x 9'-10" 7,493 x 1,778 x 2,997 mm	25'-5" x 7'-1" x 10'-0" 7,747 x 2,159 x 3,048 mm	33'-0" x 8'-1" x 11'-10" 10,058 x 2,464 x 3,607 mm	26'-9" x 9'-6" x 11'-3" 8,153 x 2,896 x 3,429 mm	37'-10" x 17'-1" x 11'-11" 11,532 x 5,207 x 3,632 mm	39'-4" x 25'-3" x 11'-11" 11,989 x 7,696 x 3,632 mm
Shipping Weight	1,000 lbs 450 kg	2,000 lbs 900 kg	7,500 lbs 3,400 kg	10,000 lbs 4,550 kg	15,000 lbs 6,800 kg	18,000 lbs 8,160 kg	29,000 lbs 13,150 kg	43,000 lbs 19,500 kg
Operating Weight	4,000 lbs 1,810 kg	8,000 lbs 3,630 kg	18,000 lbs 8,160 kg	26,000 lbs 11,800 kg	34,000 lbs 15,420 kg	52,000 lbs 23,590 kg	73,000 lbs 33,110 kg	98,000 lbs 44,450 kg

7. DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO

7.1. Introducción

Tanques de almacenamiento de recirculación (T-01 y T-04)

Debido a la naturaleza discontinua de nuestros reactores biológicos, no es posible realizar las circulaciones mediante las conducciones L22-L23 y L19 de forma continua al sistema.

Como se ha explicado en capítulos anteriores, el pre y postratamiento se realizan de forma continua, para que las unidades suministren o reciban corriente de los fermentadores de forma continua. No obstante al existir tres reactores, todas estas unidades solo podrán operar mientras exista un fluido que entre o salga de estos.

Cuando los tres tanques hayan sido llenados, la instalación de pretratamiento quedara parada, sin recibir más fluido, ya que no existe lugar en la planta donde poder alojar este. Es por ello que la recirculación de las conducciones L22-L23 no se puede introducir al sistema, si no que tendrá que ser almacenada hasta que el sistema de pretratamiento vuelva a iniciarse. Esto se hará en el tanque de almacenamiento T-04.

En el caso de la recirculación de la conducción L19, esta corriente si podría volver a ser reintroducida directamente al reactor (para que llegue fluido a esta conducción, el reactor se ha tenido que vaciar previamente), pero según las condiciones de diseño (todas las unidades están diseñadas para ser capaces de tratar todo el volumen de la corriente en una hora) esto ocurriría demasiado pronto (unas 4 horas; se dan las operaciones de vaciado del tanque, centrifugación, microfiltración y evaporación), no permitiendo las labores necesarias de limpieza y mantenimiento del tanque. Por tanto, en este caso también se dispone de un tanque que permite almacenar la recirculación, hasta que sea el momento de llenar el tanque. Hablaremos en este caso del tanque T-01.

Tras el T-01, el la recirculación será introducida en los fermentadores. Debido a que se trata de un fluido que ya ha estado dentro de los reactores, y por tanto conocemos, podemos afirmar que no habrá presencia de esporas ni microorganismo parasitarios. Es por ello que consideramos que con la evaporación que sufre el vapor (a 99°C) el grado de esterilidad de la corriente es aceptable para que se introduzca en los reactores, sin que haya habido una esterilización propiamente dicha.

Tanque de almacenamiento de residuos (T-03)

En la planta hay unidades que al separar componentes de la corriente principal generan residuos. Estas unidades son concretamente las centrifugas de

decantación del pretratamiento y del postratamiento y el microfiltro de postratamiento. En todos los casos se trata de corrientes de características similares: lodos con alto contenido en sólidos.

La única diferencia entre las unidades de pre y postratamiento, es que en estas últimas los lodos están presentes los microorganismos que llevaron a cabo la fermentación.

Estas corrientes de residuos se almacenarán todas en un tanque que llamaremos T-03. Éste será vaciado periódicamente (cada 5 días) por una empresa gestora de residuos de este tipo, que se encargara de su valorización o eliminación.

Tanque de almacenamiento de producto (T-05)

Es preciso disponer de un depósito donde se pueda almacenar el 1,3-PDO generado en el proceso. Será de él de donde las empresas a las que se les venda el producto se suministrarán. Este tanque será el T-05.

Tanque de ralentización de corriente (T-02)

El propósito de este tanque es disminuir el flujo de corriente por hora que se introduce en los evaporadores, con el fin de reducir las dimensiones de estos y el requerimiento de generación de vapor de las calderas, y aumentar el tiempo de operación de estas últimas, para evitar encendidos y apagados demasiado frecuentes.

De no disponer este depósito, estaríamos hablando de que el evaporador 2 tendría que tratar una corriente de mas de 19 m³/h, lo que supondría mas de 16000kg/ h de vapor. No solo se trataría de un equipo excesivamente grande para las dimensiones de la planta (planta piloto), si no que además, dada la temporización de esta, el evaporador solo estaría funcionando 3 horas, y por tanto requeriríamos funcionar a la caldera de vapor solo durante 3 horas (4 sumando los dos evaporadores) aisladas produciendo mas de 15 tn/h, en ese breve periodo de tiempo, para luego ser apagada. Esto es sin duda inviable.

Colocando este depósito, se ha hecho que el caudal de corriente a tratar por los evaporadores 3 y 4 sea 4 veces menor, llevándose la evaporación correspondiente al volumen de cada reactor en 4 horas, en vez de en una sola. Así, sumando el tiempo de operación de los dos evaporadores, estos estarán operando durante 13 horas en vez de solo 4. Así, se requiere una producción de vapor mucho menor por hora (unos 5000kg/h), y esta se realiza durante un tiempo mas prolongado, lo cual resulta mucho más viable desde el punto de vista de operacional de la caladera.

7.2. Cálculos

7.2.1. Diseño preliminar del tanque

Para calcular el volumen de cada tanque hay que tener en cuenta el volumen de fluido que debe alojar, y cada cuanto tiempo se procederá a su vaciado. Para sobredimensionar el volumen, por cuestiones de seguridad, se ha considerado que el volumen necesario calculado corresponde al 80% del real.

Tanque	Corrientes entrada	Caudal (m ³ /h)	Volumen fluido/ciclo (m ³ /ciclo)	Vaciado cada	V mín (m ³)	V sobredim (m ³)
T-01	L19.1	4,281	51,372	34 h	51,37	64,22
T-02	L18	18,37	55,11	Continuo	55,11	68,89
T-03	L5.1 o L5.2	0,366	3,351	5 días	11,83	14,78
	L16	0,321				
	L17	0,43				
T-04	L23	0,023	0,276	34 h	0,83	1,04
T-05	L22	0,289	3,468	5 días	12,24	15,30

Como primer paso para el diseño de los tanques, se les considerará como cilindros verticales perfectos, por lo que a partir de volumen se podrá calcular el resto de las dimensiones (diámetro y altura), mediante las expresiones siguientes:

$$V = \Pi R^2 H \Rightarrow H = \frac{V}{\Pi R^2}$$

$$S = 2\Pi R^2 + 2\Pi R H \Rightarrow S = 2\Pi R^2 + 2\frac{V}{R}$$

Con el fin de construir los depósitos usando la mínima cantidad posible de material y por tanto de forma más económica, se aplicará la condición de superficie mínima, para lo cual debe cumplirse que:

$$\frac{dS}{dR} = 0$$

Realizando la derivada y despejando R, conoceremos el valor óptimo de R.

$$R = \sqrt[3]{\frac{V}{2\Pi}}$$

Para terminar de definir las dimensiones de los tanques hay que establecer la relación H/D=k. En nuestro caso, para disponer del volumen requerido, sin ocupar una gran superficie en la planta, establecemos una relación H/D=2. Teniendo en cuenta esto:

$$\frac{H}{D} = k \Rightarrow H = kD = 2kR$$

$$V = \Pi R^2 2kR = 2k\Pi R^3 \Rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V}{2k\Pi}}$$

La primera aproximación para las dimensiones de los tanques, tomándolos como cilindros perfectos nos da las siguientes dimensiones:

Tanque	V sobredim (m3)	H/D	R (m)	H (m)
T-01	64,22	2	1,72	6,89
T-02	68,89	2	1,76	7,05
T-03	14,78	2	1,06	4,22
T-04	1,04	2	0,44	1,74
T-05	15,30	2	1,07	4,27

Al tratarse todos de depósitos de almacenamiento, sus fondos serán planos. Los tanques de almacenamiento T-01 y T-03 dispondrán de un serpentín de refrigeración, pues sus contenidos, a elevadas temperaturas necesitan ser enfriados antes de ser transportado y recirculado a los reactores, respectivamente.

7.2.2. Diseño mecánico de los tanques

El fundamento del diseño mecánico de los tanques ya se explico en el diseño mecánico del tanque de almacenamiento, por lo en esta ocasión no se explicaran tan detalladamente las variables implicadas.

7.2.2.1. Presión de diseño: El mayor valor obtenido mediante las siguientes expresiones:

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

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

$$P \geq 3,5 \text{ Kg/cm}^2$$

Dado que todos trabajan a presión atmosférica (1,033 kg/cm²), el mayor de los valores es el de 3,5 Kg/cm². Ésta será por tanto la presión de diseño.

7.2.2.2. Temperatura de diseño:

$$T_{\text{diseño}} = \text{Máxima temperatura de operación} + 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tanque	T max (°C)	T diseño (°C)
T-01	37	57
T-02	37	57
T-03	37	57
T-04	132	152
T-05	30	50

7.2.2.3. Construcción del depósito. Material: La construcción de los depósitos se realizara por medio de placas de acero soldadas. El espesor varía en función de las dimensiones del depósito y cálculos.

Todas las chapas son fabricadas por mecanizado y siempre con maquinaria de estampación en frío. El material será acero inoxidable de la calidad 1.4301 o AISI 304, el más utilizado por su amplia variedad de propiedades: excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene-limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

7.2.2.4. Velocidad y efecto del viento: No es necesario analizar este factor, ya que el equipo estará localizado en el interior de una nave que lo protege de la acción del viento.

7.2.2.5. Coeficiente sísmico (z): En el lugar de emplazamiento de la planta no se dan fenómenos sísmicos, por lo que no será necesario calcular este coeficiente.

7.2.2.6. Conexiones: Las conexiones más comunes en un recipiente son las siguientes:

- De entrada y salida de fluidos
- Para reguladores de nivel
- Para válvula de seguridad
- Para servicios tales como drenaje, venteo de limpieza, etc.

Las conexiones a un recipiente por las que el líquido pueda circular llevarán una válvula manual externa situada lo más próxima a la pared del recipiente.

Las conexiones por debajo del nivel del líquido, a través de las cuales éste no circula, llevarán un cierre estanco. Salvo en casos excepcionales, las conexiones se realizan embriadas, ya que permiten su montaje y desmontaje sin tener que realizar ningún corte ni soldadura.

7.2.2.7. Venteos: Todo recipiente deberá disponer de sistemas de venteo o alivio de presión para prevenir la formación de vacío o presión interna, de tal modo que se evite la deformación del mismo como consecuencia de las

variaciones de presión producidas por efecto de los llenados, vaciados o cambios de temperatura.

Los venteos normales de un recipiente tendrán, como mínimo, un tamaño igual al mayor de las tuberías de llenado y vaciado, y en ningún caso inferior a 35mm de diámetro interior.

7.2.2.8. Tensión máxima admisible (E): La tensión máxima a la que trabaja el material, debe ser menor que la tensión máxima admisible por el material.

La tensión máxima admisible por un material depende de la temperatura de trabajo, del material elegido y del coeficiente de seguridad que se adopte.

Según el código ASME VIII, División 1, la máxima tensión admisible (S) a la temperatura de diseño será el mínimo de los siguientes valores (ver Gráfico 3 del Anexo Gráfico):

$$S = \min\left(\frac{R'}{4}; \frac{5}{8}y; f_L; \frac{2}{3}f_r\right)$$

donde:

R' =tensión máxima admisible a la temperatura de diseño (kg/cm^2).

y =límite elástico o carga que produce una deformación permanente del 0,2 % a la temperatura de diseño (kg/cm^2).

f_L =carga que produce un alargamiento del 1% en 100.000 horas, por deformación viscosa, a la temperatura de diseño (kg/cm^2).

f_r =carga de rotura, por alargamiento en 100.000 horas, a la temperatura de diseño (kg/cm^2)

Tanque	T diseño (°C)	Acero	Tensión ruptura (MPa)	Límite elástico (MPa)	S (MPa)
T-01	57	AISI 304	575	225	140,625
T-02	57	AISI 304	575	225	140,625
T-03	57	AISI 304	575	225	140,625
T-04	152	AISI 304	525	175	109,375
T-05	50	AISI 305	575	225	140,625

7.2.2.9. Eficiencia de la soldadura (S): La discontinuidades que supone las soldaduras en las superficies, y la posibilidad de se produzcan fallos en ellas, hace que se las considere zonas debilitadas del tanque

Teniendo en cuenta esto, a la hora de determinar el espesor de los tanques, se introduce un factor de reducción de la tensión máxima admisible, la eficiencia

de la soldadura (S), cuyo valor depende de la norma utilizada y de los controles realizados sobre ella.

Siguiendo el código ASME, estableciendo que las soldaduras de los tanques son de tipo 1 y el nivel radiográfico solo por zonas, mediante la tabla siguiente, concluimos que $S=0,85$ (ver Gráfico 1 del Anexo Gráfico).

7.2.2.10. Sobreespesor de corrosión (c): Es el espesor que se le añade a los espesores mínimos (t_{min}) para compensar el efecto de la corrosión. Su valor depende del material usado para construir el tanque.

Acero inoxidable: $c = 0,8 - 1,5$ mm
 Aceros al carbono: $c = 1,5 - 3$ mm

7.2.2.11. Espesor mínimo de pared: dentro de este apartado habrá que calcular de forma independiente los espesores mínimos de pared de las tres partes que componen el depósito: los fondos superior e inferior y la carcasa cilíndrica.

a) **Espesor mínimo de la carcasa:** Debe ser el mayor de los calculados por medio de las siguientes formulas:

$$t_{min} = 2,5 + c(mm) \quad \text{Exigido en cód. ASME Sec. VIII Div. 1}$$

$$t_{min} = 3(mm) \quad \text{Para acero inoxidable}$$

$$t_{min} = \frac{D_{INT}}{1000} + 2,54 + c(mm)$$

$$t_{circunferencial} = \frac{P_D \cdot R_{INT}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_D} + c(mm) \quad \text{Para soportar tensiones circunf.}$$

$$t_{longitudinal} = \frac{P_D \cdot R_{INT}}{(2 \cdot S \cdot E) - 0,4 \cdot P_D} + c(mm) \quad \text{Para soportar tensiones long.}$$

siendo P_D = Presión de diseño
 R_{INT} = Radio interno
 D_{INT} = Diámetro interno
 c = Sobre espesor de corrosión
 S = Tensión máxima admisible
 E = Eficiencia de la soldadura

Tanque	P_D (kg/cm ²)	R_{int} (m)	c (mm)	S (kg/cm ²)	E	$t_{min.}$ (mm)	$t_{min.+2\%}$ (mm)	t (mm)	$D_{ext.}$ (m)
T-01	3,5	1,72	1	1437	0,85	6,98	7,12	8	3,461
T-02	3,5	1,76	1	1437	0,85	7,06	7,20	8	3,542
T-03	3,5	1,06	1	1437	0,85	5,66	5,77	6	2,123
T-04	3,5	0,44	1	1112	0,85	4,42	4,51	6	0,882
T-05	3,5	1,07	1	1437	0,85	5,68	5,79	5	2,146

b) Espesor mínimo de los cabezales: Para determinar este espesor lo primero que hay que conocer es el tipo de fondo que se va a utilizar. En nuestro caso, al ser depósitos de almacenamiento, se trata de fondos planos simples. Además, los techos serán fijos y autosoportados.

Todos los fondos construidos en base al código ASME son construidos en chapa a la cual se le da la forma mediante estampación en frío.

El diseño del fondo de los tanques de almacenamiento depende de las siguientes consideraciones:

- Los cimientos usados para soportar el tanque
- El método que se utilizará para desalojar el producto almacenado
- El grado de sedimentación de sólidos en suspensión
- La corrosión del fondo
- El tamaño del tanque.

Los fondos de tanques de almacenamiento cilíndricos verticales se fabrican generalmente de placas de acero con un espesor menor al usado en el cuerpo. Esto se debe a que se encuentran sobre una base de hormigón, arena o asfalto, que soportará el peso fluido. La resistencia permisible del suelo deberá ser por lo menos de 1,5 Kg/cm².

La plancha de metal debe ser capaz de soportar la flexión y la carga de compresión que se genera en la periferia del fondo por el peso del cuerpo que descansa sobre esta sección. Se usarán placas que tengan un espesor mínimo de 6 mm, excluyendo cualquier corrosión permisible especificada por el usuario. Considerando un sobreespesor por corrosión de un 1 mm, como en el diseño del cuerpo cilíndrico, el grosor debe ser de 7 mm.

Los techos se apoyan únicamente en su periferia, calculados y diseñados para que su forma geométrica, en combinación con el espesor mínimo requerido, absorban la carga generada por su propio peso más las cargas vivas, a diferencia de los techos soportados que contarán con una estructura que admita dichas cargas.

Las placas del techo tendrán un espesor mínimo de 5 mm. Añadiendo 1 mm de sobreespesor por corrosión, el espesor de los techos deberá ser de 6 mm. Todos los miembros estructurales internos y externos de los techos tendrán el mismo espesor.

En la siguiente tabla se exponen las principales características de diseño de los tanques:

Tanque	Vol (m3)	D ext. (m)	H (m)	Acero	t (mm)
T-01	64,22	3,461	6,89	AISI 304	8,00
T-02	68,89	3,542	7,05	AISI 304	8,00
T-03	14,78	2,123	4,22	AISI 304	6,00
T-04	1,04	0,882	1,74	AISI 304	5,00
T-05	15,30	2,146	4,27	AISI 304	6,00

8. DIMENSIONAMIENTO DE LAS CALDERAS DE VAPOR

8.1. Introducción

Como se ha ido viendo en el diseño de algunas unidades, la planta requiere disponer de vapor para que estas unidades puedan trabajar. Concretamente, estas unidades son:

- Esterilizador de corriente de entrada a los biorreactores.
- Evaporador de metanol para su recirculación a la planta de biodiesel.
- Evaporador-Esterilizador de la corriente de agua y ácido acético para la purificación de la corriente de 1,3-PDO.
- Evaporador de 1,3-PDO para su completa separación de la glicerina residual.
- Vapor para la calefacción de los fermentadores durante la reacción.
- Además, vapor para la esterilización de los fermentadores cuando estén vacíos

Para la generación de este vapor de calefacción, se instalarán en la planta dos calderas de vapor que estarán alimentada de biodiesel. Este biodiesel, vendrá de la planta de producción a partir de la cual parte el presente proyecto.

8.2. Caudales de generación de vapor

Se precisan dos calderas debido a que se necesita disponer de vapor en dos periodos de tiempo separados entre si por 14 horas, y porque además la necesidad de vapor en estos dos periodos son muy distintas, como se vera a continuación.

Para saber que tipos de calderas necesitamos, el primer paso es calcular los caudales totales de vapor que se necesita que suministren para que las cuatro unidades anteriores operen. Así pues, volviendo a los apartados de cálculo de estas unidades, encontramos de sus caudales de alimentación de vapor eran:

Evaporador 1: 440 kg/h	}	Caldera 1: 696 kg/h
Esterilizador: 142 kg/h		
Vapor calefacción reactores: 38 kg/h· 3 reactores		

Evaporador 2: 4576 kg/h } Caldera 2: 4689 kg/H
 Evaporador 3: 113 kg/h }

3. Elección de calderas

3.1. Caldera 1:

Para la producción máxima de 582 kg/h durante 5 horas (evaporador y esterilizador durante 3 horas cada uno, pero desfasados en una hora), y 114 kg/h durante 12 horas (los 3 fermentadores) la mejor caldera que se encontró en el mercado fue la **CERTUS tamaño 5**, capaz de producir hasta 850 kg/h de vapor. Una de las razones para esta caldera, es que este tipo de caldera modulares, poseen una adaptabilidad casi inmediata a la demanda de vapor, por lo que los tiempos de arranque y parada se reducen al máximo; por lo general se puede alcanzar la producción máxima de vapor en unos 5 minutos. Datos que esta caldera opera solo durante 5 horas a un rendimiento pleno, esta característica elimina los inconvenientes de operabilidad referentes al encendido y apagado frecuente que experimentará.

Sus datos técnicos principales son los siguientes:

Tamaño	Rendimientos			Etapas	Presiones		Consumo máx.			Dimensiones (~ mm)						
	Capacidad de vapor kgh	Rendimiento térmico kW	Carga nominal kW		presión de trabajo máx. MPa (bar)	presión máx. admisible MPa (bar)	Fuel-oil (extra ligero) kg/h	Gas natural m³/h	Gas licuado m³/h	Alto A	Ancho B	Largo C	Caldera Diam. D	Gas de comb. Diam. del tubo E	Gas de comb. (control) F	g. sp. d. i.
5	700	459	510	2	0,8-1,4-2,2-2,9 (8-14-22-29)	1,0-1,6-2,5-3,2 (10-16-25-32)	42,9	50,9	19,7	2290	1070	1835	870	300	1750	1100
	850	557	619				52,1	61,8	24,0							
6	1000	656	728	2	0,8-1,4-2,2-2,9 (8-14-22-29)	1,0-1,6-2,5-3,2 (10-16-25-32)	61,3	72,7	28,2	2535	1210	2020	1000	350	1940	1500
	1300	853	947				79,8	94,6	36,7							
7	1500	984	1093	2	0,8-1,4-2,2-2,9 (8-14-22-29)	1,0-1,6-2,5-3,2 (10-16-25-32)	92,0	109,1	42,3	2675	1350	2300	1100	500	2025	2300
	1800	1180	1311				110,4	130,9	50,8							

Se trata de una caldera pirotubular de dimensiones media, ideal para producciones de vapor sobresaturado media/baja como la nuestra. Sus elementos principales pueden observarse en la siguiente figura:



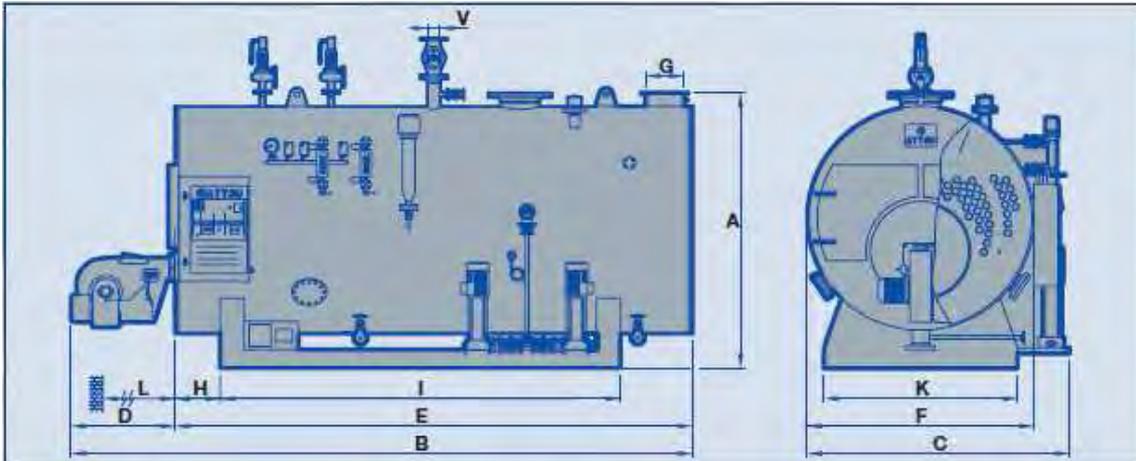
3.2. Caldera 2:

Para la generación de vapor sobresaturado a una producción máxima de 4689 kg/h se ha elegido la caldera ATTSU HH 5000. Igual que en el caso anterior, es una caldera pirotubular, pero de mayores dimensiones, ya que esta es una producción de vapor media-alta y trabajará durante más tiempo (13 h/ciclo).

Sus principales elementos y características técnicas se especifican en las siguientes figuras:



Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles



Presiones de trabajo estándar hasta Standard working pressures up to Pressions de travail standards jusqu'à Pressões de trabalho padrão até																
16 bar / 232 psi																
Caldera modelo Steam boiler model Chaudière modèle Caldeira modelo	HH	2.000	2.500	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000	
Producción de vapor Steam production Production de vapeur Produção de vapor	Kg/h	2.000	2.500	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000	
Potencia térmica útil Usable thermal power Prestation thermique utile Potência térmica útil	BHP	154	192	230	307	384	461	538	615	769	923	1.077	1.231	1.385	1.539	
	KW	1.516	1.895	2.274	3.034	3.793	4.551	5.307	6.065	7.584	9.101	10.614	12.136	13.652	15.167	
Consumo de combustible* Fuel consumption* Consommation de combustible* Consumo de combustível*	Gasóleo - Light Oil lts/h (0,22 kcal/kg)	141	176	211	281	351	421	491	561	700	840	980	1.120	1.260	1.400	
	Fuelóleo - Heavy Oil Kg/h (0,200 kcal/kg) (11,04 kcal/kg)	130	163	195	260	325	390	455	520	649	780	910	1.040	1.170	1.300	
Peso de transporte Transport weight Poids de transport Peso de transporte	Tm (Caldera de 0 bar)	9	10	11	14	16	18	22	26	30	36	40	44	48	54	
	mbar	4	5	6	8	9	11	10	12	13	13	14	16	19	22	
Sobrepresión hogar Superpressure furnace Súperpression foyer Sobrepresão for	mm.c.d.a.	40	50	60	80	90	110	100	120	130	130	140	160	190	220	
	kPa	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,0	1,2	1,3	1,3	1,4	1,6	1,9	2,2	
Dimensiones Dimensions Dimensions Dimensions	A	mm.	2.650	2.650	2.650	3.000	3.000	3.000	3.250	3.250	3.500	3.700	3.850	3.950	4.000	4.000
	B**	mm.	4.550	5.100	5.700	5.700	6.750	7.900	7.800	8.750	9.200	9.100	10.450	11.100	11.100	11.600
	C	mm.	2.575	2.575	2.575	2.900	2.900	2.900	3.000	3.000	3.400	3.550	3.650	3.800	4.000	4.000
	D**	mm.	900	900	1.000	1.000	1.000	1.100	1.200	1.400	1.400	1.400	2.000	2.000	2.000	2.000
	E	mm.	3.650	4.200	4.700	4.700	5.750	6.800	6.600	7.350	7.800	7.700	8.450	9.100	9.100	9.600
	F	mm.	2.100	2.100	2.100	2.450	2.450	2.450	2.650	2.650	2.900	3.100	3.200	3.350	3.500	3.500
	G	mm.	400	400	450	500	550	600	650	700	800	850	900	950	1.000	1.050
	H	mm.	300	300	300	500	500	500	500	500	650	650	650	650	650	650
	I	mm.	1.950	2.450	2.950	2.750	3.750	4.750	4.250	4.950	5.150	4.950	5.650	6.250	6.250	6.750
	K	mm.	1.550	1.550	1.550	1.850	1.850	1.850	2.050	2.050	2.300	2.350	2.450	2.650	2.650	2.650
L	mm.	2.700	3.200	3.700	3.600	4.600	5.600	5.300	6.000	6.300	6.100	6.800	7.400	7.400	7.900	
V _{para} P=	8 bar	DN 65	DN 65	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 200	DN 200	DN 200	DN 200
	10 bar	DN 65	DN 65	DN 65	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 200	DN 200	DN 200
	12 bar	DN 50	DN 65	DN 65	DN 80	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 150	DN 200
	14 bar	DN 50	DN 50	DN 65	DN 65	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 150
	16 bar	DN 50	DN 50	DN 50	DN 65	DN 65	DN 80	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150

3.3. Consumo de combustible

Un dato importante a tener en cuenta a la hora de operar con las calderas es el consumo de combustible que estas requieren, pues puede este ser un factor que puede hacer inviable su utilización, por motivos económicos. Como se ha dicho antes, el combustible de estas calderas será biodiesel, perfectamente utilizable en los quemadores, como el gasóleo.

Dado que esta planta está pensada como una ampliación de una planta de generación de biodiesel, este combustible se adquirirá directamente de ésta, eliminando así los costes de compra de combustible. No obstante, es preciso estimar la cantidad de biodiesel producido en la planta que será destinado a consumir en las calderas, para saber si su instalación es viable o no.

Para realizar esta estimación, supondremos que las calderas operan siempre a pleno rendimiento (caso más desfavorable), por lo que como consumo se usará el que el fabricante indica. Para la primera caldera, el fabricante especifica un consumo máximo de 52 kg/h de gasóleo. Se estima que la energía específica del biodiesel es un 10% menor que la del gasóleo, por lo que este consumo debe aumentarse en esa proporción aproximada. Así hablamos de alrededor de unos 57 kg/h.

Este consumo durante cinco horas por ciclo, en los 247 ciclos de 34 horas que se realizarán por año suponen:

$$\text{Consumo}(\text{kg} / \text{año}) : 57 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (5 + 12) \frac{\text{h}}{\text{ciclo}} \cdot 247 \text{ ciclos} = 239.343 \text{ l}$$

Ahora, para la segunda caldera se especifica un consumo máximo de gasoil de 351 l/h, unos 300 kg/h. Aumentando el consumo un 10%, resultan unos 330 kg/h. Realizando los mismos cálculos que antes, para 13 horas por ciclo:

$$\text{Consumo}(\text{kg} / \text{año}) : 330 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 13 \frac{\text{h}}{\text{ciclo}} \cdot 247 \text{ ciclos} = 1.059.630 \text{ l}$$

Es decir, que el consumo total aproximado de biodiesel será de unos 1300 Tn/año.

Partiendo de la corriente de glicerol crudo que tratamos, podemos calcular la cantidad de biodiesel que se produce en la planta de biocombustibles. Dado que la glicerina supone el 10% en masa de todo el biodiesel producido, y que nuestro glicerol crudo contiene un 60% de glicerina:

$$4000 \frac{\text{kg.G.crudo}}{\text{h}} \cdot 3 \frac{\text{h}}{\text{ciclo}} \cdot 247 \text{ ciclos} \cdot 0,6 \frac{\text{kg.glicerina}}{\text{kg.G.crudo}} \cdot \frac{1 \text{ kg.biodiesel}}{0,1 \text{ kg.glicerina}} = 17.784.000 \text{ kg.biodiesel}$$

Es decir, 17784 Tn/año. Entonces, el consumo de combustible en las calderas solo supondrá aproximadamente un 7,3% de la producción total de biodiesel, y se demuestra que la instalación de estos equipos es viable.

9. DISEÑO DE CONDUCCIONES

9.1. Introducción.

La norma elegida para dimensionar las conducciones de la planta será la del ANSI-B-36-10 para aceros al carbono (ver Gráfico 11 del Anexo Gráfico). En esta norma se establecen una serie de diámetros de conducciones y de Schedule (factor relacionado con el tipo de acero usado). En función de estas dos variables es posible determinar el espesor de la pared de la conducción y el peso de la misma.

9.2. Procedimientos de cálculo. Problemas encontrados.

El dimensionamiento consiste en determinar el diámetro y longitud de las conducciones. Para ello, una vez conocido el caudal volumétrico de corriente, el procedimiento de cálculo que se siguió inicialmente, fue tomar como factor de diseño la velocidad del fluido, asumiendo valores típicos de velocidad según el tipo de fluido de que se trata.

A partir del caudal y la velocidad asumida según estos valores típicos se conoce la sección de la tubería, y por tanto el diámetro interno. Una vez en este punto, se elige el diámetro externo de tubería normaliza según la norma ANSI, y a partir de su espesor podemos conocer el diámetro interno de la conducción.

Tras conocer estos datos, el paso siguiente en el diseño de las conducciones es determinar las pérdidas de carga que sufre el fluido por rozamiento al fluir. Esta variable nos permite después calcular la altura útil y la potencia útil necesaria de las bombas a instalar para hacer circular el fluido.

Es preciso indicar que, el diámetro de la conducción, la velocidad del fluido, las pérdidas de carga por rozamiento y la potencia requerida de la bomba son variables todas relacionadas directamente entre si; cuando disminuimos el diámetro de la conducción, la velocidad del fluido aumenta, aumentando el rozamiento y por tanto el consumo energético de bombeo. Es por ello que es preciso llegar a una situación de compromiso entre estas cuatro variables, haciendo que los costes de bombeo y los costes de instalación de tuberías (por tamaño de las mismas) estén equilibrados, de manera que ninguno resulte excesivamente pequeño o grande, pues produce el efecto contrario en el otro.

Esto último fue precisamente lo que se experimentó al realizar el diseño de las conducciones siguiendo el procedimiento de cálculo basado en las velocidades de flujo típicas. Las conducciones resultaban de diámetros muy pequeños, las pérdidas de carga muy altas, y por tanto la potencia de las bombas y su consumo energético era excesiva.

Se concluyó por tanto que este criterio de diseño no era el adecuado, y se buscaron otros procedimientos para realizar estos cálculos.

Los cálculos que se presentan a continuación, son siguiendo el mejor procedimiento alternativo que se encontró, que fue efectivo en el diseño de gran parte del diseño de las conducciones. No obstante, aun con este otro método, la situación descrita antes, siguió dándose en algunas conducciones. En estos casos tubo que recurrirse finalmente, al calculo de prueba para poder determinar un diámetro de conducción ideal, que permitiera encontrar una situación de equilibrio entre el diámetro de las conducciones y la potencia requerida de bombeo.

9.3. Diseño hidráulico y mecánico

El criterio inicial del diseño de las conducciones fue el cálculo del caudal ideal mediante las siguientes ecuaciones empíricas:

$$D_{opt} = 3,9 \cdot Q^{0,45} \cdot \rho^{0,13} \rightarrow Re > 2500$$

$$D_{opt} = 3 \cdot Q^{0,36} \cdot \mu^{0,18} \rightarrow Re < 2500$$

Donde:

Q= caudal (ft³/h)

ρ = densidad del fluido (lb/ft³)

μ = viscosidad del fluido (lb/ft·s)

D_{opt} = diámetro óptimo de conducción (in)

El procedimiento de los cálculos de diseño que se ha seguido es el siguiente:

1. Calculo del diámetro óptimo mediante la ecuación para Re superiores a 2500
2. Elección de las conducciones normalizadas ANSI adecuadas: Se elige la conducción de diámetro externo inmediatamente superior al valor de diámetro óptimo obtenido. A continuación, se resta el espesor normalizado de la conducción al diámetro externo, obteniendo el diámetro interno. Si este sigue siendo mayor que el óptimo, es valido. De lo contrario hay que elegir un diámetro externo superior y volver a calcular el diámetro interno.
3. Se determina la velocidad del fluido, mediante el caudal y la sección de la tubería.

$$v(m/s) = \frac{Q(m^3/s)}{S(m^2)}$$

4. Se calcula el Reynolds del fluido: $Re = \frac{v \cdot \rho \cdot d_{int}}{\mu}$

5. Si el Reynolds resulta mayor que 2500, la suposición inicial fue correcta y el cálculo ha terminado, a expensas de comprobar si existe la situación de equilibrio entre diámetro de conducción y pérdida de carga.

Si la suposición inicial no es correcta, comenzamos de nuevo el cálculo indicado, pero a partir de la expresión para Reynolds menores de 2500. Como antes, tras llegar al valor final de diámetro de conducciones, este queda sujeto a comprobar las pérdidas de carga del fluido en la conducción.

6. Una vez se ha encontrada la dimensión normalizada de conducción, hay que comprobar que el espesor de pared que esta nos indica es adecuado para las condiciones de operación de nuestras tuberías. Esto se hace determinando un espesor mínimo de pared mediante la expresión siguiente:

$$e_{\min} = \left(\frac{P_D \cdot D_{EXT}}{2 \cdot (S \cdot E + P_D \cdot Y)} + c \right) \cdot M$$

siendo:

e_{\min} = espesor mínimo (pulgadas)

P_D = Presión de diseño (psi)

D_{EXT} = Diámetro exterior de las tuberías

S = Tensión máxima admisible a la temperatura de diseño del acero al carbono A515. (psi) ($T_D = T + 20$) (ver Gráfico 13 del Anexo Gráfico)

E = factor de eficiencia de la soldadura, según el tipo de tubería, especificado en norma ASME B 31.3. Para tubos sin costura = 1

M = Tolerancia de fabricación. Para conducciones de acero sin costura = 1,125)

Y = Coeficiente dependiente del material y temperatura. Valores especificados en la norma ASME B 31.3 = 0,4 (ver Gráfico 12 del Anexo Gráfico)

c = sobre espesor por corrosión (in). Para aceros inoxidables de 0,8 a 1,5 mm y aceros al carbono de 1,5 a 3 mm.

Si es el espesor calculado es menor que el indicado en la norma ANSI, la conducción es adecuada. De lo contrario, hay que elegir una conducción con el espesor mínimo indicado, aun a costa de tener que aumentar el Schedule o diámetro de la conducción.

9.4. Pérdidas de carga

En el cálculo de la pérdida de carga hay que conocer la longitud de la conducción. En caso de tener ésta algún accesorio (válvulas, codos, estrechamientos, etc.) hay que determinar su longitud equivalente. Para ello se han utilizado los Gráficos 14 y 15 del Anexo de Gráficos. La longitud total será la suma de ambas.

El cálculo continúa determinando la rugosidad relativa de la conducción, en función del material de esta y su diámetro, mediante el Gráfico 16 del Anexo Gráfico.

Conocida la rugosidad relativa, se procede a calcular el Reynolds del flujo de la conducción, mediante la expresión siguiente.

$$Re = \frac{v \cdot \rho \cdot d_{int}}{\mu}$$

Para ello lo primero es determinar las viscosidades de las corrientes en función de la composición de cada corriente y temperatura. Esto se ha realizado recurriendo a datos bibliográficos que se presentan en los Gráficos 18 y 19 o en caso de estar disponibles, mediante gráficos o ecuaciones empíricas de estimación de esta propiedad como las que se presenta en el Gráfico 20 del Anexo Gráfico.

Calculados el Reynolds y la rugosidad relativa podemos obtener el factor de fricción $4f$, mediante el gráfico de Moody (Gráfico 17).

Finalmente, conocido el factor de fricción, podemos calcular la pérdida de carga que experimenta el fluido en la conducción como consecuencia del rozamiento, mediante la expresión:

$$h_{TOTAL} = (4f) \frac{L_T V^2}{D 2g} \quad \text{donde} \quad L_T = \sum L_{m,m} + \sum L_{m,A}$$

12.5. Tablas de cálculo

En la tabla siguiente puede observarse el proceso de cálculo de las variables implicadas en el diseño hidráulico y mecánico, que se ha explicado anteriormente. Como se observa, el cuadro tiene tres partes, encabezadas con distintos colores, que se explican a continuación:

- **Parte 1:** Corresponde al cálculo suponiendo para todas las conducciones un Re superior a 2500.
- **Parte 2:** Se recalculan las variables a partir de la ecuación del caudal óptimo para aquellos Re que hayan resultado menores de 2500.
- **Parte 3:** Se realizan los cálculos para aquellas conducciones en las que alguna variable ha fallado, produciendo pérdidas de carga no aceptables. En esta última parte del cuadro, se optimizó al máximo el diámetro de la conducción, de manera que las pérdidas de carga no fueran ínfimas, como ocurría con las conducciones que salían en un

principio (de mucho mayor diámetro y muy poca velocidad), o muy altas (de diámetro muy pequeño y muy alta velocidad)

Los números en rojo representan los valores no adecuados que nos llevan a volver a realizar el cálculo, ya sea porque:

- La suposición de Re mayor de 2500 no sea cierta
- La velocidad es demasiado baja resultando después las pérdidas de carga muy pequeñas. Esto es consecuencia de un diámetro de conducción excesivo.
- La velocidad es demasiado alta resultando después las pérdidas de carga muy altas. Es consecuencia de un diámetro de conducción muy pequeño.

Las celdas de la tabla coloreadas en verde indican aquellos diámetros de tubería normalizada adecuados que se elegirán para la instalación de la conducción en la planta. Serán, por tanto, las dimensiones que se tendrán en cuenta después para el cálculo de las pérdidas de carga del fluido en las conducciones.

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

Linea	μ (Pa·s)	ρ (kg/m ³)	Qv (m ³ /h)	D int optimo (in)	D int optimo (m)	D ext ANSI (mm)	Cedula	Esp ANSI (mm)	D int ANSI (m)	S (m ²)	v (m/s)	Re	D int optimo (in)	D int optimo (m)	D ext ANSI (mm)	Esp ANSI (mm)	D int ANSI (m)	S (m ²)	v (m/s)	Re	D ext ANSI (mm)	Esp ANSI (mm)	D int ANSI (m)	S (m ²)	v (m/s)	Re
L1	0,332	1137	3,38	43,23	1,098	1168,00	STD	9,53	1,149	1,04	0,0009	3	1,30	0,033	42,20	3,56	0,035	0,0010	0,971	117						
L2	0,001	908	0,002	0,58	0,015	13,70	STD	0,63	0,012	0,00	0,0046	61	0,03	0,001	10,30	1,73	0,007	0,0000	0,015	94						
L3																										
L3.1	0,467	1138	3,39	16,86	0,428	457,00	STD	9,53	0,438	0,15	0,0063	7	1,39	0,035	42,20	3,56	0,035	0,0010	0,974	83						
L3.2																										
L4																										
L4.1	0,429	1127	3,02	15,99	0,406	457,00	STD	9,53	0,438	0,15	0,0056	6	1,31	0,033	42,20	3,56	0,035	0,0010	0,868	80						
L4.2																										
L5.1																										
L5.2	0,262	1221	0,36	6,20	0,158	219,00	STD	8,18	0,203	0,03	0,0031	6	0,56	0,014	21,3	2,77	0,016	0,0002	0,513	38						
L6	0,000	793	0,72	8,01	0,204	273,10	STD	9,27	0,255	0,05	0,0039	2359	0,22	0,005	10,30	0,37	0,010	0,0001	2,786	62801	21,3	2,77	0,016	0,0002	1,03	38095
L7.1	0,039	1232	2,3	14,31	0,363	406,40	STD	9,53	0,387	0,12	0,0054	66	0,77	0,020	26,7	2,87	0,021	0,0003	1,852	1216	33,4	3,38	0,027	0,0006	1,15	957
L7.2	0,0339	1232	2,4	14,59	0,370	406,40	STD	9,53	0,387	0,12	0,0057	80	0,76	0,019	26,7	2,87	0,021	0,0003	1,932	1472						
L8	0,0192	1232	2,4	14,59	0,370	406,40	STD	9,53	0,387	0,12	0,0057	141	0,69	0,018	26,7	2,87	0,021	0,0003	1,932	2599						
L9	0,0002	1232	2,4	14,59	0,370	406,40	STD	9,53	0,387	0,12	0,0057	13499									101,6	5,74	0,090	0,006	0,10	58020
L10	0,0169	1232	2,4	14,59	0,370	406,40	STD	9,53	0,387	0,12	0,0057	160	0,67	0,017	26,7	2,87	0,021	0,0003	1,932	2952						
L11																										
L11.1	0,3377	1232	2,4	14,59	0,370	406,40	STD	9,53	0,387	0,12	0,0057	8	1,16	0,029	42,2	3,56	0,035	0,0010	0,690	88						
L11.2																										
L11.3																										
L12.1																										
L12.2	0,001	1004	2,5	14,47	0,367	406,40	STD	9,53	0,387	0,12	0,0059	2292									101,6	5,74	0,090	0,006	0,11	9851
L12.3																										
L13.1																										
L13.2	0,001	1000	14,8	32,19	0,818	864,00	STD	9,53	0,845	0,56	0,0073	6195									101,6	5,74	0,090	0,006	0,64	58083
L13.3																										

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

Linea	μ (Pa·s)	ρ (kg/m ³)	Qv (m ³ /h)	D int optimo (in)	D int optimo (m)	D ext ANSI (mm)	Cedula	Esp ANSI (mm)	D int ANSI (m)	S (m ²)	v (m/s)	Re	D int optimo (in)	D int optimo (m)	D ext ANSI (mm)	Esp ANSI (mm)	D int ANSI (m)	S (m ²)	v (m/s)	Re	D ext ANSI (mm)	Esp ANSI (mm)	D int ANSI (m)	S (m ²)	v (m/s)	Re
L14	0,0028	1009	19,7	36,65	0,931	965,00	STD	9,53	0,946	0,70	0,0078	2616								101,6	5,74	0,090	0,006	0,86	27464	
L14.1																										
L14.2																										
L14.3																										
L15	0,002	1006	19,4	36,38	0,924	965,00	STD	9,53	0,946	0,70	0,0077	3648								101,6	5,74	0,090	0,006	0,84	38296	
L16	0,0897	1140	0,32	5,83	0,148	168,30	STD	7,11	0,154	0,02	0,0048	9	0,44	0,011	21,3	2,77	0,016	0,0002	0,456	91						
L17	0,013	1080	0,19	4,58	0,116	219,00	STD	8,18	0,203	0,03	0,0016	28	0,26	0,007	10,30	1,73	0,007	0,0000	1,436	816	17,1	2,31	0,012	0,0001	0,43	447
L18	0,0019	1005	19,2	36,21	0,920	965,00	STD	9,53	0,946	0,70	0,0076	3797								101,6	5,74	0,090	0,006	0,84	39857	
L19.1	0,0008	1000	4,48	18,80	0,478	508,00	STD	9,53	0,489	0,19	0,0066	4051								101,6	5,74	0,090	0,006	0,20	21977	
L19.2	0,0008	1000	0,78	8,56	0,217	273,10	STD	9,27	0,255	0,05	0,0043	1355	0,26	0,007	10,30	1,73	0,007	0,0000	5,896	50415	17,1	2,31	0,012	0,00012	1,77	27631
L19.3	0,0008	1000	3,69	17,23	0,438	508,00	STD	9,53	0,489	0,19	0,0055	3336								101,6	5,74	0,090	0,006	0,16	18102	
L20	0,0019	1005	4,8	19,40	0,493	508,00	STD	9,53	0,489	0,19	0,0071	1837	0,58	0,015	21,3	2,77	0,016	0,0002	6,835	56978	33,4	3,38	0,027	0,001	2,39	33708
L21	0,0003	1051	0,31	5,69	0,144	168,00	STD	7,11	0,154	0,02	0,0046	2498	0,16	0,004	10,30	1,73	0,007	0,0000	2,343	56156	13,7	2,24	0,009	0,0001	1,29	41660
L22	0,022	1038	0,29	5,51	0,140	168,00	STD	7,11	0,154	0,02	0,0043	31	0,33	0,008	10,30	1,73	0,007	0,0000	2,192	707	17,10	2,31	0,012	0,0001	0,66	387,76
L23	0,0002	1260	0,023	1,81	0,046	60,30	STD	3,91	0,052	0,00	0,0030	977	0,06	0,001	10,30	1,73	0,007	0,0000	0,174	7492						
L24	0,0002	1260	0,092	3,37	0,086	101,60	STD	5,74	0,090	0,01	0,0040	2275	0,09	0,002	10,30	1,73	0,007	0,0000	0,695	29970						
L25.1	0,00001	0,91	409,1	57,68	1,465	1219,00	STD	9,53	1,200	1,13	0,1005	12217														
L25.2																										
L25.3																										

Como vemos en la tabla siguiente, todos los espesores de las tuberías seleccionadas superan los espesores mínimos exigidos, por lo que estas conducciones son adecuadas para ser instaladas.

Línea	Presión diseño (kg/cm ²)	S (kg/cm ²)	E	Y	D ext (mm)	c (mm)	M (psi)	e min (in)	e min (mm)
L1	3,5	1438	1	0,4	42,2	1	1,125	0,05	1,18
L2	3,5	1438	1	0,4	10,3	1	1,125	0,04	1,14
L3, L3.1, L3.2	3,5	1438	1	0,4	42,2	1	1,125	0,05	1,18
L4, L4.1, L4.2	3,5	1438	1	0,4	42,2	1	1,125	0,05	1,18
L5.1, L5.2	3,5	1438	1	0,4	21,3	1	1,125	0,05	1,15
L6	3,5	1275	1	0,4	17,1	1	1,125	0,05	1,15
L7.1, L7.2	3,5	1275	1	0,4	26,7	1	1,125	0,05	1,17
L8	6,1	1275	1	0,4	26,7	1	1,125	0,05	1,20
L9	6,1	1122	1	0,4	101,6	1	1,125	0,06	1,44
L10	6,1	1275	1	0,4	26,7	1	1,125	0,05	1,20
L11, L11.1, L11.2, L11.3	3,5	1438	1	0,4	42,2	1	1,125	0,05	1,18
L12.1, L12.2, L12.3	3,5	1438	1	0,4	101,6	1	1,125	0,05	1,26
L13.1, L13.2, L13.3	3,5	1438	1	0,4	101,6	1	1,125	0,05	1,26
L14, L14.1, L14.2, L14.3	3,5	1438	1	0,4	101,6	1	1,125	0,05	1,26
L15	3,5	1438	1	0,4	101,6	1	1,125	0,05	1,26
L16	3,5	1438	1	0,4	17,1	1	1,125	0,05	1,15
L17	3,5	1438	1	0,4	10,3	1	1,125	0,04	1,14
L18	3,5	1438	1	0,4	101,6	1	1,125	0,05	1,26
L19.1, L19.2, L19.3	3,5	1438	1	0,4	101,6	1	1,125	0,05	1,26
L20	3,5	1438	1	0,4	10,3	1	1,125	0,04	1,14
L21	3,5	1275	1	0,4	33,4	1	1,125	0,05	1,18
L22	3,5	1122	1	0,4	10,3	1	1,125	0,05	1,14
L23	3,5	1122	1	0,4	10,3	1	1,125	0,05	1,14
L24	3,5	1122	1	0,4	10,3	1	1,125	0,05	1,14
L25.1, L25.2, L25.3	3,5	1438	1	0,4	1219,0	1	1,125	0,11	2,79

Para la tabla siguiente, de cálculos de perdidas de carga, se tendrán pues en cuenta los datos situados en las celdas verdes, que son los optimizados para unas perdidas de carga y dimensiones adecuadas.

En ella se indican las longitudes de las conducciones, los accesorios que llevarán instalados, y la longitud equivalente final. Además se expone los valores de densidad y viscosidad, la rugosidad relativa, y el factor de fricción 4f. La última casilla, indica el resultado de pérdida de carga en m.c.a. (metros de columna de agua).

Para el cálculo de las viscosidades, se ha tenido que recurrir a numerosa bibliografía, ya que nuestras corrientes se encuentran varias distintas temperaturas, y como sabemos, esta propiedad es fuertemente dependiente de la temperatura, y en la planta hay temperaturas desde 25 a 150°C.

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

Linea	D.int ANSI (mm)	Dint (in)	Vel.flujo (m/s)	L(m)	Válvula	Leq (m)	Codo	Leq (m)	Ltotal	μ (Pa·s)	ρ (kg/m ³)	Re	ϵ/D	4f	hf (m)
L1	35	1,38	1,012	14			90°	1,08	15,08	0,3321	1137	122	0,0014	0,1	2,251
L2	7	0,28	0,015	2					2,00	0,001	908	67	0,0018	0,1	0,0003
L3	35	1,38	0,974	2	3 vías	1,61			3,61	0,4675	1138	83	0,0014	0,1	0,499
L3.1	35	1,38	0,974	2			90°	1,08	3,08	0,4675	1138	83	0,0014	0,1	0,426
L3.2	35	1,38	0,974	2			90°	1,08	3,08	0,4675	1138	83	0,0014	0,1	0,426
L4	35	1,38	0,868	3	3 vías	1,61			4,61	0,4295	1127	80	0,0014	0,1	0,506
L4.1	35	1,38	0,868	2			90°	1,08	3,08	0,4295	1127	80	0,0014	0,1	0,338
L4.2	35	1,38	0,868	2			90°	1,08	3,08	0,4295	1127	80	0,0014	0,1	0,338
L5.1	16	0,63	0,513	9			90°	0,45	9,45	0,2616	1221	38	0,0018	0,1	0,793
L5.2	16	0,63	0,513	8,5					8,50	0,2616	1221	38	0,0018	0,1	0,713
L6	16	0,63	1,03	14			90°	0,37	14,37	0,0003	793	48108	0,0018	0,026	1,264
L7.1	27	1,06	1,15	4,5	3 vías	0,85			5,35	0,0393	1232	1216	0,0016	0,05	0,668
L7.2	21	0,83	1,932	1,5					1,50	0,0339	1232	1472	0,0016	0,06	0,816
L8	21	0,83	1,932	4			90°	0,60	4,60	0,0192	1232	2599	0,0016	0,025	1,043
L9	90	3,54	0,1	10			90°	2,70	15,70	0,0002	1232	50020	0,0005	0,023	0,002
L10	21	0,83	1,932	6,5			90°	0,60	7,10	0,0169	1232	2952	0,0016	0,021	1,352
L11	35	1,38	0,69	3	4 vías	5			8,00	0,3377	1232	88	0,0014	0,1	0,555
L11.1	35	1,38	0,69	7					7,00	0,3377	1232	88	0,0014	0,1	0,486
L11.2	35	1,38	0,69	8					8,00	0,3377	1232	88	0,0014	0,1	0,555
L11.3	35	1,38	0,69	12					12,00	0,3377	1232	88	0,0014	0,1	0,833
L12.1	90	3,54	0,11	8					8,00	0,001	1004	9851	0,0005	0,029	0,002
L12.2	90	3,54	0,11	7					7,00	0,001	1004	9851	0,0005	0,029	0,001
L12.3	90	3,54	0,11	10,5					10,50	0,001	1004	9851	0,0005	0,029	0,002
L13.1	90	3,54	0,62	9,5					9,50	0,001	1000	55728	0,0005	0,021	0,043
L13.2	90	3,54	0,62	7					7,00	0,001	1000	55728	0,0005	0,021	0,032
L13.3	90	3,54	0,62	7					7,00	0,001	1000	55728	0,0005	0,021	0,032
L14	90	3,54	0,83	4,5	4 vías	12,5	90°	1,95	17,00	0,0028	1009	26655	0,0005	0,023	0,153
L14.1	90	3,54	0,83	14					14,00	0,0028	1009	26655	0,0005	0,023	0,126
L14.2	90	3,54	0,183	11,5					11,50	0,0028	1009	26655	0,0005	0,023	0,005
L14.3	90	3,54	0,83	9,5					9,50	0,0028	1009	26655	0,0005	0,023	0,085
L15	90	3,54	0,82	4					4,00	0,002	1006	37112	0,0005	0,023	0,035
L16	16	0,63	0,456	18			90°	0,37	18,37	0,0897	1140	115	0,0018	0,1	1,218
L17	12	0,47	0,98	9					9,00	0,013	1080	1012	0,0018	0,02	0,735
L18	90	3,54	0,8	2					2,00	0,0019	1005	38134	0,0005	0,022	0,016
L19.1	90	3,54	0,19	10			1X90°	1X2,70	12,70	0,0008	1000	20996	0,0005	0,022	0,006
L19.2	12	0,47	1,66	2	3 vías	0,44			2,44	0,0008	1000	2586	0,0018	0,017	0,486
L19.3	90	3,54	0,16	30			2x90°	2x2,70	35,40	0,0008	1000	18102	0,0018	0,017	0,009
L20	27	1,06	2,29	2,5					2,50	0,0019	1005	32233	0,0018	0,027	0,669
L21	9	0,35	1,29	4					4,00	0,0003	1051	40178	0,0018	0,027	1,019
L22	12	0,47	0,66	3					3,00	0,022	1038	506	0,0018	0,1	0,556
L23	7	0,28	0,089	8					8,00	0,0002	1260	5361	0,0018	0,038	0,018
L24	7	0,28	0,356	23	3 vías	0,44			23,44	0,0002	1260	21443	0,0018	0,036	0,779
L25.1	1200	47,17	0,1005	5					5,00	9E-06	0,91	5356	3E-05	0,038	0,00008
L25.2	1200	47,17	0,1005	5					5,00	9E-06	0,91	5356	3E-05	0,038	0,00008
L25.3	1200	47,17	0,1005	5					5,00	9E-06	0,91	5356	3E-05	0,038	0,00008

12.6. Unión y soporte de las conducciones

Todas las uniones presentes en el sistema de conducciones (entre tuberías, accesorios y válvulas) se realizarán mediante bridas normalizadas para nuestras conducciones. La unión entre la brida y la conducción se realizará mediante una unión roscada.

Los soportes de las conducciones deben de estar colocados a unas distancias máximas, especificadas por la norma UNE 100.152/88, que se expone en la siguiente tabla:

DISTANCIAS MAXIMAS ENTRE SOPORTES TUBERIAS DE ACERO				
DN mm	HORIZONTALES			VERTICALES
	DISTANCIA m	TENSION Mpa	PENDIENTE mm/m	
10	1.5	9.0	3.2	UN SOPORTE POR PLANTA
15	1.7	8.8	2.8	
20	1.9	8.8	2.5	
25	2.1	8.7	2.2	
32	2.4	8.8	2.0	
40	2.5	9.0	1.9	
50	2.8	9.0	1.7	
65	3.1	9.3	1.5	
80	3.4	9.2	1.4	
100	3.8	9.5	1.3	
125	4.1	9.8	1.2	
150	4.4	10.2	1.1	
200	4.9	11.0	1.0	
250	5.3	11.3	0.9	
300	5.8	11.5	0.8	
350	6.0	11.9	0.8	
400	6.4	11.9	0.8	
450	6.6	12.4	0.7	
500	6.8	12.9	0.7	
550	7.1	13.3	0.7	
600	7.6	12.6	0.6	

NORMA UNE 100.152/88

12.7. Aislamiento térmico

Será necesario aislar térmicamente varias líneas de conducciones para que no pierda el calor de las corrientes durante su flujo por las tuberías, llevando a pérdidas energéticas. Además, el aislamiento no solo aumentara la eficiencia energética, sino que además nos proporcionará otras ventajas. En general los beneficios de un aislamiento como el que precisamos son:

- Conservar la energía invertida en el acondicionamiento del fluido evitando las pérdidas o a su vez las ganancias de calor
- Reduce proporcionalmente los costos de operación.
- Evita los riesgos potenciales como las quemaduras e incendios, controlando y regulando la temperatura superficial.
- Disminuye y controla el ruido que provocan los equipos industriales.
- Protege al personal que esta en operación

Este aislamiento térmico será necesario en todas las líneas que transportan vapor proveniente de la caldera, es decir, las líneas V1, V2, V3 y V4, para no que el vapor no pierda temperatura.

Además se aislaran las siguientes líneas:

- **L23, L24, L7.1, L7.2, L8, L9:** La pérdida de calor en cualquiera de estas líneas va en detrimento del consumo energético en el esterilizador. En él, la corriente debe alcanzar los 140°C, y cuanto menos calor se disipe en todas estas corrientes, mas caliente llegara el fluido, reduciendo el consumo de vapor en el esterilizador.
- **L21:** La corriente de salida del evaporador 2 se dirige al evaporador 3, donde se evaporará el 1,3-PDO, para lo que se necesita un aporte de calor aun mayor. Si se disipa calor en esta conducción, el fluido llegará menos caliente al evaporador 3, y se necesitará mas vapor en él para llevar a cabo la evaporación.

La máxima temperatura que soportaran las conducciones son 150°C, que es la temperatura a la que el vapor sobresaturado sale de la caldera de vapor. Por tanto el aislante térmico debe también soportar esta temperatura, sin sufrir daños o alteraciones.

Se ha elegido como aislante térmico el modelo HT/Armaflex de la empresa especialista en este tipo de productos Armacell. Este aislante esta producido con espuma elastomérica de base de caucho EPDM y esta indicado para instalaciones industriales como la nuestra.

10. DISEÑO DE BOMBAS

Para que se pueda realizar el transporte de las corrientes de fluido por las conducciones de la planta es necesario disponer bombas que permitan vencer las diferencias de presión, altura o velocidad que se dan a lo largo de las conducciones.

Para determinar la bomba que se precisa en cada línea de tuberías, lo primero es determinar la pérdida de carga debido al rozamiento y a los accesorios instalados en ella. Esto ha sido calculado el capítulo previo de diseño de conducciones.

Por tanto, en este apartado se van a determinar la altura útil ($H_{\text{útil}}$) y la potencia requerida de la bomba, parámetros fundamentales para la elección de las bombas.

10.1. Cálculo de la altura útil

La altura útil es la energía que la bomba debe transmitir al fluido para hacerlo fluir por las conducciones. Ésta depende de ciertas variables del fluido, y de las condiciones en las que queremos que este fluya por la conducción. Se puede calcular mediante la Ecuación de Bernuilli:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + H_{\text{útil}} = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + H_{1 \rightarrow 2}$$

$$H_{\text{útil}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + H_{2 \rightarrow 1}$$

siendo:

$P_2 - P_1$ = diferencia de presión entre la salida y la entrada de la conducción (Pa)

$z_2 - z_1$ = diferencia de altura entre la salida y la entrada de la conducción (m)

$v_2^2 - v_1^2$ = diferencia de velocidad entre salida y entrada de la conducción (m/s)

$H_{1 \rightarrow 2}$ = pérdidas de carga entre la salida y entrada de la conducción

ρ = densidad del fluido (kg/cm³)

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

$H_{\text{útil}}$ = altura útil de la bomba (m.c.a. = metros de columna de agua)

En el diagrama de flujo de la planta aparecen todas las conducciones y bombas que se instalarán numeradas cada una de ellas. En base a esto, las variables y resultados correspondientes a la altura útil se exponen en la tabla siguiente:

	ρ (Kg/cm ³)	hf	Punto	P (Pa)	v (m/s)	z (m)	H útil (m)
B1	1137	2,251	1	101325	1,5	0	2,251
			2	101325	1,5	0	
B2	908	0,0003	3	101325	1,5	0	0,0003
			4	101325	1,5	0	
B3	1138	0,499	5	101325	1,5	0	0,499
			6	101325	1,5	0	
B4	1127	0,506	7	101325	1,5	0	0,506
			8	101325	1,5	0	
B5.1	1221	0,793	9	101325	1,5	0	5,013
			10	101325	1,5	4,22	
B5.2	1221	0,713	11	101325	1,5	0	4,933
			12	101325	1,5	4,22	
B6	793	1,264	15	101325	2	0	1,264
			16	101325	2	0	
B7.1	1232	0,668	13	101325	1,5	0	0,668
			14	101325	1,5	0	
B7.2	1232	0,816	15	101325	1,5	0	25,993
			16	405300	1,5	0	
B8	1232	1,043	17	405300	1,5	0	1,043
			18	405300	1,5	0	
B9	1232	0,001	19	405300	1,5	0	0,001
			20	405300	1,5	0	
B10	1232	1,352	21	405300	1,5	0	1,352
			22	405300	1,5	0	
B11	1232	0,833	23	405300	1,5	0	- 17,484
			24	101325	1,5	6,86	
B12.1	1004	0,002	29	101325	2	0	6,862
			30	101325	2	6,86	
B12.2	1004	0,001	31	101325	2	0	6,861
			32	101325	2	6,86	
B12.3	1004	0,002	33	101325	2	0	6,862
			34	101325	2	6,86	

	ρ (Kg/cm ³)	hf	Punto	P (Pa)	v (m/s)	z (m)	H útil (m)
B13.1	1000	0,043	35	101325	2	0	6,903
			36	101325	2	6,86	
B13.2	1000	0,032	37	101325	2	0	6,892
			38	101325	2	6,86	
B13.3	1000	0,032	39	101325	2	0	6,892
			40	101325	2	6,86	
B14	1009	0,153	41	101325	2	0	0,153
			42	101325	2	0	
B15	1006	0,035	45	101325	2	0	0,035
			46	101325	2	0	
B16	1140	1,218	43	101325	2	0	5,438
			44	101325	2	4,22	
B17	1080	0,735	47	101325	2	0	4,955
			48	101325	2	4,22	
B18	1005	0,016	49	101325	2	0	7,066
			50	101325	2	7,05	
B19.1	1000	0,022	51	101325	2	0	6,912
			52	101325	2	6,89	
B19.2	1000	0,486	53	101325	2	0	0,486
			54	101325	2	0	
B20	1005	0,669	55	101325	2	0	0,669
			56	101325	2	0	
B21	1051	1,019	57	52689	1,5	0	1,019
			58	52689	1,5	0	
B22	1038	0,556	59	13172	1,5	0	13,492
			60	101325	1,5	4,27	
B23	1261	0,018	61	13172	1,5	0	8,891
			62	101325	1,5	1,74	
B24	1261	0,779	63	101325	1,5	0	0,779
			64	101325	1,5	0	

Hay que aclarar que en el caso de la bomba B11, el resultado de la $H_{\text{útil}}$ es negativo debido a que la presión de salida del fluido de la conducción es menor que la presión a la que entra. De ello se deduce que el fluido puede circular de forma libre sin ayuda de una bomba que lo impulse. No obstante, a pesar de no ser necesaria una bomba para hacer circular el fluido, se instalara una que nos permita regular el caudal.

Además, puede observarse que las líneas 25.1, 25.2 y 25.3 no tienen instaladas bomba alguna. Estas son las conducciones de evacuación de los gases generados durante la fermentación. Debido a su condición gaseosa estos fluirán libremente por las conducciones hacia al exterior, lo que se evidencia además, de las reducidas perdidas de carga que se producen en la conducción, tal y como se veía en el apartado de diseño de conducciones.

10.2. Cálculo de la potencia útil

Tras determinar la altura útil de la bomba, se calcula su potencia útil mediante la expresión:

$$P_{\text{útil}} = Q_v \cdot \rho \cdot g \cdot H_{\text{útil}}$$

siendo:

$P_{\text{útil}}$ = Potencia útil de la bomba(KW)

Q_v = Caudal volumétrico (m^3/s)

ρ = densidad del fluido

g = aceleración gravedad (m/s^2)

$H_{\text{útil}}$ = altura útil de la bomba (m.c.a.)

En la siguiente tabla se muestran todos los datos y resultados relativos al cálculo de la potencia útil de las bombas de la planta:

	ρ (Kg/m ³)	H util (m.c.a.)	H util (MPa)	Qv (m ³ /h)	Putil (KW)
B1	1137	2,25	0,022	3,516	88,19
B2	908	0,0003	0,000003	0,0026	0,000007
B3	1138	0,499	0,005	3,387	18,85
B4	1127	0,506	0,005	3,022	16,89
B5.1	1221	5,013	0,049	0,366	21,95
B5.2	1221	4,933	0,048	0,366	21,60
B6	793	1,264	0,012	0,715	7,02
B7.1	1232	0,668	0,007	2,305	18,59
B7.2	1232	25,993	0,255	2,396	751,93
B8	1232	1,043	0,010	2,396	30,17
B9	1232	0,001	0,000	2,396	0,03
B10	1232	1,352	0,013	2,396	39,11
B11	1232	-17,484	-0,171	2,396	-505,78
B12.1	1004	6,862	0,067	2,5	168,79
B12.2	1004	6,861	0,067	2,5	168,77
B12.3	1004	6,862	0,067	2,5	168,79
B13.1	1000	6,903	0,068	14,2	960,62
B13.2	1000	6,892	0,068	14,2	959,09
B13.3	1000	6,892	0,068	14,2	959,09
B14	1009	0,153	0,001	19,12	28,93
B15	1006	0,035	0,000	18,88	6,51
B16	1140	5,483	0,054	0,321	19,66
B17	1080	4,955	0,049	0,43	22,55
B18	1005	7,066	0,069	18,37	1278,42
B19.1	1000	0,022	0,000	4,281	0,92
B19.2	1000	0,486	0,005	0,731	3,48
B19.3	1000	6,899	0,068	3,69	249,48
B20	1005	0,669	0,007	4,592	30,26
B21	1051	1,019	0,010	0,312	3,27
B22	1038	13,492	0,132	0,289	39,66
B23	1261	8,891	0,087	0,023	2,53
B24	1261	0,799	0,008	0,092	0,91

Como en el apartado anterior, el signo negativo de la potencia de la bomba B11 solo indica que el fluido circule por esa conducción no sería necesario instalar una bomba.

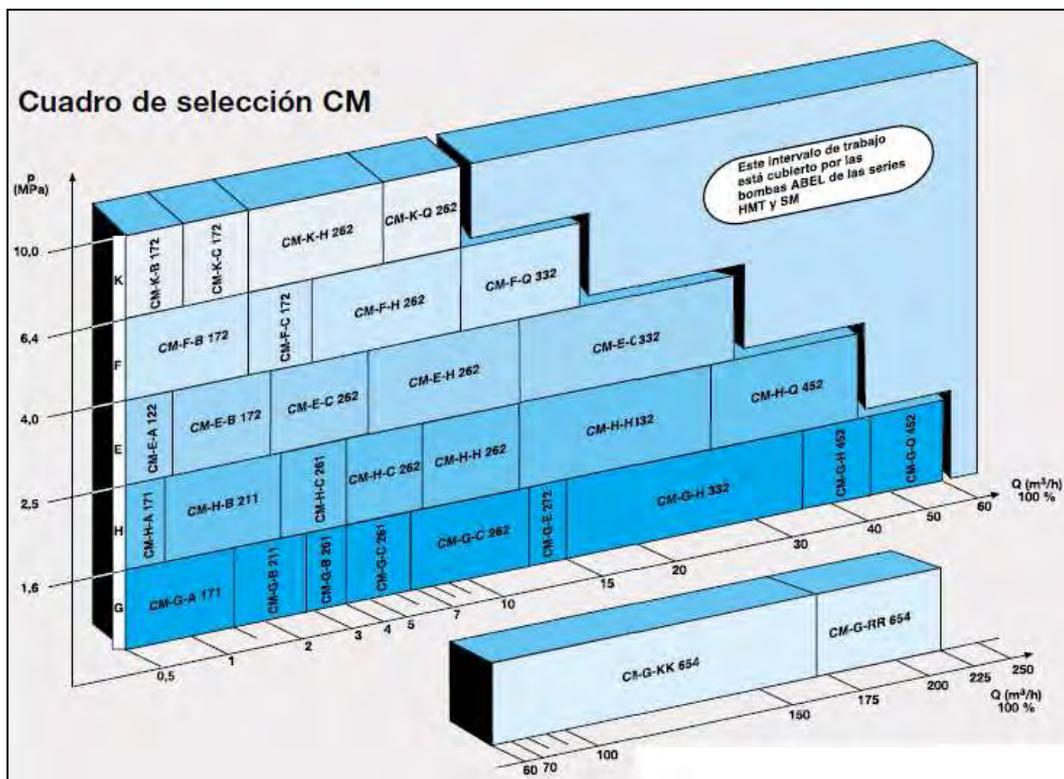
10.3. Selección de bombas

Las bombas que se instalarán en la planta serán bombas compactas de membrana. Se ha elegido bombas de membrana debido a las siguientes características:

- Tienen buen funcionamiento en el bombeo de fluidos viscosos (como las corrientes que contiene glicerina)
- Tienen buen funcionamiento en el bombeo de caldos de fermentación y lodos.
- No tienen sellos mecánicos ni partes rotatorias, por lo que su mantenimiento es sencillo y reducido
- Poseen un diseño sencillo pero robusto al mismo tiempo
- No requieren de controles complejos para su funcionamiento

El suministrador de estas bombas será la empresa ABEL Equipos S.A. y la elección del modelo de bomba depende del caudal de fluido y de la presión que la bomba debe ejercer para impulsarlo.

El siguiente grafico extraído del catalogo de Bombas Compactas de Membrana de la empresa nos permite seleccionar el modelo adecuado para cada línea de fluido. Esta selección se muestra en el cuadro siguiente.



	H util (MPa)	Qv (m ³ /h)	Modelo ABEL
B1	0,022	3,516	CM-G-B 261
B2	0,000003	0,0026	CM-G-A 171
B3	0,005	3,387	CM-G-B 261
B4	0,005	3,022	CM-G-B-261
B5.1	0,049	0,366	CM-G-A 171
B5.2	0,048	0,366	CM-G-A 171
B6	0,012	0,715	CM-G-A 171
B7.1	0,007	2,305	CM-G-B 211
B7.2	0,255	2,396	CM-G-B 211
B8	0,010	2,396	CM-G-B 211
B9	0,000	2,396	CM-G-B 211
B10	0,013	2,396	CM-G-B 211
B11	-0,171	2,396	CM-G-B 211
B12.1	0,067	2,5	CM-G-B 211
B12.2	0,067	2,5	CM-G-B 211
B12.3	0,067	2,5	CM-G-B 211
B13.1	0,068	14,2	CM-G-H 332
B13.2	0,068	14,2	CM-G-H 332
B13.3	0,068	14,2	CM-G-H 332
B14	0,001	19,12	CM-G-H 332
B15	0,000	18,88	CM-G-H 332
B16	0,054	0,321	CM-G-A 171
B17	0,049	0,43	CM-G-A 171
B18	0,069	18,37	CM-G-H 332
B19.1	0,068	4,281	CM-G-C 261
B19.2	0,005	0,731	CM-G-A 171
B19.3	0,068	3,69	CM-G-C 261
B20	0,007	4,592	CM-G-C 261
B21	0,010	0,312	CM-G-A 171
B22	0,132	0,289	CM-G-A 171
B23	0,087	0,023	CM-G-A 171
B24	0,008	0,092	CM-G-A 171

ANEXO N° 2:

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

20. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

20.1. INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene la finalidad de clarificar los aspectos más importantes relacionados con la seguridad, y establecer los elementos principales que deben existir en la planta una vez construida, para asegurar la seguridad en el trabajo.

Debido a las sus características intrínsecas y a la de los equipos instalados, la planta debe cumplir una serie de normas generales, aplicables a la gran mayoría de plantas químicas o de procesos. Estas normas vienen fijadas en la siguiente legislación, que será de obligado cumplimiento en la planta:

- Ley 31/1995. Prevención de Riesgos Laborales
- Real Decreto 39/1997. Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 486/1997. Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo
- Real Decreto 485/1997. Disposiciones mínimas en materia de Señalización de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Norma UNE-1063. Señalización de fluidos que circulan por tuberías
- Real Decreto 773/1997. Disposiciones mímicas de Seguridad y Salud relativas a la utilización por los trabajadores de Equipos de Protección Individual.
- Real Decreto 1215/1997. Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 487/1997. Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud relativas a la manipulación manual de cargas.
- Real Decreto 374/2001. Protección de la Salud y Seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- Real Decreto 379/2001. Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.

- Real Decreto 664/1997. Protección de los trabajadores contra riesgos relacionados con la Exposición a Agentes Biológicos durante el trabajo.
- Real Decreto 614/2001. Disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 2267/2004. Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales.
- Real Decreto 2060/2008. Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Real Decreto 286/2006. Protección de la Salud y la Seguridad de los trabajadores frente a Riesgos relacionados con la Exposición al Ruido.
- Real Decreto 488/1997. Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud, relativas al trabajo con pantallas de visualización.

20.2. FACTORES DE RIESGO Y MEDIDAS PREVENTIVAS

En este apartado se identifican los factores de riesgos que existen en la planta, y se especifican las medidas adecuadas para prevenir accidentes consecuencia de ellos.

Las medidas de prevención indicadas se deben elegir y disponer siempre respetando la prioridad de la seguridad colectiva antes que la seguridad de los individuos.

Además, la gestión del riesgo en el sistema de prevención debe estar basada siempre según la siguiente prioridad:

- 1º. Eliminación del riesgo
- 2º. Reducción o control del riesgo
- 3º. Protección del trabajador

Factor de riesgo	Medidas de prevención
Manejo de maquinaria y equipos industriales	Formación
	Señalización
	Balización y separación
Ruido producido por los equipos de la planta	Equipos de protección individuales (protección auditiva)
Manejo de cargas pesadas	Formación
	Equipos para manejo de cargas (carretillas, grúas, eslingas,...)
Trabajos repetitivos	Cambio de tareas por periodo de tiempo
Manipulación de productos peligrosos (metanol)	Formación
	Equipos de protección individuales
	Medidas antiincendio/explosión
	Aislamiento/separación de la zona
Circulación de vehículos (recogida residuos y productos y manejo cargas)	Formación conductores
	Señalización y balizamiento
Corriente eléctrica	Formación
	Intervención de solo personal autorizado
	Separación/aislamiento
	Equipos de protección individual
	Medidas antiincendio/explosión
Altas temperaturas en equipos	Equipos de protección individual
	Separación/aislamiento
	Medidas antiincendio/explosión
	Sistemas de Prev. específicos (control de T, alarmas,...)
Altas presiones en equipos	Equipos de protección individual
	Separación/aislamiento
	Medias antiincendio/explosión
	Sistemas de Prev. específicos (alivio de P, alarmas,...)
Exposición a productos químicos	Formación
	Equipos de protección individual
	Medidas antiincendio/explosión
	Sistemas de Prev. específicos (detectores atm. explosivas,...)
	Aislamiento/separación de la zona
	Correcto almacenamiento
	Ventilación
	Vigilancia de la salud
Formación	
Exposición a agentes biológicos	Equipos antiincendios/explosión
	Aislamiento/separación de la zona
	Extracción y ventilación
	Vigilancia de la salud
	Vigilancia de la salud

20.3. ESPECIFICACION DE MEDIDAS PREVENTIVAS

De todas estas medidas de prevención que se han indicado es preciso que hablemos mas específicamente de algunas de ellas, para fijar en que consistirán en nuestro caso concreto. Haremos esto con:

- Almacenamiento de productos químicos
- Medidas antiincendio
- Equipos a presión
- Señalización
- Equipos de protección individual

También, se realizara un análisis más exhaustivo de los factores referentes a los riesgos por exposición a agentes biológicos, al ser nuestra planta un ejemplo específico de ello.

20.3.1. Exposición a agentes biológicos

Para tratar con detalle este apartado de riesgos derivados de la exposición a agentes biológicos, se ha seguida la guía técnica realizada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), basada en el Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.

Los siguientes artículos son de necesario análisis en el estudio de prevención de riesgos laborales aplicable a la planta diseñada.

Artículo 1: Objeto y ámbito de aplicación

El presente proyecto se encuadra el ámbito de aplicación: “Exposiciones derivadas de una actividad laboral con intención deliberada de utilizar o manipular un agente biológico, que constituye el propósito principal del trabajo ... las relacionadas con las industrias de biotecnología: industrias farmacéuticas (para la obtención de antibióticos, enzimas, vacunas virales); industria alimentaria (cerveza, quesos, yogur); etc.”

Artículo 2: Definiciones

A efectos del presente Real Decreto se entenderá por:

a) Agentes biológicos: microorganismos, con inclusión de los genéticamente modificados, cultivos celulares y endoparásitos humanos, susceptibles de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad.

b) Microorganismo: toda entidad microbiológica, celular o no, capaz de reproducirse o transferir material genético.

c) Cultivo celular: el resultado del crecimiento “in vitro” de células obtenidas de organismos multicelulares.

En la práctica esta definición contempla dos categorías en los contaminantes biológicos:

1. Agentes biológicos vivos

2. Productos derivados de los mismos; ya que ambos pueden generar una enfermedad como consecuencia de la exposición de los trabajadores a tales agentes. En definitiva el concepto de agente biológico incluye, pero no está limitado, a bacterias, hongos, virus, rickettsias, clamidias, endoparásitos humanos, productos de recombinación, cultivos celulares humanos o de animales, y los agentes biológicos potencialmente infecciosos que estas células puedan contener, priones y otros agentes infecciosos.

Artículo 3: Clasificación de los agentes biológicos

1. A efectos de lo dispuesto en el presente Real Decreto, los agentes biológicos se clasifican, en función del riesgo de infección, en cuatro grupos:

a) Agente biológico del grupo 1: aquél que resulta poco probable que cause una enfermedad en el hombre.

b) Agente biológico del grupo 2: aquél que puede causar una enfermedad en el hombre y puede suponer un peligro para los trabajadores, siendo poco probable que se propague a la colectividad y existiendo generalmente profilaxis o tratamiento eficaz.

c) Agente biológico del grupo 3: aquél que puede causar una enfermedad grave en el hombre y presenta un serio peligro para los trabajadores, con riesgo de que se propague a la colectividad y existiendo generalmente una profilaxis o tratamiento eficaz.

d) Agente biológico del grupo 4: aquél que causando una enfermedad grave en el hombre supone un serio peligro para los trabajadores, con muchas probabilidades de que se propague a la colectividad y sin que exista generalmente una profilaxis o un tratamiento eficaz.

TABLA I
GRUPOS DE RIESGO DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS

AGENTES BIOLÓGICO DEL GRUPO DE RIESGO	RIESGO INFECCIOSO	RIESGO DE PROPAGACIÓN A LA COLECTIVIDAD	PROFILAXIS O TRATAMIENTO EFICAZ
1	Poco probable que cause enfermedad	No	Innecesario
2	Pueden causar una enfermedad y constituir un peligro para los trabajadores	Poco Probable	Posible generalmente
3	Puede provocar una enfermedad grave y constituir un serio peligro para los trabajadores	Probable	Posible generalmente
4	Provocan una enfermedad grave y constituyen un serio peligro para los trabajadores	Elevado	No conocido en la actualidad

En el anexo II de este Real Decreto se presenta una lista de agentes biológicos, clasificados en los grupos 2, 3, o 4, siguiendo el criterio expuesto en el apartado anterior. Para ciertos agentes se proporcionan también informaciones adicionales de utilidad preventiva.

El microorganismo usado en el proceso de producción, *Klebsiella pneumoniae* está considerado como agente biológico del grupo 2, puesto que se trata de agentes asociados con enfermedades en el hombre, que raramente son serias, y para las cuales existen habitualmente medidas preventivas o terapéuticas.

Agente biológico	Clasificación	Notas
<i>Klebsiella oxytoca</i>	2	
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2	
<i>Klebsiella spp.</i>	2	

Modificado y extraído de la guía técnica del Real Decreto 664/1997

Para el citado microorganismo no se proporcionan indicaciones adicionales del tipo:

- A: posibles efectos alérgicos: Deberá ser considerada como un factor de riesgo adicional la capacidad de estos agentes biológicos de actuar como sensibilizantes respiratorios. Afectan fundamentalmente a los hongos y en menor proporción a los endoparásitos.

D: la lista de los trabajadores expuestos al agente debe conservarse durante más de diez años después de la última exposición.

- T: producción de toxinas: Indica que el agente biológico puede potencialmente emitir toxinas y, por lo tanto, es susceptible de originar

reacciones tóxicas, que deberán ser consideradas como riesgo adicional al infeccioso. Sólo algunas bacterias presentan dicho riesgo.

- V: vacuna eficaz disponible: Indica la existencia de una vacuna efectiva que, como eficaz herramienta preventiva, deberá ser ofrecida por el empresario al trabajador que no sea inmune a los agentes biológicos a los cuales está expuesto o va a exponerse.
- (*): Normalmente no infeccioso a través del aire: Indica que el agente biológico, clasificado siempre en el grupo 3, no se transmite por vía aérea y por lo tanto este hecho debe ser tenido en cuenta tanto en la evaluación de riesgos como a la hora de planificar las medidas y niveles de contención.

Por tanto, no habrá que tener en cuenta en el análisis, riesgos adicionales por efectos alérgicos o producción de toxinas. Igualmente no habrá que registrar en lista durante 10 años los trabajadores expuestos al agente. Por último, no podrá prescindirse de algunas medidas de contención destinadas a evitar su transmisión por vía aérea por si poder ser infeccioso a través del aire.

Si aparece sin embargo el apartado “**spp**”, que indica que otras especies del género, además de las explícitamente indicadas, pueden constituir un riesgo para la salud. Habrá que tener en cuenta por tanto la presencia de alguna otra especie en la población utilizada, aunque en principio esto no debería ocurrir, pues de hecho sería negativo para la productividad de la planta.

Artículo 8: Vigilancia de la Salud

Se llevará una continua vigilancia de la salud de los empleados de la planta. Para ellos, se someterán a reconocimiento médicos previamente la primera exposición, y periódicamente cada 6 meses. En caso de encontrarse afecciones de la salud como consecuencia de la exposición al agente biológico, o de otro tipo que pudieran derivar en una debilitación del sistema inmunitario, los empleados cesarán su actividad laboral con un periodo de baja hasta que se certifique su cura.

Además en la empresa se facilitarán aquellas vacunas recomendadas por las autoridades sanitarias para prevenir la posible infección de los empleados. Tanto el servicio de vigilancia de la salud como de vacunación serán libres de costes para los empleados.

Artículo 15. Medidas especiales aplicables a los procedimientos industriales, a los laboratorios y a los locales para animales.

Las actividades que supongan la manipulación de un agente biológico de tipo 2 se realizarán solamente en zonas de trabajo que correspondan como mínimo a un nivel de contención tipo 2. En este sentido se definen los distintos niveles de contención en los siguientes dos cuadros.

Siguiendo las exigencias de estos niveles de contención en la planta se aclaran algunas de las medidas que se tomarán:

- Los fermentadores en si deben ser la primera barrera de contención, deben estar validados frente a posibles vertidos. Ello se ha tenido en cuenta durante su diseño, y con las instalación de los cubetos de reatención de los que ya se hablado en apartados anteriores. Además, al disponer de sistema de agitación, constaran de sistema de sellado único, tal y como se exige en el Real Decreto.
- Los 3 reactores biológicos se encontraran separados del resto de instalaciones de la planta. Estarán además emplazados en un habitáculo cerrado dispuesto solamente para ellos en el que habrá sistema de extracción y purificación de aire, que llamaremos “sala de reactores”.
- En el exterior de la sala de reactores se colocará señalización que indique el riesgo biológico. El acceso solo estará permitido para el personal autorizado, y con la condición del uso obligatorio de los equipos de protección individual (EPIs) necesarios.
- El personal dispondrá de instalación de descontaminación y lavado, donde también habrá una zona específica para dejar los EPIs implicados en la protección contra los agentes biológicos.
- Comer, beber, fumar, tomar medicinas, almacenar alimentos o aplicarse cosméticos estará totalmente prohibido toda la plata de procesos.
- Se instalaran filtros de aire en la salida de gases de los reactores, para evitar la dispersión a la atmosfera de contaminantes biológicos.
- Toda la planta dispondrá de una adecuada ventilación que impida la concentración de agentes potencialmente dañinos. La ventilación será tal que se produzcan unas 10 renovaciones del aire por hora.
- El laboratorio de la planta, de donde se obtienen los cultivos de inoculación de los reactores será una instalación independiente de la planta que adoptara sus propias medidas de prevención.
- La toma de muestras se realizará mediante los sistemas estancos que impidan la liberación de agentes biológicos.
- Tras pasar por los procesos de purificación (centrifuga y microfiltro), los agentes biológicos se consideran desactivas, por lo que podrán ser retirados del sistema como residuos en las unidades correspondientes y almacenados en el tanque de residuos.

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

A. Medidas de contención	E. Niveles de contención		
	2	3	4
1. El lugar de trabajo se encontrará separado de toda actividad que se desarrolle en el mismo edificio.	No.	Aconsejable.	Sí.
2. El aire introducido y extraído del lugar de trabajo se filtrará mediante la utilización de filtros de alta eficacia para partículas en el aire (HEPA) o de forma similar.	No.	Sí, para la salida de aire.	Sí, para la entrada y la salida de aire.
3. Solamente se permitirá el acceso al personal designado.	Aconsejable.	Sí.	Sí, con exclusión de aire.
4. El lugar de trabajo deberá poder precintarse para permitir su desinfección.	No.	Aconsejable.	Sí.
5. Procedimientos de desinfección especificados.	Sí.	Sí.	Sí.
6. El lugar de trabajo se mantendrá con una presión negativa respecto a la presión atmosférica.	No.	Aconsejable.	Sí.
7. Control eficiente de vectores, por ejemplo, de roedores e insectos.	Aconsejable.	Sí.	Sí.
8. Superficies impermeables al agua y de fácil limpieza.	Sí, para el banco de pruebas o mesa de trabajo.	Sí, para el banco de pruebas o mesa de trabajo y el suelo.	Sí, para el banco de pruebas o mesa de trabajo, el suelo, las paredes y los techos.
9. Superficies resistentes a ácidos, álcalis, disolventes y desinfectantes.	Aconsejable.	Sí.	Sí.
10. Almacenamiento de seguridad para agentes biológicos.	Sí.	Sí.	Sí, almacenamiento seguro.
11. Se instalará una ventanilla de observación o un dispositivo alternativo en las zonas de manera que se pueda ver a sus ocupantes.	Aconsejable.	Aconsejable.	Sí.
12. Laboratorio con equipo propio.	No.	Aconsejable.	Sí.
13. El material infectado, animales incluidos, deberá manejarse en una cabina de seguridad biológica o en un aislador u otra contención apropiada.	Cuando proceda.	Sí, cuando la infección se propague por el aire.	Sí.
14. Inclinador para destrucción de animales muertos.	Aconsejable.	Sí (disponible).	Sí, en el mismo lugar.

A. Medidas de contención	B. Niveles de contención		
	2	3	4
1. Los microorganismos viables deberán ser manipulados en un sistema que separe físicamente el proceso del medio ambiente.	Sí.	Sí.	Sí.
2. Deberán tratarse los gases de escape del sistema cerrado para:	Minimizar la liberación.	Impedir la liberación.	Impedir la liberación.
3. La toma de muestras, la adición de materiales a un sistema cerrado y la transferencia de organismos viables a otro sistema cerrado deberán realizarse de un modo que permita:	Minimizar la liberación.	Impedir la liberación.	Impedir la liberación.
4. Los fluidos de grandes cultivos no deberán retirarse del sistema cerrado a menos que los microorganismos viables hayan sido:	Inactivados mediante medios de eficacia probada.	Inactivados mediante medios físicos o químicos de eficacia probada.	Inactivados mediante medios físicos o químicos de eficacia probada.
5. Los precintos deberán diseñarse con el fin de:	Minimizar la liberación.	Impedir la liberación.	Impedir la liberación.
6. Los sistemas cerrados deberán ubicarse en una zona controlada:	Facultativo.	Facultativo.	Sí, expresamente construida.
a) Deberán colocarse señales de peligro biológico.	Facultativo.	Sí.	Sí.
b) Sólo deberá permitirse el acceso al personal designado.	Facultativo.	Sí.	Sí, mediante esclusa de aire.
c) El personal deberá vestir indumentaria de protección.	Sí, ropa de trabajo.	Sí.	Cambiarse completamente.
d) Deberá dotarse al personal de instalaciones de descontaminación y lavado.	Sí.	Sí.	Sí.
e) Los trabajadores deberán ducharse antes de abandonar la zona controlada.	No.	Facultativo.	Sí.
f) Los efluentes de fregaderos y duchas deberán recogerse e inactivarse antes de su liberación.	No.	Facultativo.	Sí.
g) La zona controlada deberá ventilarse adecuadamente para reducir al mínimo la contaminación atmosférica.	Facultativo.	Facultativo.	Sí.
h) En la zona controlada deberá mantenerse una presión del aire negativa respecto a la atmósfera.	No.	Facultativo.	Sí.
i) Se deberá tratar con filtros «HEPA» el aire de entrada y salida de la zona controlada.	No.	Facultativo.	Sí.
j) Deberá diseñarse la zona controlada para impedir la fuga del contenido del sistema cerrado.	No.	Facultativo.	Sí.
k) Se deberá poder precintar la zona controlada para su fumigación.	No.	Facultativo.	Sí.
l) Tratamiento de efluentes antes de su vertido final.	Inactivados por medios de eficacia probada.	Inactivados por medios físicos o químicos de eficacia probada.	Inactivados por medios físicos o químicos de eficacia probada.

20.3.2. Almacenamiento de productos químicos

Las zonas de almacenamiento de la planta son los denominados tanques de almacenamiento. Estrictamente hablando, durante el tiempo que operan el tanque de mezcla y los fermentadores también almacenan productos. Serán por tanto estas las unidades que se van a tratar.

Para determinar las medidas que han de adoptarse se ha seguido la instrucción técnica "MIE APQ-1: Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles" del Real Decreto 379/2001, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos.

En esta instrucción se clasifican los productos almacenados en 4 tipos:

- Clase A: Productos licuados cuya presión absoluta de vapor a 15°C sea superior a 1 bar.
- Clase B: Productos cuyo punto de inflamación es inferior a 55°C y no están comprendidos en la clase A.
- 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.

Todos los productos almacenados en los tanques corresponden a la clase D, la que menores riesgos entrañan.

A parte de todas las consideraciones que se exigen en el Real Decreto (materiales de construcción, venteos, apoyos, etc.) que ya se han tenido en cuenta en el diseño de los tanques se toma las siguientes medidas de cara a la seguridad:

- En todos estos tanques se instalarán cubetos de retención para evitar el vertido libre del contenido de los tanques en caso de rebose o fuga.
- Se instalarán extintores adecuados al lado de cada depósito.
- Los tanques estarán separados del resto de las unidades siempre que esta disposición no dificulte su uso como parte del proceso continuo de producción. Así ocurrirá con los tanques T-01, T-03, T-04 y T-05, que se usan solo como unidades de almacenamiento. Con los fermentadores, tanque de mezcla y tanque T-02, que intervienen en el proceso continuo de producción no podrá tomarse esta medida.

En todo caso, se respetaran siempre las distancias mínimas entre recipientes que especifica el Real Decreto, que se exponen su capítulo 2.

20.3.3. Seguridad contra incendios

Habrá que disponer en la planta un sistema de seguridad contra incendios, que evite primero que se produzcan, y en caso de que esto ocurra permita su extinción cuanto antes minimizando los daños materiales o humanos.

El único producto de alta peligrosidad por inflamabilidad en la planta es el metanol. Éste se encuentra presente en las unidades desde la línea L1 a L6, por lo que en ellas habrá que tomar medidas de especial precaución. Esta precaución será máxima en el evaporador 1 y en la línea L6 ya que es aquí donde el metanol se encuentra en estado puro, siendo máximo el riesgo. En este sentido se tomarán las medidas correspondientes para:

- Evitar escapes de metanol, tanto líquido como gaseoso.
- Eliminar posibles fuentes de ignición
- Limitar al máximo la presencia de personal en las proximidades
- Adoptar máximas precauciones en reparaciones, requiriendo permisos de trabajo especiales para ello.

Dado que se recircula directamente a la planta de biodiesel, no habrá que tomar medidas específicas antiincendio para su almacenamiento.

Por lo demás, el riesgo de incendio en las instalaciones es bajo, dado que el resto de las sustancias presentes no son especialmente inflamables ni combustibles.

Así pues, como las medidas generales para evitar incendios serán:

- Instalación de cubetos de retención de sustancias almacenadas
- Separación o aislamiento de las unidades que trabajen a altas temperaturas.
- Disponer de una adecuada ventilación en las instalaciones
- Todos los motores y equipos eléctricos deben ser antideflagrantes. Los cierres de bombas y válvulas debe ser perfectamente estancos.
- Prohibición expresa de fumar en la planta, indicada mediante las señales correspondientes.
- Las reparaciones se realizarán solamente una vez obtenidos permisos de trabajos especiales para ellas, en los que se especifique el procedimiento a seguir y las medidas de seguridad a adoptar.

- Se eliminara toda electricidad estática con tomas de tierra. Igualmente, se eliminaran ropas de trabajo o herramientas que puedan producir chispas.
- Se requerirá un orden y limpieza continua, y se seguirá un mantenimiento preventivo de las instalaciones.
- Para la salida a la atmosfera de los gases del fermentador, estos se harán pasar por una antorcha de combustión donde que quemara el hidrogeno presente, evitando así potenciales riesgos de explosión.

En caso de que un incendio se produjera, la instalación debe disponer de los medios necesarios para extinguirlo con la mayor eficacia. Para ello se instalara extintores, bocas de incendio, y otros dispositivos de extinción de incendios, en todos aquellos lugares que la evaluación de riesgos de la planta indique.

Además, deberá disponerse en la empresa de un plan de emergencias que seguir, en caso de que la situación no sea controlable.

20.3.4. Equipos a presión

En la planta los equipos o instalaciones a presión son:

- Conducciones L8, L9 y L10.
- Sistema de esterilización: Precalentador y intercambiador de calor de doble espiral.
- Calderas de vapor 1 y 2.

Para adoptar las medidas de prevención respecto a este tipo de equipos se seguirá el Real Decreto 2060/2008 que establece el reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.

Concretamente para las calderas la instrucción técnica es la ITC EP-1. Según esta instrucción técnica las calderas pueden clasificarse en dos grupos a efectos de las condiciones exigibles:

- Clase primera
 - a) Calderas pirotubulares cuyo $Pms \times VT < 15.000$
 - b) Calderas acuotubulares cuyo $Pms \times VT < 50.000$. En caso de calderas de fluido térmico, las que tengan un $Pms \times Vi < 15.000$.
- Clase segunda: Calderas que igualen o superen los valores indicados en el apartado anterior.

Siendo:

Pms: La presión máxima de servicio en la instalación expresada en bar.

Vt: volumen total en litros de la caldera, más el volumen del sobrecalentador si lo tuviere.

Vi: volumen total en litros de la instalación completa.

En nuestra planta ambas caldera corresponden a la clase primera tipo A por lo que quedan fijadas en el decreto las especificaciones exigibles de seguridad.

Así en materia de condiciones de emplazamiento se especifica que: “podrán estar situadas en un recinto, pero el espacio necesario para los servicios de mantenimiento e inspección se encontrará debidamente delimitada por cerca metálica de 1,20 m de altura, con el fin de impedir el acceso de personal ajeno al servicio de las mismas. Para las calderas de vapor o de agua sobrecalentada cuyo $Pms \times VT \geq 10.000$, la distancia mínima que deberá existir entre la caldera y el riesgo ajeno será de 5 m. Alternativamente, podrá disponerse de un muro de protección con la resistencia indicada en el apartado 4.b.2 del presente artículo. La distancia mínima señalada se entiende desde la superficie exterior de las partes a presión de la caldera más cercana al riesgo y dicho riesgo”.

En general, la consideración para estos equipos es que deben estar construidos en los materiales adecuados para soportar estas presiones, lo que se ha tenido en cuenta a la hora de adquirirlos a los fabricantes.

Para asegurarnos del funcionamiento seguro de estas unidades, deberán ser sometidas a un mantenimiento preventivo y unas inspecciones periódicas. El nivel de las mismas de las mismas queda establecida por el Real Decreto a partir del tipo de instalación de que se trate.

De cara a conocer los tipos de inspección a los que nuestras unidades a presión se verán sometidos, hay que seguir la clasificación que se establecen el artículo 9 del Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión y se modifica el Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, que aprobó el Reglamento de aparatos a presión.

- Tipo de fluido que circula por el equipo
- Condiciones en que opera en el equipo (PS = presión máxima admisible, V = volumen propio, DN = Diámetro Nominal)

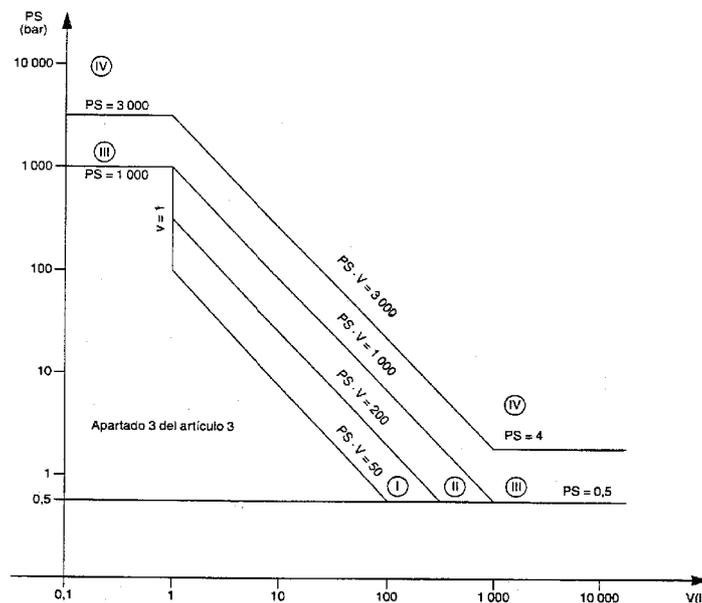
Los fluidos están clasificados en dos tipos:

- Grupo 1: Fluidos peligrosos (extremadamente inflamables, fácilmente inflamables, inflamables, muy tóxicos, tóxicos. Comburentes)
- Grupo 2: Demás fluidos no contemplados en el grupo 1.

Todos los fluidos que circulan por las unidades a presión de la planta corresponden al grupo 2, por lo que en adelante, en la clasificación por condiciones de operación del equipo solo se consideraran aquellas en las que intervengan fluidos del grupo 2.

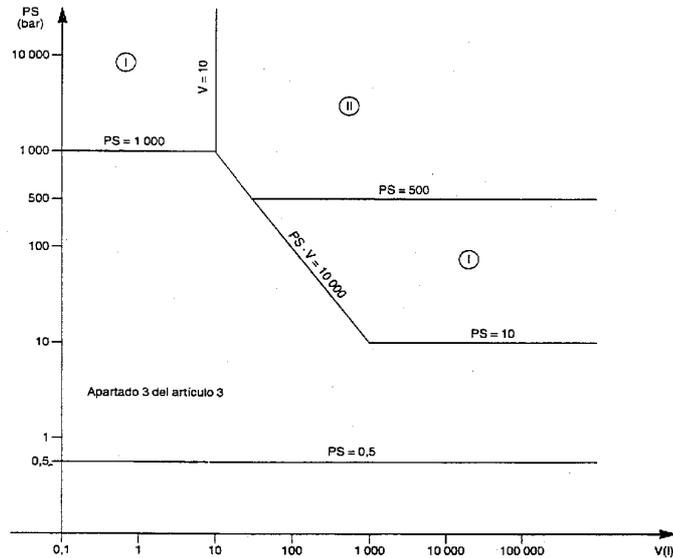
En cuanto a las condiciones en que operan los equipos la clasificación se obtiene de las siguientes graficas específicas cada una para un grupo de equipos con unas características concretas, que se han extraído del documento oficial. Estas son:

- Equipos para gases, gases licuados, gases disueltos a presión, vapores y líquidos cuya presión de vapor a la temperatura máxima admisible sea superior en más de 0,5 bar a la presión atmosférica normal (1.013 mbar), dentro de los límites siguientes: Para los fluidos del grupo 2, los que tengan un volumen superior a 1 litro y cuyo producto $PS \times V$ sea superior a 50 bar-litro, los que tengan una presión PS superior a 1.000 bar, así como todos los extintores portátiles y botellas destinadas a aparatos respiratorios.



- Equipos para líquidos cuya presión de vapor a la temperatura máxima admisible sea inferior o igual a 0,5 bar por encima de la presión atmosférica normal (1.013 mbar), dentro de los límites siguientes: Para los fluidos del grupo 2, los que tengan una presión PS superior a 10 bar y el producto $PS \times V$ superior a 10.000 bar-litro, así como los que tengan una presión PS superior a 1.000 bar.

El precalentador y el intercambiador de calor de doble espiral de doble espiral se incluyen este grupo, ya que el producto de su presión máxima admisible por el volumen propio supera el valor de 10.000 bar·l. Según el grafico siguiente se encuentran en el grupo I.

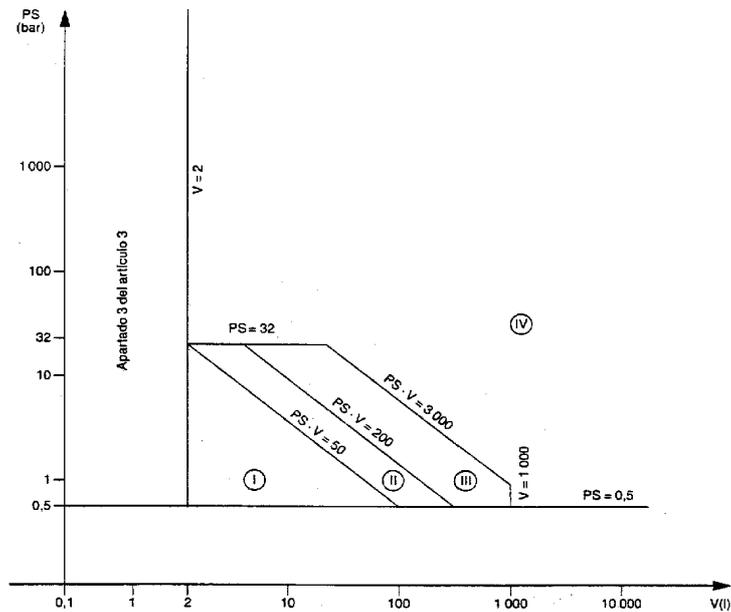


En la tabla se especifica la periodicidad de los tipos de inspecciones para los equipos.

Nivel de inspección	AGENTE Y PERIODICIDAD		
	Categoría del equipo y grupo de fluido		
	I-2 y II-2	I-1, II-1, III-2 y IV-2	III-1 y IV-1
Nivel A	Empresa instaladora 4 años	Empresa instaladora 3 años	Empresa instaladora 2 años
Nivel B	O.C.A. 8 años	O.C.A. 6 años	O.C.A. 4 años
Nivel C	No obligatorio	O.C.A. 12 años	O.C.A. 12 años

- Equipos a presión sometidos a la acción de una llama o a una aportación de calor que represente un peligro de recalentamiento, previstos para la obtención de vapor o de agua sobrecalentada a temperaturas superiores a 110°C, con un volumen superior a 2 litros, así como todas las ollas a presión.

En esta clasificación se incluyen las calderas de vapor, ya que son pirolíticas, y la temperatura del vapor generado y el volumen son mayores a los fijados. La caldera 1 corresponde al grupo III y la caldera 2 al grupo IV.

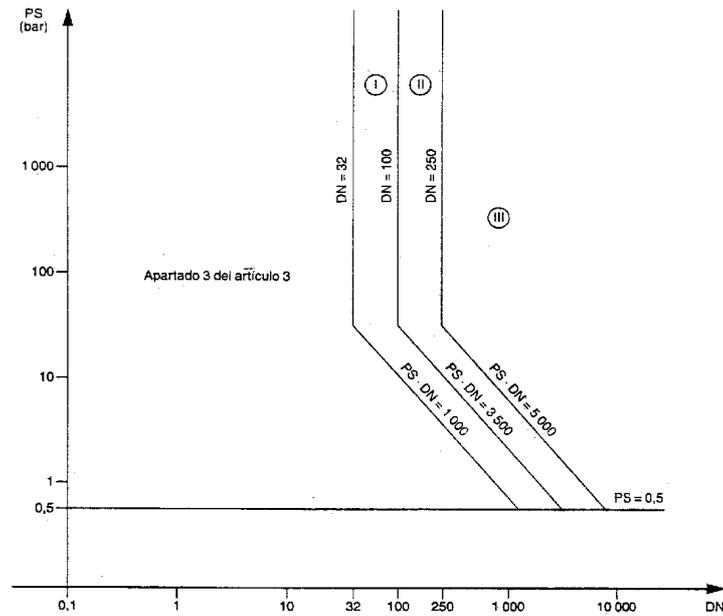


En este caso los tres tipos de inspecciones tienen la misma periodicidad para todos los grupos.

Nivel de inspección	AGENTE Y PERIODICIDAD	
	Categorías I - II - III y IV	
Nivel A	Empresa instaladora o fabricante 1 año	
Nivel B	O.C.A. 3 años	
Nivel C	O.C.A. 6 años	

La clasificación para tuberías, es la siguiente:

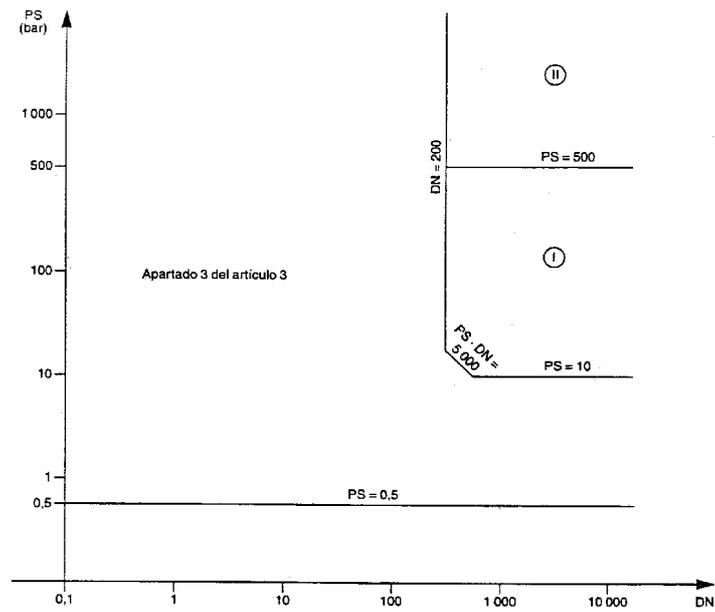
- Gases, gases licuados, gases disueltos a presión, vapores y líquidos cuya presión de vapor a la temperatura máxima admisible sea superior en más de 0,5 bar a la presión atmosférica normal (1.013 mbar), dentro de los límites siguientes: Para los fluidos del grupo 2, si el DN es superior a 32 y el producto PS x DN superior a 1.000 bar (cuadro 7 del anexo II).



- Líquidos cuya presión de vapor a la temperatura máxima admisible sea inferior o igual a 0,5 bar por encima de la presión atmosférica normal (1.013 mbar), dentro de los límites siguientes: Para los fluidos del grupo 2, si la PS es superior a 10 bar, el DN superior a 200 y el producto PS x DN superior a 5.000 bar (cuadro 9 del anexo II).

En este grupo se encuadran las conducciones L8, L9 y L10. Concretamente, en este caso las condiciones no son tales que las hagan incluirse en alguno de los grupos, y por lo tanto sus inspecciones se rigen por el apartado 3 del artículo 3, que dice: “Los equipos a presión y/o los conjuntos cuyas características sean inferiores o iguales a los límites contemplados... deberán estar diseñados y fabricados de conformidad con las buenas prácticas de la técnica al uso en un Estado miembro de la Unión Europea a fin de garantizar la seguridad en su utilización. Se adjuntarán a los equipos a presión y/o a los conjuntos unas instrucciones de utilización suficientes y llevarán las oportunas marcas que permitan identificar al fabricante o a su representante establecido en la Comunidad. Dichos equipos a presión y/o conjuntos no deberán llevar el marcado «CE»...”.

No obstante, dichas conducciones si serán adquiridas conforme a las directrices europeas y por lo tanto dispondrán de marcado CE. Además se propone que cuando siempre que sea posible se realicen las inspecciones correspondientes al grupo I.



Nivel de inspección	AGENTE Y PERIODICIDAD		
	Categorías I-2 y II-2	Categoría III-2	Categoría I-1, II-1 y III-1
Nivel B	O.C.A. 12 años	O.C.A. 6 años	O.C.A. 6 años
Nivel C	No obligatorio	No obligatorio	O.C.A. 12 años

20.3.5. Señalización

La señalización es una medida obligatoria más en la prevención de riesgos laborales. Es una técnica preventiva que partiendo del reconocimiento de la existencia de un riesgo potencial, trata, mediante un sistema de mensajes codificados, de informar sobre el mismo y sobre las medidas a tomar, evitando con ellos la posible generación de accidentes. Con ella se pretende:

- Atraer la atención sobre una determinada situación
- Informar de la existencia de determinados riesgos, prohibiciones, obligaciones o medidas a adoptar
- Imponer comportamiento seguros
- Provocar respuestas correctas determinadas de carácter inmediato
- Alertar ante un estado de emergencia que requiera de actuaciones urgentes
- Facilitar la localización e identificación de los medios e instalaciones de protección, evacuación, emergencia o primeros auxilios
- Orientar o guiar las maniobras o manipulaciones peligrosas.

Para su correcta implantación el Real Decreto a seguir es el 485/1997, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud. Además habrá que tener siempre en cuenta que para una correcta aplicación y utilización de la señalización se deberá:

- No elimina el riesgo en sí misma. Es solo una medida complementaria, dentro de un plan integral de prevención.
- No puede ser considerada nunca como una medida sustitutiva de las actuaciones técnicas y organizativas de la protección colectiva.
- No es sustitutiva de la formación e información que debe facilitarse a los trabajadores. Mas bien al contrario, debe proveerse la formación adecuada, para la correcta interpretación de las señales.
- Las señales deben ser sencillas y normalizadas, para garantizar la fácil y rápida comprensión del mensaje.
- Deben estar correctamente instaladas y proyectadas, siendo limpiadas, mantenidas y verificadas regularmente, para que conserven sus cualidades de funcionamiento.
- Debe mantenerse mientras persista la situación que motiva su presencia, y retirarse cuando esta desaparezca.
- No se debe abusar de su presencia, para evitar confusión y pérdida de eficacia.

Las señales pueden ser ópticas, acústicas, olfativas, táctiles o gestuales, según el sentido sobre el que hagan efecto. En la planta las principales serán las ópticas (en forma de paneles), las acústicas (en forma de alarmas sonoras) o gestuales (para maniobras o circulación de vehículos).

Según el propósito que tengan, se clasifican en los siguientes grupos, caracterizados por sus colores:

COLOR	FORMA	SIGNIFICADO	COLOR DE CONTRASTE	COLOR SIMBOLO	APLICACIÓN
ROJO	CIRCULAR	PROHIBICIÓN	BLANCO	NEGRO	SEÑALES DE PARADA Y PROHIBICIÓN
AZUL	CIRCULAR	OBLIGACIÓN	BLANCO	BLANCO	INFORMACIÓN O INSTRUCCIONES
AMARILLO	TRIANGULAR	ATENCIÓN PELIGRO	NEGRO	NEGRO	SEÑALIZACIÓN DE RIESGOS, DELIMITACIÓN DE ZONAS
ROJO	CUADRADA O RECTANGULAR	INFORMACIÓN SITUACIÓN DE SEGURIDAD	—	BLANCO	EQUIPOS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS
VERDE	CUADRADA O RECTANGULAR	INFORMACIÓN SITUACIÓN DE SEGURIDAD	BLANCO	BLANCO	SEÑALIZACIÓN DE SALIDAS, VÍAS DE EVACUACIÓN Y ELEMENTOS DE SOCORRO

Las señales en forma de paneles que se instalaran en la planta, se muestran a continuación, por grupos según su grupo:

SEÑALES DE PROHIBICIÓN



Prohibido fumar



Prohibido fumar y encender fuego



Prohibido pasar a los peatones



Prohibido apagar con agua



Entrada prohibida a personas no autorizadas



Agua no potable



Prohibido a los vehículos de manutención



No tocar

SEÑALES DE ADVERTENCIA



SEÑALES DE OBLIGACIÓN



SUSTANCIAS PELIGROSAS - PICTOGRAMAS Y ETIQUETAS





Además, también se señalarán las tuberías, para identificar los fluidos que circulan por su interior, siguiendo la norma UNE-1063. Esta señalización será la que se muestra en el siguiente cuadro:

Fluido	Color Básico	Estado Fluido	Color Complementario	Ejemplo
ACEITES	Marrón	Gas-oil	Amarillo	
		De alquitrán	Negro	
		Bencina	Rojo	
		Benzol	Blanco	
ÁCIDO	Naranja	Concentrado	Rojo	
AIRE	Azul	Caliente	Blanco	
		Comprimido	Rojo	
		Polvo carbón	Negro	
AGUA	Verde	Potable	Verde	
		Caliente	Blanco	
		Condensada	Amarillo	
		A presión	Rojo	
		Salada	Naranja	
		Uso industrial Residual	Negro	
ALQUITRÁN	Negro			
BASES	Violeta	Concentrado	Rojo	
GAS	Amarillo	Depurado	Amarillo	
		Bruto	Negro	
		Pobre	Azul	
		Alumbrado	Rojo	
		De agua	Verde	
		De aceite	Marrón	
		* Acetileno	Blanco • Blanco	
		* Ácido carbónico	Negro • Negro	
		* Oxígeno	Azul • Azul	
		* Hidrógeno	Rojo • Rojo	
* Nitrógeno	Verde • Verde			
* Amoníaco	Violeta • Violeta			
VACÍO	Gris			
VAPOR	Rojo	De alta	Blanco	
		De escape	Verde	

20.3.6. Equipos de protección individual (E.P.I.)

Son aquellos equipos destinados a ser llevados por los trabajadores para que les protejan de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o salud en el trabajo.

Al actuar en el momento en el que se produce el contacto o agresión, se catalogan con medias de protección contra los accidentes y enfermedades profesionales, minimizando o eliminando las consecuencias. Por tanto, no evitan el riesgo de accidentes, si no que solamente tratan de aminorar o reducir sus consecuencias.

Hay que tener en cuenta que la adopción de medidas técnicas y organizativas destinadas a eliminar riesgos en su origen serán siempre prioritarias a la implantación de los equipos de protección individual, por lo que se hace necesario recurrir a ellos cuando todas las medidas de prevención resulten insuficientes o no se puedan aplicar.

Antes de adoptar un EPI determinado es necesario estudiar y evaluar los riesgos presentes, su naturaleza y magnitud, y de acuerdo con esto, se elegirán los EPIs que reúnan los requisitos adecuados para el riesgo que se trata de prevenir.

La elección de los EPIs se debe realizar por personal capacitado, que tenga conocimiento del puesto de trabajo, y por ello también debe participar en la elección el trabajador, proporcionando su opinión y colaboración.

A la hora de la utilización, para que el efecto positivo de su uso sea el máximo, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debe existir comprensión de la necesidad de su utilización creando conciencia entre los operarios de que existe un riesgo
- Conocimiento correcto de su uso, formando a los operarios en su uso, y poniendo a su disposición sus instrucciones de uso, limpieza, almacenamiento, revisión, etc.
- Asignación individual de equipos para cada trabajador
- Disciplina en su utilización, vigilando que el personal use los equipos.

Teniendo en cuenta toda esta información y consideraciones, se han determinado los equipos de protección individual necesarios fundamentales para los trabajadores de la planta. Estos serán:

1. Casco: De resistencia mecánica para proteger de golpes y caídas de objetos, resistente al fuego, y con ala completa para proteger del derrame de productos químicos.

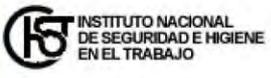
2. Gafas: Ajustadas para proteger de salpicaduras de productos químicos o proyección de materiales, y de resistencia eléctrica y al fuego
3. Guantes: Guantes ignífugos y aislantes eléctricos, para proteger de cortes, proyección, abrasiones y descargas eléctricas.
4. Botas: Con puntera metálica, plantilla de aislante térmico y eléctrico, no ferroso antichispas, impermeable y resistente a la acción química y suela antideslizante. Para proteger de caídas de objetos y productos químicos, quemaduras, descargas eléctricas y resbalones.
5. Mascarillas respiratorias: Con filtros adecuados para no dejar pasar agentes biológicos, y que permitan la respiración normal sin ayuda de equipo autónomo.
6. Tapones auditivos: De usar y tirar, o de reuso, según la preferencia de los operarios, para proteger de la acción del ruido generado por los equipos, bombas y otra máquinas.
7. Mono de trabajo: De reuso y limpieza periódica, con propiedades ignífugas y anticonductoras, para proteger del vertido de sustancias químicas o agentes biológicos sobre el cuerpo o la ropa, quemaduras o descargas eléctricas.

De forma general todos los EPIs menos las mascarillas respiratorias deben ser usados en todo momento por todo el personal que se encuentre en la planta de procesos, están prohibido su acceso a aquellas personas que no los usen. Las mascarillas respiratorias solo serán obligatorias dentro de la sala de reactores.

20.3.7. Fichas técnicas de seguridad de productos químicos

GLICEROL

ICSC: 0624

 <p style="text-align: center;"> GLICEROL Glicerina 1,2,3-Propanotriol 1,2,3-Trihidroxipropano $C_3H_8O_3/CH_2OH-CHOH-CH_2OH$ Masa molecular: 92.09 </p> <p> Nº CAS 56-81-5 Nº RTECS MA8050000 Nº ICSC 0624 </p>				 <p> INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO </p>			
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.				
DERRAMAS 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.					
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE							
ICSC: 0624		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994					

GLICEROL

ICSC: 0624

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro viscoso, higroscópico.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>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.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 10 mg/m³ (nieblas) (ACGIH 1990-1991).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación de sus nieblas.</p> <p>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.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</p>
	<p>PROPIEDADES FISICAS</p> <p>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</p>	<p>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-?</p>
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>La alerta por el olor es insuficiente cuando se supera el valor límite de exposición.</p> <p style="text-align: right;">Código NFPA: H 1; F 1; R 0;</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
<p>FISQ: 1-117 GLICEROL</p>		
<p>ICSC: 0624</p>		<p>GLICEROL</p>
<p>© CCE, IPCS, 1994</p>		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	<p>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).</p>	

METANOL

ICSC: 0057

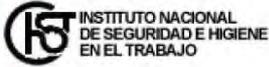






MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA

METANOL
 Alcohol metílico
 Carbinol
 Monohidroximetano
CH3OH
 Masa molecular: 32.0



Nº CAS 67-56-1
 Nº RTECS PC1400000
 Nº ICSC 0057
 Nº NU 1230
 Nº CE 603-001-00-X




TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable. Arde con una llama invisible. Explosivo.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones (véanse Notas).	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR LA EXPOSICION DE ADOLESCENTES Y NIÑOS!	
• INHALACION	Tos, vértigo, dolor de cabeza, náuseas.	Ventilación. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca, enrojecimiento.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor.	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.
• INGESTION	Dolor abdominal, jadeo, pérdida del conocimiento, vómitos (para mayor información véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!) y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, eliminar el líquido derramado con agua abundante y el vapor con agua pulverizada. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco.	No transportar con alimentos y piensos. símbolo F símbolo T R: 11-23/24/25-39-23/24/25 S: (1/2-)7-16-36/37-45 Clasificación de Peligros NU: 3 Riesgos Subsidiarios NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: II CE: <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px; margin-top: 5px;">   </div>

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 0057

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

METANOL

ICSC: 0057

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FISICOS El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.</p> <p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo monóxido de carbono y formaldehído. Reacciona violentamente con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al plomo y al aluminio.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 200 ppm; 262 mg/m³ (piel) (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 250 ppm; 328 mg/m³ (piel) (ACGIH 1993-1994).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION CORTA La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, dando lugar a una pérdida del conocimiento. La exposición por ingestión puede producir ceguera y sordera. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión.</p>
	PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de ebullición: 65°C Punto de fusión: -94°C Densidad relativa (agua = 1): 0.79 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 12.3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.1</p>
DATOS AMBIENTALES	<p>La sustancia presenta una baja toxicidad para los organismos acuáticos y terrestres.</p>	
NOTAS		
<p>EXPLOSION/PREVENCIÓN: Utilícese herramientas manuales no generadoras de chispas. Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-36 Código NFPA: H 1; F 3; R 0;</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
<p>FISQ: 3-138 METANOL</p>		
<p>ICSC: 0057</p>		<p>METANOL</p>
<p>© CCE, IPCS, 1994</p>		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	<p>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).</p>	

ACIDO ACETICO

ICSC: 0363

			
<p>ACIDO ACETICO Acido etanoico $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ Masa molecular: 60.1</p>			
<p>Nº CAS 64-19-7 Nº RTECS AF1340000 Nº ICSC 0363 Nº NU 2789 Nº CE 607-002-00-6(>90%)</p>			
			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.	Pulverización con agua, espuma resistente al alcohol, dióxido de carbono. Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración.
EXPLOSION	Por encima de 39°C: pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 39°C: sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Dolor de garganta, tos, jadeo, dificultad respiratoria. (síntomas de efectos no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someter a atención médica.
• PIEL	Enrojecimiento, dolor, graves quemaduras cutáneas.	Guantes protectores, traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.
• OJOS	Dolor, enrojecimiento, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION	Dolor de garganta, sensación de quemazón del tracto digestivo, dolor abdominal, vómitos, diarrea.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito y someter a atención médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Recoger el líquido procedente de una fuga en recipientes herméticos, neutralizar con precaución el líquido derramado con carbonato sódico, sólo bajo la responsabilidad de un experto o eliminar el residuo con agua abundante (protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Separado de oxidantes, bases. Mantener en lugar frío; mantener en una habitación bien ventilada. Separado de alimentos y piensos.	NO transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 10-35 S: 2-23-26 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II EC:	
			
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
<p>ICSC: 0363 Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994</p>			

ACIDO ACETICO

ICSC: 0363

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, con olor acre.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia es moderadamente ácida. Reacciona violentamente con oxidantes tales como trióxido de cromo y permanganato potásico. Reacciona violentamente con bases fuertes. Ataca muchos metales formando gas combustible (Hidrógeno).</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV: 10 ppm; 25 mg/m³ (como TWA); 15 ppm; 37 mg/m³ (como STEL) (ACGIH 1990-1991)</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION En la evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar (véanse Notas). Corrosivo por ingestión.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p>
	<p>PROPIEDADES FISICAS</p> <p>Punto de ebullición: 118°C Punto de fusión: 16°C Densidad relativa (agua = 1): 1.05 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 1.6</p>	<p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.07 Punto de inflamación: 39°C Temperatura de autoignición: 427°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 4.0-17 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.31 - 0.17</p>
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<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 spray adecuado por un médico o persona por él autorizada. Tarjeta de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-614</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 1-011 ACIDO ACETICO		
ICSC: 0363		ACIDO ACETICO
© CCE, IPCS, 1994		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	<p>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).</p>	

ACIDO SULFURICO

ICSC: 0362



ACIDO SULFURICO
Aceite de vitriolo
H₂SO₄
Masa molecular: 98.1

Nº CAS 7664-93-9
Nº RTECS WS5600000
Nº ICSC 0362
Nº NU 1830
Nº CE 016-020-00-8



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. Desprende humos (o gases) tóxicos o irritantes en caso de incendio.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores, agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras cutáneas graves.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, 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.
• INGESTION	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, vómitos, colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante, NO provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes y alimentos y piensos (véanse Notas). Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable (véanse Notas).	Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 35 S: (1/2-)26-30-45 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II CE:

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 0362 Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

ACIDO SULFURICO

ICSC: 0362

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido higroscópico, incoloro, aceitoso e inodoro.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS Por combustión, formación de humos tóxicos de óxidos de azufre. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentar se forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre).</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 1 mg/m³ (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 3 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales.</p>
	<p>PROPIEDADES FISICAS</p> <p>Punto de ebullición (se descompone): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1.8</p>	<p>Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4</p>
<p>DATOS AMBIENTALES</p> <p>Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.</p>		
NOTAS		
<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. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-10B Código NFPA: H 3; F 0; R 2; W</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 3-011 ACIDO SULFURICO		
ICSC: 0362	ACIDO SULFURICO	
© CCE, IPCS, 1994		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	<p>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).</p>	



Health	2
Fire	2
Reactivity	0
Personal Protection	J

Material Safety Data Sheet 1,3-Propanediol MSDS

Section 1: Chemical Product and Company Identification	
Product Name: 1,3-Propanediol	Contact Information:
Catalog Codes: SLP5347	Sciencelab.com, Inc. 14025 Smith Rd. Houston, Texas 77396
CAS#: 504-63-2	US Sales: 1-800-901-7247 International Sales: 1-281-441-4400
RTECS: TY2010000	Order Online: ScienceLab.com
TSCA: TSCA 8(b) inventory: No products were found.	CHEMTREC (24HR Emergency Telephone), call: 1-800-424-9300
CI#: Not available.	International CHEMTREC, call: 1-703-527-3887
Synonym:	For non-emergency assistance, call: 1-281-441-4400
Chemical Name: Not available.	
Chemical Formula: Not available.	

Section 2: Composition and Information on Ingredients		
Composition:		
Name	CAS #	% by Weight
{1,3-}Propanediol	504-63-2	100
Toxicological Data on Ingredients: 1,3-Propanediol LD50: Not available. LC50: Not available.		

Section 3: Hazards Identification
Potential Acute Health Effects: Hazardous in case of skin contact (irritant), of eye contact (irritant). Slightly hazardous in case of skin contact (sensitizer, permeator).
Potential Chronic Health Effects: CARCINOGENIC EFFECTS: Not available. MUTAGENIC EFFECTS: Not available. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Not available. Repeated or prolonged exposure is not known to aggravate medical condition.

Section 4: First Aid Measures

Eye Contact:

Check for and remove any contact lenses. Immediately flush eyes with running water for at least 15 minutes, keeping eyelids open. Cold water may be used. Do not use an eye ointment. Seek medical attention.

Skin Contact:

After contact with skin, wash immediately with plenty of water. Gently and thoroughly wash the contaminated skin with running water and non-abrasive soap. Be particularly careful to clean folds, crevices, creases and groin. Cold water may be used. Cover the irritated skin with an emollient. If irritation persists, seek medical attention. Wash contaminated clothing before reusing.

Serious Skin Contact:

Wash with a disinfectant soap and cover the contaminated skin with an anti-bacterial cream. Seek medical attention.

Inhalation: Allow the victim to rest in a well ventilated area. Seek immediate medical attention.

Serious Inhalation: Not available.

Ingestion:

Do not induce vomiting. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. If the victim is not breathing, perform mouth-to-mouth resuscitation. Seek immediate medical attention.

Serious Ingestion: Not available.

Section 5: Fire and Explosion Data

Flammability of the Product: Combustible.

Auto-Ignition Temperature: Not available.

Flash Points: CLOSED CUP: 79°C (174.2°F).

Flammable Limits: Not available.

Products of Combustion: Not available.

Fire Hazards in Presence of Various Substances: Not available.

Explosion Hazards in Presence of Various Substances:

Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available.

Risks of explosion of the product in presence of static discharge: Not available.

Fire Fighting Media and Instructions:

SMALL FIRE: Use DRY chemical powder.

LARGE FIRE: Use water spray, fog or foam. Do not use water jet.

Special Remarks on Fire Hazards: Not available.

Special Remarks on Explosion Hazards: Not available.

Section 6: Accidental Release Measures

Small Spill:

Dilute with water and mop up, or absorb with an inert dry material and place in an appropriate waste disposal container. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and dispose of according to local and regional authority requirements.

Large Spill:

Combustible material.

Keep away from heat. Keep away from sources of ignition. Stop leak if without risk. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and allow to evacuate through the sanitary system.

Section 7: Handling and Storage

Precautions:

Keep away from heat. Keep away from sources of ignition. Ground all equipment containing material. Do not breathe gas/fumes/ vapour/spray. Wear suitable protective clothing. If you feel unwell, seek medical attention and show the label when possible. Avoid contact with skin and eyes.

Storage:

Flammable materials should be stored in a separate safety storage cabinet or room. Keep away from heat. Keep away from sources of ignition. Keep container tightly closed. Keep in a cool, well-ventilated place. Ground all equipment containing material. Keep container dry. Keep in a cool place.

Section 8: Exposure Controls/Personal Protection

Engineering Controls:

Provide exhaust ventilation or other engineering controls to keep the airborne concentrations of vapors below their respective threshold limit value. Ensure that eyewash stations and safety showers are proximal to the work-station location.

Personal Protection: Splash goggles. Lab coat. Gloves.

Personal Protection in Case of a Large Spill:

Splash goggles. Full suit. Boots. Gloves. Suggested protective clothing might not be sufficient; consult a specialist BEFORE handling this product.

Exposure Limits: Not available.

Section 9: Physical and Chemical Properties

Physical state and appearance: Liquid.

Odor: Not available.

Taste: Not available.

Molecular Weight: 76.1 g/mole

Color: Colorless to light yellow.

pH (1% soln/water): Not available.

Boiling Point: Decomposes.

Melting Point: -27°C (-16.6°F)

Critical Temperature: Not available.

Specific Gravity: 1.0597 (Water = 1)

Vapor Pressure: Not available.

Vapor Density: 2.62 (Air = 1)

Volatility: Not available.

Odor Threshold: Not available.

Water/Oil Dist. Coeff.: Not available.

Ionicity (in Water): Not available.

Dispersion Properties: See solubility in water.

Solubility: Easily soluble in cold water.

Section 10: Stability and Reactivity Data

Stability: The product is stable.
Instability Temperature: Not available.
Conditions of Instability: Not available.
Incompatibility with various substances: Not available.
Corrosivity: Non-corrosive in presence of glass.
Special Remarks on Reactivity: Not available.
Special Remarks on Corrosivity: Not available.
Polymerization: No.

Section 11: Toxicological Information

Routes of Entry: Eye contact.
Toxicity to Animals:
LD50: Not available.
LC50: Not available.
Chronic Effects on Humans: Not available.
Other Toxic Effects on Humans:
Hazardous in case of skin contact (irritant).
Slightly hazardous in case of skin contact (sensitizer, permeator).
Special Remarks on Toxicity to Animals: Not available.
Special Remarks on Chronic Effects on Humans: Not available.
Special Remarks on other Toxic Effects on Humans: Not available.

Section 12: Ecological Information

Ecotoxicity: Not available.
BOD5 and COD: Not available.
Products of Biodegradation:
Possibly hazardous short term degradation products are not likely. However, long term degradation products may arise.
Toxicity of the Products of Biodegradation: The products of degradation are more toxic.
Special Remarks on the Products of Biodegradation: Not available.

Section 13: Disposal Considerations

Waste Disposal:

Section 14: Transport Information

DOT Classification: Not a DOT controlled material (United States).

Identification: Not applicable.

Special Provisions for Transport: Not applicable.

Section 15: Other Regulatory Information

Federal and State Regulations: Connecticut carcinogen reporting list.: 1,3-Propanediol

Other Regulations:

OSHA: Hazardous by definition of Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200).

EINECS: This product is on the European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances.

Other Classifications:

WHMIS (Canada):

CLASS B-3: Combustible liquid with a flash point between 37.8°C (100°F) and 93.3°C (200°F).

DSCL (EEC): R36/38- Irritating to eyes and skin.

HMIS (U.S.A.):

Health Hazard: 2

Fire Hazard: 2

Reactivity: 0

Personal Protection: j

National Fire Protection Association (U.S.A.):

Health: 2

Flammability: 2

Reactivity: 0

Specific hazard:

Protective Equipment:

Gloves.

Lab coat.

Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate.

Splash goggles.

Section 16: Other Information

References: Not available.

Other Special Considerations: Not available.

Created: 10/09/2005 06:12 PM

Last Updated: 11/06/2008 12:00 PM

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall ScienceLab.com be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if ScienceLab.com has been advised of the possibility of such damages.

DIOXIDO DE CARBONO

ICSC: 0021

 <p style="text-align: center;"> DIOXIDO DE CARBONO Anhídrido carbónico (botella) CO₂ Masa molecular: 44.0 </p> <p> N° CAS 124-38-9 N° RTECS FF6400000 N° ICSC 0021 N° NU 1013 </p> 			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION	Las botellas de dióxido de carbono pueden estallar debido al calor producido en un incendio.		En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICION			
• INHALACION	Vértigo, dolor de cabeza, taquicardia, aumento de la presión sanguínea.	Ventilación.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	EN CONTACTO CON EL LIQUIDO: CONGELACION.	Guantes aislantes del frío y traje de protección.	EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	EN CONTACTO CON EL LIQUIDO: CONGELACION.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION			
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Ventilar. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio si está en local cerrado. Mantener en lugar fresco.	Clasificación de Peligros NU: 2.2	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0021		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

DIOXIDO DE CARBONO

ICSC: 0021

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Gas licuado comprimido, incoloro e inodoro.</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación.</p>
	<p>PELIGROS FISICOS El gas es más denso que el aire y puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. Cuando los niveles de flujo son rápidos pueden generarse cargas electrostáticas las cuales pueden provocar una explosión en caso de presencia de una mezcla inflamable. El dióxido de carbono en estado líquido se condensa rápidamente para formar hielo seco el cual es extremadamente frío.</p>	<p>RIESGO DE INHALACION Al producirse pérdidas en zonas confinadas este líquido se evapora muy rápidamente originando una saturación total del aire con grave riesgo de asfixia.</p>
	<p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente por encima de 2000°C, produciendo humos tóxicos de monóxido de carbono. Reacciona violentamente con bases fuertes y metales alcalinos. Algunos polvos metálicos tales como magnesio, circonio, titanio, aluminio, cromo y manganeso pueden ignitar y explotar cuando se calientan en presencia de dióxido de carbono.</p>	<p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La inhalación de altas concentraciones de este gas puede originar hiperventilación y pérdida del conocimiento. La evaporación rápida del líquido puede producir congelación.</p>
	<p>LIMITES DE EXPOSICION TLV(como TWA): 5000 ppm; 9000 mg/m³ (ACGIH 1997-1998). TLV(como STEL): 30,000 ppm; 54,000 mg/m³ (ACGIH 1997-1998).</p>	<p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar al metabolismo.</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de sublimación: -79°C Punto de fusión: -56.6 a 5.2 atm Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20°C: 88</p>	<p>Presión de vapor, kPa a 20°C: 5720 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.5</p>
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>El dióxido de carbono se desprende en muchos procesos de fermentación (vino, cerveza). Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor. 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. Otros números NU clasificación: UN 1845 dióxido de carbono, hielo seco; UN 2187 dióxido de carbono líquido refrigerado.</p> <p>Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-11-1 (in cylinders); 11-2 (refrigerated gas)</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 5-078 DIOXIDO DE CARBONO		
ICSC: 0021		DIOXIDO DE CARBONO
© CCE, IPCS, 1994		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	<p>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).</p>	

HOJA DE SEGURIDAD DEL MATERIAL (MSDS) HIDROGENO

PRODUCTO Hidrógeno	CAS 133-74-0 DOT. N° UN 1049 Ficha de intervención: N° 04
NOMBRE COMERCIAL Y SINONIMOS Hidrógeno comprimido, Gas de agua, Hidrógeno Normal	Clase de riesgo: División 2.1
NOMENCLATURA QUÍMICA Y SINONIMOS Hidrógeno	Fórmula: H ₂
FECHA DE EMISION Y REVISIONES Revisado en Marzo de 1991	Familia Química: Gas inorgánico inflamable

INFORME SOBRE RIESGO PARA LA SALUD

CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE PONDERADA EN EL TIEMPO (CMP-CPT):

El hidrógeno está definido como un asfixiante simple. "F". El contenido mínimo de oxígeno debe ser del 18% molar, a presión atmosférica normal equivalente a una presión parcial de ($p_{O_2} > 135$ torr.) (ACGIH 1990 - 1991) OSHA 1989 no tiene listado el TWA. Ley 19587 Dec. Reg. 351/79 Anexo III Cap. 9 Art. 61 "Contaminación Ambiental".

SINTOMAS DE EXPOSICIÓN:

Altas concentraciones de hidrógeno de modo tal que impidan un adecuado suministro de oxígeno a los pulmones causa mareos, respiración profunda debido a la falta de aire, posibles náuseas y eventual pérdida de conocimiento.

CARACTERÍSTICAS TOXICAS:

El hidrógeno es inactivo biológicamente y principalmente no tóxico, de esta manera su principal propiedad es la de impedir un adecuado suministro de oxígeno a los pulmones.

El hidrógeno no está listado en el IARC, NTP, o por OSHA como carcinogénico o potencial carcinogénico.

Las personas enfermas, cuya afección podría verse agravada, por la exposición al hidrógeno no deben ser autorizadas a trabajar o manipular este producto.

TRATAMIENTO DE PRIMEROS AUXILIOS - RECOMENDACIONES

UNA RÁPIDA ATENCIÓN MÉDICA ES OBLIGATORIA EN TODOS LOS CASOS DE SOBRE EXPOSICIÓN AL HIDROGENO. EL PERSONAL DE RESCATE DEBE ESTAR EQUIPADO CON EQUIPOS DE RESPIRACIÓN AUTÓNOMA Y RECONOCER LOS RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSION.

Inhalación: Si la persona esta consciente, deberá ser trasladada fuera del área contaminada para inhalar aire fresco. Retirla rápido, del área contaminada es lo más importante. Si la víctima estuviera inconsciente, se le deberá trasladar a un área descontaminada, brindar ayuda respiratoria y suplemento de oxígeno. El tratamiento posterior será de soporte y continuará según los síntomas.

MEZCLAS PELIGROSAS CON OTROS LIQUIDOS, SOLIDOS O GASES

Forma mezclas explosivas o inflamables con la mayoría de los oxidantes, (oxígeno, cloro, flúor etc.)
Es inflamable en aire, en un amplio rango.

DATOS FÍSICOS

PUNTO DE EBULLICIÓN: -423 °F (- 252.8 °C)	DENSIDAD LIQUIDA EN EL PUNTO DE EBULLICIÓN 4.43 lb/ft ³ (70.96 kg/m ³)
PRESION DE VAPOR a 70° F (21.1°C) Encima de la temp. crítica de - 399.8°F (- 239.9°C)	DENSIDAD GASEOSA A 70° F (21.1°C).1 atm 0.0416 lb/ft3 (0.6670 kg/m ³)
% de Evaporación N/A	PUNTO DE CONGELACION - 434.6 °F (-259.2 °C)
SOLUBILIDAD EN AGUA Muy pequeña	GRAVEDAD ESPECÍFICA (AIRE=1) a 70°F (21.1°C) 0.69
APARIENCIA Y OLOR: Gas incoloro e inodoro.	

INFORMACION SOBRE RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSION

PUNTO DE NFLAMACION Método empleado Gas	TEMPERATURA DE AUTO INGNICION 1058 °F (570 °C)	LIMITE DE INFLAMABILIDAD % EN Volumen LEL:4 UEL: 74.5
MEDIO DE EXTINCIÓN Dióxido de carbono, polvo químico, agua		CLASIFICACION ELÉCTRICA Clase 1, Grupo B
PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR EL FUEGO Si es posible, detenga el flujo de metano. Emplee niebla de agua, para enfriar los cilindros que se encontraren en las proximidades. El hidrógeno quema con una llama casi invisible de radiación térmica relativamente baja		
RIESGOS INUSUALES DE FUEGO Y EXPLOSION El hidrógeno es muy liviano y se difunde muy rápidamente en el aire. Si al extinguirse la llama, el flujo de gas continúa, aumentar la ventilación para prevenir el peligro de explosión, particularmente en las partes superiores de los edificios o cobertizos donde el gas podría "acumularse".		

ANEXO N° 3:

ANEXO GRÁFICO

Gráfico 1: Tipos de uniones soldadas

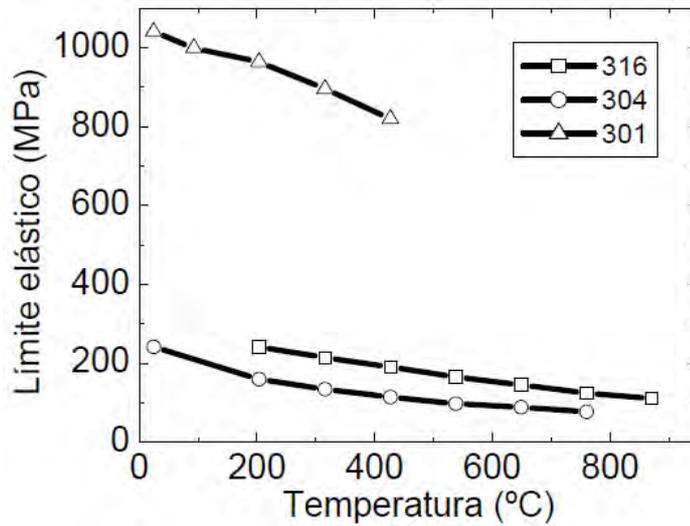
TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS				
TIPOS NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E		
		Cuando la junta es:		
		a. Radiografiada total- mente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada
1	 <p>Juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura 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
2	 <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
3	 <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60
4	 <p>Junta a traslape de cable filete completo</p>	—	—	0.55
5	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	—	—	0.50
6	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	—	—	0.45

Gráfico 2: Fórmulas generales para recipientes

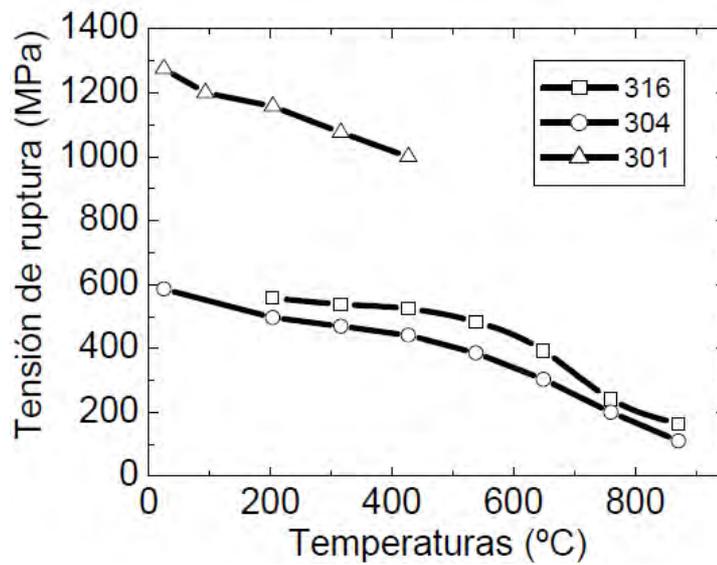
Parte	Fórmula del esfuerzo	Espesor, t		Presión, p		Esfuerzo, s	
		Dímetro interior	Dímetro exterior	Dímetro interior	Dímetro exterior	Dímetro interior	Dímetro exterior
Casco							
Longitudinal [Sección UG-27(c)(2)]*	$\sigma_r = \frac{PR_s}{2t}$	$\frac{PR_s}{2SE + 4P}$	$\frac{PR_s}{2SE + 1.4P}$	$\frac{2SEt}{R - 4t}$	$\frac{2SEt}{R_s - 1.4t}$	$\frac{P(R - 4t)}{2Et}$	$\frac{P(R_s - 1.4t)}{2Et}$
Circunferencial [Sección UG-27(c)(1); Sección 1-1 (a)(1)]*	$\sigma_r = \frac{PR_s}{t}$	$\frac{PR_s}{SE - 8P}$	$\frac{PR_s}{SE + 4P}$	$\frac{SEt}{R + 6t}$	$\frac{SEt}{R_s - 4t}$	$\frac{P(R + 6t)}{Et}$	$\frac{P(R_s - 4t)}{Et}$
Cabezales							
Semisférico [Sección 1-1(a)(2); Sección UG-27(d)]*	$\sigma_r = \sigma_s = \frac{PR_s}{2t}$	$\frac{PR_s}{2SE - 2P}$	$\frac{PR_s}{2SE + 8P}$	$\frac{2SEt}{R + 2t}$	$\frac{2SEt}{R_s - .8t}$	$\frac{P(R + 2t)}{2Et}$	$\frac{P(R_s - .8t)}{2Et}$
Elipsoidal [Sección 1-4(c)]*	Versee PROCEDIMIENTO 2	$\frac{PD_s}{2SE - 2P}$	$\frac{PD_s X}{2SE + 2P(K - .1)}$	$\frac{2SEt}{KD_s + 2t}$	$\frac{2SEt}{KD_s - 2P(K - .1)}$	Versee PROCEDIMIENTO 2	Versee PROCEDIMIENTO 2
2:1 SE [Sección UG-32(d)]*	*	$\frac{PD_s}{2SE - 2P}$	$\frac{PD_s}{2SE + 1.8P}$	$\frac{2SEt}{D_s + 2t}$	$\frac{2SEt}{D_s - 1.8t}$	*	*
100% - 6% Torusónica [Sección UG-32(e)]*	*	$\frac{.886PL_s}{SE - .1P}$	$\frac{.886PL_s}{SE + .8P}$	$\frac{SEt}{.886L_s + .1t}$	$\frac{SEt}{.886L_s - .8t}$	*	*
Torusónica $\frac{1}{4} < \alpha < \frac{66}{86}$ [Sección 1-4(d)]*	*	$\frac{PL_M}{2SE - 2P}$	$\frac{PL_M}{2SE + P(M - 2)}$	$\frac{2SEt}{LM + 2t}$	$\frac{2SEt}{LM - (M - 2)t}$	*	*
Cone							
Longitudinal	$\sigma_r = \frac{PR_s}{2t \cos \alpha}$	$\frac{PD_s}{4 \cos \alpha(SE + .4P)}$	$\frac{PD_s}{4 \cos \alpha(SE + 1.4P)}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_s - .8t \cos \alpha}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_s - 2.8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_s - .8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_s - 2.8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$
Circunferencial [Sección 1-4(e); Sección UG-32(g)]*	$\sigma_r = \frac{PR_s}{t \cos \alpha}$	$\frac{PD_s}{2 \cos \alpha(SE - .8P)}$	$\frac{PD_s}{2 \cos \alpha(SE + .4P)}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_s + 1.2t \cos \alpha}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_s - .8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_s + 1.2t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_s - .8t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$

* ASME Boiler and Pressure Vessel Code, sección VIII, división 1, edición de 1983, American Society of Mechanical Engineers.

Gráfico 3: Propiedades mecánicas de aceros inoxidables



Límite elástico de los aceros AISI 304, AISI 316 y AISI 301 según la temperatura



Tensión de rotura de aceros AISI 304, AISI 316 y AISI 301 según la temperatura

Gráfico 4: Diagrama de Mollier

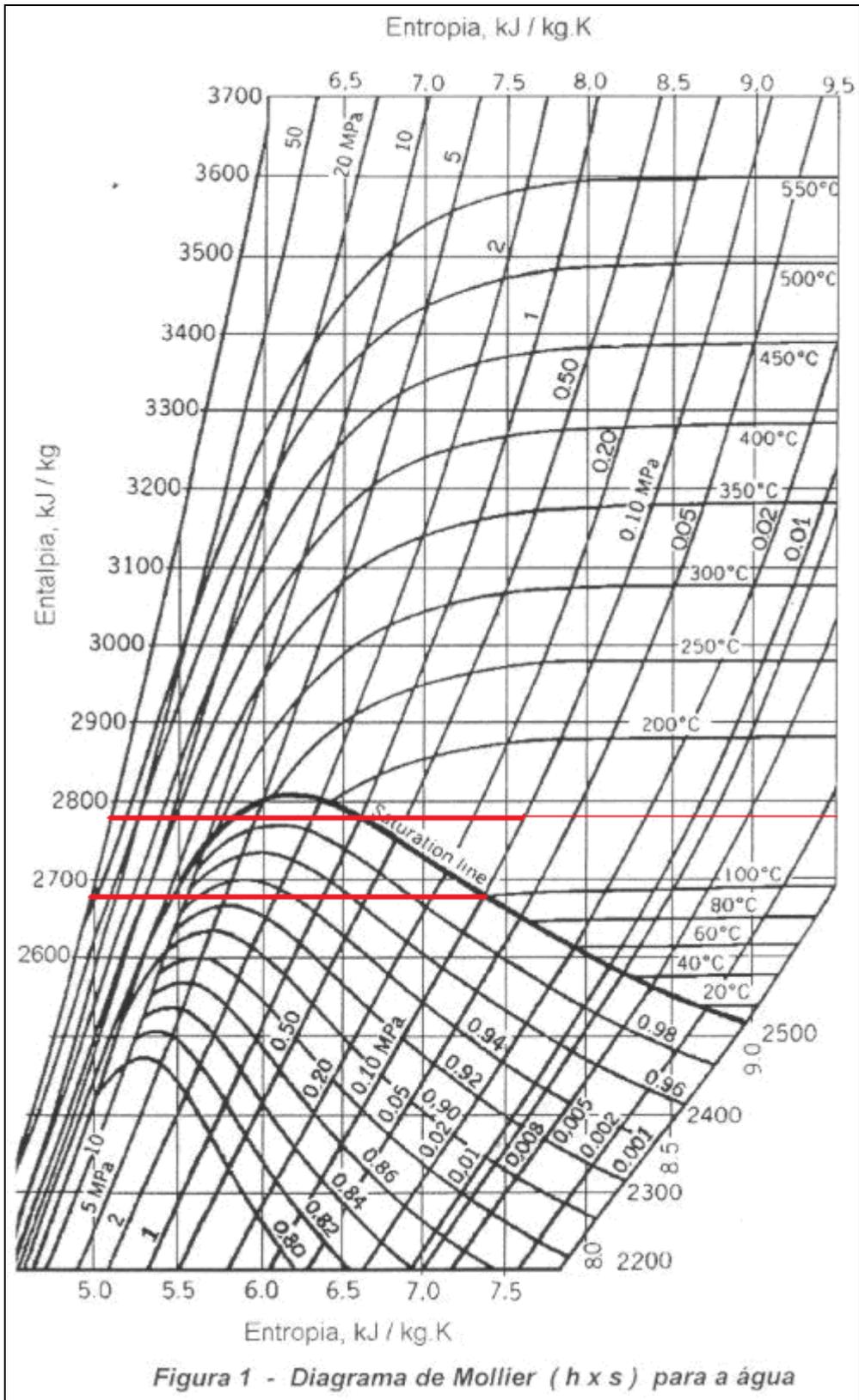


Gráfico 5: Tabla de propiedades termofísicas del agua saturada

TABLA A.6 Propiedades termofísicas de agua saturada^a

Temperatura, T (K)	Presión P (bars) ^b	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpía de vaporización h_{fg} (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad (N · s/m ²)		Conductividad térmica (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensión superficial $\sigma_s \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expansión $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temperatura T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

Gráfico 6: Tabla de presión de vapor de compuestos orgánicos

Compound		Pressure, mmHg										Melting point, °C
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760	
Name	Formula	Temperature, °C										
Acenaphthalene	C ₁₂ H ₁₀											95
Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O	-23.0	-2.3	+8.0	19.6	31.9	39.8	50.1	66.3	84.0	102.2	
Acetamide	C ₂ H ₅ O	-81.5	-65.1	-56.8	-47.8	-37.8	-31.4	-22.6	-10.0	+4.9	20.2	-123.5
Acetanilide	C ₈ H ₉ NO	65.0	92.0	105.0	120.0	135.8	145.8	158.0	178.3	200.0	222.0	81
Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	114.0	146.6	162.0	180.0	199.6	211.8	227.2	250.5	277.0	303.8	113.5
anhydride	C ₄ H ₆ O ₂	-17.2	+6.3	17.5	29.9	43.0	51.7	63.0	80.0	99.0	118.1	16.7
Acetone	C ₃ H ₆ O	1.7	24.8	36.0	48.3	62.1	70.8	82.2	100.0	119.8	139.6	-73
Acetonitrile	C ₂ H ₃ N	-59.4	-40.5	-31.1	-20.8	-9.4	-2.0	+7.7	22.7	39.5	56.5	-94.6
Acetophenone	C ₈ H ₈ O	-47.0	-26.6	-16.3	-5.0	+7.7	15.9	27.0	43.7	62.5	81.8	-41
Acetyl chloride	C ₂ H ₃ Cl	37.1	64.0	78.0	92.4	109.4	119.8	133.6	154.2	178.0	202.4	20.5
Acetylene	C ₂ H ₂	-50.0	-35.0	-27.6	-19.6	-10.4	-4.5	+3.2	16.1	32.0	50.8	-112.0
Acridine	C ₁₃ H ₉ N	-142.9	-133.0	-128.2	-122.8	-116.7	-112.8	-107.0	-100.3	-92.0	-84.0	-81.5
Acrolein (2-propenal)	C ₃ H ₄ O	129.4	165.8	184.0	203.5	224.2	238.7	256.0	284.0	314.3	346.0	110.5
Acrylic acid	C ₃ H ₄ O ₂	-64.5	-46.0	-36.7	-26.3	-15.0	-7.5	+2.5	17.5	34.5	52.5	-87.7
Adipic acid	C ₆ H ₁₀ O ₄	+3.5	27.3	39.0	52.0	66.2	75.0	86.1	103.3	122.0	141.0	14
Allene (propadiene)	C ₃ H ₄	159.5	191.0	205.5	222.0	240.5	251.0	265.0	287.8	312.5	337.5	152
Allyl alcohol (propen-1-ol-3)	C ₃ H ₆	-120.6	-108.0	-101.0	-93.4	-85.2	-78.8	-72.5	-61.3	-48.5	-35.0	-136
chloride (3-chloropropene)	C ₃ H ₅ Cl	-20.0	+0.2	10.5	21.7	33.4	40.3	50.0	64.5	80.2	96.6	-129
isopropyl ether	C ₆ H ₁₂ O	-70.0	-52.0	-42.9	-32.8	-21.2	-14.1	-4.5	10.4	27.5	44.6	-136.4
isothiocyanate	C ₃ H ₃ NS	-43.7	-23.1	-12.9	-1.8	+10.9	18.7	29.0	44.3	61.7	79.5	
n-propyl ether	C ₆ H ₁₄ O	-3.0	+25.3	38.3	52.1	67.4	76.2	80.5	108.0	129.8	150.7	-89
4-Allylveratrole	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	-39.0	-18.2	-7.9	+3.7	16.4	25.0	35.8	52.6	71.4	90.5	
iso-Amyl acetate	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	85.0	113.9	127.0	142.8	158.3	169.6	183.7	204.0	226.2	248.0	
n-Amyl alcohol	C ₇ H ₁₄ O	0.0	+23.7	35.2	47.8	62.1	71.0	83.2	101.3	121.5	142.0	
iso-Amyl alcohol	C ₇ H ₁₄ O	+13.6	34.7	44.9	55.8	68.0	75.5	85.8	102.0	119.8	137.8	
sec-Amyl alcohol (2-pentanol)	C ₇ H ₁₄ O	+10.0	30.9	40.8	51.7	63.4	71.0	80.7	95.8	113.7	130.6	-117.2
tert-Amyl alcohol	C ₇ H ₁₄ O	+1.5	22.1	32.2	42.6	54.1	61.5	70.7	85.7	102.3	119.7	
sec-Amylbenzene	C ₁₁ H ₁₆	-12.9	+7.2	17.2	27.9	38.8	46.0	55.3	69.7	85.7	101.7	-11.9
iso-Amyl benzoate	C ₁₆ H ₂₂ O ₂	29.0	55.8	69.2	83.8	100.0	110.4	124.1	145.2	168.0	193.0	
bronide (1-bromo-3-methylbutane)	C ₆ H ₁₃ Br	72.0	104.5	121.6	139.7	158.3	171.4	186.8	210.2	235.8	262.0	
n-butyl rate	C ₄ H ₉ Br	-20.4	+2.1	13.6	26.1	39.8	48.7	60.4	78.7	99.4	120.4	
formate	C ₄ H ₉ O ₂	21.2	47.1	59.0	74.0	90.0	99.8	113.1	133.2	155.3	178.6	
iodide (1-iodo-3-methylbutane)	C ₆ H ₁₃ I	-17.5	+5.4	17.1	30.0	44.0	53.3	65.4	83.2	102.7	123.3	
isobutyrate	C ₆ H ₁₂ O ₂	-3.5	+21.9	34.1	47.6	62.3	71.9	84.4	103.8	125.8	148.2	
Amyl isopropionate	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	14.8	40.1	52.8	66.6	81.8	91.7	104.4	124.2	146.0	168.8	
iso-Amyl isovalerate	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	+8.5	33.7	46.3	60.0	75.5	85.2	97.6	117.3	138.4	160.2	
n-Amyl levulinate	C ₁₀ H ₁₈ O ₃	27.0	54.4	68.6	83.8	100.6	110.3	125.1	146.1	169.5	194.0	
iso-Amyl levulinate	C ₁₀ H ₁₈ O ₃	81.3	110.0	124.0	139.7	155.8	165.2	180.5	203.1	227.4	253.2	
nitrate	C ₁₀ H ₁₈ O ₃	75.6	104.0	118.8	134.4	151.7	162.6	177.0	198.1	222.7	247.9	
-tert-Amylphenol	C ₁₁ H ₁₆ O	+5.2	28.8	40.3	53.5	67.6	76.3	88.6	106.7	126.5	147.5	
Anethole	C ₁₀ H ₁₆ O	109.8	125.5	142.3	160.3	172.6	189.0	213.0	239.5	266.0	293.0	93
Angelonitrile	C ₈ H ₁₂ O	62.6	91.6	106.0	121.8	139.3	149.8	164.2	186.1	210.5	235.3	22.5
Aniline	C ₆ H ₇ N	-8.0	+15.0	28.0	41.0	55.8	65.2	77.5	96.3	117.7	140.0	
2-Anilinoethanol	C ₈ H ₉ NO	34.8	57.9	69.4	82.0	96.7	106.0	119.9	140.1	161.9	184.4	-6.2
Anisaldehyde	C ₈ H ₈ O ₂	104.0	134.3	149.6	165.7	183.7	194.0	209.5	230.6	254.5	279.6	
o-Anisidine (2-methoxyaniline)	C ₇ H ₉ NO	73.2	102.6	117.8	133.5	150.5	161.7	176.7	199.0	223.0	248.0	2.5
Anthracene	C ₁₄ H ₁₀	61.0	88.0	101.7	116.1	132.0	142.1	155.2	175.3	197.3	218.5	5.2
Anthraquinone	C ₁₄ H ₈ O	145.0	173.5	187.2	201.0	217.5	231.8	250.0	270.0	310.2	342.0	217.5
Azelaic acid	C ₉ H ₁₆ O ₄	190.0	219.4	234.2	248.3	264.3	273.3	285.0	314.6	346.2	379.0	286
Azaldehyde	C ₈ H ₁₀ O	178.3	210.4	225.5	242.4	260.0	271.8	286.5	309.6	332.8	356.5	106.5
Azobenzene	C ₁₀ H ₁₀ N ₂	33.3	58.4	71.6	85.0	100.2	110.0	123.0	142.1	163.4	185.0	
Benzal chloride (α,α-Dichlorotoluene)	C ₇ H ₇ Cl ₂	103.5	135.7	151.5	168.3	187.9	199.8	216.0	240.0	266.1	293.0	68
Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	35.4	64.0	78.7	94.3	112.1	123.4	138.3	160.7	187.0	214.0	-16.1
Benzanthrone	C ₁₅ H ₁₀ O	26.2	50.1	62.0	75.0	90.1	99.6	112.5	131.7	154.1	179.0	-26
Benzene	C ₆ H ₆	225.0	274.5	297.2	322.5	350.0	368.8	390.0	426.5			174
Benzene sulfonylechloride	C ₆ H ₅ SO ₂ Cl	-36.7	-19.6	-11.5	-2.6	+7.6	15.4	26.1	42.2	60.6	80.1	+5.5
Benzil	C ₁₄ H ₁₀ O ₂	65.9	96.5	112.0	129.0	147.7	158.2	174.5	198.0	224.0	251.5	14.5
Benzoic acid	C ₇ H ₆ O ₂	128.4	165.2	183.0	202.8	224.5	238.2	255.8	283.5	314.3	347.0	95
anhydride	C ₁₄ H ₁₀ O ₂	96.0	119.5	132.1	146.7	162.6	172.8	186.2	205.8	227.0	249.2	121.7
Benzoin	C ₁₄ H ₁₂ O ₂	143.8	180.0	198.0	218.0	239.8	252.7	270.4	299.1	328.8	360.0	42
Benzonitrile	C ₇ H ₅ N	135.6	170.2	188.1	207.0	227.6	241.7	258.0	284.4	313.5	343.0	132
Benzophenone	C ₁₃ H ₁₀ O	28.2	55.3	69.2	83.4	99.6	109.8	123.5	144.1	166.7	190.6	-12.9
Benzotrifluoride (α,α,α-Trifluorotoluene)	C ₆ H ₅ Cl ₃	108.2	141.7	157.6	175.8	195.7	208.2	224.4	249.8	276.8	305.4	48.5
Benzotrifluoride (α,α,α-Trifluorotoluene)	C ₆ H ₅ F ₃	45.8	73.7	87.6	102.7	119.8	130.0	144.3	165.6	189.2	213.5	-21.2
Benzoyl bromide	C ₇ H ₅ BrO	-32.0	-10.3	-0.4	12.2	25.7	34.0	45.3	62.5	82.0	102.2	-29.3
chloride	C ₇ H ₅ BrO	47.0	75.4	89.8	105.4	122.6	133.4	147.7	169.2	193.7	218.5	0
nitride	C ₇ H ₅ NO	32.1	59.1	73.0	87.6	103.8	114.7	128.0	149.5	172.8	197.2	-0.5
Benzyl acetate	C ₉ H ₁₀ O ₂	44.5	71.7	85.5	100.2	116.6	127.0	141.0	161.3	185.0	208.0	33.5
alcohol	C ₉ H ₁₀ O ₂	45.0	73.4	87.6	102.3	119.6	129.8	144.0	165.5	189.0	213.5	-51.5
	C ₉ H ₁₀ O	58.0	80.8	92.6	105.8	119.8	129.3	141.7	160.0	183.0	204.7	-15.3

*Compiled from the extended tables published by D. R. Stull in *Ind. Eng. Chem.*, 39, 517 (1947). For information on fuels see Hibbard, N.A.C.A. Research Mem. E56121, 1956. For methane see Johnson (ed.), WADD-TR-60-56, 1960.

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

Compound		Pressure, mmHg										Melting point, °C
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760	
Name	Formula	Temperature, °C										
1-Ethynaphthalene	C ₁₂ H ₁₂	70.0	101.4	116.8	133.8	152.0	164.1	180.0	204.6	230.8	258.1	-27
Ethyl α-naphthyl ketone (1-propionaphthone)	C ₁₅ H ₁₆ O	124.0	155.5	171.0	188.1	206.9	218.2	233.5	255.5	280.2	306.0	
Ethyl 3-nitrobenzoate	C ₁₁ H ₉ NO ₄	108.1	140.2	155.0	173.6	192.6	205.0	220.3	244.6	270.6	298.0	47
3-Ethylpentane	C ₇ H ₁₆	-37.8	-17.0	-6.8	+4.7	17.5	25.7	36.9	53.8	73.0	93.5	-118.6
4-Ethylphenetole	C ₁₀ H ₁₄ O	48.5	75.7	89.5	103.8	110.8	120.8	143.5	163.2	185.7	208.0	
2-Ethylphenol	C ₈ H ₁₀ O	46.2	73.4	87.0	101.5	117.9	127.9	141.8	161.6	184.5	207.5	-45
3-Ethylphenol	C ₈ H ₁₀ O	60.0	86.8	100.2	114.5	130.0	139.8	152.0	171.8	193.3	214.0	-4
4-Ethylphenol	C ₈ H ₁₀ O	50.3	86.5	100.2	115.0	131.3	141.7	154.2	175.0	197.4	219.0	46.5
Ethyl phenyl ether (phenetole)	C ₉ H ₁₀ O	18.1	43.7	56.4	70.3	86.6	95.4	108.4	127.9	149.8	172.0	-30.2
Ethyl propionate	C ₇ H ₁₂ O ₂	-28.0	-7.2	+3.4	14.3	27.2	35.1	45.2	61.7	79.8	99.1	-72.6
Ethyl propyl ether	C ₈ H ₁₆ O	-64.3	-45.0	-35.0	-24.0	-12.0	-4.0	+6.8	23.3	41.6	61.7	
Ethyl salicylate	C ₉ H ₁₀ O ₃	61.2	90.0	104.2	119.3	136.7	147.6	161.5	183.7	207.0	231.5	1.3
3-Ethylstyrene	C ₉ H ₁₀	28.3	55.0	68.3	82.8	99.2	109.6	123.2	144.0	167.2	191.5	
4-Ethylstyrene	C ₉ H ₁₀	26.0	52.7	66.3	80.8	97.3	107.6	121.5	142.0	165.0	189.0	
Ethylisothiocyanate	C ₅ H ₈ NS	-13.2	+10.6	22.8	36.1	50.8	59.8	71.9	90.0	110.1	131.0	-5.0
2-Ethyltoluene	C ₉ H ₁₂	9.4	34.8	47.6	61.2	76.4	86.0	99.0	119.0	141.4	165.1	
3-Ethyltoluene	C ₉ H ₁₂	7.2	32.3	44.7	58.2	73.3	82.9	95.9	115.5	137.8	161.3	-95.5
4-Ethyltoluene	C ₉ H ₁₂	7.6	32.7	44.9	58.5	73.6	83.2	96.3	116.1	136.4	162.0	
Ethyl trichloroacetate	C ₆ H ₈ Cl ₃ O ₂	20.7	45.5	57.7	70.6	85.5	94.4	107.4	125.8	146.0	167.0	
Ethyltrimethylsilane	C ₆ H ₁₄ Si	-60.6	-41.4	-31.8	-21.0	-9.0	-1.2	+9.2	25.0	42.8	62.0	
Ethyltrimethyltin	C ₆ H ₁₄ Sn	-30.0	-7.6	+3.8	16.1	30.0	38.4	50.0	67.3	87.6	108.8	
Ethyl isovalerate	C ₈ H ₁₆ O ₂	-6.1	+17.0	28.7	41.3	55.2	64.0	75.9	93.8	114.0	134.3	-90.3
2-Ethyl-1,4-xylene	C ₁₀ H ₁₄	25.7	52.0	65.6	79.8	96.0	106.2	120.0	140.2	163.1	186.9	
4-Ethyl-1,3-xylene	C ₁₀ H ₁₄	26.3	53.0	66.4	80.6	97.2	107.4	121.2	141.8	164.4	188.4	
5-Ethyl-1,3-xylene	C ₁₀ H ₁₄	22.1	48.8	62.1	76.5	92.6	103.0	116.5	137.4	159.6	183.7	
Eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	78.4	108.1	123.0	138.7	155.8	167.3	182.2	204.7	228.3	253.5	
iso-Eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	86.3	117.0	132.4	149.0	167.2	178.2	194.0	217.2	242.3	267.5	-10
Eugenyl acetate	C ₁₂ H ₁₄ O ₃	101.6	132.3	148.0	164.2	183.0	194.0	209.7	232.5	257.4	282.0	205
Fenchonic acid	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	101.7	128.7	142.3	155.8	171.8	181.5	194.0	215.0	237.8	264.1	19
<i>d</i> -Fenchone	C ₁₀ H ₁₆ O	28.0	54.7	68.3	83.0	99.5	100.8	123.6	144.0	166.8	191.0	5
<i>d</i> -Fenchyl alcohol	C ₁₀ H ₁₈ O	45.8	70.3	82.1	95.6	110.8	120.2	132.3	150.0	173.2	201.0	35
Fluorene	C ₁₀ H ₈	129.3	146.0	164.2	185.2	197.8	214.7	240.3	268.6	298.0	313	113
Fluorobenzene	C ₆ H ₅ F	-43.4	-22.8	-12.4	-1.2	+11.5	19.6	30.4	47.2	65.7	84.7	-42.1
2-Fluorotoluene	C ₇ H ₇ F	-24.2	-2.2	+8.9	21.4	34.7	43.7	55.3	73.0	92.8	114.0	-80
3-Fluorotoluene	C ₇ H ₇ F	-22.4	-0.3	+11.0	23.4	37.0	45.8	57.5	75.4	95.4	116.0	-110.8
4-Fluorotoluene	C ₇ H ₇ F	-21.8	+0.3	11.8	24.0	37.8	46.5	58.1	76.0	96.1	117.0	
Formaldehyde	CH ₂ O			-88.0	-79.6	-70.6	-65.0	-57.3	-46.0	-33.0	-19.5	-92
Formamide	CH ₃ NO	70.5	96.3	109.5	122.5	137.5	147.0	157.5	175.5	193.5	210.5	
Formic acid	CH ₂ O ₂	-20.0	-5.0	+2.1	10.3	24.0	32.4	43.8	61.4	80.3	100.6	8.2
<i>trans</i> -Fumaryl chloride	C ₄ H ₂ Cl ₂ O ₂	+15.0	38.5	51.8	65.0	79.5	89.0	101.0	120.0	140.0	160.0	
Furfural (2-furaldehyde)	C ₅ H ₄ O ₂	18.5	42.6	54.8	67.8	82.1	91.5	103.4	121.8	141.8	161.8	
Furfuryl alcohol	C ₅ H ₆ O ₂	31.8	56.0	68.0	81.0	95.7	104.0	115.9	133.1	151.8	170.0	
Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	69.2	96.8	110.0	125.6	141.8	151.5	165.3	185.6	207.8	230.0	
Geranyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	73.5	102.7	117.9	133.0	150.0	160.3	175.2	196.3	219.8	243.3	
Geranyl <i>n</i> -butyrate	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	96.8	125.2	139.0	153.8	170.1	180.2	193.8	214.0	235.0	257.4	
Geranyl isobutyrate	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	90.9	119.6	133.0	147.9	164.0	174.0	187.7	207.6	228.5	251.0	
Geranyl formate	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	61.8	90.3	104.3	119.8	136.2	147.2	160.7	182.6	205.8	230.0	
Glutaric acid	C ₅ H ₈ O ₄	155.5	183.8	196.0	210.5	226.3	235.5	247.0	265.0	283.5	303.0	97.5
Glutaric anhydride	C ₅ H ₈ O ₃	100.8	133.3	149.5	166.0	185.5	196.2	212.5	236.5	261.0	287.0	
Glutaronitrile	C ₅ H ₆ N ₂	91.3	123.7	140.0	156.5	176.4	189.5	205.5	230.0	257.3	286.2	
Glutaryl chloride	C ₅ H ₈ Cl ₂ O ₂	56.1	84.0	97.8	112.3	128.3	139.1	151.8	172.4	195.3	217.0	
Glycerol	C ₃ H ₈ O ₃	125.5	153.8	167.2	182.2	198.0	208.0	220.1	240.0	263.0	290.0	17.0
Glycerol dichlorohydrin (1,3-dichloro-2-propanol)	C ₃ H ₆ Cl ₂ O	28.0	52.2	64.7	78.0	93.0	102.0	114.8	133.3	153.5	174.3	
Glycol diacetate	C ₆ H ₁₀ O ₄	38.3	64.1	77.1	90.8	106.1	115.8	128.0	147.8	168.3	190.5	-31
Glycolide (1,4-dioxane-2,6-dione)	C ₄ H ₆ O ₃	103.0	116.6	132.0	148.6	168.2	173.2	194.0	217.0	240.0	260.0	97
Guaiacol (2-methoxyphenol)	C ₇ H ₈ O ₂	52.4	79.1	92.0	106.0	121.6	131.0	144.0	162.7	184.1	205.0	28.3
Heptacosane	C ₂₇ H ₅₆	152.6	188.0	205.4	223.2	243.4	255.3	272.0	296.5	323.8	350.5	40.4
Heptacosane	C ₂₇ H ₅₆	211.7	248.6	266.8	284.6	305.7	318.3	333.5	350.4	385.0	410.6	59.5
Heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	115.0	145.2	160.0	177.7	195.8	207.3	223.0	247.8	274.5	303.0	22.5
Heptaldehyde (enanthaldehyde)	C ₇ H ₁₄ O	12.0	32.7	43.0	54.0	66.3	74.0	84.0	102.0	125.5	155.0	-42
<i>n</i> -Heptane	C ₇ H ₁₆	-34.0	-12.7	-2.1	+9.5	22.3	30.6	41.8	58.7	76.0	98.4	-90.6
Heptanoic acid (enanthic acid)	C ₇ H ₁₄ O ₂	78.0	101.3	113.2	125.6	139.5	148.5	160.0	179.5	199.6	221.5	-10
1-Heptanol	C ₇ H ₁₆ O	42.4	64.3	74.7	85.8	99.8	108.0	119.5	136.6	155.6	175.8	34.6
Heptanoyl chloride (enanthyl chloride)	C ₇ H ₁₃ ClO	34.2	54.6	64.6	75.0	86.4	93.5	102.7	116.3	130.7	145.0	
2-Heptene	C ₇ H ₁₄	-35.8	-14.1	-3.5	+8.3	21.5	30.0	41.3	58.6	78.1	98.5	
Heptylbenzene	C ₁₄ H ₂₀	64.0	94.6	110.0	126.0	144.0	154.8	170.2	193.3	217.8	244.0	
Heptyl cyanide (enanthonitrile)	C ₇ H ₁₃ N	21.0	47.8	61.6	76.3	92.6	103.0	116.8	137.7	160.0	184.6	
Hexachlorobenzene	C ₆ Cl ₆	114.4	149.3	166.4	185.7	206.0	219.0	235.5	258.5	283.5	309.4	230
Hexachloroethane	C ₂ Cl ₆	32.7	49.8	73.5	87.6	102.3	112.0	124.2	143.1	163.8	185.6	186.6
Hexacosane	C ₂₆ H ₅₄	204.0	240.0	257.4	275.8	295.2	307.8	323.2	348.4	374.6	399.8	56.6
Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	105.3	135.2	149.8	164.7	181.3	193.2	208.5	231.7	258.3	287.5	18.5
1-Hexadecene	C ₁₆ H ₃₂	101.6	131.7	146.2	162.0	178.8	190.8	205.3	226.8	250.0	274.0	4
<i>n</i> -Hexadecyl alcohol (cetyl alcohol)	C ₁₆ H ₃₄ O	122.7	158.3	177.8	197.8	219.8	234.3	251.7	280.2	312.7	344.0	49.3

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

Compound		Pressure, mmHg										Melting point, °C
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760	
Name	Formula	Temperature, °C										
Piperidine	C ₆ H ₁₁ N		-7.0	+3.9	15.8	29.2	37.7	49.0	66.2	85.7	106.0	-9
Piperonal	C ₉ H ₈ O ₃	87.0	117.4	132.0	148.0	165.7	177.0	191.7	214.3	238.5	263.0	37
Propane	C ₃ H ₈	-128.9	-115.4	-108.5	-100.0	-92.4	-87.0	-79.6	-68.4	-55.6	-42.1	-187.1
Propenylbenzene	C ₉ H ₁₀	17.5	43.8	57.0	71.5	87.7	97.8	111.7	132.0	154.7	179.0	-30.1
Propionamide	C ₃ H ₇ NO	65.0	91.0	105.0	119.0	134.8	144.3	156.0	174.2	194.0	213.0	79
Propionic acid	C ₃ H ₆ O ₂	4.6	28.0	39.7	52.0	65.8	74.1	85.8	102.5	122.0	141.1	-22
Propionylbenzene anhydride	C ₆ H ₁₀ O ₃	20.6	45.3	57.7	70.4	85.6	94.5	107.2	127.8	146.0	167.0	-45
Propionitrile	C ₃ H ₅ N	-35.0	-13.6	-3.0	+8.8	22.0	30.1	41.4	58.2	77.7	97.1	-91.9
Propiophenone	C ₉ H ₁₀ O	50.0	77.9	92.2	107.6	124.3	135.0	149.3	170.2	194.2	218.0	21
n-Propyl acetate	C ₅ H ₁₀ O ₂	-26.7	-5.4	+5.0	16.0	28.8	37.0	47.8	64.0	82.0	101.8	-92.5
iso-Propyl acetate	C ₅ H ₁₀ O ₂	-38.3	-17.4	-7.2	+4.2	17.0	25.1	35.7	51.7	69.8	89.0	
n-Propyl alcohol (1-propanol)	C ₃ H ₇ O	-15.0	+5.0	14.7	25.3	36.4	43.5	52.8	66.8	82.0	97.8	-127
iso-Propyl alcohol (2-propanol)	C ₃ H ₇ O	-26.1	-7.0	+2.4	12.7	23.8	30.5	39.5	53.0	67.8	82.5	-85.8
n-Propylamine	C ₃ H ₇ N	-64.4	-46.3	-37.2	-27.1	-16.0	-9.0	+0.5	15.0	31.5	48.5	-83
Propylbenzene	C ₉ H ₁₂	6.3	31.3	43.4	56.8	71.6	81.1	94.0	113.5	135.7	159.2	-99.5
Propyl benzoate	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	54.6	83.8	98.0	114.3	131.8	143.3	157.4	180.1	205.2	231.0	-51.6
n-Propyl bromide (1-bromopropane)	C ₃ H ₇ Br	-53.0	-33.4	-23.3	-12.4	-0.3	+7.5	18.0	34.0	52.0	71.0	-109.9
iso-Propyl bromide (2-bromopropane)	C ₃ H ₇ Br	-61.8	-42.5	-32.8	-22.0	-10.1	-2.5	+8.0	23.8	41.5	60.0	-89.0
n-Propyl n-butyrate	C ₇ H ₁₄ O ₂	-1.6	+22.1	34.0	47.0	61.5	70.3	82.6	101.0	121.7	142.7	-95.2
isobutyrate	C ₄ H ₈ O ₂	-6.2	+16.8	28.3	40.6	54.3	63.0	73.9	91.8	112.0	133.9	
iso-Propyl isobutyrate	C ₇ H ₁₄ O ₂	-16.3	+5.8	17.0	29.0	42.4	51.4	62.3	80.2	100.0	120.5	
Propyl carbamate	C ₆ H ₁₃ NO ₂	52.4	77.6	90.0	103.2	117.7	126.5	138.3	155.8	175.8	195.0	
n-Propyl chloride (1-chloropropane)	C ₃ H ₇ Cl	-68.3	-50.0	-41.0	-31.0	-19.5	-12.1	-2.5	+12.2	29.4	46.4	-122.8
iso-Propyl chloride (2-chloropropane)	C ₃ H ₇ Cl	-78.8	-61.1	-52.0	-42.0	-31.0	-23.5	-13.7	+1.3	18.1	36.5	-117
iso-Propyl chloroacetate	C ₅ H ₉ ClO ₂	+3.8	28.1	40.2	53.0	68.7	78.0	90.3	108.8	128.0	148.6	
Propyl chloroglyoxylate	C ₅ H ₇ ClO ₃	9.7	32.3	43.5	55.6	68.8	77.2	88.0	104.7	123.0	150.0	
Propylene	C ₃ H ₆	-131.9	-120.7	-112.1	-104.7	-96.5	-91.3	-84.1	-73.3	-60.9	-47.7	-185
Propylene glycol (1,2-Propanediol)	C ₃ H ₈ O ₂	45.5	70.8	83.2	96.4	111.2	119.9	132.0	149.7	168.1	188.2	
Propylene oxide	C ₃ H ₆ O	-75.0	-57.8	-49.0	-39.3	-28.4	-21.3	-12.0	+2.1	17.8	34.5	-112.1
Propyl formate	C ₄ H ₈ O ₂	-43.0	-22.7	-12.6	-1.7	+10.8	18.8	29.5	45.3	62.6	81.3	-92.9
iso-Propyl formate	C ₄ H ₈ O ₂	-52.0	-32.7	-22.7	-12.1	-0.2	+7.5	17.8	33.6	50.5	68.3	
4,4'-iso-Propylidenebisphenol	C ₁₆ H ₁₈ O ₂	193.0	224.2	240.8	255.5	273.0	282.9	297.0	317.5	339.0	360.5	
n-Propyl iodide (1-iodopropane)	C ₃ H ₇ I	-36.0	-13.5	-2.4	+10.0	23.6	32.1	43.8	61.8	81.8	102.5	-98.8
iso-Propyl iodide (2-iodopropane)	C ₃ H ₇ I	-43.3	-22.1	-11.7	0.0	+13.2	21.6	32.8	50.0	69.5	89.5	-90
n-Propyl levulinate	C ₈ H ₁₄ O ₃	59.7	86.3	99.9	114.0	130.1	140.6	154.0	175.6	198.0	221.2	
iso-Propyl levulinate	C ₈ H ₁₄ O ₃	48.0	74.5	88.0	102.4	118.1	127.8	141.8	161.6	185.2	208.2	
Propyl mercaptan (1-propanethiol)	C ₃ H ₇ S	-56.0	-36.3	-26.3	-15.4	-3.2	+4.6	15.3	31.5	49.2	67.4	-112
2-iso-Propyl-naphthalene	C ₁₂ H ₁₈	76.0	107.9	123.4	140.3	159.0	171.4	187.6	211.8	238.5	266.0	
iso-Propyl β-naphthyl ketone (2-Isobutyronaphthone)	C ₁₆ H ₁₆ O	133.2	165.4	181.0	197.7	215.6	227.0	242.3	264.0	288.2	313.0	
2-iso-Propylphenol	C ₉ H ₁₀ O	56.6	83.8	97.0	111.7	127.5	137.7	150.3	170.1	192.6	214.5	15.5
3-iso-Propylphenol	C ₉ H ₁₀ O	62.0	90.3	104.1	119.8	136.2	146.6	160.2	182.0	205.0	228.0	26
4-iso-Propylphenol	C ₉ H ₁₀ O	67.0	94.7	108.0	123.4	139.8	149.7	163.3	184.0	206.1	228.2	61
Propyl propionate	C ₆ H ₁₂ O ₂	-14.2	+8.0	19.4	31.6	45.0	53.8	65.2	82.7	102.0	122.4	-76
4-iso-Propylstyrene	C ₁₁ H ₁₄	34.7	62.3	76.0	91.2	108.0	118.4	132.8	153.9	178.0	202.5	
Propyl isovalerate	C ₈ H ₁₆ O ₂	+8.0	32.8	45.1	58.0	72.8	82.3	95.0	113.9	135.0	155.9	
Pulegone	C ₁₀ H ₁₆ O	58.3	82.5	94.0	106.8	121.7	130.2	143.1	162.5	189.8	221.0	
Pyridine	C ₅ H ₅ N	-18.9	+2.5	13.2	24.8	38.0	46.8	57.8	75.0	95.6	115.4	-42
Pyrocatechol	C ₆ H ₆ O ₂	104.0	118.3	134.0	150.6	161.7	176.0	197.7	221.5	245.5	265.0	105
Pyrocatechol diacetate (1,2-phenylene diacetate)	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	98.0	129.8	145.7	161.8	179.8	191.6	206.5	228.7	253.3	278.0	
Pyrogallol	C ₆ H ₆ O ₃	151.7	167.7	185.3	204.2	216.3	232.0	255.3	281.5	309.0	330.0	133
Pyrotartaric anhydride	C ₈ H ₆ O ₃	69.7	99.7	114.2	130.0	147.8	158.6	173.8	196.1	221.0	247.4	
Pyruvic acid	C ₃ H ₄ O ₃	21.4	45.8	57.9	70.8	85.3	94.1	106.5	124.7	144.7	165.0	13.6
Quinoline	C ₈ H ₇ N	59.7	89.6	103.8	119.8	136.7	148.1	163.2	186.2	212.3	237.7	-15
iso-Quinoline	C ₈ H ₇ N	63.5	92.7	107.8	123.7	141.6	152.0	167.6	190.0	214.5	240.5	24.6
Resorcinol	C ₆ H ₆ O ₂	108.4	138.0	152.1	168.0	185.3	195.8	209.8	230.8	253.4	276.5	110.7
Safrole	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	63.8	93.0	107.6	123.0	140.1	150.3	165.1	186.2	210.0	233.0	11.2
Salicylaldehyde	C ₇ H ₆ O ₂	33.0	60.1	73.8	88.7	105.2	115.7	129.4	150.0	173.7	196.5	-7
Salicylic acid	C ₇ H ₆ O ₃	113.7	136.0	146.2	156.8	172.2	182.0	193.4	210.0	230.5	256.0	159
Sebacic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	183.0	215.7	232.0	250.0	268.2	279.8	294.5	313.2	332.8	352.3	134.5
Selenophene	C ₄ H ₄ Se	-39.0	-16.0	-1.0	+8.1	24.1	33.8	47.0	66.7	89.8	114.3	
Skatole	C ₉ H ₈ N	95.0	124.2	139.6	154.3	171.9	183.6	197.4	218.8	242.5	266.2	95
Stearaldehyde	C ₁₈ H ₃₆ O	140.0	174.6	192.1	210.6	230.8	244.2	260.0	285.0	313.8	342.5	63.5
Stearic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	173.7	209.0	225.0	243.4	263.3	275.5	291.0	316.5	343.0	370.0	69.3
Stearyl alcohol (1-octadecanol)	C ₁₈ H ₃₈ O	150.3	185.6	202.0	220.0	240.4	252.7	269.4	293.5	320.3	349.5	58.5
Styrene	C ₈ H ₈	-7.0	+18.0	30.8	44.6	59.8	69.5	82.0	101.3	122.5	145.0	-30.6
Styrene dibromide [(1,2-dibromoethyl) benzene]	C ₈ H ₈ Br ₂	86.0	115.6	129.8	145.2	161.8	172.2	186.3	207.8	230.0	254.0	
Suberic acid	C ₈ H ₁₄ O ₄	172.8	205.5	219.5	238.2	254.6	265.4	279.8	300.5	322.8	345.5	142
Succinic anhydride	C ₆ H ₈ O ₃	92.0	115.0	128.2	145.3	163.0	174.0	189.0	212.0	237.0	261.0	119.6
Succinimide	C ₄ H ₇ NO ₂	115.0	143.2	157.0	174.0	192.0	203.0	217.4	240.0	263.5	287.5	125.5
Succinyl chloride	C ₄ H ₆ Cl ₂ O ₂	39.0	65.0	78.0	91.8	107.5	117.2	130.0	149.3	170.0	192.5	17
α-Terpinol	C ₁₀ H ₁₆ O	52.8	80.4	94.3	109.8	126.0	136.3	150.1	171.2	194.3	217.5	35
Terpenolene	C ₁₀ H ₁₆	32.3	58.0	70.6	84.8	100.0	109.8	122.7	142.0	163.5	185.0	

Gráfico 7: Parámetros para la estimación de la capacidad calorífica de líquidos por el método de contribución de grupos de Ruzicka-Domalski.

TABLE 2-348 Liquid Heat Capacity Group Parameters for Ruzicka-Domalski Method*

Table-specific nomenclature: Ct refers to a carbon atom with a triple bond; Cb refers to a carbon atom in benzene ring; =C refers to a carbon atom with a double bond; Cp refers to a carbon atom in a fused benzene ring; =C= refers to an allenic carbon atom.

Group Definition	a	b	d	T range (K)	Group Definition	a	b	d	T range (K)
Hydrocarbon Groups					Nitrogen Groups				
C-(3H,C)	3.8452	-0.33997	0.19489	80-490	N-(H,2C)	-0.10987	0.73024	0.89325	170-400
C-(2H,2C)	2.7972	-0.054967	0.10679	80-490	N-(3C)	4.5942	-2.2134	0.55316	160-360
C-(H,3C)	-0.42867	0.93805	0.0029498	85-385	N-(H,C,Cb)	0.49631	3.4617	-0.57161	240-380
C-(4C)	-2.9353	1.4255	-0.085271	145-395	N-(2C,Cb)	-0.23640	16.260	-2.5258	285-390
=C-(2H)	4.1763	-0.47392	0.099928	90-355	N-(C,2Cb)	4.5942	-2.2134	0.55316	160-360
=C-(H,C)	4.0749	-1.0735	0.21413	90-355	Cb-(N)	-0.78169	1.5059	-0.25287	240-455
=C-(2C)	1.9570	-0.31938	0.11911	140-315	N-(2H,N)	6.8050	-0.72563	0.15634	215-465
=C-(H,=C)	3.6968	-1.6037	0.55022	130-305	N-(H,C,N)	1.1411	3.5981	-0.69350	205-300
=C-(C,=C)	1.0679	-0.50952	0.33607	130-305	N-(2C,N)	-1.0570	4.0038	-0.71494	205-300
C-(3H,=C)	3.8452	-0.33997	0.19489	80-490	N-(H,Cb,N)	-0.74531	3.6258	-0.53306	295-385
C-(2H,C,=C)	0.0268	-0.20137	0.11624	90-355	C-(2H,C,CN)	11.976	-2.4886	0.52358	185-345
C-(H,2C,=C)	-0.87558	0.82109	0.18415	110-300	C-(3C,CN)	2.5774	3.5218	-0.58466	295-345
C-(3C,=C)	-4.8006	2.6004	-0.040688	165-295	=C-(H,CN)	9.0789	-0.86929	0.32986	195-345
C-(2H,2=C)	1.4973	-0.46017	0.52861	130-300	Cb-(CN)	1.9389	3.0269	-0.47276	265-480
Ct-(H)	9.1633	-4.6695	1.1400	150-275	C-(2H,C,NO ₂)	18.520	-5.4568	1.05080	190-300
Ct-(C)	1.4822	1.0770	-0.19489	150-285	O-(C,NO ₂)	-2.0181	10.505	-1.83980	180-350
=C=	3.0580	-0.62917	0.25779	140-315	Cb-(NO ₂)	15.277	-4.4049	0.71161	280-415
Ct-(Cb)	12.377	-7.5742	1.3760	230-550	N-(H,2Cb) (pyrrole)	-7.3662	6.3622	-0.68137	255-450
Cb-(H)	2.2609	-0.2500	0.12592	180-670	Nb-(2Cb)	0.84237	1.25560	-0.20336	210-395
Cb-(C)	1.5070	-0.13366	0.011799	180-670	Oxygen Groups				
Cb-(=C)	-5.7020	5.8271	-1.2013	230-550	O-(H,C)	12.952	-10.145	2.6261	155-505
Cb-(Cb)	5.8685	-0.86054	-0.063611	295-670	O-(H,C) (diol)	5.2302	-1.5124	0.54075	195-475
C-(2H,C,Ct)	0.0268	-0.20137	0.11624	90-355	O-(H,Cb) (diol)	5.2302	-1.5124	0.54075	195-475
C-(3H,Cb)	3.8452	-0.33997	0.19489	80-490	O-(H,Cb)	-7.9768	8.10450	-0.87263	285-400
C-(3H,Cb)	3.8452	-0.33997	0.19489	80-490	C-(3H,O)	3.8452	-0.33997	0.19489	80-490
C-(2H,C,Cb)	1.4142	0.56919	0.0053465	180-470	C-(2H,C,O)	1.4596	1.4657	-0.27140	135-505
C-(H,2C,Cb)	-0.10495	1.0141	-0.071918	180-670	C-(2H,Cb,O)	-35.127	28.409	-4.9593	260-460
C-(3C,Cb)	1.2367	-1.3997	0.41385	220-295	C-(2H,=C,O)	-35.127	28.409	-4.9593	260-460
C-(2H,2Cb)	-18.583	11.344	-1.4108	300-420	C-(H,2C,O) (alcohol)	2.2209	-1.4350	0.69508	185-460
C-(H,3Cb)	-46.611	24.987	-3.0249	375-595	C-(H,2C,O) (ether, ester)	0.98790	0.39403	-0.016124	130-170
=C-(H,Cb)	3.6968	-1.6037	0.55022	130-305	C-(3C,O) (alcohol)	-44.690	31.769	-4.8791	200-355
=C-(C,Cb)	1.0679	-0.50952	0.33607	130-305	C-(3C,O) (ether, ester)	-3.3182	2.6317	-0.44354	170-310
Cp-(Cp,2Cb)	-3.5572	2.8308	-0.39125	250-510	O-(2C)	5.0312	-1.5718	0.37860	130-350
Cp-(2Cp,Cb)	-11.635	6.4068	-0.78182	370-510	O-(C,Cb)	-22.5240	13.1150	-1.44210	320-350
Cp-(3Cp)	26.164	-11.353	1.2756	385-480	O-(2Cb)	-4.5788	0.94150	0.31655	300-535
Halogen Groups					C-(2H,2O)	1.0852	1.5402	-0.31693	170-310
C-(C,3F)	15.423	-9.2464	2.8647	125-345	C-(2C,2O)	-12.955	9.10270	-1.53670	275-335
C-(2C,2F)	-8.9527	10.550	-1.9986	125-345	Cb-(O)	-1.0686	3.52210	-0.79259	285-530
C-(C,3Cl)	8.5430	2.6966	-0.42564	245-310	C-(3H,CO)	3.8452	-0.33997	0.19489	80-490
C-(H,C,2Cl)	10.880	-0.35391	0.08488	180-355	C-(2H,C,CO)	6.6782	-2.44730	0.47121	180-465
C-(2H,C,Cl)	9.6663	-1.8601	0.41360	140-360	C-(H,2C,CO)	3.92380	-2.12100	0.49646	185-375
C-(2H,=C,Cl)	9.6663	-1.8601	0.41360	140-360	C-(3C,CO)	-2.2681	1.75580	-0.25674	225-360
C-(H,2C,Cl)	-2.0600	5.3281	-0.82721	275-360	CO-(H,C)	-3.82680	7.67190	-1.27110	180-430
C-(2H,C,Br)	6.3944	-0.10298	0.19403	165-360	CO-(H,=C)	-8.00240	3.63790	-0.15377	220-430
C-(H,2C,Br)	10.784	-2.4754	0.33288	190-420	CO-(H,Cb)	-8.00240	3.63790	-0.15377	220-430
C-(2H,C,I)	0.037620	5.6204	-0.92054	245-340	CO-(2C)	5.4375	0.72091	-0.18312	185-380
C-(C,2Cl,F)	13.532	-3.2794	0.80145	240-420	CO-(C,=C)	41.507	-32.632	6.0326	275-355
C-(C,Cl,2F)	7.295	0.41759	0.15892	180-420	CO-(C,Cb)	-47.21100	24.36800	-2.82740	300-465
C-(C,Br,2F)	8.7956	-0.19165	0.24596	165-415	CO-(H,O)	13.11800	16.12000	-5.12730	280-340
=C-(H,Cl)	7.1564	-0.84442	0.27199	120-300	CO-(C,O)	29.24600	3.42610	-2.89620	180-445
=C-(2F)	7.6646	-2.0750	0.82003	120-240	CO-(=C,O)	41.61500	-12.78900	0.53631	195-350
=C-(2Cl)	9.3249	-1.2478	0.44241	155-300	CO-(O,CO)	23.99000	6.25730	-3.24270	320-345
=C-(Cl,F)	7.8204	-0.69005	0.19165	120-240	O-(C,O)	-21.43400	-4.01640	3.05310	175-440
Cb-(F)	3.0794	0.46959	-0.0055745	210-365	O-(H,CO)	-27.58700	-0.16485	2.74830	230-500
Cb-(Cl)	4.5479	0.22250	-0.0097873	230-460	=C-(H,CO)	-9.01080	15.14800	-3.04360	195-355
Cb-(Br)	2.2857	2.2573	-0.40942	245-370	=C-(C,CO)	-12.81800	15.99700	-3.05670	195-430
Cb-(I)	2.9033	2.9763	-0.62960	250-320	Cb-(CO)	12.15100	-1.67050	-0.12758	175-500
C-(Cb,3F)	7.4477	-0.92230	0.39346	210-365	CO-(Cb,O)	16.58600	5.44910	-2.68490	175-500
C-(2H,Cb,Cl)	16.752	-6.7938	1.2520	245-345	Sulfur Groups				
Nitrogen Groups					C-(3H,S)	3.84520	-0.33997	0.19489	80-490
C-(3H,N)	3.8452	-0.33997	0.19489	80-490	C-(2H,C,S)	1.54560	0.88228	-0.08349	130-390
C-(2H,C,N)	2.4555	1.0431	-0.24054	190-375	C-(H,2C,S)	-1.64300	2.30700	-0.31234	150-390
C-(2H,Cb,N)	2.4555	1.0431	-0.24054	190-375	C-(3C,S)	-5.38250	4.50230	-0.72356	190-365
C-(H,2C,N)	2.6322	-2.0135	0.45109	240-370	Cb-(S)	-4.45070	4.43240	-0.75674	260-375
C-(3C,N)	1.9630	-1.7235	0.31086	255-375	S-(H,C)	10.99400	-3.21130	0.47368	130-380
N-(2H,C)	8.2758	-0.18365	0.035272	185-455	S-(H,Cb)	10.99400	-3.21130	0.47368	130-380
N-(2H,Cb)	8.2758	-0.18365	0.035272	185-455	S-(2C)	9.23060	-3.00870	0.45625	165-390
					S-(2Cb)	9.23060	-3.00870	0.45625	165-390
					S-(C,S)	6.65900	-1.35570	0.17938	170-350
					S-(Cb,S)	9.23060	-3.00870	0.45625	165-390
					S-(2Cb) (thiophene)	3.84610	0.36718	-0.06131	205-345

Gráfico 8: Parámetros para la estimación de propiedades críticas de compuestos por el método de contribución de grupos de Joback.

Group	Δ_T	Δ_E	Δ_V
Nonring increments:			
—CH ₃	0.0141	-0.0012	65
>CH ₂	0.0189	0	56
>CH—	0.0164	0.0020	41
>C<	0.0067	0.0043	27
=CH ₂	0.0113	-0.0028	56
=CH—	0.0129	-0.0006	46
=C<	0.0117	0.0011	38
=C=	0.0026	0.0028	36
=CH	0.0027	-0.0008	46
=C—	0.0020	0.0016	37
Ring increments:			
—CH ₂ —	0.0100	0.0025	48
>CH—	0.0122	0.0004	38
>C<	0.0042	0.0061	27
=CH—	0.0082	0.0011	41
=C<	0.0143	0.0008	32
Halogen increments:			
—F	0.0111	-0.0057	27
—Cl	0.0105	-0.0049	58
—Br	0.0133	0.0057	71
—I	0.0068	-0.0034	97
Oxygen increments:			
—OH (alcohol)	0.0741	0.0112	28
—OH (phenol)	0.0240	0.0184	-25
—O— (nonring)	0.0168	0.0015	18
—O— (ring)	0.0098	0.0048	13
>C=O (nonring)	0.0380	0.0031	62
>C=O (ring)	0.0284	0.0028	55
—CH=O (aldehyde)	0.0379	0.0030	82
—COOH (acid)	0.0791	0.0077	89
—COO— (ester)	0.0481	0.0005	82
=O (except as above)	0.0143	0.0101	36
Nitrogen increments:			
—NH ₂	0.0243	0.0109	38
>NH (nonring)	0.0295	0.0077	35
>NH (ring)	0.0130	0.0114	29
>N— (nonring)	0.0169	0.0074	9
—N= (nonring)	0.0255	-0.0009	—
—N= (ring)	0.0085	0.0076	34
—CN	0.0496	-0.0101	91
—NO ₂	0.0437	0.0064	91
Sulfur increments:			
—SH	0.0031	0.0084	63
—S— (nonring)	0.0119	0.0049	54
—S— (ring)	0.0019	0.0051	38

*Joback, K. G., M.S. thesis in chemical engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., June 1984.

Gráfico 9: Parámetros para la estimación del factor acéntrico de compuestos por el método contribución de grupos de Constantinou.

Property	v_{p1k}	v_{b1k}	v_{c1k}	v_{e1k}	v_{f1k}	v_{g1k}	v_{h1k}	v_{i1k}	v_{j1k}	v_{k1k}	v_{l1k}	v_{m1k}	v_{n1k}	v_{o1k}	v_{p1k}	v_{q1k}	v_{r1k}	v_{s1k}
Units	K	K	K	bar ^{1/2}	mol ^{1/2}	mol ^{1/2}	kJ mol ⁻¹											
CF ₄ (1)	0.4640	0.8891	1.6781	0.0199	0.0750	0.296	45.947	-4.030	4.116	0.0261	35.1152	39.5923	-9.9222					
CF ₂ (2)	0.0246	0.0225	3.4920	0.0106	0.0588	0.147	-20.765	8.231	4.630	0.0164	22.0546	45.0933	-15.7032					
CH (3)	0.3557	0.6033	4.0350	0.0013	0.0315	-0.071	-3.766	19.828	2.771	0.0073	8.9279	59.9786	-29.5142					
C (4)	1.6479	0.2878	4.8823	-0.0104	0.0305	-0.531	17.112	37.977	1.284	-0.0038	0.3456	74.0368	-45.7875					
CH ₂ =CH (1)	1.6472	1.7829	5.0146	0.0250	0.1165	0.408	53.712	84.926	6.714	0.0373	49.2506	59.2840	21.2964					
CH=CH (2)	1.6322	1.8433	7.3691	0.0179	0.0754	0.252	69.839	92.900	7.370	0.0269	35.2248	62.1924	24.8156					
CH ₂ -C (2)	1.7899	1.7119	5.5061	0.0223	0.0918	0.225	64.144	88.402	6.797	0.0270	57.6209	62.1285	26.0637					
CH ⁺ -C (3)	2.0018	1.9759	8.9582	0.0326	0.0723	0.235	82.528	93.745	8.178	0.0161	31.3528	66.3947	-29.5763					
C=C (4)	5.1175	1.8681	11.3764	0.0020	0.0762	-0.219	104.293	116.613	9.342	0.0030	10.2797	65.3332	-30.6057					
CH ₂ =C=C=CH (1)	1.3439	3.1263	9.9318	0.0513	0.1443	0.132	197.322	221.366	12.318	0.0434	66.0574	69.3936	-25.1081					
ACU (2)	1.4669	0.9299	3.7337	0.0075	0.022	0.027	11.380	22.523	4.098	0.0132	16.3794	32.7434	-13.1602					
AC (3)	0.2098	1.6254	14.6409	0.0021	0.0398	0.334	27.016	30.485	1.552	0.0044	10.4283	25.3634	12.9283					
ACCl ₂ (2)	1.8635	1.9660	8.2130	0.0194	0.1036	0.146	19.243	22.505	9.776	0.0289	44.8369	65.6664	31.0670					
ACCF ₂ (2)	0.4177	1.9478	10.5238	0.0122	0.1010	-0.038	9.406	41.229	19.185	0.0392	32.8205	70.4153	-28.9261					
ACCF ₃ (2)	-1.7597	1.7444	10.4664	0.0038	0.0712	1.524	27.671	52.948	5.824	0.0099	19.9504	81.8764	-40.2864					
QH (1)	3.5979	3.2152	9.7292	0.0051	0.0390	0.737	-181.422	-158.586	34.529	0.0055	27.2107	2.7609	1.3060					
ACOH (2)	13.7356	4.4014	23.9145	-0.0074	0.0316	1.615	-164.609	-152.097	40.246	0.0113	39.7712	35.5676	-15.5875					
CH ₂ CO (1)	4.6776	3.5668	13.2896	0.0251	0.1340	0.033	-162.339	-131.366	18.999	0.0365	39.3032	67.8149	20.9948					
CH ₂ CO (2)	5.6622	3.8987	14.6271	0.0178	0.1119	0.963	164.419	-132.386	20.611	0.0262	X	X	X					
CHO (1) ^a	-2.2927	2.8525	10.1986	0.0141	0.0863	1.133	120.3	-107.838	12.909	0.0200	40.7501	13.6990	-5.5460					
CH ₂ COO (1)	4.9823	3.6360	12.5965	0.0290	0.1389	0.756	-389.737	-318.636	22.709	0.0450	66.8423	102.4853	-63.3366					
CH ₂ COO (2)	3.5572	3.2953	13.8116	0.0218	0.1365	0.765	-359.258	-291.188	17.759	0.0357	X	X	X					
HCOO (1)	4.3250	3.3439	11.6057	0.0158	0.1056	0.262	-332.822	-288.902	X	0.0267	51.5048	44.4123	-19.6133					
CH ₂ O (1)	3.3248	2.2536	5.4747	0.0204	0.0835	0.442	-163.369	-105.767	30.939	0.0327	50.5004	38.9681	-4.7799					
CH ₂ O (2)	2.6695	1.6245	6.0423	0.0151	0.0729	0.318	-151.143	-101.563	7.478	0.0231	39.5784	41.8173	-11.0859					
CH ₂ -O (2)	4.0332	1.1557	5.0663	0.0092	0.0587	0.569	-129.488	-92.099	5.708	0.0180	25.6750	24.7281	4.2419					
PCl ₂ O (1) ^a	4.5049	3.9892	9.5059	0.0090	0.0666	0.800	-149.313	-90.883	11.227	0.0206	X	X	X					
CH ₂ NH ₂ (1)	6.7684	3.1655	12.1726	0.0126	0.1313	X	-15.505	58.085	14.599	0.0265	57.6861	64.0768	-21.0480					
CH ₂ NH ₂ (2)	4.1387	2.5983	10.2975	0.0107	0.0753	0.953	3.320	63.951	11.876	0.0195	44.1122	77.2135	-33.5086					
CH ₂ NH (2)	4.5341	3.1376	9.8344	0.0126	0.1215	0.550	5.432	82.471	16.452	0.0269	53.7912	71.7948	-22.9685					
CH ₂ NH (3)	6.0609	2.6127	10.4677	0.0104	0.0995	0.386	23.101	95.868	14.461	0.0232	44.6368	68.5041	-26.7106					
CH ₂ N (4) ^a	3.4150	1.5780	7.2121	-0.0005	0.0916	0.384	26.718	85.051	X	0.0181	X	X	X					
CH ₂ N (2)	4.0580	2.1647	7.6924	0.0139	0.1260	0.075	54.929	128.603	6.947	0.0191	41.4054	85.0996	35.6318					
CH ₂ N (3)	0.9514	1.3171	5.5172	0.0349	0.0670	3.792	69.883	132.755	6.918	0.0168	30.1561	81.6814	-26.1441					
ACNH ₂ (2)	10.1031	5.4736	28.7570	0.0011	0.0636	X	20.079	68.861	28.453	0.0137	47.1311	51.3526	-25.0276					
C ₂ H ₂ N (1)	X	6.2800	29.1528	0.0286	0.2483	X	134.062	199.038	31.522	0.0508	89.7602	177.3513	-32.3217					
C ₂ H ₂ N (2)	12.6273	5.9234	27.9464	0.0257	0.1705	X	139.758	199.288	31.005	0.0524	X	X	X					
CH ₂ CN (1) ^a	4.1859	5.0525	20.3781	0.0361	0.1583	1.670	88.298	121.544	23.360	0.0331	58.2837	49.6288	15.6291					
COOH (1)	11.5630	8.8347	23.5593	0.0113	0.1019	0.570	-396.242	-349.459	43.046	0.0223	46.5577	48.2222	-20.4864					
CH ₂ Cl (1)	5.3376	2.9637	11.0752	0.0198	0.1156	X	-73.568	-33.373	13.780	0.0337	48.4648	37.2379	-15.0635					
CHCl (2)	2.9953	2.6944	19.8622	0.0114	0.1033	X	63.795	-31.802	11.985	0.0265	36.5885	47.6074	-22.8168					
CCl (3)	9.5409	2.2073	11.3959	0.0031	0.0792	0.716	-57.795	-25.261	9.838	0.0292	29.1848	57.5810	-30.8526					
CHCl ₂ (1) ^a	5.1638	3.9300	16.3943	0.0268	0.1695	X	-82.921	35.814	19.208	0.0464	60.8262	61.9908	-20.4897					
CCl (1)	X	3.5600	X	X	X	0.617	X	X	17.571	0.0202	56.1685	66.9537	31.3325					
CCl (2)	10.2337	4.3797	18.5875	0.0349	0.2105	X	-107.188	-53.532	X	X	78.6024	32.1318	19.4033					
ACCl (2)	2.7336	2.6293	14.1565	0.0131	0.1016	0.296	-16.752	-0.596	11.883	0.0211	33.6450	23.2759	-12.2465					
CH ₂ NO ₂ (1) ^a	5.5624	5.7619	24.7369	0.0210	0.1653	X	66.138	17.963	30.644	0.0338	63.7851	83.4744	-35.1171					
CHNO ₂ (2) ^a	4.9738	5.0767	23.2050	0.0122	0.1423	X	-59.141	38.088	26.279	0.0262	51.1442	94.2934	-45.2029					
ACNO ₂ (2) ^a	8.4724	6.0837	24.5570	0.0150	0.1426	X	-7.365	60.161	X	0.0250	X	X	X					
CH ₂ SH (1)	3.0044	3.2914	13.8058	0.0136	0.1025	X	-8.253	16.737	14.931	0.0345	38.2445	46.9958	-10.5106					
I (1) ^a	4.6080	3.6650	17.3947	0.0028	0.1081	0.235	37.546	46.945	34.364	0.0279	39.1815	-9.7846	3.4356					
Br (1)	3.7442	2.6495	10.5571	0.0018	0.0828	0.278	1.834	-1.721	11.423	0.0214	28.0360	-7.1651	2.4352					
CH=C (1)	3.9106	2.3678	7.5433	0.0148	0.0933	0.618	220.803	217.003	7.753	X	45.9766	20.6417	-8.3297					
C=C (2) ^a	9.5793	2.5645	11.4501	0.0047	0.0783	X	227.368	216.328	11.549	0.0145	26.7371	21.2676	-6.4481					
Cl -C=C (3) ¹	1.3398	1.7824	5.4334	0.0160	0.0569	X	-36.097	-28.148	X	0.0153	23.8094	5.2241	1.4542					

Gráfico 10: Parámetros para la estimación de la entalpía de formación de compuestos por el método contribución de grupos de Benson.

Group	ΔH_f° 298K kJ mol ⁻¹	S° 298K mol ⁻¹ K ⁻¹	C_p° mol ⁻¹ K ⁻¹												
			298K	400K	500K	600K	800K	1000K	1500K						
CH ₃ -(=Naz)	-42.19														
CH ₃ -(=Nim)	-42.28														
Ct Groups															
Ct-(Cb)	122.23	26.92	10.76	14.82	14.65	20.59	22.35	23.02	24.28						
Ct-(Cl)	123.78	24.57	14.82	16.99	18.42	19.42	20.93	21.89	23.32						
Ct-(C)	115.32	26.58	13.1	14.57	15.95	17.12	19.25	20.59	26.58						
Ct-(=C)	122.23	26.92	10.76	14.82	14.65	20.59	22.35	23.02	24.28						
CtBr	98.79	151.11	34.74	36.42	37.67	38.51	39.77	40.6							
CtCl	74.51	139.81	33.07	35.16	36.42	37.67	39.35	40.18							
CtF	10.46	122.02	28.55	31.65	33.99	35.79	38.3	39.85	41.77						
CtH	112.72	103.39	22.06	25.07	27.17	28.76	31.27	33.32	37.04						
CtI	141.48	158.64	35.16	36.84	38.09	38.93	40.18	41.02							
Ct(CN)	267.06	148.18	43.11	47.3	50.65	53.16	56.93	59.86	64.04						
CH₂ Groups															
CH ₂ -(2Cb)	-27.21														
CH ₂ -(2CO)	-31.81	47.3	16.03	26.66	32.15	37.8	45.46	51.74							
CH ₂ -(2C)	-20.64	39.43	23.02	29.09	34.53	39.14	46.34	51.65	59.65						
CH ₂ -(2O)	-67.39	32.65	11.85	21.18	31.48	38.17	43.2	47.26							
CH ₂ -(2=C)	-17.96	42.7	19.67	28.46	35.16	40.18	47.3	52.74	60.28						
CH ₂ -(CbCO)	-22.6	40.18													
CH ₂ -(Cb,Ge)	-18.63														
CH ₂ -(Cb,N)	-24.4														
CH ₂ -(Cb,O)	-33.91	40.6	15.53	26.26	34.66	40.98	49.35	55.25							
CH ₂ -(Cb,Sn)	-32.52														
CH ₂ -(Cb,SO ₂)	-29.8	40.18	15.53	27.5	34.66	40.98	49.77	55.25							

CH ₂ -(Cb,S)	-19.8	20.51	38.09	49.02	57.43	63.71	72.58	78.82	
CH ₂ -(Cb,=C)	-17.96	42.7	19.67	28.46	35.16	40.18	47.3	52.74	60.28
CH ₂ -(Co,N)	-22.27								
CH ₂ -(Co,O)	-28.46								
CH ₂ -(Cl,CO)	-22.6								
CH ₂ -(Cl,O)	-27.21	44.37							
CH ₂ -(C,Al)	2.93								
CH ₂ -(C,BO ₃)	-9.21								
CH ₂ -(C,B)	-8.66								
CH ₂ -(C,Cb)	-20.34	39.1	24.45	31.85	37.59	41.9	48.1	52.49	57.6
CH ₂ -(C,Cd)	-1.26								
CH ₂ -(C,CO)	-21.77	40.18	25.95	32.23	36.42	39.77	46.46	51.07	59.44
CH ₂ -(C,Ct)	-19.8	43.11	20.72	27.46	33.19	38.01	45.46	51.03	
CH ₂ -(C,Ge)	-18.33								
CH ₂ -(C,Hg)	-11.22								
CH ₂ -(C,N)	-27.63	41.02	21.77	28.88	34.74	39.35	46.46	51.49	
CH ₂ -(C,N=P)	81.21								
CH ₂ -(C,O)	-33.91	41.02	20.89	28.67	34.74	39.47	46.5	51.61	61.11
CH ₂ -(C,Pb)	-7.12								
CH ₂ -(C,PO)	-14.23								
CH ₂ -(C,P)	-10.34								
CH ₂ -(C,Si)	-31.94								
CH ₂ -(C,Sm)	-9.13								
CH ₂ -(C,SO ₂)	-32.11	39.35	17.12	24.99	31.56	36.84	44.58	49.94	
CH ₂ -(C,SO ₃)	-35.58	41.02							
CH ₂ -(C,SO ₄)	-36.42	41.02							
CH ₂ -(C,SO)	-29.18	39.35	19.05	26.87	33.28	38.34	45.84	51.15	
CH ₂ -(C,S)	-23.65	41.36	22.52	29.64	36	41.73	51.32	59.23	
CH ₂ -(C,Zn)	-7.45								
CH ₂ -(C,=C)	-19.92	41.02	21.43	28.71	34.83	39.72	46.97	52.24	60.11
CH ₂ -(C,=Naz)	-25.12								
CH ₂ -(=C,CO)	-15.91								

Group	ΔH_f°	S°	C_p°	C_p°	C_p°	C_p°	C_p°	C_p°	C_p°	C_p°	C_p°
	298K kJ mol ⁻¹	298K mol ⁻¹ K ⁻¹	298K mol ⁻¹ K ⁻¹	400K mol ⁻¹ K ⁻¹	500K mol ⁻¹ K ⁻¹	600K mol ⁻¹ K ⁻¹	800K mol ⁻¹ K ⁻¹	1000K mol ⁻¹ K ⁻¹	1500K mol ⁻¹ K ⁻¹	1500K J	1500K mol ⁻¹ K ⁻¹
CH ₂ -(=C,O)	-27.21	37.25	19.51	29.18	36.21	41.36	48.3	53.29			
CH ₂ -(=C,SO ₂)	-29.51	43.95	20.34	28.51	34.95	40.1	47.17	52.49			
CH ₂ -(=C,SO)	-27.58	42.28	18.42	26.62	29.05	38.72	45.92	51.28			
CH ₂ -(=C,S)	-27	45.63	22.23	28.59	34.45	40.85	50.98	59.48			
CH Groups											
CH-(2C,Al)	-31.48										
CH-(2C,B)	4.6										
CH-(2C,Cb)	-4.1										
CH-(2C,CO)	-7.12	-50.86	20.43	27.88	33.07	36.63	40.73	42.9	44.7		
CH-(2C,Cu)	-7.2	-50.23	18.96	25.87	30.89	35.12	41.11	43.99			
CH-(2C,Hg)	15.15	-46.84	16.7	23.48	28.67	32.57	38.09	41.44	46.55		
CH-(2C,N)	-21.77	-48.97	19.67	26.37	31.81	35.16	40.18	42.7			
CH-(2C,O)	-30.14	-46.04	20.09	27.79	33.91	36.54	41.06	43.53			
CH-(2C,Sn)	14.15										
CH-(2C,SO ₂)	-18.75	-50.23	18.5	26.16	31.65	35.5	40.35	43.11			
CH-(2C,SO ₃)	-14.65	-48.97									
CH-(2C,SO ₄)	-25.12	-48.97									
CH-(2C,SO)	-20.93	-48.97									
CH-(2C,S)	-11.05	-47.38	20.3	27.25	32.57	36.38	41.44	44.24	47.22		
CH-(2C,=C)	-6.2	-48.93	17.41	24.74	30.72	34.28	39.6	42.65			
CH-(2C,=Naz)	-14.15										
CH-(3Cb)	-5.06										
CH-(3CO)	-51.36										
CH-(3C)	-7.95	-50.52	19	25.12	30.01	33.7	38.97	42.07	46.76		
CH-(C,2CO)	-22.6	-42.7									
CH-(C,2O)	-68.23	-48.56	22.02	23.06	27.67	31.77	35.41	38.97			

Group	ΔH_f°	S°	C_p°	C_p°	C_p°	C_p°	C_p°	C_p°	C_p°
	298K kJ mol ⁻¹	298K J mol ⁻¹ K ⁻¹	298K J mol ⁻¹ K ⁻¹	400K J mol ⁻¹ K ⁻¹	500K J mol ⁻¹ K ⁻¹	600K J mol ⁻¹ K ⁻¹	800K J mol ⁻¹ K ⁻¹	1000K J mol ⁻¹ K ⁻¹	1500K J mol ⁻¹ K ⁻¹
Oxygen Groups									
O-(2C)	-97.11	36.33	14.23	15.49	15.49	15.91	18.42	19.25	
O-(2O)	79.53	39.35	15.49	15.49	15.49	15.49	17.58	17.58	20.09
O-(2PO)	-228.13								
O-(2SO ₂)	-16.74								
O-(2=C)	-138.13	42.28	14.02	16.32	17.58	18.84	21.35	22.6	
O-(Cb,CO)	-153.62	42.7	8.62	11.3	13.02	14.32	16.24	17.5	
O-(CO,O)	-79.53	34.32	1.51	6.28	9.63	11.89	15.28	17.33	
O-(C,B)	-290.62								
O-(C,Cb)	-92.27	49.81	2.6	3.01	4.94	7.45	11.89	14.99	
O-(C,CO)	-180.41	35.12	11.64	15.86	18.33	19.8	20.55	21.05	
O-(C,Cr)	-98.37								
O-(C,O)	-18.84	39.35	15.49	15.49	15.49	15.49	17.58	17.58	20.009
O-(C,PO)	-170.36								
O-(C,P)	-98.37								
O-(C,P=N)	-170.36								
O-(C,Ti)	-98.37								
O-(C,V)	-98.37								
O-C,=C	-127.67	40.6	12.72	13.9	14.65	15.49	17.54	18.96	
O-(O,SO ₂)	12.56								
O-(=C,CO)	-189.2	15.91	6.03	12.47	16.66	18.79	20.8	21.77	
OH-(B)	-483.47								
OH-(Cb)	-158.64	121.81	18	18.84	20.09	21.77	25.12	27.63	
OH-(CO)	-243.2	102.64	15.95	20.85	24.28	26.54	30.01	32.44	37.34
OH-(Cl)	-158.64	146.21							
OH-(C)	-158.56	121.68	18.12	18.63	20.18	21.89	25.2	27.67	33.65

OH—(O)	-68.1	116.58	21.64	24.24	26.29	27.88	29.93	31.44	34.2
OH—(PO)	-272.08								
OH—(P)	-245.71								
OH—(SO ₂)	-159.06								
OH—(SO)	-159.06								
OH—(S)	-159.06								
OH—(=C)	-158.64	146.21							
O(CN)—(Cb)	29.3	122.23	34.74						
O(CN)—(C)	8.37	165.34	41.86						
O(CN)—(=C)	31.39	180.41	54.42						
O(NO ₂)—(C)	-81.21	203.01	39.93	48.3	55.5	65.3	68.61	72.75	60.69
O(NO)—(C)	-24.7	175.39	38.09	43.11	46.88	50.23	55.67	58.18	
(CO)Br—(Cb)	-158.23								
(CO)Cl—(Cb)	-218.92	167.43							
(CO)Cl—(C)	-200.92	176.64	42.28	46.04	49.39	51.9	55.67	57.76	
(CO)H—(Cb)	-121.81	148.18	33.53	44.2	48.77	59.48	68.56	74.01	
(CO)H—(CO)	-105.9	89.16	28.13	32.78	37.25	41.4	47.84	50.73	
(CO)H—(Cl)	-121.81	148.18							
(CO)H—(C)	-121.81	146.21	29.43	32.94	36.92	40.52	46.71	51.07	
(CO)H—(N)	-123.9	146.21	29.43	32.94	36.92	40.52	46.71	51.07	
(CO)H—(O)	-134.37	146.21	29.43	32.94	36.92	40.52	46.71	51.07	
(CO)H—(=C)	-121.81	148.18	24.32	30.22	39.77	48.77	63.12	74.68	
(CO)I—(Cb)	-99.2								

Gráfico 11: Norma ANSI 36.10 para conducciones normalizadas de acero

ANSI PIPE SCHEDULES

Blue figures indicate wall thickness in inches

Black figures indicate weight per foot in pounds

PIPE SIZE	O.D. in inches	5	10	20	30	40	STD.	60	80	XH	100	120	140	160	XXH
1/8	.405	.035	.049			.068	.068		.095	.095					
		.138	.186			.245	.245		.315	.315					
1/4	.540	.049	.065			.088	.088		.119	.119					
		.257	.330			.425	.425		.535	.535					
3/8	.675	.049	.065			.091	.091		.126	.126					
		.328	.424			.568	.568		.739	.739					
1/2	.840	.065	.083			.109	.109		.147	.147				.187	.294
		.538	.671			.851	.851		1.088	1.088				1.304	1.714
3/4	1.050	.065	.083			.113	.113		.154	.154				.218	.308
		.684	.857			1.131	1.131		1.474	1.474				1.937	2.441
1	1.315	.065	.109			.133	.133		.179	.179				.250	.358
		.868	1.404			1.679	1.679		2.172	2.172				2.844	3.659
1-1/4	1.660	.065	.109			.140	.140		.191	.191				.250	.382
		1.107	1.806			2.273	2.273		2.997	2.997				3.765	5.214
1-1/2	1.900	.065	.109			.145	.145		.200	.200				.281	.400
		1.274	2.085			2.718	2.718		3.631	3.631				4.859	6.408
2	2.375	.065	.109			.154	.154		.218	.218				.343	.436
		1.604	2.638			3.853	3.853		5.022	5.022				7.444	9.029
2-1/2	2.875	.083	.120			.203	.203		.276	.276				.375	.552
		2.475	3.531			5.793	5.793		7.661	7.661				10.010	13.700
3	3.500	.083	.120			.216	.216		.300	.300				.437	.600
		3.029	4.332			7.576	7.576		10.250	10.250				14.320	18.580
3-1/2	4.0	.083	.120			.226	.226		.318	.318				.437	.636
		3.472	4.973			9.109	9.109		12.510	12.510				16.850	22.850
4	4.5	.083	.120			.237	.237		.337	.337			.437	.531	.674
		3.915	5.613			10.790	10.790	12.660	14.980	14.980		19.010		22.510	27.540
4-1/2	5.0					.247	.247		.355	.355				.437	.710
						12.530	12.530		17.610	17.610				22.510	32.530
5	5.563	.109	.134			.258	.258		.375	.375			.500	.625	.750
		6.349	7.770			14.620	14.620	20.780	20.780	20.780		27.040		32.960	38.550
6	6.625	.109	.134			.280	.280		.432	.432			.562	.718	.864
		7.585	9.289			18.970	18.970	28.570	28.570	28.570		36.390		45.300	53.160
7	7.625					.301	.301		.500	.500				.625	.875
						23.570	23.570	38.050	38.050	38.050				45.300	63.080
8	8.625	.109	.148	.250	.277	.322	.322	.406	.500	.500	.593		.718	.812	.906
		9.914	13.400	22.360	24.700	28.550	28.550	35.640	43.390	43.390	50.870	60.630	67.760	74.690	82.420
9	9.625					.342	.342		.500	.500				.625	.875
						33.900	33.900	48.720	48.720	48.720				53.160	72.420
10	10.75	.134	.165	.250	.307	.365	.365	.500	.593	.500	.718		.843	1.000	1.125
		15.190	18.700	28.040	34.240	40.480	40.480	54.740	64.330	64.330	76.930	89.200	104.100	115.700	128.500
11	11.75					.375	.375		.500	.500				.625	.875
						45.550	45.550	60.070	60.070	60.070				63.080	82.420
12	12.75	.165	.180	.250	.330	.406	.375	.562	.687	.500	.843		1.000	1.125	1.312
		22.180	24.200	33.380	43.770	53.530	49.560	73.160	88.510	88.510	107.200	125.500	139.700	160.300	181.900
14	14.0		.250	.312	.375	.437	.375	.593	.750	.500	.937		1.093	1.250	1.406
			36.710	45.680	54.570	63.370	54.570	84.910	106.100	106.100	130.700	150.700	170.200	189.100	217.600
16	16.0		.250	.312	.375	.500	.375	.656	.843	.500	1.031		1.218	1.437	1.593
			42.050	52.360	62.580	82.770	62.580	107.500	136.500	136.500	164.800	192.300	223.500	245.100	276.200
18	18.0		.250	.312	.437	.562	.375	.750	.937	.500	1.156		1.375	1.562	1.781
			47.390	59.030	82.060	104.800	70.590	138.200	170.800	170.800	208.000	244.100	274.200	308.500	342.800
20	20.0		.250	.375	.500	.593	.375	.812	1.031	.500	1.280		1.500	1.750	1.968
			52.730	78.600	104.100	122.900	78.600	166.400	208.900	208.900	256.100	296.400	341.100	379.000	420.000
22	22.0		.250	.375	.500	.625	.375	.875	1.125	.500	1.375		1.625	1.875	2.125
			58.070	86.610	114.800	142.900	86.610	197.400	250.800	250.800	302.900	353.600	403.000	451.100	500.000
24	24.0		.250	.375	.562	.687	.375	.968	1.218	.500	1.531		1.812	2.062	2.343
			63.410	94.620	140.800	171.200	94.620	238.100	296.400	296.400	367.400	429.400	483.100	541.900	600.000
26	26.0		.312	.500	.625	.750	.375	1.031	1.312	.500	1.625		1.937	2.250	2.562
			85.600	136.200	186.800	237.400	102.600	256.100	314.400	314.400	385.400	443.700	500.000	556.200	612.500
28	28.0		.312	.500	.625	.750	.375	1.031	1.312	.500	1.625		1.937	2.250	2.562
			92.260	146.800	197.400	248.000	110.800	265.700	324.000	324.000	395.000	453.300	510.000	566.200	622.500
30	30.0		.312	.500	.625	.750	.375	1.031	1.312	.500	1.625		1.937	2.250	2.562
			98.930	157.500	208.100	258.700	118.600	271.300	330.600	330.600	401.600	460.900	517.600	573.300	629.000
32	32.0		.312	.500	.625	.750	.375	1.031	1.312	.500	1.625		1.937	2.250	2.562
			105.600	168.200	218.800	269.400	126.400	283.900	343.200	343.200	414.200	473.500	529.200	584.900	640.600
34	34.0		.344	.500	.625	.750	.375	1.031	1.312	.500	1.625		1.937	2.250	2.562
			123.700	178.900	229.500	280.100	134.200	297.500	356.800	356.800	427.800	487.100	542.800	598.500	654.200
36	36.0		.312	.500	.625	.750	.375	1.031	1.312	.500	1.625		1.937	2.250	2.562
			118.900	189.600	240.200	290.800	142.000	297.500	356.800	356.800	427.800	487.100	542.800	598.500	654.200
42	42.0					.375	.375	1.031	1.312	.500	1.625		1.937	2.250	2.562
						106.700	106.700	297.500	356.800	356.800	427.800	487.100	542.800	598.500	654.200
48	48.0					.375	.375	1.031	1.312	.500	1.625		1.937	2.250	2.562
						190.700	190.700	427.800	513.000	513.000	609.000	684.200	759.400	834.600	909.800

Gráfico 12: Coeficiente de corrección para metales dependiente de T.

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

Gráfico 13: Tensión máxima admisible para aceros al carbono para tuberías

TABLE A-1 (CONT'D)
BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS¹
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. to			
						Tensile	Yield	100	200	300	400
Carbon Steel											
Pipes and Tubes (2)											
A 285 Gr. A	A 134	1	...	(8b)(57)	B	45	24	15.0	14.6	14.2	13.7
A 285 Gr. A	A 672	1	A45	(57)(59)(67)	B	45	24	15.0	14.6	14.2	13.7
Butt weld Sms & ERW	API 5L	S-1	A25	(8a)	-20	45	25	15.0	15.0	14.5	13.8
	API 5L	S-1	A25	(57)(59)	B	45	25	15.0	15.0	14.5	13.8
...	A 179	1	...	(57)(59)	-20	47	26	15.7	15.0	14.2	13.5
Type F	A 53	1	Gr. A	(8a)(77)	20	48	30	16.0	16.0	16.0	16.0
...	A 139	S-1	A	(8b)(77)	A	48	30	16.0	16.0	16.0	...
...	A 387	1	...	(57)(59)	-20	48	30	16.0	16.0	16.0	16.0
...	A 53	1	A	(57)(59)	B	48	30	16.0	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	15.4
A 285 Gr. B	A 672	1	A50	(57)(59)(67)	B	50	27	16.7	16.4	16.0	15.4
A 285 Gr. C	A 134	1	...	(8b)(57)	A	55	30	18.3	18.3	17.7	17.2
...	A 524	1	Gr. II	(57)	-20	55	30	18.3	18.3	17.7	17.2
...	A 333	1	I	(57)(59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7	17.2
...	A 334	1	I								
A 285 Gr. C	A 671	1	CA55								
A 285 Gr. C	A 672	1	A55	(57)(59)(67)	A	55	30	18.3	18.3	17.7	17.2
A 516 Gr. 55	A 672	1	C55	(57)(67)	C						
A 516 Gr. 60	A 671	1	CC60	(57)(67)	C	60	32	20.0	19.5	18.9	18.3
A 515 Gr. 60	A 671	1	CB60	(57)(67)	B	60	32	20.0	19.5	18.9	18.3
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	20.0
...	A 524	1	Gr. 1	(57)	-20						
...	A 53	1	B	(57)(59)	B	60	35	20.0	20.0	20.0	20.0
...	A 106	1	B	(57)							
...	A 333	1	6	(57)							
...	A 334			(57)							
...	A 369	1	FPA	(57)							
...	A 381	S-1	Y35	...	A						
...	API 5L	S-1	B	(57)(59)(77)	B						

Gráfico 14: Tabla de pérdidas de cargas por accesorios

Pérdidas de carga por válvulas y accesorios																					
Tipo	Paso								Paso												
	Millímetros	600	500	450	400	350	300	250	200	150	125	100	80	65	50	40	32	25	20	15	10
	Pulgadas	24"	20"	18"	16"	14"	12"	10"	8"	6"	5"	4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	1"	3/4"	1/2"	1/4"
COMPUERTA																					
Totalmente abierta	7,8	6,5	5,85	5,2	4,55	3,9	3,25	2,6	1,95	1,62	1,1	1,04	0,845	0,65	0,52	0,416	0,325	0,26	0,195	0,13	0,085
3/4 abierta	21	17,5	15,75	14	12,25	10,3	8,75	7	5,25	4,37	3,5	3,8	2,27	1,75	1,4	1,12	0,87	0,7	0,52	0,35	0,25
1/2 abierta	96	80	72	64	56	48	40	32	24	20	16	12,8	10,4	8	6,4	5,12	4	3,2	2,4	1,6	1,1
1/4 abierta	540	450	405	360	315	270	225	180	135	112,5	90	72	58,5	42	36	28,8	22,5	18	13,5	9	6,75
ASIENTO																					
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	2,5
Con guías	270	225	202,5	180	157,5	135	112,5	90	67,5	56,25	45	36	28	28	19	15	12	8,8	6,7	4,8	3,5
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	8,75	7	5,6	4,37	3,5	2,62	1,75	1,25
De ángulo	120	100	90	80	70	60	50	40	30	25	20	16	14	9,42	7,25	5,8	4,64	3,62	2,9	2,17	1,45
RETENCIÓN																					
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	1,05
De pistón	270	225	202,5	180	157,5	135	112,5	90	67,5	56,25	45	36	22,1	17	13,6	10,9	8,5	6,8	5,1	3,4	2,5
MARIPOSA																					
Totalmente 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	—	—
GRIFOS																					
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	0,13
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	0,32
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	1,05
DE PES																					
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	3,15
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	0,55
ACCESORIOS																					
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	0,22
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	0,12
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	0,15
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	0,45
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	0,35

Las pérdidas de carga están dadas en longitud equivalente en metros de tubería.

Gráfico 15: Ábaco de pérdidas de cargas por accesorios

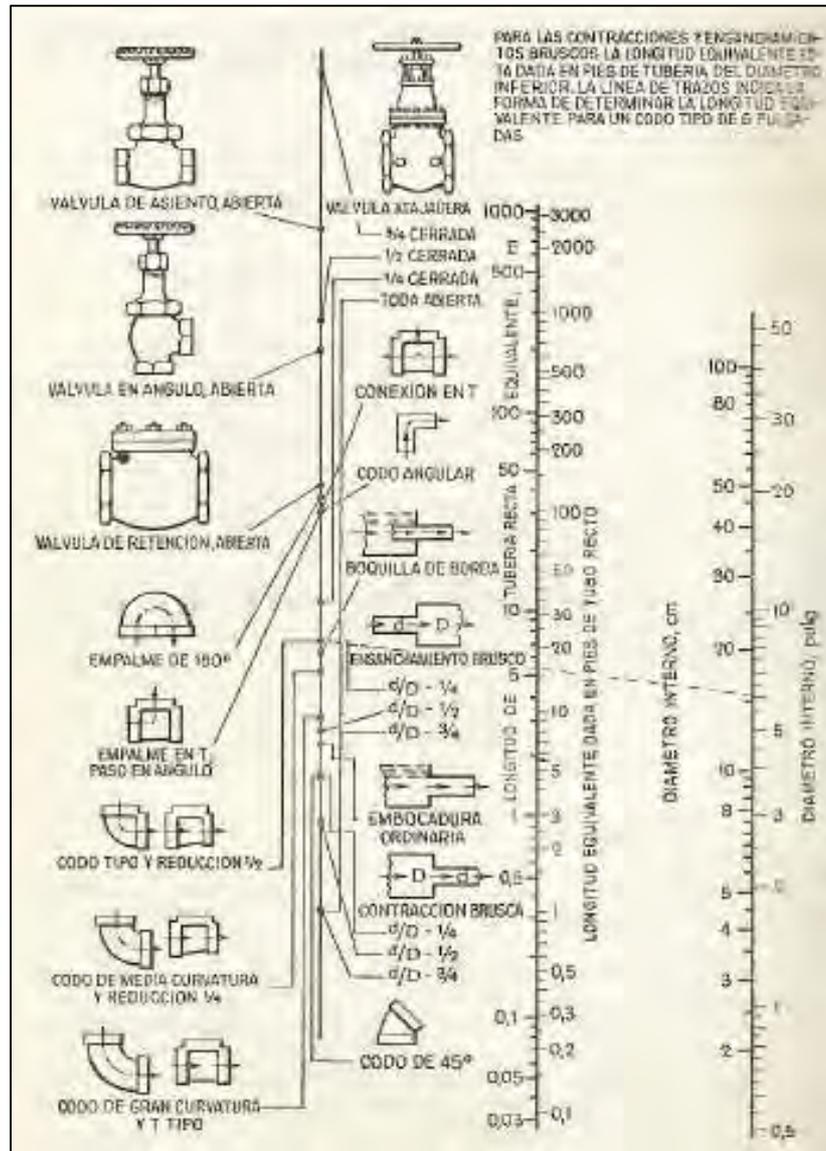


Gráfico 16: Grafico para el cálculo de rugosidad relativa de conducciones

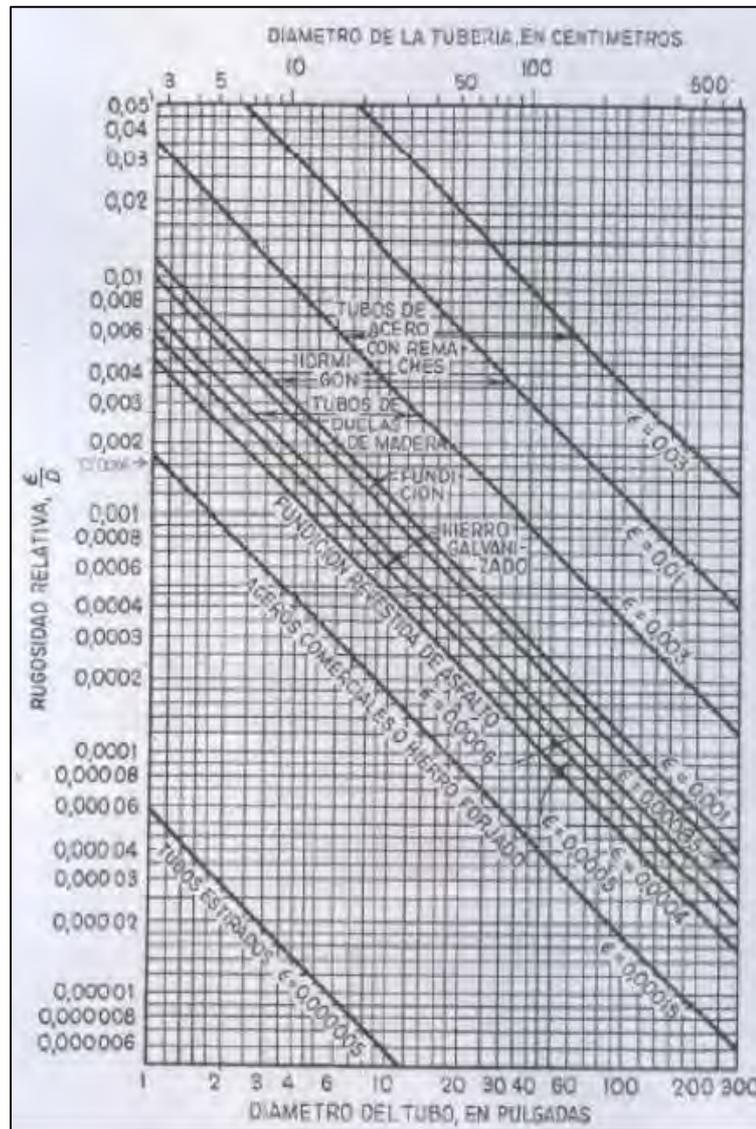


Gráfico 17: Gráfico de Moody

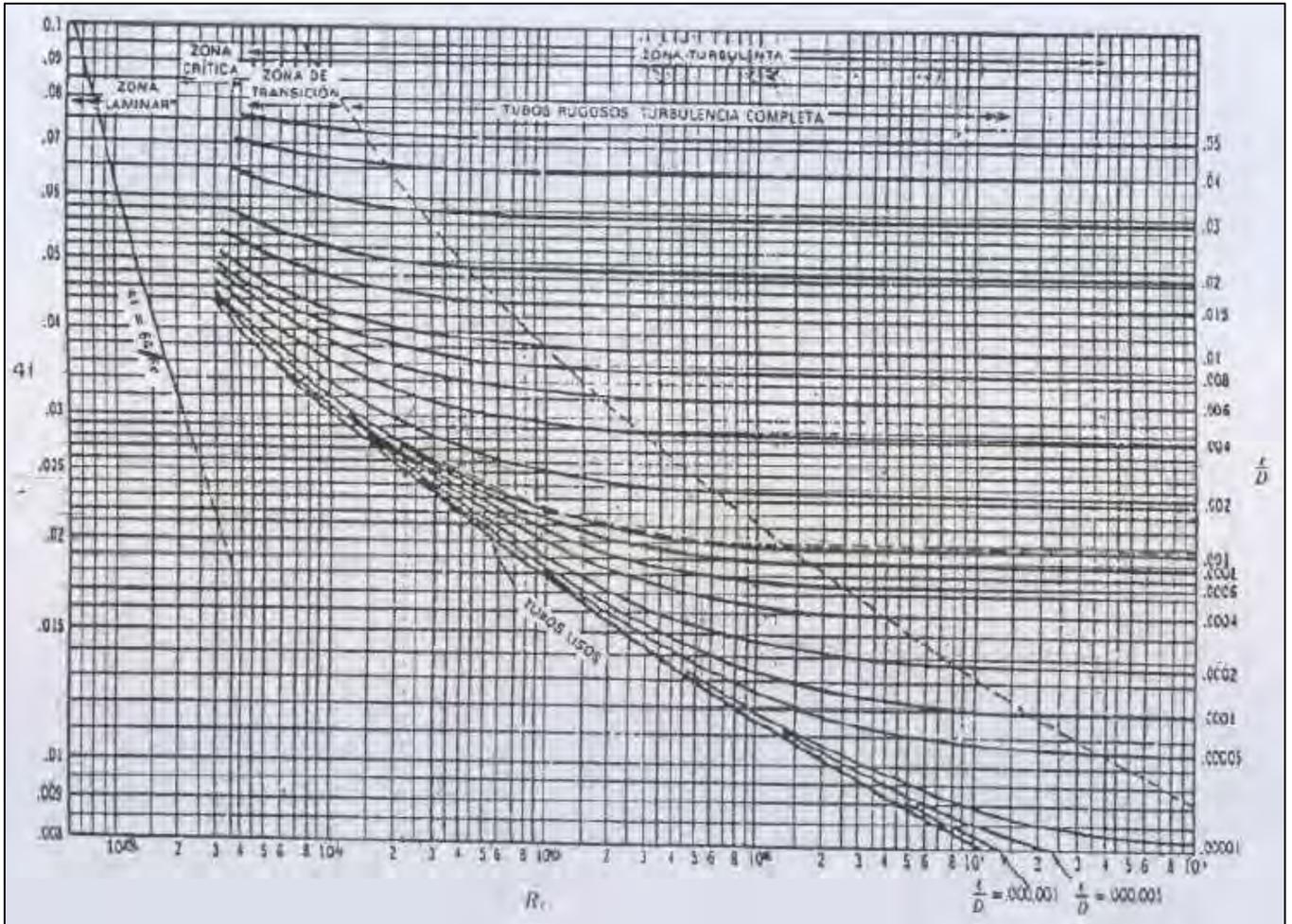


Gráfico 18: Tabla de viscosidad de sustancias en estado gaseoso

TABLE 2-312 Vapor Viscosity of Inorganic and Organic Substances (Pa·s)

Compd. no.	Name	Formula	CAS no.	Mol. wt.	C1	C2	C3	C4	T _{sat} , K	Viscosity at T _{sat}	T _{sat} , K	Viscosity at T _{sat}
1	Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O	75-07-0	44.053	1.222E-07	0.737	.77		150.15	4.171E-06	1000	2.608E-05
2	Acetamide	C ₂ H ₅ NO	60-35-5	59.067	1.423E-07	0.7574	272.14		353.33	6.542E-06	1000	2.094E-05
3	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	64-19-7	60.052	2.7449E-08	1.0123	7.4948		289.81	8.318E-06	1000	2.966E-05
4	Acetic anhydride	C ₄ H ₆ O ₃	108-24-7	102.099	1.20E-07	0.7915	105.3		200.15	2.313E-06	1000	2.572E-05
5	Acetone	C ₃ H ₆ O	67-64-1	58.079	3.1005E-08	0.9762	23.139		178.45	4.329E-06	1000	2.271E-05
6	Acetonitrile	C ₂ H ₃ N	75-05-8	41.052	5.1964E-08	0.8557	38.815		239.32	5.475E-06	1000	2.271E-05
7	Acetylene	C ₂ H ₂	74-86-2	26.037	1.2025E-06	0.4932	331.4		192.80	6.468E-06	600	1.923E-05
8	Acrolein	C ₃ H ₄ O	107-02-8	56.063	6.522E-07	0.579	410.8		185.45	4.174E-06	1000	2.222E-05
9	Acrylic acid	C ₃ H ₄ O ₂	79-10-7	72.063	1.7154E-07	0.7418	138.4		286.15	7.680E-06	1000	2.632E-05
10	Acrylonitrile	C ₃ H _{3.5} N	107-13-1	53.063	4.302E-08	0.9114	54.3		199.63	3.965E-06	1000	2.213E-05
11	Air	Mixture	132295-10-0	28.960	1.425E-06	0.3039	108.3		80.00	5.085E-06	2000	6.227E-05
12	Ammonia	H ₃ N	7664-41-7	17.031	4.1525E-08	0.9896	30.8		195.41	6.378E-06	1000	3.351E-05
13	Anisole	C ₆ H ₅ O	100-56-3	108.138	1.7531E-07	0.72	176.17		235.65	3.122E-06	1000	2.155E-05
14	Argon	Ar	7440-37-1	39.948	9.2121E-07	0.60529	93.24		83.78	6.742E-06	1273.1	1.001E-11
15	Benzamide	C ₆ H ₇ NO	25-21-0	121.127	2.5082E-08	0.96663	403.00		403.00	8.274E-06	1000	1.992E-05
16	Benzene	C ₆ H ₆	71-43-2	78.112	3.134E-08	0.9676	7.9		278.68	7.077E-06	1000	2.486E-05
17	Benzonitrile	C ₆ H ₅ N	108-98-5	110.177	1.1154E-07	0.8002	132.41		442.29	1.089E-05	1000	2.444E-05
18	Bismoc acid	C ₆ H ₆ O ₂	68-55-0	122.121	7.4266E-08	0.8289	91.197		395.45	8.278E-06	1000	2.087E-05
19	Bismoc nitrile	C ₆ H ₅ N	100-47-0	103.121	4.2137E-08	0.92271	45.287		260.40	6.079E-06	1000	2.263E-05
20	Bismocphenone	C ₆ H ₄ O	119-61-9	182.218	3.779E-07	0.6005	408		321.25	2.324E-06	1000	1.698E-05
21	Bismoc alcohol	C ₆ H ₆ O	100-51-6	106.128	6.0022E-08	0.84014	71.796		257.25	6.680E-06	1000	2.129E-05
22	Bismoc ethyl ether	C ₆ H ₁₀ O	109-30-0	136.191	1.56E-07	0.7151	180		459.15	9.122E-06	1000	1.896E-05
23	Bismoc mercaptan	C ₆ H ₅ S	100-53-8	124.203	4.0138E-08	0.90529	34.714		243.95	5.151E-06	1000	2.045E-05
24	Bismocyl	C ₆ H ₅	92-52-4	154.208	1.3874E-08	0.4431	678.22		342.20	6.186E-06	1000	1.768E-05
25	Bromine	Br ₂	7726-95-6	159.808	7.3934E-08	0.83798	265.85		265.85	1.383E-05	600	2.967E-05
26	Bromobenzene	C ₆ H ₅ Br	108-96-1	157.008	2.222E-07	0.7146	184.9		429.24	1.157E-05	1000	2.623E-05
27	Bromethane	C ₂ H ₅ Br	74-96-4	108.965	2.28E-07	0.632	226		154.25	3.185E-06	1000	3.396E-05
28	Bromosulfane	CS ₂ Br	74-83-9	94.939	7.5796E-08	0.90476	199.64		170.47	6.595E-06	1000	4.081E-05
29	1,3-Butadiene	C ₄ H ₆	560-19-2	54.090	6.0259E-07	0.5391	139.54		136.28	3.549E-06	1000	1.967E-05
30	1,3-Butadiene	C ₄ H ₆	106-99-0	54.090	2.696E-07	0.6713	134.7		164.25	4.383E-06	1000	2.457E-05
31	Butane	C ₄ H ₁₀	106-97-8	58.122	3.437E-08	0.94604	134.86		134.86	3.569E-06	1000	2.368E-05
32	1,2-Butanediol	C ₄ H ₁₀ O ₂	584-03-2	90.121	7.5626E-08	0.82621	71.798		220.00	5.197E-06	1000	2.260E-05
33	1,3-Butanediol	C ₄ H ₁₀ O ₂	107-88-0	90.121	7.0728E-08	0.84357	64.391		196.18	4.890E-06	1000	2.259E-05
34	1-Butanol	C ₄ H ₉ O	71-36-3	74.122	1.4031E-06	0.4611	837		153.83	3.961E-06	1000	2.307E-05
35	2-Butanol	C ₄ H ₉ O	78-92-2	74.122	1.2114E-07	0.76972	92.661		158.43	3.772E-06	1000	2.289E-05
36	1-Butene	C ₄ H ₈	106-98-9	56.106	6.9744E-07	0.5462	305.29		87.80	1.755E-06	1000	2.325E-05
37	cis-2-Butene	C ₄ H ₈	590-18-1	56.106	4.289E-08	0.61349			134.26	3.770E-06	1000	2.360E-05
38	trans-2-Butene	C ₄ H ₈	624-64-6	56.106	1.09E-06	0.4857	358.7		157.62	1.044E-06	1000	2.322E-05
39	Butyl acetate	C ₆ H ₁₂ O ₂	123-86-4	116.158	1.006E-07	0.77581	96.108		199.65	4.215E-06	1000	1.993E-05
40	Butylamine	C ₄ H ₉ N	104-31-8	134.218	3.4209E-07	0.59764	234.21		155.30	3.425E-06	1000	1.730E-05
41	Butyl mercaptan	C ₄ H ₉ S	104-79-8	90.157	3.4539E-08	0.88996	43.687		157.86	3.833E-06	1000	2.427E-05
42	sec-Butyl mercaptan	C ₄ H ₉ S	213-53-1	90.157	3.137E-08	0.96513			133.02	3.920E-06	1000	2.466E-05
43	1-Butyne	C ₄ H ₆	107-00-6	54.090	2.7856E-06	0.377	663.14		147.43	3.329E-06	800	1.993E-05
44	Butyraldehyde	C ₄ H ₈ O	123-72-8	72.106	5.0079E-08	0.8178	65.885		176.75	4.017E-06	1000	2.134E-05
45	Butyric acid	C ₄ H ₈ O ₂	107-92-6	88.102	2.128E-06	0.4273	590		267.95	6.290E-06	1000	2.308E-05
46	Butyramine	C ₄ H ₉ N	109-74-0	69.105	8.0223E-08	0.80961	75.207	-41.000	161.25	3.284E-06	1000	1.948E-05
47	Carbon dioxide	CO ₂	124-38-9	44.010	2.148E-06	0.46	290		194.67	9.749E-06	1800	5.203E-05
48	Carbon disulfide	CS ₂	75-15-0	76.141	5.8204E-08	0.9262	44.981		161.11	5.048E-06	800	2.660E-05
49	Carbon monoxide	CO	630-08-0	28.010	1.1127E-06	0.5338	94.7		68.15	4.434E-06	1200	4.694E-05
50	Carbon tetrachloride	CCl ₄	56-23-3	153.823	3.137E-06	0.3742	491.5		299.33	8.361E-06	1000	2.789E-05
51	Carbon tetrafluoride	CF ₄	75-73-0	88.004	3.1709E-06	0.48823	308		99.56	5.132E-06	1000	4.267E-05
52	Chlorine	Cl ₂	7782-50-5	70.906	2.60E-07	0.7423	98.3		200.00	8.900E-06	1000	3.992E-05
53	Chlorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	108-90-7	112.567	1.065E-07	0.7942	94.7		327.85	5.611E-06	1000	2.348E-05
54	Chloroethane	C ₂ H ₅ Cl	78-00-3	64.514	3.12E-07	0.6711	139		134.80	4.127E-06	1000	2.824E-05
55	Chloroform	CHCl ₃	67-66-3	119.378	1.696E-07	0.7693	96.6		209.63	7.091E-06	1000	3.143E-05
56	Chloromethane	CH ₃ Cl	74-87-3	50.485	8.60E-08	0.8706	35.8		230.00	8.468E-06	700	2.454E-05
57	1-Chloropropane	C ₃ H ₇ Cl	540-54-3	78.541	2.638E-07	0.6417	208.3		150.25	3.805E-06	1000	2.234E-05
58	2-Chloropropane	C ₃ H ₇ Cl	78-29-6	78.541	3.8902E-07	0.6367	205.08		155.97	4.175E-06	1000	2.518E-05
59	m-Cresol	C ₇ H ₈ O	108-39-4	108.138	1.4427E-07	0.7438	166.13		285.29	5.113E-06	1000	2.108E-05

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

TABLE 2-312 Vapor Viscosity of Inorganic and Organic Substances (Pa-s) (Continued)

Compd. no.	Name	Formula	CAS no.	Mol. wt.	C1	C2	C3	C4	T _{sat} , K	Viscosity at T _{sat}	T _{sat} , K	Viscosity at T _{sat}
182	Hydrazine	H ₂ N ₂	302-01-2	32.042	2.3489E-07	0.7151	205.05		271.69	7.460E-06	1573.15	4.225E-05
183	Hydrazine	H ₂	1333-74-0	2.016	1.797E-07	0.682	-0.59					4.530E-05
184	Hydrogen bromide	HBre	10035-10-9	80.912	6.17E-08	0.9270						4.512E-05
185	Hydrogen chloride	HCl	7647-01-0	36.461	4.924E-07	0.6702	157.7		306.45	1.285E-05	800	4.388E-05
186	Hydrogen cyanide	HCIN	74-90-8	27.025	1.278E-08	1.0631	340		300.00	2.576E-06	425	4.421E-06
187	Hydrogen fluoride	HF	7664-39-3	20.006	4.5101E-14	3.0000	-521.83		285.30	9.931E-06	472.68	2.019E-05
188	Hydrogen sulfide	H ₂ S	7783-06-8	34.081	3.9114E-08	1.0134			290.00	1.058E-05	450	2.050E-05
189	Isobutyric acid	C ₄ H ₈ O ₂	79-31-2	88.109	1.1902E-07	0.7822			227.15	5.410E-06	1000	2.261E-05
190	Isopropyl amine	C ₃ H ₇ N	75-31-0	59.110	3.2542E-08	0.8960			177.95	5.037E-06	1000	2.504E-05
191	Malonic acid	C ₃ H ₄ O ₄	141-82-2	104.061	8.4213E-08	0.82273			407.95	9.639E-06	1000	2.293E-05
192	Metacrylic acid	C ₄ H ₆ O ₂	79-41-4	86.089	6.133E-08	0.8222			388.15	7.242E-06	1000	2.440E-05
193	Methane	CH ₄	74-82-8	16.042	9.2246E-07	0.26006			90.69	3.468E-06	1000	2.800E-05
194	Methanol	CH ₃ O	67-56-1	32.042	3.0963E-07	0.69605	305		340.00	7.223E-06	1000	5.128E-05
195	N-Methyl acetamide	C ₃ H ₇ NO	79-16-3	73.094	8.0989E-08	0.8292			301.15	7.714E-06	1000	2.464E-05
196	Methyl acetate	C ₃ H ₆ O ₂	79-20-9	74.079	1.5295E-06	0.4883	304.3		290.00	6.005E-06	800	2.125E-05
197	Methyl acrylamide	C ₄ H ₇ NO	74-99-7	80.064	1.193E-06	0.4737			170.45	4.789E-06	800	2.045E-05
198	Methyl acrylate	C ₅ H ₈ O ₂	96-32-1	96.089	1.648E-06	0.4444			166.32	4.281E-06	1000	2.260E-05
199	Methyl amine	CH ₃ N	74-89-3	31.057	5.6409E-07	0.5953	331.9		179.69	5.167E-06	4000	2.628E-05
200	Methyl benzoate	C ₈ H ₈ O ₂	93-35-2	136.148	7.4106E-08	0.92406	83.086		290.75	5.210E-06	4000	2.034E-05
201	2-Methyl-1,3-butadiene	C ₅ H ₈	598-25-4	68.117	4.0924E-07	0.5923			298.22	3.572E-06	1000	2.022E-05
202	2-Methylbutane	C ₅ H ₁₂	75-78-4	72.149	2.4344E-08	0.97376	-91.897		190.00	2.621E-06	1000	2.191E-05
203	2-Methylbutanoic acid	C ₆ H ₁₂ O ₂	116-52-0	102.122	1.569E-07	0.7096	192		490.15	1.000E-05	1000	2.106E-05
204	3-Methyl-1-butanol	C ₅ H ₁₂ O	123-31-3	88.148	8.5783E-08	0.80279	77.075		125.95	1.423E-06	1000	2.111E-05
205	2-Methyl-1-butene	C ₅ H ₁₀	963-46-2	70.123	9.0602E-07	0.52248			199.52	3.082E-06	1000	1.918E-05
206	2-Methyl-2-butene	C ₅ H ₁₀	213-35-9	70.123	8.2423E-07	0.47389	239.34		139.39	3.953E-06	1000	1.820E-05
207	2-Methyl-1-butene-3-yne	C ₆ H ₈	78-80-8	66.101	2.6844E-07	0.293			160.15	3.893E-06	1000	2.112E-05
208	Methylbutyl ether	C ₇ H ₁₆ O	628-28-4	88.148	3.9342E-08	0.91096			157.45	2.947E-06	1000	2.126E-05
209	Methylbutyl sulfide	C ₇ H ₁₆ S	628-28-4	104.214	4.956E-08	0.83479			176.30	4.022E-06	1000	2.312E-05
210	2-Methyl-1-butyne	C ₆ H ₈	998-23-2	68.117	4.0748E-08	0.92709			183.45	5.112E-06	1000	2.463E-05
211	Methyl butyrate	C ₆ H ₁₂ O ₂	632-42-7	102.122	3.731E-07	0.6177	295.9		187.28	3.900E-06	1000	2.118E-05
212	Methylchlorosilane	CH ₃ ClSi	993-00-0	80.889	4.8806E-08	0.92549			139.05	4.698E-06	1000	2.917E-05
213	Methylcyclohexane	C ₇ H ₁₄	108-87-2	98.186	6.5281E-07	0.5294	210.59		146.28	2.934E-06	1000	1.930E-05
214	1-Methylcyclohexanol	C ₇ H ₁₄ O	990-67-0	114.185	8.2795E-08	0.80277	100.77		206.15	6.232E-06	1000	1.994E-05
215	cis-2-Methylcyclohexanol	C ₇ H ₁₄ O	7442-70-1	114.185	2.49E-07	0.68	210		280.15	6.201E-06	1000	2.175E-05
216	trans-2-Methylcyclohexanol	C ₇ H ₁₄ O	7442-52-9	114.185	2.10E-07	0.704	187		269.15	6.062E-06	1000	2.181E-05
217	Methylcyclohexane	C ₇ H ₁₄	96-37-7	98.186	6.0798E-07	0.498	355.89		130.75	3.722E-06	1000	2.046E-05
218	1-Methylcyclopentane	C ₆ H ₁₂	693-59-0	82.144	3.7029E-08	0.92849			146.62	3.800E-06	1000	2.229E-05
219	1-Methylcyclopentane	C ₆ H ₁₂	1120-62-3	82.144	3.9771E-08	0.92242			119.00	3.56E-06	1000	2.227E-05
220	Methylcyclohexanone	C ₇ H ₁₂ O	75-94-7	112.034	3.977E-07	0.7483	121.29		182.29	5.274E-06	1000	3.009E-05
221	Methylcetyl ether	C ₁₈ H ₃₈ O	240-67-0	60.093	2.698E-07	0.68276			160.00	4.522E-06	1000	2.273E-05
222	Methylcetyl ketone	C ₁₈ H ₃₆ O	78-90-3	72.106	2.6282E-08	0.98316			195.45	4.204E-06	1000	2.264E-05
223	Methylcetyl sulfide	C ₁₈ H ₃₆ S	624-89-9	76.161	8.6219E-08	0.82911			167.22	4.341E-06	1000	2.288E-05
224	Methyl formate	C ₂ H ₄ O ₂	107-31-2	60.052	6.9725E-06	0.3194	1054.5		174.15	5.171E-06	1000	3.029E-05
225	Methylisobutyl ether	C ₆ H ₁₄ O	625-44-5	88.148	1.5032E-07	0.7328			108.5	2.448E-06	1000	2.157E-05
226	Methylisobutyl ketone	C ₆ H ₁₂ O	108-10-1	100.160	9.4257E-08	0.7845	90.183		189.15	3.901E-06	4000	1.951E-05
227	Methyl isocyanate	C ₂ H ₃ NO	624-83-0	57.051	3.1873E-07	0.69404			226.15	7.481E-06	4000	2.642E-05
228	Methylisopropyl ether	C ₅ H ₁₂ O	998-33-8	74.122	1.929E-07	0.7061	169		127.55	2.242E-06	1000	2.327E-05
229	Methylisopropyl ketone	C ₆ H ₁₂ O	563-80-4	96.122	1.0895E-07	0.77382	83.340		180.15	3.968E-06	1000	2.076E-05
230	Methylisopropyl sulfide	C ₆ H ₁₂ S	1551-21-9	90.157	8.6077E-08	0.81689			171.64	4.069E-06	1000	2.265E-05
231	Methyl mercaptan	CH ₃ S	74-93-1	48.107	1.637E-07	0.76706			190.15	4.450E-06	1000	2.296E-05
232	Methyl methacrylate	C ₅ H ₈ O ₂	80-62-6	100.116	4.889E-07	0.6096	342.23		224.95	5.295E-06	1000	2.456E-05
233	2-Methylsuccinic acid	C ₅ H ₈ O ₄	3004-93-1	128.238	7.2131E-08	0.80319	99.437		340.00	4.162E-06	1000	1.698E-05
234	2-Methylpentane	C ₆ H ₁₄	107-83-9	86.173	1.1164E-06	0.4237	274.74		119.28	2.266E-06	1000	1.869E-05
235	Methyl propyl ether	C ₅ H ₁₂ O	625-80-8	102.173	1.0846E-07	0.77106	83.745		176.00	3.707E-06	1000	1.933E-05
236	2-Methylpropane	C ₄ H ₁₀	75-28-5	58.122	1.0871E-07	0.78333	70.639		129.00	3.707E-06	1000	2.242E-05
237	2-Methyl-2-propanol	C ₄ H ₁₀ O	75-60-4	74.122	6.601E-07	0.4836	381		298.97	6.727E-06	800	1.312E-05
238	2-Methyl propanoic acid	C ₄ H ₈ O ₂	115-11-7	96.106	6.0981E-07	0.40288	260.08		132.51	3.423E-06	1000	2.174E-05
239	Methyl propionate	C ₅ H ₁₀ O ₂	294-15-1	88.108	3.564E-07	0.6327	332.2		185.69	4.316E-06	4000	2.288E-05
240	Methylpropyl ether	C ₅ H ₁₂ O	257-17-9	74.122	4.4841E-08	0.60198			133.97	3.729E-06	4000	2.284E-05

$$\mu = \frac{C1T^{C2}}{1 + C3/T + C4/T^2}$$

Gráfico 19: Tabla viscosidad de líquidos

TABLE 2-313 Viscosity of Inorganic and Organic Liquids (Pa-s) [Concluded]

Compd. no.	Name	Formula	CAS no.	Mol. wt.	C1	C2	C3	C4	C5	T _{ref} , K	Viscosity at T _{ref}	T _{ref} , K	Viscosity at T _{ref}
304	Propylbenzene	C ₉ H ₁₀	103-68-1	120.192	-13.282	1049.7	1.0434			300.00	6.774E-03	432.39	2.257E-04
305	Propylene	C ₃ H ₆	115-07-1	42.080	-92.082	1907.3	13.639			87.99	1.590E-02	333.15	3.150E-05
306	Propyl formate	C ₆ H ₁₀ O ₂	110-74-7	88.105	-73.735	2668.2	10.963	-0.043095	1	180.25	5.552E-03	353.97	2.810E-04
307	2-Propyl mercaptan	C ₆ H ₁₄ S	75-33-2	76.161	-5.7244	638.2	-0.76418			142.61	6.477E-03	323.71	2.784E-04
308	Propyl mercaptan	C ₆ H ₁₄ S	107-03-9	76.161	-10.153	840.71	-0.083763			159.95	1.641E-03	340.87	2.656E-04
309	1,2-Propylene glycol	C ₃ H ₈ O ₂	57-25-5	76.094	-304.34	3048.7	130.79	-0.13449	1	313.15	9.500E+02	200.80	3.310E-04
310	Quinone	C ₆ H ₄ O ₂	106-51-4	108.095	-14.846	1829.4	0.3729			388.83	3.643E-04	454.00	1.958E-04
311	Silicon tetrafluoride	SiF ₄	7783-61-1	104.079									
312	Styrene	C ₈ H ₈	100-42-5	104.149	-22.675	1758	1.6701			342.34	1.919E-03	418.51	2.268E-04
313	Succinic acid	C ₄ H ₆ O ₄	110-15-5	118.088	-15.422	3431.5				460.65	2.500E-03	544.50	1.040E-04
314	Sulfur dioxide	O ₂ S	7446-09-5	64.064	95.223	-13.778	-5.7475			325.00	6.900E-04	400.00	6.287E-05
315	Sulfur hexafluoride	SF ₆	2551-62-4	146.065	3.8209	41.21	-2.1342			335.15	5.388E-04	318.69	2.383E-04
316	Sulfur trioxide	O ₃ S	7446-11-9	80.063	-88.793	6400.7	10.709			389.93	2.477E-03	318.15	9.459E-04
317	Terephthalic acid	C ₈ H ₆ O ₄	100-21-0	166.131									
318	o-Terphenyl	C ₁₀ H ₁₄	84-15-1	200.304	-215.09	11512	31.849	-0.026892	1	329.35	1.736E-02	753.15	1.322E-04
319	Tetraene	C ₄ H ₆	629-26-4	198.288	-14.483	1710.8	0.4417	3.0880E+28	-12	277.65	3.320E-03	254.40	1.810E-04
320	Tetrahydrofuran	C ₄ H ₈ O	109-99-9	72.106	-10.321	900.92	-0.069128			164.63	5.505E-03	373.45	2.446E-04
321	1,2,3,4-Tetrahydronaphthalene	C ₁₀ H ₁₂	119-64-2	132.202	-11.167	1193.2	0.066226	9.5986E+11	-5	337.40	1.300E-02	276.00	2.100E-04
322	Tetrahydrothiophene	C ₄ H ₈ S	110-01-0	88.171	-10.843	1165.2				285.15	1.040E-03	303.15	9.125E-04
323	2,2,3,3-Tetramethylbenzene	C ₁₀ H ₁₆	994-82-1	134.229	5.3251	632.26	-2.6576			373.96	1.999E-04	484.00	8.899E-05
324	Thiophene	C ₄ H ₄ S	110-02-1	84.140	-16.671	1342.5	0.8388			290.00	1.399E-03	383.15	2.628E-04
325	Toluene	C ₇ H ₈	108-58-7	92.138	-326.08	6805.7	37.242	-0.060820	1	178.15	1.569E-02	383.78	2.425E-04
326	1,1,2-Trichloroethane	C ₂ H ₂ Cl ₃	79-06-5	133.404	0.388	736.5	-1.7063			326.20	2.955E-03	387.00	3.798E-04
327	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	629-30-5	184.261	-3.1103	1005.5	-1.0188	1.0017E+10	-8	267.67	3.490E-03	340.00	1.740E-04
328	Trimethyl amine	C ₃ H ₉ N	121-44-8	101.199	-3.7067	982.75	-1.0926			290.00	6.120E-04	389.05	2.028E-04
329	Trimethyl amine	C ₃ H ₉ N	75-50-3	99.110	10.142	-130.44	-3.2195			300.00	5.426E-04	308.45	1.612E-04
330	1,2,3-Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	626-73-8	120.192	-11.796	1483.1	-0.040387			247.79	2.485E-03	449.27	1.663E-04
331	1,2,4-Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	95-63-6	120.192	-9.6451	1281.2	-0.29478			229.33	3.477E-03	442.33	1.942E-04
332	2,2,4-Trimethylpentane	C ₈ H ₁₈	540-84-1	114.229	-12.928	1137.5	0.25725	-3.6620E-28	10	165.78	8.636E-03	341.15	4.830E-05
333	2,3,3-Trimethylpentane	C ₈ H ₁₈	560-21-4	114.229	-4.0309	990.75	-1.1771			172.22	1.205E-02	357.91	3.049E-04
334	1,3,5-Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂ N ₂ O ₂	99-35-4	213.105	-19.707	1518.5				398.40	2.490E-03	676.50	3.290E-04
335	2,4,6-Trinitrotoluene	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆	118-96-7	227.131	-11.504	3301	-0.39102			333.15	1.167E-02	625.00	1.601E-04
336	Undecane	C ₁₁ H ₂₄	1120-21-4	156.308	82.176	-480.19	-8.2676	570.980	-2	347.57	3.240E-03	511.20	1.570E-04
337	1-Undecanol	C ₁₁ H ₂₄ O	112-42-5	172.308	-69.778	5905.2	5.0214			285.43	2.089E-02	290.75	1.896E-04
338	Vinyl acetate	C ₄ H ₆ O ₂	108-05-4	86.089	-22.407	1462.5	1.7006			329.00	1.237E-03	345.65	2.654E-04
339	Vinyl acetylene	C ₄ H ₆	699-97-4	82.075	-2.2333	320.37	-1.2915			173.15	8.754E-04	364.00	1.273E-04
340	Vinyl chloride	C ₂ H ₃ Cl	75-01-4	62.498	0.26267	276.55	-1.7282			190.00	3.425E-03	400.00	8.272E-05
341	Vinyl trichlorosilane	C ₂ H ₂ Cl ₃ Si	75-94-5	161.490	-10.37	823.21				178.25	3.170E-03	434.25	2.090E-04
342	Water	H ₂ O	7732-18-5	18.015	-82.843	3703.6	3.966	-3.879E-29	10	273.16	1.702E-03	646.15	5.028E-05
343	m-Xylene	C ₈ H ₁₀	108-38-3	106.165	-11.61	1094.9	0.13825			325.30	1.834E-03	413.10	3.189E-04
344	o-Xylene	C ₈ H ₁₀	95-47-6	106.165	-15.489	1180.5	0.63771			347.98	1.738E-03	418.10	3.499E-04
345	p-Xylene	C ₈ H ₁₀	106-42-3	106.165	-7.381	911.7	-0.54152			286.41	7.021E-04	413.10	2.169E-04

$$\mu = \exp(C1 + C2/T + C3 \ln T + C4T^{0.5})$$

Gráfico 20: Gráfico de cálculo de viscosidades

TABLE 2-318 Viscosities of Liquids: Coordinates for Use with Fig. 2-32

Liquid	X	Y	Liquid	X	Y
Acetaldehyde	15.2	4.8	Freon-113	12.5	11.4
Acetic acid, 100%	12.1	14.2	Glycerol, 100%	2.0	30.0
Acetic acid, 70%	9.5	17.0	Glycerol, 50%	6.9	19.6
Acetic anhydride	12.7	12.8	Heptane	14.1	8.4
Acetone, 100%	14.5	7.2	Hexane	14.7	7.0
Acetone, 50%	7.9	15.0	Hydrochloric acid, 31.5%	13.0	16.6
Acetonitrile	14.4	7.4	Iodobenzene	12.8	15.9
Acrylic acid	12.3	12.9	Isobutyl alcohol	7.1	18.0
Allyl alcohol	10.2	14.3	Isobutyric acid	12.2	14.4
Allyl bromide	14.4	8.6	Isopropyl alcohol	8.2	16.0
Allyl chloride	14.0	11.7	Isopropyl bromide	14.1	9.2
Ammonia, 100%	12.6	2.0	Isopropyl chloride	13.9	7.1
Ammonia, 26%	10.1	12.9	Isopropyl iodide	13.7	11.2
Amyl acetate	11.3	12.5	Kerosene	10.2	16.9
Amyl alcohol	7.5	18.4	Linseed oil, raw	7.5	27.2
Aniline	8.1	18.7	Mercury	18.4	16.4
Anisole	12.3	13.3	Methanol, 100%	12.3	10.5
Arsenic trichloride	13.9	14.3	Methanol, 50%	12.3	11.8
Benzene	12.5	10.9	Methanol, 40%	7.8	15.5
Brine, CaCl ₂ , 25%	6.6	15.9	Methyl acetate	14.2	8.2
Brine, NaCl, 25%	10.2	16.6	Methyl acrylate	13.0	9.5
Bromine	14.2	12.2	Methyl n-butrate	12.3	8.7
Bromobenzene	20.0	15.9	Methyl n-butyrate	13.2	10.2
Butyl acetate	12.3	11.0	Methyl chloride	15.0	3.8
Butyl acrylate	11.5	12.6	Methyl ethyl ketone	13.9	8.6
Butyl alcohol	8.6	17.2	Methyl formate	14.2	7.2
Butyric acid	12.1	15.3	Methyl iodide	14.3	9.3
Carbon dioxide	11.6	0.3	Methyl propionate	13.5	8.0
Carbon disulfide	16.1	7.9	Methyl propyl ketone	14.3	9.5
Carbon tetrachloride	12.7	13.1	Methyl sulfide	15.3	6.4
Chlorobenzene	12.3	12.4	Naphthalene	7.9	18.1
Chloroform	14.4	10.2	Nitric acid, 95%	12.8	13.8
Chlorosulfonic acid	11.2	18.1	Nitric acid, 60%	10.9	17.0
Chlorotoluene, ortho	13.0	13.3	Nitrobenzene	10.6	16.2
Chlorotoluene, meta	13.3	12.5	Nitrogen dioxide	12.9	8.6
Chlorotoluene, para	13.3	12.5	Nitrotoluene	11.0	17.0
Cresol, meta	2.9	20.8	Octane	13.7	10.0
Cyclohexanol	2.9	24.3	Octyl alcohol	6.6	21.1
Cyclohexane	9.8	12.9	Pentachloroethane	10.9	17.2
Dibromomethane	12.7	15.8	Pentane	14.9	5.2
Dichloromethane	13.2	12.2	Phenol	6.9	20.8
Dichloromethane	14.6	8.9	Phosphorus tribromide	13.8	16.7
Diethyl ketone	13.5	8.2	Phosphorus trichloride	16.2	10.9
Diethyl malate	11.0	16.4	Propionic acid	12.8	13.5
Diethylene glycol	5.0	24.7	Propyl acetate	13.1	10.2
Diphenyl	12.0	18.2	Propyl alcohol	8.1	16.2
Dipropyl ether	13.2	8.6	Propyl bromide	14.5	8.6
Dipropyl malate	10.3	17.7	Propyl chloride	14.4	7.5
Ethyl acetate	13.7	8.1	Propyl formate	13.1	8.7
Ethyl acrylate	12.7	10.4	Propyl iodide	14.1	11.6
Ethyl alcohol, 100%	10.5	13.8	Sodium	16.4	13.9
Ethyl alcohol, 95%	8.8	14.3	Sodium hydroxide, 50%	3.2	25.8
Ethyl alcohol, 40%	6.5	16.6	Stannic chloride	13.5	12.8
Ethyl benzene	13.2	11.5	Succinonitrile	10.1	20.8
Ethyl bromide	14.5	8.1	Sulfur dioxide	15.2	7.1
2-Ethyl butyl acrylate	11.2	14.0	Sulfuric acid, 110%	7.2	27.4
Ethyl chloride	14.8	6.0	Sulfuric acid, 100%	8.0	25.1
Ethyl ether	14.5	5.3	Sulfuric acid, 98%	7.0	24.8
Ethyl formate	14.2	8.4	Sulfuric acid, 80%	10.2	21.3
2-Ethyl hexyl acrylate	9.0	15.0	Sulfuryl chloride	15.2	12.4
Ethyl iodide	14.7	10.3	Tetrachloroethane	11.9	15.7
Ethyl propionate	13.2	9.9	Thiophene	13.2	11.0
Ethyl propyl ether	14.0	7.0	Titanium tetrachloride	14.4	12.2
Ethyl sulfide	13.8	8.9	Toluene	13.7	10.4
Ethylene bromide	11.9	15.7	Trichloroethylene	14.8	10.5
Ethylene chloride	12.7	12.2	Triethylene glycol	4.7	24.8
Ethylene glycol	6.0	22.6	Turpentine	11.5	14.9
Ethylidene chloride	14.1	8.7	Vinyl acetate	14.0	8.8
Fluorobenzene	13.7	10.4	Vinyl toluene	13.4	12.0
Formic acid	10.7	15.8	Water	10.2	13.0
Freon-11	14.4	8.0	Xylene, ortho	13.5	12.1
Freon-12	16.8	3.6	Xylene, meta	13.9	10.6
Freon-21	15.7	7.5	Xylene, para	13.9	10.9
Freon-22	17.2	4.7			

Gráfico 20 (continuación): Gráfico de cálculo de viscosidad

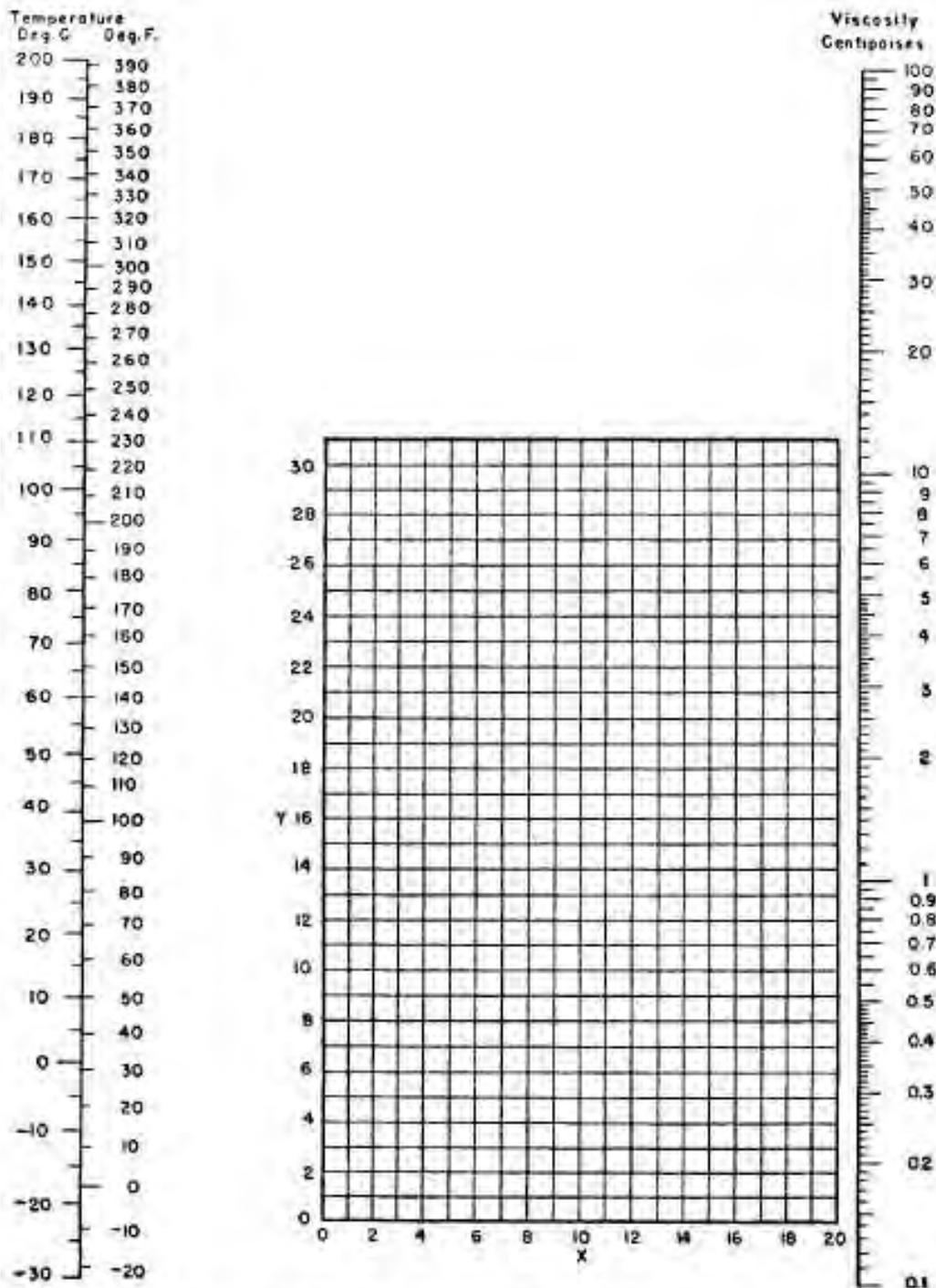


FIG. 2-32 Nomograph for viscosities of liquids at 1 atm. For coordinates see Table 2-318. To convert centipoises to poise-seconds, multiply by 0.001.

Gráfico 21: Tablas de estimación de costes de equipos principales

Vertical Vessel

Description: The vertical process vessel is erected in the vertical position. They are cylindrical in shape with each end capped by a domed cover called a head. The length to diameter ratio of a vertical vessel is typically 3 to 1. Vertical tanks include: process, storage applications liquid, gas, solid processing and storage; pressure/vacuum code design for process and certain storage vessel types; includes heads, single wall, saddles, lugs, nozzles, manholes, legs or skirt, base ring, davits where applicable.

Design Basis:

1st Quarter 1998 Dollars

Shell Material: A515

(Carbon Steel Plates for pressure vessels for intermediate and higher temperature service)

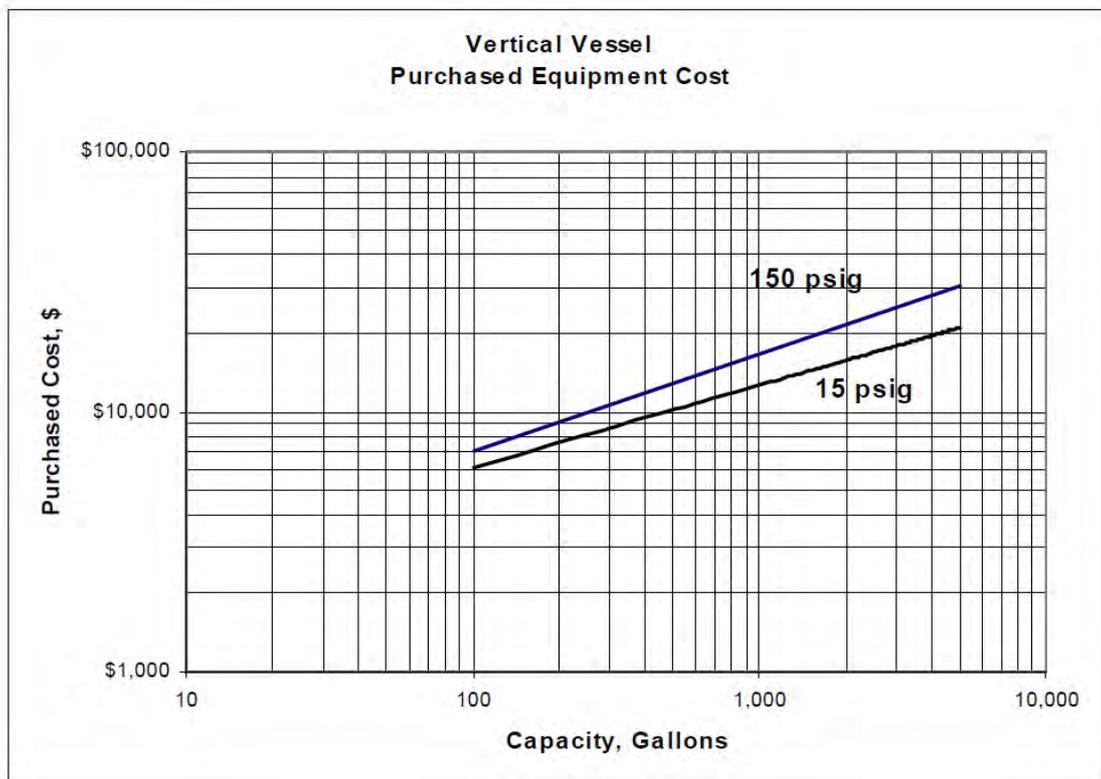
Design Temperature: 650 °F

Design Pressure: 15 psig and 150 psig

Diameter: 2.5 – 8 feet

Length: 2.7 – 13.3 feet

Total Weight: 1,000 – 7,100 pounds



Shell and Tube Heat Exchanger

Description: Shell and tube heat exchanger consists of a bundle of tubes held in a cylindrical shape by plates at either end called tube sheets. The tube bundle placed inside a cylindrical shell. The size of the exchanger is defined as the total outside surface area of the tube bundle. Maximum shell size is 48 Inches.

Design Basis:

1st Quarter 1998 Dollars

Type: Floating Head (BES)/ Fixed Head (BEM)

Shell Material: A285C

(Low and intermediate strength carbon steel plates for pressure vessels.)

Shell Temperature: 650 °F

Shell Pressure: 150 psig

Tube Material: A214

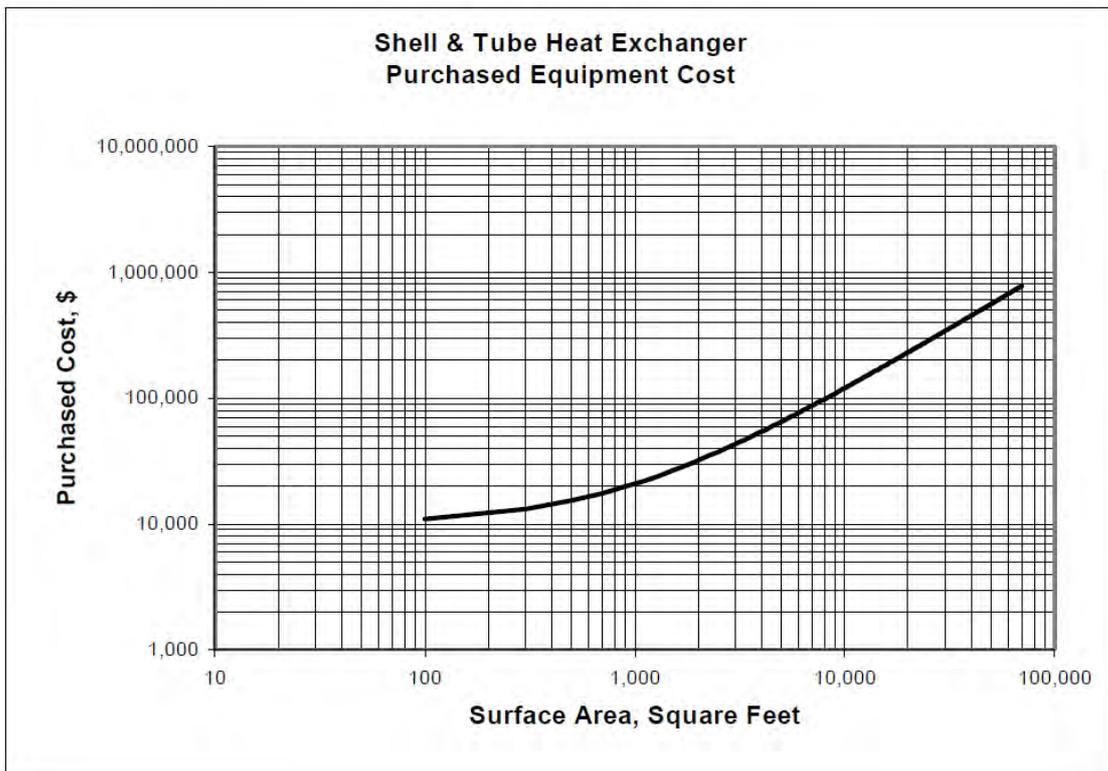
(Electric-resistance-welded carbon steel heat exchanger and condenser tubes)

Tube Temperature: 650 °F

Tube Pressure: 150 psig

Tube Length: 10– 20 Feet

Tube Diameter: 1 Inch



Spiral Plate Heat Exchanger

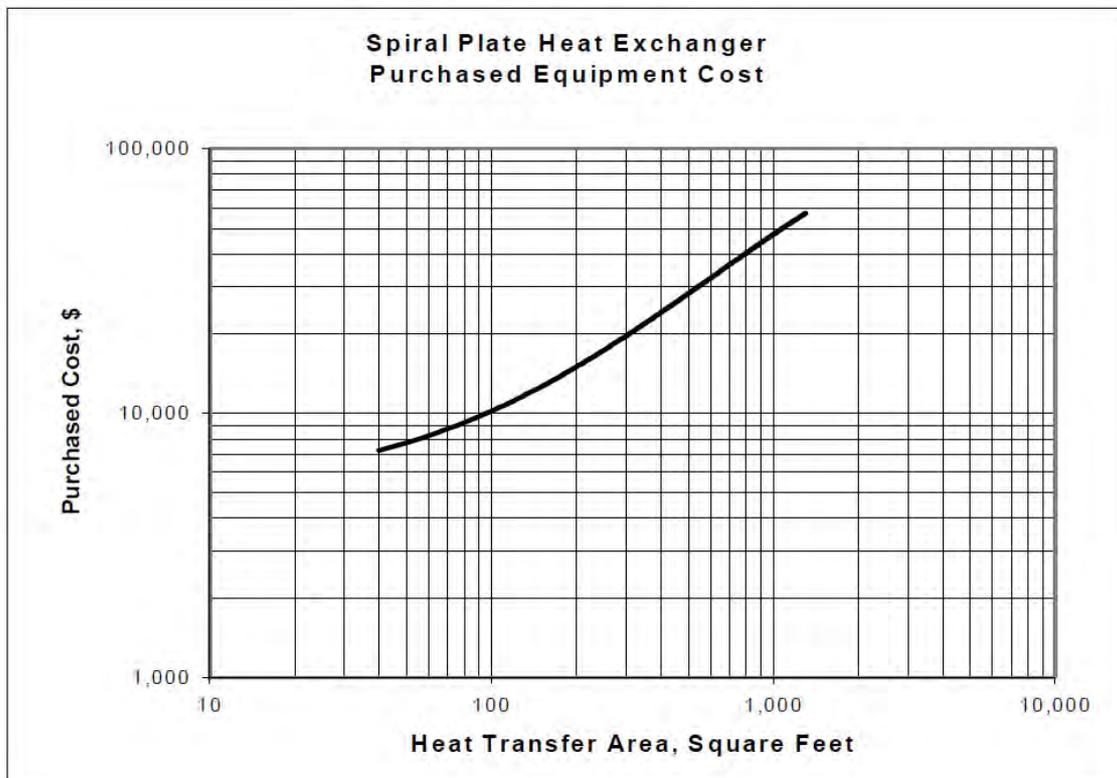
Design Basis:

1st Quarter 1998 Dollars

Material: SS304

(High Alloy Steel - Chromium-Nickel stainless steel plate, sheet and strip for fusion-welded unfired pressure vessels)

Tube Pressure: 150 psig



Package Steam Boiler

Description: Package boiler unit includes forced draft fans, instruments, controls, burners, soot-blowers, feedwater deaerator, chemical injections system, steam drum, mud drum and stack. Shop assembled.

Design Basis:

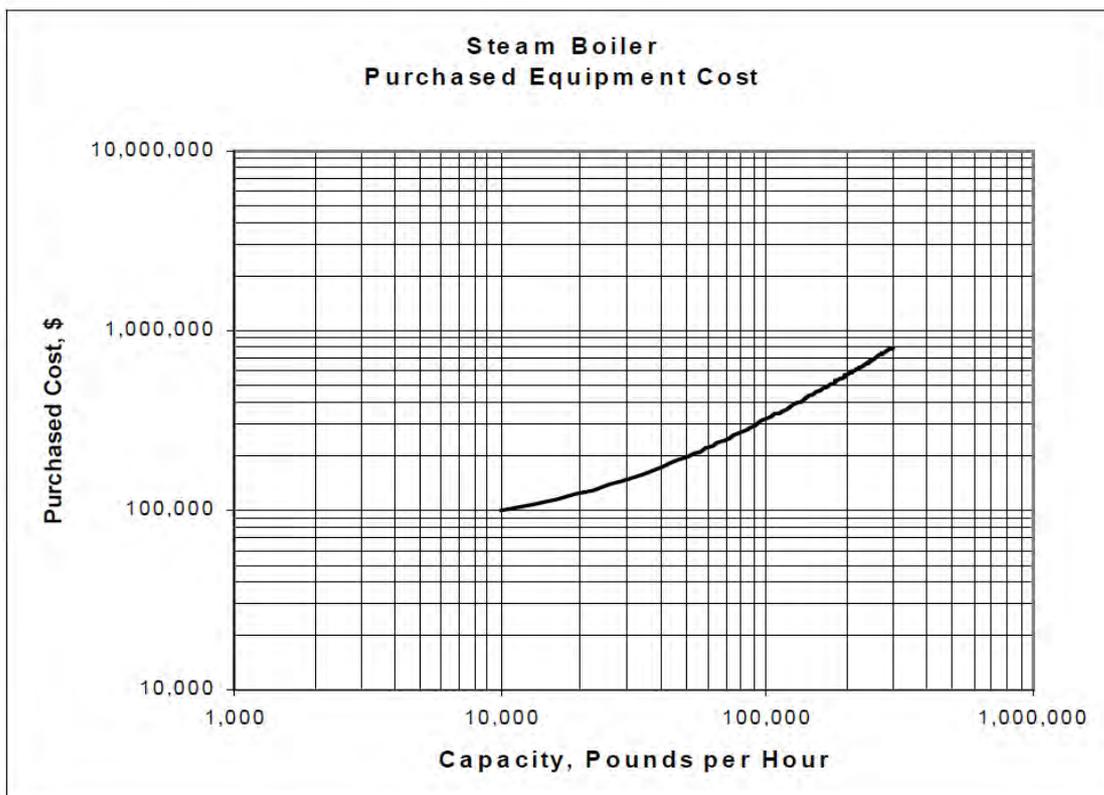
1st Quarter 1998 Dollars

Material: A285C

(Low and intermediate strength carbon steel plates for pressure vessels.)

Pressure: 250 psig

Superheat: 100 °F



Centrifuges

Description: Centrifuges include motor and drive unit.

Reciprocating Conveyor with continuous filtering centrifuge for free-draining granular solids, horizontal bowl, removal by reciprocating piston.

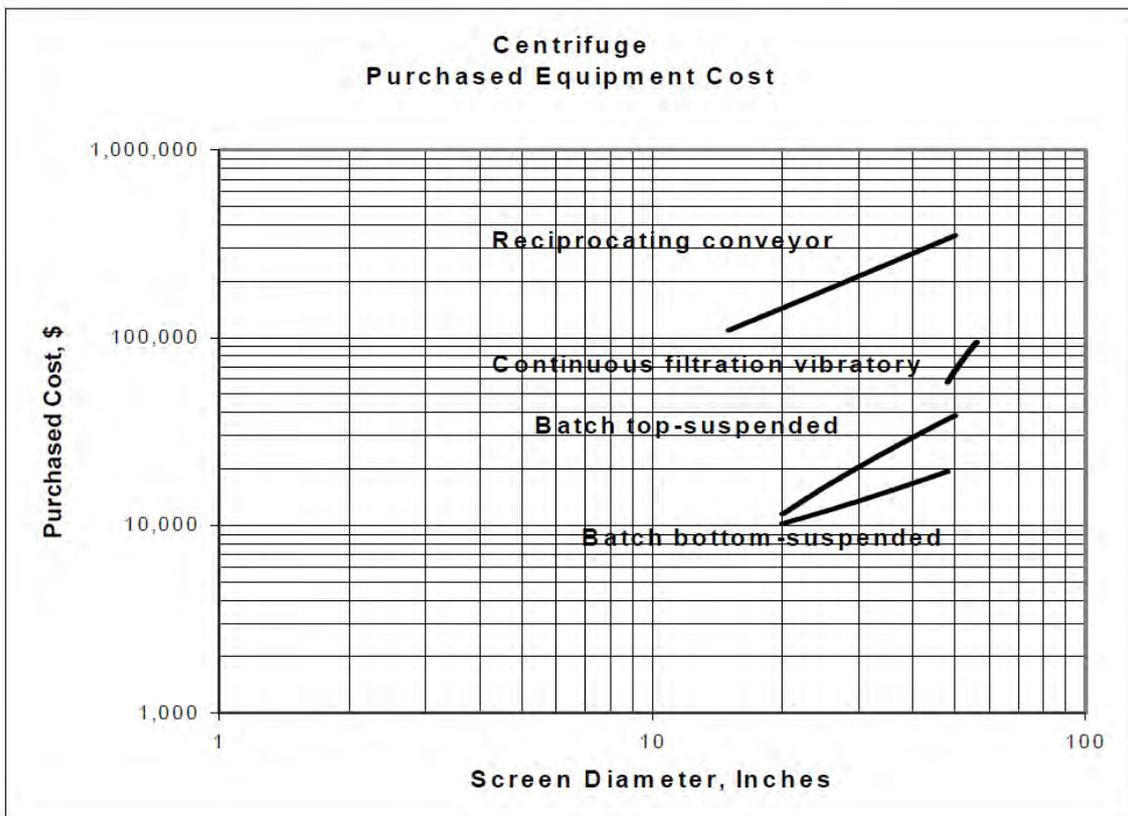
Continuous Filtration Vibratory Centrifuge with solids removal by vibratory screen for dewatering of course solids.

Design Basis:

1st Quarter 1998 Dollars

Material: A285C

(Low and intermediate strength carbon steel plates for pressure vessels.)



Filters

Description:

Cartridge Filter consists of a tank containing one or more disposable cartridges. Contains 5-micron cotton filter.

Drum Filter is a vacuum type, multi compartment cylinder shell with internal filtrate piping with polypropylene filter cloth, feed box with inlet and drain nozzles, suction valve, discharge trough, driver consisting of rotor, drive motor base plate, worm, gear reducer and two pillow block bearing with supports.

Defaults for Drum Filter

- medium filtration rate,
- 0.5 tons per day/ square feet solids handling rate,
- 20% consistency (percent of solids in feed stream).

Tubular Fabric Filters are a bank of three without automatic cleaning option.

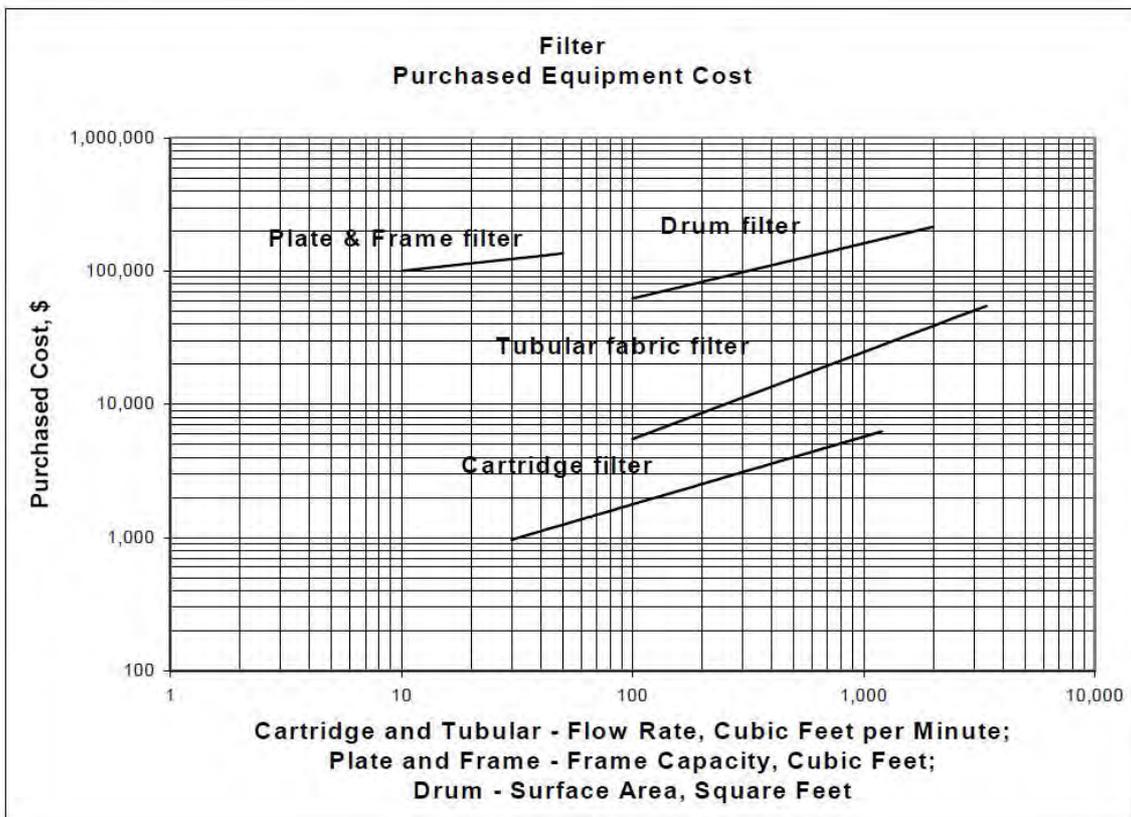
Plate and Frame Filter default material is rubber-lined carbon steel.

Design Basis:

1st Quarter 1998 Dollars

Material: A285C

(Low and intermediate strength carbon steel plates for pressure vessels.)



Agitator

Description: Fixed propeller mixer with motor and gear drive. Includes motor, gear drive, shaft and impeller.

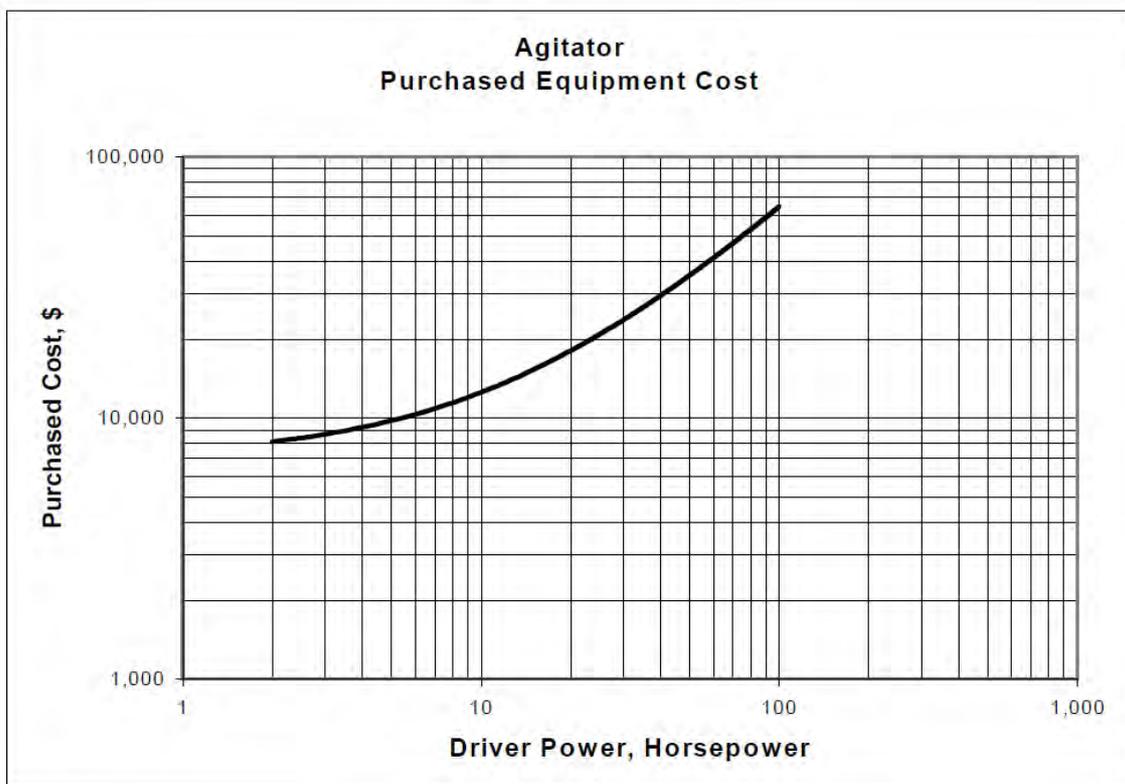
Design Basis:

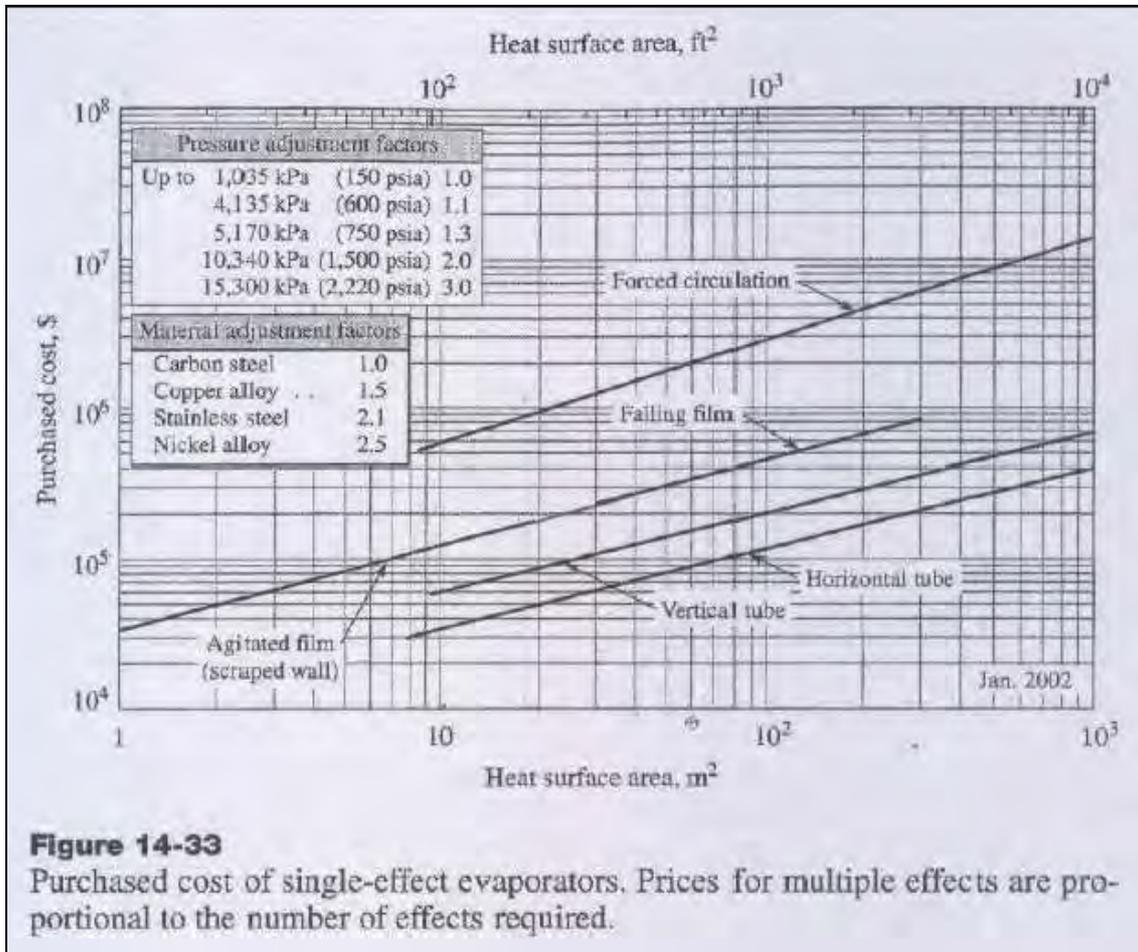
1st Quarter 1998 Dollars

Material: A285C

(Low and intermediate strength carbon steel plates for pressure vessels.)

Speed: 1800 RPM





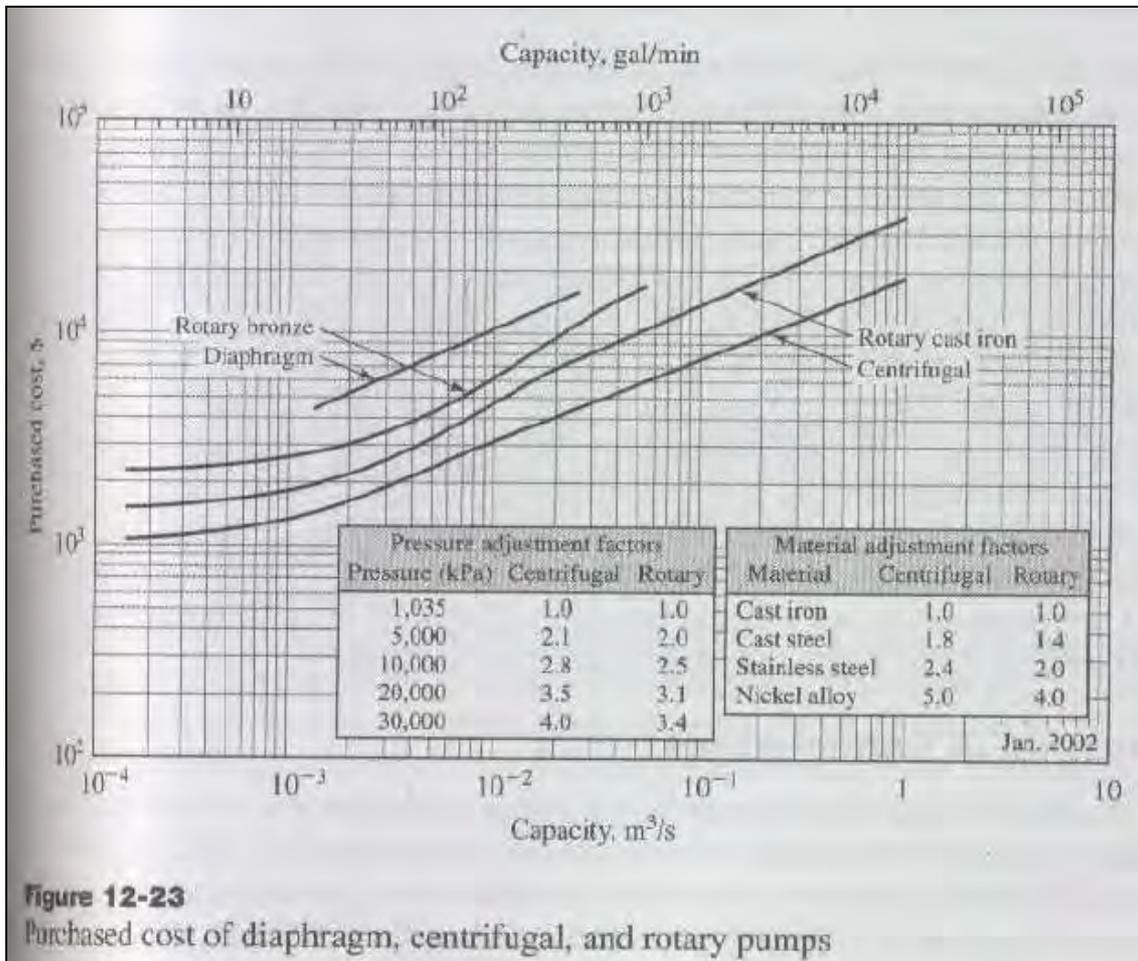
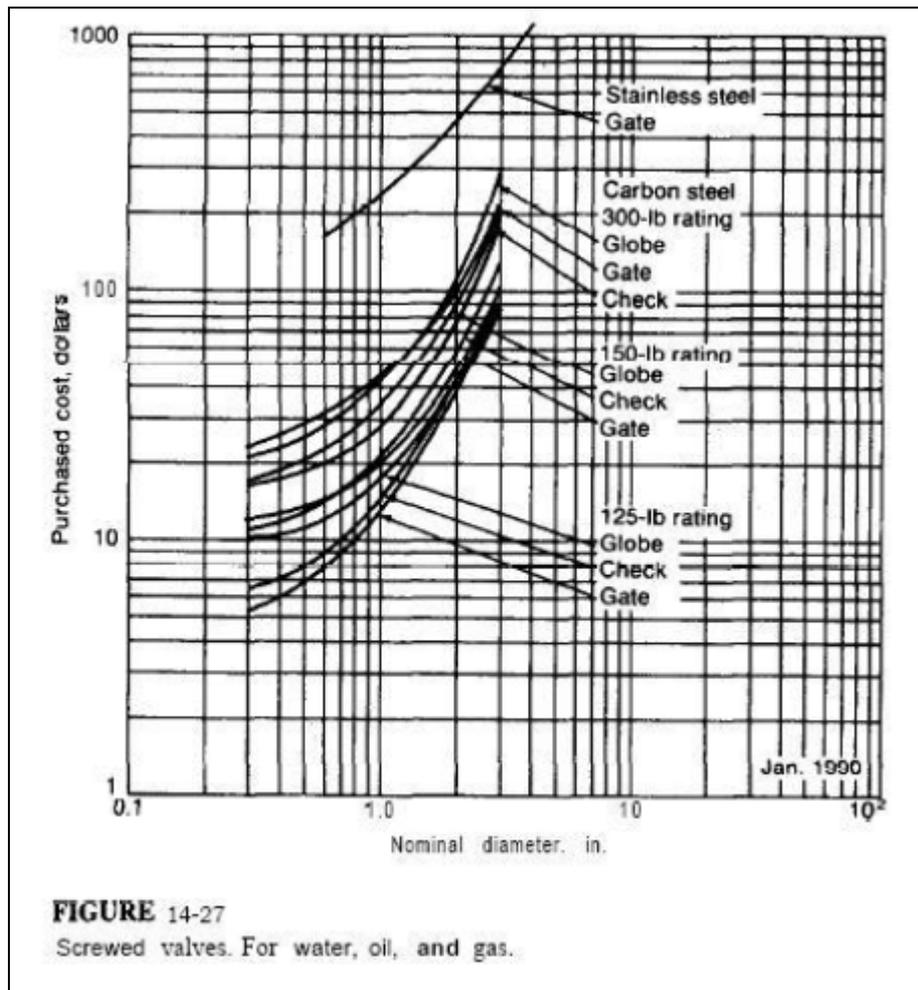


Figure 12-23
Purchased cost of diaphragm, centrifugal, and rotary pumps



ANEXO N° 4:

CATALOGOS DE EQUIPOS

1. Catálogo de agitador



**INSTRUCCIONES DE INSTALACION,
SERVICIO Y MANTENIMIENTO**

AGITADOR VERTICAL NRI



INOXPA, S.A.
c/Telers, 54 Apto. 174
E-17820 Banyoles
Girona (Spain)
Tel. : (34) 972 - 57 52 00
Fax. : (34) 972 - 57 55 02
Email: inoxpa@inoxpa.com
www.inoxpa.com



DESCRIPCION.

La gama de la serie **NRI** son agitadores verticales con una base de inoxidable y un V-ring como sistema de obturación. Se ha normalizado un moto-reductor con linterna para hacer más compacto el cabezal del agitador. El semieje está guiado por dos rodamientos que soportan los esfuerzos axiales y radiales transmitidos por el elemento de agitación. El eje agitador se fija al semieje mediante un plato de acoplamiento.

Todas las piezas que entran en contacto con el producto están fabricadas en acero inoxidable, AISI - 316 (1.4401). Su acabado superficial es electropulido.

Los elementos de agitación estándar (intercambiables) son: hélice marina y palas inclinadas.

UTILIZACION DEL AGITADOR.

Su aplicación es para procesos de agitación y mezcla en depósitos abiertos o cerrados con una viscosidad que puede oscilar entre 1 y 3000 cPs.

RECEPCION.

Al recibir el agitador verificar el embalaje y su contenido para asegurarse que está de acuerdo con el albarán. INOXPA embala los agitadores completamente montados. Asegurarse de que el agitador no ha sufrido ningún daño, en el caso de no hallarse en condiciones y/o falta alguna de las piezas, el transportista deberá realizar un informe con la mayor brevedad.

ALMACENAJE.

Si el agitador no se instala inmediatamente, se tiene que almacenar en un lugar apropiado. El eje se tiene que almacenar en posición horizontal y sobre unos apoyos de madera o material similar. El eje en esta posición no se deformará pero no tiene que aguantar ningún tipo de carga.

TRANSPORTE.

Tomar todas las precauciones posibles para levantar el agitador. Utilizar siempre los eslingues bien sujetos en caso de desplazar el agitador con una grúa u otro sistema de levantamiento.



Los agitadores, según el modelo, son demasiado pesados para que puedan ser almacenados o instalados manualmente. Utilizar un medio de transporte adecuado. No manipular el agitador por el eje ya que se puede deformar.

Tipo	Peso [Kg] con motoreductor
<i>NRI-B-1.11-07007-1</i>	55
<i>NRI-C-1.11-07015-1</i>	87
<i>NRI-C-1.11-07022-1</i>	93
<i>NRI-D-1.11-07030-1</i>	117
<i>NRI-D-1.11-07040-1</i>	128
<i>NRI-D-1.11-07055-1</i>	157
<i>NRI-B-1.11-10007-1</i>	50
<i>NRI-B-1.11-10015-1</i>	63
<i>NRI-C-1.11-10022-1</i>	85
<i>NRI-C-1.11-10030-1</i>	90
<i>NRI-D-1.11-10040-1</i>	128
<i>NRI-D-1.11-10055-1</i>	147
<i>NRI-B-1.11-15007-1</i>	48
<i>NRI-B-1.11-15015-1</i>	60
<i>NRI-C-1.11-15022-1</i>	80
<i>NRI-C-1.11-15030-1</i>	88
<i>NRI-C-1.11-15040-1</i>	99
<i>NRI-D-1.11-15055-1</i>	142
<i>NRI-B-1.11-25015-1</i>	58
<i>NRI-C-1.11-25022-1</i>	78
<i>NRI-C-1.11-25030-1</i>	83
<i>NRI-C-1.11-25040-1</i>	96
<i>NRI-D-1.11-25055-1</i>	137
<i>NRI-B-1.10-25007-1</i>	47
<i>NRI-B-1.10-25015-1</i>	57
<i>NRI-B-1.10-25022-1</i>	60
<i>NRI-C-1.10-25030-1</i>	83
<i>NRI-D-1.10-25040-1</i>	117
<i>NRI-D-1.10-25055-1</i>	136

IDENTIFICACION.

La identificación del agitador se hace mediante una placa de características que esta fijada sobre el motor. Sobre la placa figura el tipo de agitador y el número de serie. Ver figura 3.1.



Figura 3.1: Placa características.

Ejemplo:

NRI - B - 1 - 11 - 070 - 07 - 1
1 2 3 4 5 6 7

1. Nombre del agitador.
NRI = modelo agitador vertical.
2. Tamaño del cabezal.
B, C, D.
3. Número de elementos de agitación.
1 = un elemento de agitación.
2 = dos elementos de agitación.
4. Tipo de elemento de agitación.
10 = tipo hélice marina.
11 = palas inclinadas.
5. Velocidad de giro.
070 = 70 rpm.
250 = 250 rpm.
6. Potencia motor.
07 = 0.75 kW.
55 = 5.5 kW.
7. Motor.
1 = IP-55.
2 = IP-65.
3 = Antideflagrante.
4 = Antiexplosivo.
5 = Monofásico.

INSTALACION Y MONTAJE.



Si el agitador se suministra sin accionamiento u otro elemento, el comprador o el usuario se responsabilizará del montaje, de su instalación, puesta en marcha y funcionamiento.

EMPLAZAMIENTO.

Colocar el agitador de manera que pueda facilitar las inspecciones y revisiones. Dejar suficiente espacio alrededor del agitador para una adecuada revisión, separación y mantenimiento. Es muy importante que pueda accederse al dispositivo de conexión eléctrica del agitador, incluso cuando esté en funcionamiento.

Para tener un buen proceso de agitación, es posible que sea necesario la colocación de rompecorrientes en el depósito.

Preguntar a nuestro departamento técnico para cada aplicación concreta. Si así se requiriera, las dimensiones aproximadas de los rompecorrientes en función del diámetro del depósito se muestran en la figura 4.1. y tabla 4.1.

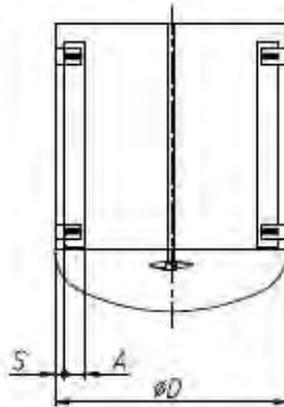


Figura 4.1

ØD	300	400	500	600	800	1000	1200	1600	2000	2500	3000	3500	4000
A	20	30	35	40	50	70	80	115	130	180	200	240	280
S	5	5	10	10	10	15	20	20	30	30	50	50	50

Tabla 4.1

MONTAJE.

Para situar y fijar el agitador en la brida soporte del depósito debe desmontarse la hélice del eje. Una vez colocada la base del agitador sobre la brida de soporte, se procederá a colocar los tornillos y tuercas de fijación en sus correspondientes taladros, sin apretarlos. Efectuada esta operación deberá nivelarse el agitador, actuando de la forma siguiente:

- Adosar un nivel de burbuja al eje agitador.
- Comprobar 4 puntos a 90° entre si y sobre una misma altura.

Una vez conseguida la nivelación, apretar fuerte los tornillos y tuercas de fijación. Finalmente, se montará la hélice en el extremo del eje. Téngase en cuenta al montar el elemento agitador de no golpear el eje de agitación y no forzarlo a fin de evitar que pueda sufrir alguna deformación.



Nunca se debe aplicar una fuerza en el extremo del eje de agitación, ya que fácilmente puede adquirir una deformación permanente.

CONEXION ELECTRICA.

Antes de conectar el motor eléctrico a la red, comprobar las reglamentaciones locales sobre la seguridad eléctrica, así como las normativas correspondientes. Especialmente a tener en cuenta, en lo que se refiere a la parte de control y mando del agitador. Consultar el manual de instrucciones del fabricante del motor para conectarlo a la red.

Deje la conexión eléctrica de los motores al personal cualificado. Tome las medidas necesarias para prevenir cualquier avería.



El motor debe de estar protegido con dispositivos de protección contra las sobrecargas y cortocircuitos.

El agitador no se puede utilizar en zonas de riesgo de incendio o explosión, si esto no ha sido previsto en el pedido. Zonas de riesgo (zona 1 -2 - 3).

PUESTA EN SERVICIO.

- Comprobar que el suministro eléctrico concuerda con lo que se indica en la placa del motor.
- Verificar la alineación del eje agitador.
- Comprobar el nivel de líquido del depósito. Si no se ha especificado en el pedido, los agitadores no pueden trabajar durante el llenado o vaciado del depósito.



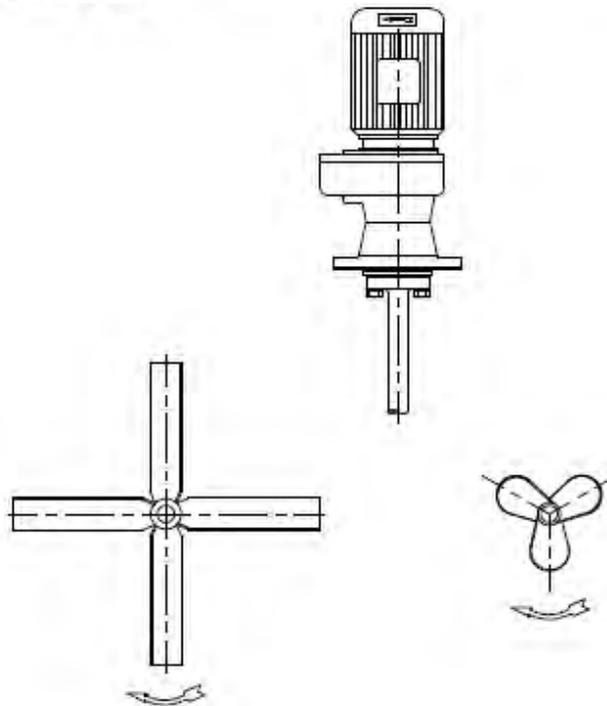
El agitador no puede trabajar NUNCA sin producto. El elemento de agitación tiene que estar sumergido al menos una altura igual a 1,5 veces su diámetro.

- Todas las protecciones tienen que estar en posición.
- Arrancar el agitador.
- Comprobar que el sentido de giro de la hélice es correcto (sentido de giro horario visto desde el lado del accionamiento). Ver figura 5.1.



Respetar el sentido de giro del elemento de agitación, según indica la flecha pegada en el motor. Una dirección equivocada tiene como consecuencia una pérdida de eficacia en la agitación.

- Comprobar el consumo eléctrico del motor.



FUNCIONAMIENTO.



No modificar los parámetros de funcionamiento por los cuales ha sido inicialmente seleccionado el agitador sin la previa autorización escrita de INOXPA. (Riesgos de deterioro y peligros para el usuario).

Seguir las instrucciones de utilización y las prescripciones de seguridad, descritas en el manual de instrucciones del depósito sobre el cual está montado el agitador.



Riesgos mecánicos (arrastre, cizalladura, corte, golpe, aplastamiento, pinzado, .., etc.) . Si el elemento de agitación es accesible por la parte superior o por la boca de hombre del depósito, el usuario está expuesto a los riesgos anteriores.

El depósito debe de estar equipado con dispositivos de protección y equipos de seguridad, consultar el manual de instrucciones del fabricante.



La introducción de un objeto o materia prima sólida puede provocar la rotura del elemento de agitación o la rotura de las otras piezas mecánicas y comprometer su seguridad o su garantía.

MANTENIMIENTO.

- Inspeccionar el agitador de forma regular.
- No descuidar la limpieza del agitador.
- Comprobar el estado del moto-reductor.
- Verificar la obturación: V-ring.

El mantenimiento del moto-reductor se realizará según las indicaciones del fabricante, ver su manual de instrucciones.

LUBRIFICACION.

El engrase de los rodamientos del moto-reductor se realizará según las indicaciones del fabricante.

PIEZAS DE RECAMBIO.

Para pedir piezas de recambio, es necesario indicar el tipo y número de serie que están anotados en la placa de características del agitador, así como la posición y la descripción de la pieza que se encuentra en el capítulo 9, especificaciones técnicas.

CONSERVACION.

En caso de poner el agitador fuera de servicio por largo tiempo limpiar y tratar las piezas con aceite mineral VG 46. El eje se tiene que almacenar en posición horizontal y sobre unos apoyos de madera o material similar.

Fallos: causas y soluciones.

Incidentes de funcionamiento	Causas probables
Sobrecarga del motor.	1, 2.
Agitación insuficiente.	1, 3, 4, 5.
Vibraciones y ruido.	6, 7, 8, 9.
Fugas	10,11

Causas probables	Soluciones
1 Viscosidad del líquido demasiado alta.	Disminuir la viscosidad, p. ej., por calefacción del líquido.
2 Densidad elevada.	Aumentar la potencia del motor.
3 Depósito sobredimensionado para el agitador elegido.	Consultar el departamento técnico.
4 Sentido de giro erróneo.	Invertir el sentido de giro.
5 Velocidad del agitador demasiado baja.	Aumentar la velocidad.
6 Nivel de líquido insuficiente o nulo.	Comprobar el nivel de líquido en el depósito.
7 Eje torcido.	Reemplazar el eje.
8 Velocidad crítica.	Consultar el departamento técnico.
9 Rodamientos desgastados del accionamiento.	Reemplazar los rodamientos del accionamiento.
10 Retén del cabezal desgastado.	Reemplazar el retén.
11 V-ring desgastado o dañado	Reemplazar el V-ring.



Si los problemas persisten deberá prescindir del agitador de inmediato. Contactar con el fabricante del agitador o su representante.

SEGURIDAD ELECTRICA.

Impedir que el motor arranque al realizar los trabajos de desmontaje y montaje del agitador.



- Colocar el interruptor del agitador en posición "off".
- Bloquear el cuadro eléctrico o colocar una señal de aviso.
- Retirar los fusibles y llevárselos al lugar de trabajo.

DESMONTAJE.

Una vez desconectado el motor, se pueden empezar a realizar los trabajos de desmontaje del agitador:

- Sacar la hélice (02) del eje agitador aflojando los espárragos allen (55).
- Quitar los tornillos que fijan el agitador al depósito y levantarlo un poco para desmontar el eje agitador (05) del reductor con torreta (93A). Sacar los tornillos hexagonales (52) y arandelas (53). Sujetar el eje agitador (05) durante este proceso.
- Quitar el V-Ring (81).
- Finalmente, desmontar la placa base de acero inoxidable (42) quitando los tornillos avellanados (50).

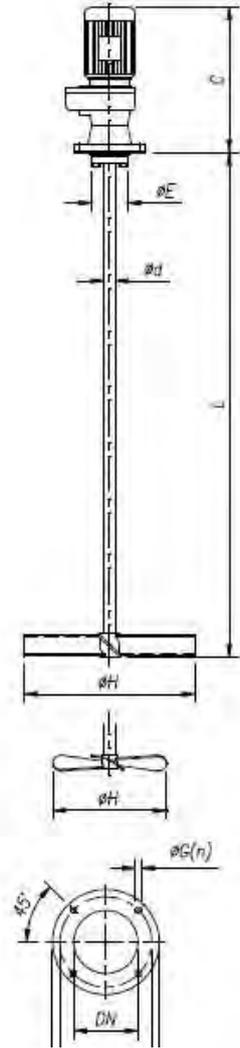
MONTAJE.

- Colocar la placa base (42) a la brida de salida del reductor (93A) fijándola con los tornillos avellanados (50).
- Montar la junta V-Ring (81) según se indica en la página 9.4. de este manual.
- Encarar los dos platos de acoplamiento (del reductor con torreta (93A) y eje (05)) y, apretar fuertemente los tornillos hexagonales (52) y arandelas (53).
- Fijar el agitador a la brida del depósito.
- Finalmente, colocar en el extremo del eje agitador (05) la hélice (02) fijándola con los espárragos allen (55).

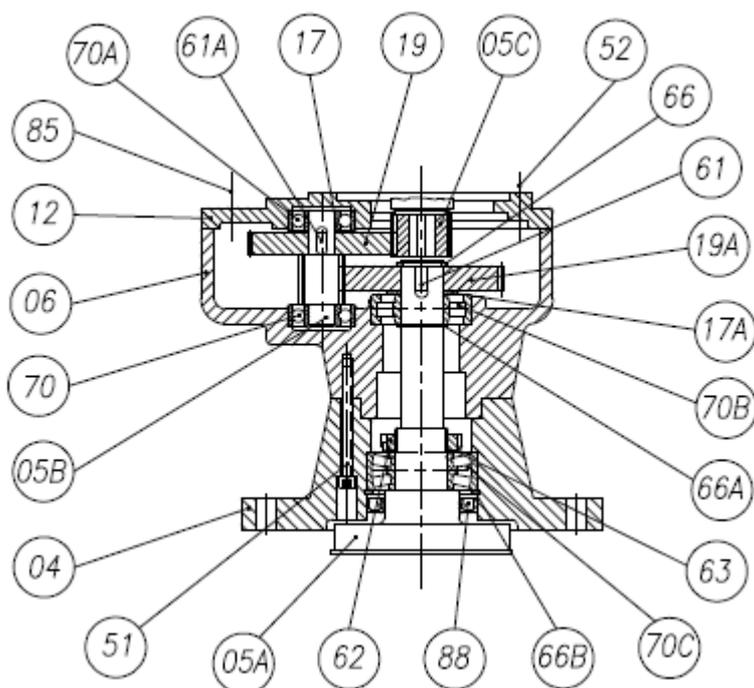
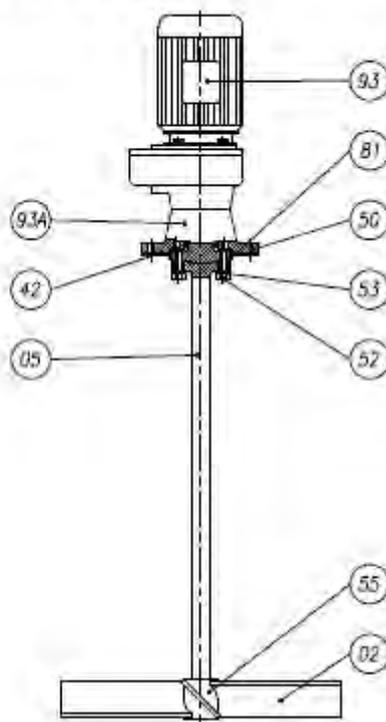
ESPECIFICACIONES TECNICAS Y DIMENSIONES.

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

Tipo agitador	Potencia motor [Kw]	Velocidad r/min	Tipo de cabezal	Dimensiones								Tipo	
				C	Ø E	Brida				Ø d	L _{max}	Ø H	Ø H
						Ø A	Ø B	Ø DH	Ø G(n)				
NRI-B-1.11-07007-1	0,75	70	B	425	105	200	165	125	11(4)	35	1800	700	Palaes inclinadas Hélice marina
NRI-C-1.11-07015-1	1,5			C	520	125	250	215	150	14(4)	40	1800	
NRI-C-1.11-07022-1	2,2		D		595	140	250	215	170	14(4)	45	2000	
NRI-D-1.11-07030-1	3			615									
NRI-D-1.11-07040-1	4		695										
NRI-D-1.11-07055-1	5,5												
NRI-B-1.11-10007-1	0,75	100	B	425	105	200	165	125	11(4)	35	1800	500	Palaes inclinadas Hélice marina
NRI-B-1.11-10015-1	1,5			C	470	125	250	215	150	14(4)	40	1800	
NRI-C-1.11-10022-1	2,2		D		560	140	250	215	170	14(4)	45	2000	
NRI-C-1.11-10030-1	3			615									
NRI-D-1.11-10040-1	4		695										
NRI-D-1.11-10055-1	5,5												
NRI-B-1.11-15007-1	0,75	150	B	425	105	200	165	125	11(4)	35	1800	400	Palaes inclinadas Hélice marina
NRI-B-1.11-15015-1	1,5			C	470	125	250	215	150	14(4)	40	1800	
NRI-C-1.11-15022-1	2,2		D		560	140	250	215	170	14(4)	45	2000	
NRI-C-1.11-15030-1	3			570									
NRI-C-1.11-15040-1	4		695										
NRI-D-1.11-15055-1	5,5												
NRI-B-1.11-25015-1	1,5	250	B	470	105	200	165	125	11(4)	35	1800	400	Palaes inclinadas Hélice marina
NRI-C-1.11-25022-1	2,2			C	560	125	250	215	150	14(4)	40	1800	
NRI-C-1.11-25030-1	3		D		570	140	250	215	170	14(4)	45	2000	
NRI-C-1.11-25040-1	4			695									
NRI-D-1.11-25055-1	5,5												
NRI-B-1.10-25007-1	0,75		250	B	425	105	200	165	125	11(4)	35	1800	
NRI-B-1.10-25015-1	1,5	C			470	125	250	215	150	14(4)	40	1800	350
NRI-B-1.10-25022-1	2,2			D	500	140	250	215	170	14(4)	45	2000	400
NRI-C-1.10-25030-1	3	615											
NRI-D-1.10-25040-1	4	695											
NRI-D-1.10-25055-1	5,5												



AGITADOR Y TORRETA REDUCTORA NRL



LISTA DE PIEZAS AGITADOR Y TORRETA REDUCTORA NRI.

AGITADOR NRI			
Posición	Cantidad	Descripción	Material
02	1	Hélice	AISI-316
05	1	Eje agitador	AISI-316
42	1	Placa base	AISI-316
50	4	Tornillo avellanado	A2
52	6	Tornillo hexagonal	A2
53	6	Arandela grower	A2
55	2	Espárrago allen	A2
81	1	V-ring	NBR
93	1	Motor	-
93A	1	Reductor con torreta	-

TORRETA REDUCTORA NRI			
Posición	Cantidad	Descripción	Material
04	1	Brida soporte	GG-15
05A	1	Eje salida	AISI-316
05B	1	Piñón intermedio	F-1540
05C	1	Piñón entrada	F-1540
06	1	Carter	GG-15
12	1	Tapa carter	GG-15
17	1	Separador	Acero
17A	1	Separador	Acero
19	1	Rueda entrada	F-1540
19A	1	Rueda salida	F-1540
51	4	Tornillo allen	8.8
52	6	Tornillo hexagonal	8.8
61	1	Chaveta	F-1140
61A	1	Chaveta	F-1140
62	1	Tuerca seguridad	Acero
63	1	Arandela seguridad	Acero
66	1	Anillo elástico exterior	Acero
66A	1	Anillo elástico exterior	Acero
66B	1	Anillo elástico interior	Acero
70	1	Rodamiento	Acero
70A	1	Rodamiento	Acero
70B	1	Rodamiento	Acero
70C	1	Rodamiento	Acero
85	5	Tapón engrase	8.8
88	1	Retén	NBR

2. Catálogo de las centrifugas de decantación



INGOR
Instituto Tecnológico de Alimentos

DECANTADORES CENTRÍFUGOS

La Decanter Centrífuga INGOR ha sido diseñada y fabricada bajo la más moderna tecnología europea con una experiencia acumulada de más de 30 años.

Las centrifugas decantadoras se utilizan para separar dos o más fases de peso específico diferente, es decir, en los procesos de clarificación de un líquido en los que se presentan materiales sólidos en suspensión.

La separación de la fase sólida de la líquida se realiza en el interior de un tambor rodante de forma tronco - cónica y cilíndrica. La fase sólida, más pesada, se deposita sobre las paredes internas del tambor, siendo constantemente raspada por la còlea interna hasta expulsarla a través de los orificios situados al final de la sección tronco - cónica.



SISTEMA DE CONTROL

INGOR dispone de una amplia gama de decanters centrífugos con dos posibles sistemas de control de la velocidad diferencial:

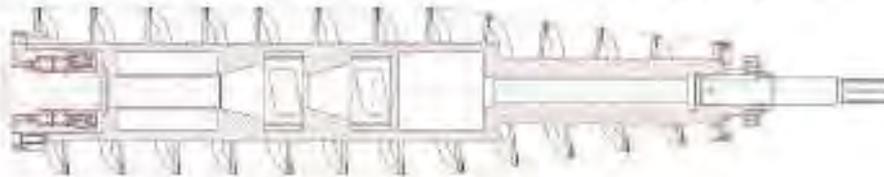
- Sistema de Control de la Velocidad Diferencial Eléctrico. Este sistema de control se realiza mediante la instalación de dos motores independientes para el accionamiento del tambor y el accionamiento del tornillo sinfín, ambos gobernados con dos variadores de frecuencia. Esta configuración permite ajustar la velocidad con total precisión, optimizar el esfuerzo de torsión a la salida y adaptar el funcionamiento a los requerimientos de cada proceso y de cada producto. La velocidad diferencial del sistema se reajusta automáticamente ante cualquier sobrecarga para, más tarde, volver automáticamente al estado inicial de consigna.
- Sistema de Control de la Velocidad Diferencial Hidráulica. Este sistema adopta la instalación de un motor para el accionamiento del tambor y la instalación de una estación hidráulica para el control de la velocidad diferencial entre el tambor y el tornillo. El control incluye, además, un sistema de protección mediante alarma que limita la velocidad a un valor máximo con reajuste automático y un sistema de parada automática de emergencia. La velocidad diferencial de origen se sitúa en un rango entre 5-25 rpm. Durante la puesta en marcha de la unidad, este valor se ajusta a los requerimientos de la planta y del producto a tratar. La velocidad diferencial del equipo se ajusta automáticamente durante el proceso.



DISEÑO

La Decanter Centrifuga cuenta con un diseño entre lo que destaca:

- La relación entre la longitud del tambor y su diámetro (L/D) es de entorno a 4.3, lo que permite trabajar a una alta velocidad de rotación y una baja velocidad diferencial. La excepcional longitud del tambor unido al cociente entre L/D permite aumentar el tiempo de residencia de la mezcla dentro del equipo, prolongar la separación entre las dos fases y obtener una mejor y mayor separación.



- La velocidad diferencial entre el tambor y el tornillo se sitúa entre 5-25 rpm.
- Todas las piezas en contacto con el producto se realizan en acero inoxidable AISI 304L o 316L. Las principales partes mecánicas de la unidad (tambor, tornillo, lámina del tornillo) llevan aplicada una capa de W2C (65%) con un espesor de entre 2 y 3 mm. Esta protección mejora la resistencia mecánica y prolonga la vida útil.
- En función de las necesidades de cada planta, los parámetros de operación como velocidad, velocidad diferencial, número de pasos y la apertura del tornillo pueden ser ajustados y corregidos.

TOTAL AUTOMATIZACIÓN

La Decanter Centrifuga es una unidad de operación automática y trabajo continuo en la que se puede programar su funcionamiento y evitar la intervención de personal en el arranque, el proceso de lavado de la unidad y su parada total a final del día.

Bajo la fuerza centrífuga, el lodo es introducido en la cámara de alimentación a través de tornillo y es expulsado del cuerpo una vez ya separado. Mientras esto sucede, el lodo es alimentado de forma totalmente continua, circulando a través de todo el tambor gracias a la acción del tornillo para ser expulsado al final del recorrido.



TAMAÑOS DISPONIBLES

Modelo	Caudal de Alimentación (m ³ /h)	Evacuación de lodo (kg/h)	Peso (kg)	Long. del Tambor (mm)	Diámetro Tambor (mm)	Relación L/D	Velocidad giro (rpm)	Potencia Motor (kw)
DC1-220	2-6	400	900	930	220	4.2	4.800	11
DC1-300	4-11	800	1.400	1.300	300	4.3	4.200	11-15
DC1-350	6-17	1.200	1.800	1.550	350	4.4	3.700	15-22
DC1-400	9-28	2.000	2.200	1.750	400	4.4	3.200	18.5-30
DC1-450	12-35	2.500	2.600	1.940	450	4.3	2.900	22-37
DC1-530	23-70	5.000	4.000	2.270	530	4.3	2.500	30-45
DC1-650	37-90	8.000	6.500	2.800	650	4.3	2.200	37-55
DC1-760	47-110	10.000	8.500	3.040	760	4.0	2.000	55-90
DC1-900	70-150	15.000	12.000	3.600	900	4.0	1.800	75-135

3. Catálogo de los evaporadores

Evaporadores Industriales



EEC EVAPO SEP – 80% + Recuperación de calor.

EEC EVAPO-SEP es una unidad de evaporación de desperdicios de aceite, de operación continua, diseñada para la remoción de agua de emulsiones de aceite y soluciones químicas, como también para la recuperación del aceite para ser utilizado como combustible y la recuperación de químicos para ser utilizados o reprocesados. Es muy adecuada para la separación de aceite emulsionado, químicos, metales pesados, color, tinta, y también es diseñada para la recuperación y concentración de glycol y otros químicos.

Descripción del Proceso

EEC EVAPO-SEP viene en un montaje deslizante y consiste de una bomba centrífuga de alimentación, un precalentador de alimentación, un vaporizador/condensador combinado y un soplador de vapor, con toda la tubería de interconexión montada e instalación eléctrica a un panel de control local para el sistema completo. La unidad es conectada a agua fresca para propósitos de limpieza, a la corriente eléctrica y, a vapor auxiliar para el control de presión del sistema. Opcionalmente, si no hay disponibilidad de vapor, se puede proveer un calentador eléctrico auxiliar con la unidad. Al recuperar el calor del proceso de evaporación, el EEC EVAPO-SEP utiliza 80 – 90% menos energía que un evaporador convencional de una etapa, dependiendo del tamaño del sistema.

Diseñada para separar a temperatura de hervor, la unidad ofrece sobre 99,9% de separación de metales pesados y otras materias inorgánicas disueltas o suspendidas en el efluente.

EEC EVAPO SEP – Selección de Capacidad y Especificaciones

Estos sistemas son configurados para capacidades estándar, sin embargo, cada sistema es adaptado a sus requerimientos exactos. Por lo anterior, considere un tiempo de despacho de 3 a 4 meses para estos sistemas. Las capacidades estándar de evaporación de estas unidades va desde 20 a 5.000 litros por hora.

EEC Evapo-Sep Model CS 200 to 5000.

EEC Evapo-Sep	Unit	M 200	M 500	M 1000	M 2000	M 3000	M 5000
Design Calculations							
Evaporation capacity	liter/h	200	500	1,000	2,000	3,000	5,000
Cooling water, blower	liter/h	16	32	56	102	150	252
Blower capacity	m3/h	283	708	1,417	2,835	4,252	7,087
Blower power consumption	kW	14	29	52	92	136	230
Motor size	kW	18	37	55	110	160	250
Separator/process vessel	liter	500	500	1000	1,500	2,000	3,000
Process pump	liter/h	2000	2000	5,000	10,000	15,000	20,000
Feed pump	liter/h	300	750	1,500	3,000	4,500	7,500
Auxiliary steam supply	kg/h	19	56	120	250	378	628
Vaporizer heat capacity	kW	148	369	738	1,477	2,215	3,692
Total heat transfer surface	m2	5	14	27	54	81	135
Total el. Power consumption	kW	15	31	57	101	150	253
Energy recovery	%	82	82	82	83	83	83
Dimensions Separator Skid	L x W x H	2.0 x 1.5 x 1.8	2.0 x 1.5 x 1.8	2.5 x 1.7 x 2.0	2.0 x 1.9 x 2.2	2.2 x 2.0 x 2.4	2.6 x 1.9 x 2.2
Compressor Skid					1.4 x 1.9 x 1.8	1.4 x 2.0 x 2.0	1.4 x 1.9 x 1.8
Weight	kg	4500	4800	6000	4000 3000	4600 3300	5500 3900

4. Catálogo del esterilizador: intercambiador de doble espiral

Alfa Laval – spiral heat exchangers

The all-round heat transfer solution



The perfect solution

From dirty fluids to high vacuum condensation

– spiral heat exchangers from Alfa Laval can do it all

The idea of using spiral-shaped fluid channels for heat transfer arose in response to a particular customer's process problem. Other technologies had failed, but in this case a spiral proved to be the perfect solution.

That was nearly 70 years ago.

Today, spiral heat exchangers fit perfectly into Alfa Laval's extensive product portfolio – still providing customers with optimum process solutions.

Spiral heat exchangers are particularly useful when a process is "dirty" or "difficult". In such circumstances, spiral heat exchangers have clear advantages over other products that employ heat exchange technologies.

Alfa Laval spiral heat exchangers are designed on the basis of our extensive thermal and mechanical experience, acquired from both our customers and our production sites.

Product ranges

We provide fixed-size and customized product ranges to meet the needs of our customers.

Fixed-size ranges

We make small units for general use, and for application-specific purposes such as the wastewater industry.



Customized range

To meet requirements for a range of sizes and specifications, the majority of the spiral heat exchangers we supply are individually customized.



Customer needs met with customized design

No two customers are alike, and neither are their plants or their processes. To meet all these different needs, engineering solutions and process equipment must be adaptable.

Each Alfa Laval spiral heat exchanger design can be customized to meet the precise process and application needs of individual customers.

Unique shape has unique properties

A spiral heat exchanger is precisely what it says – a circular heat exchanger with two concentric spiral channels, one for each fluid.

The curved fluid channels provide optimum heat transfer and flow conditions for a wide variety of fluids, while keeping the overall size of the unit to a minimum.

The result is a heat exchanger that provides maximum heat transfer efficiency, while only taking up a minimum of installation space.

Strong on customized solutions

The spiral heat exchanger is a very versatile product.

Many of the duties performed by heat exchangers require one channel per fluid, and this can be a distinct benefit.

The design, shape and size of the spiral channels can be customized so that they are a perfect match for the demands associated with a wide range of process fluids, thermal duties and industrial applications.

Heat exchange duties that benefit from the strengths of spiral heat exchangers include:

- **liquid/liquid** heating, cooling or heat recovery, where one or both of the fluids may cause fouling.
- **vapour/liquid** condensing, particularly at very low pressure and/or high-volume flow.



The self-cleaning heat exchanger for demanding liquid/liquid duties

Single channel technology makes keeping clean easier

Some customers choose spiral heat exchangers to boost the performance of their existing processes. Others use them for thermal duties in processes that would otherwise simply be impossible.

Whether replacing existing "inefficient" technology or being used in revolutionary new applications, spiral heat exchangers are the first choice for processes that involve demanding liquid/liquid duties.



Single channel technology – what goes in must come out

As the name indicates, single channel technology means that both fluids occupy a single channel, which allows fully counter-current flow. One fluid enters the centre of the unit and flows towards the periphery. The other fluid enters the unit at the periphery and moves towards the centre.

The channels are curved and have a uniform cross section, which creates a "spiralling" motion within the fluid.

The fluid is fully turbulent at a much lower velocity than in straight tube heat exchangers, and each fluid travels at constant velocity throughout the whole unit. This removes any likelihood of dead spots and stagnation.

Solids are thus kept in suspension, and the heat transfer surfaces are kept clean by the scrubbing action of the spiralling flow.

Self-cleaning keeps costs down

The self-cleaning properties of spiral heat exchangers ensure that the reliable performance of efficient heat transfer is guaranteed, with minimum down time for maintenance.

In some duties where alternative heat exchangers would need regular cleaning, disassembly, repair and maintenance, a spiral heat exchanger

performs for much longer periods, and only requires maintenance during routine plant shutdowns.

Fewer units

The increased thermal efficiency resulting from the fully counter-current flow very often means that a particular assignment requires fewer spiral heat exchangers than the straight-tube alternative.

Lower installation costs

Spiral heat exchangers only require a very small area for mounting and access, resulting in lower unit installation costs compared with other heat exchangers.



Fewer units, less down time

In a coke oven plant, four shell-and-tube units were replaced by just one spiral heat exchanger. This saved space and cost, while increasing performance at the same time.

Unique performance – the spiral's high efficiency and easy access design make heat recovery possible with two fouling fluids – shown here at a municipal sludge pasteurization plant.



Easy access

When processes involve fluids that are capable of causing a high degree of fouling, it is important to have easy access to the inside of the heat exchanger for cleaning and inspection.

Compared with other types of heat exchanger, spiral units provide the best access to their heat transfer area – with no special tools or lifting equipment required.

Each fluid channel is easily accessed via its cover, exposing the whole of the heat transfer surface.

Two covers enable one or two fouling fluids

Both hot and cold channels are designed to perfectly match the special needs of the fluids being used and the thermal duty being performed. This provides total operational security when using either one or two fluids that cause high fouling.

This is a major advantage for customers that want to recover heat from one dirty fluid to another.

Spiral units are the only type of heat exchangers capable of direct heat interchange between two fluids that cause high fouling.



Full draining for batch operation

All spiral heat exchangers can be drained in position, without any need to disconnect pipework or to open the units.

For applications where complete draining of the process fluid is required on a regular basis, the spiral heat exchanger can be installed in an upright position.

This is particularly useful for batch production processes as it makes it possible to empty all fluid from the unit between batches.



The customized condenser

The versatility of spiral heat exchangers makes them ideal for customized solutions

One of the best examples of the flexibility of a spiral heat exchanger is its capability as a condenser.

Different condensing duties place different demands on a heat exchanger. The desired condensing performance is achieved by determining the flow path of the vapour.

Alfa Laval spiral condensers perfectly complement Alfa Laval's other process condensers – the AlfaCond and the Compabloc – to provide customers with a full range of condensers for the entire range of their processes and applications.

Maximum product recovery with counter-current condensing

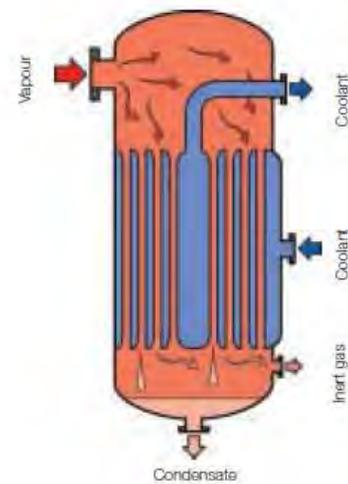
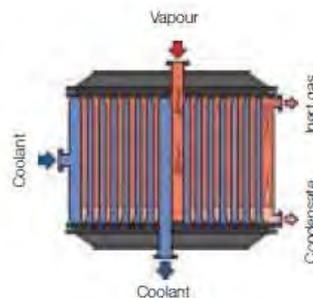
To condense a mixture of vapours and inert gases, a heat exchanger needs a long flow path. In a spiral heat exchanger this is easily achieved, as the vapour flows in a direction that is counter-current to the cooling liquid.

This results in a very compact condenser with the best heat transfer efficiency for maximum product recovery. The counter-current spiral condenser can also be designed to sub-cool the condensate and/or the inert gases.

Cross-flow condensing with the lowest possible pressure drop

Condensing large volumes of pure vapour needs a unit with a large cross-sectional area and a short flow path. To achieve this, the vapour passes through the condensing channel in cross flow.

When the vapour/condensate operate in cross flow, the pressure drop is virtually undetectable. This makes the spiral condenser ideal for systems that operate at very low pressure.



Working closely with our customers helps them to optimize their processes and introduce new forms of heat exchange – such as this fully built condensing tower with three spiral bodies.

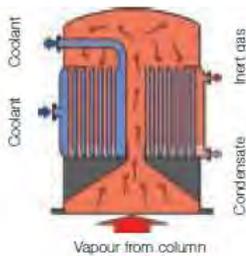


Two units in one – cross-flow and counter-current paths in the same unit

The flexible flow-path arrangement and installation possibilities provided by spiral heat exchangers give them important advantages compared with other condensing solutions.

Two heat exchange duties can be performed within a single spiral to further reduce capital equipment costs, and to maximize operating efficiency.

For example, a spiral heat exchanger can act as a condenser and sub-cooler for condensate and/or inert gases, or as a pre-heater to remove sub-cooling for vaporizer and reboiling duties.



Installation costs reduced still further

Because of their function, condensers are often mounted high up at the top of distillation columns.

Due to this high placing, all the ancillary equipment must be supported on a separate structure. This greatly increases the costs of installation, running and maintenance.

Spiral condensers, however, are available as self-contained units or, more importantly for many customers, as a column-mount to fit directly onto or within an existing distillation column or stripper tower.

It is also possible to build more than one spiral heat exchanger unit into a complete condensing tower to accommodate multiple condensing stages, such as cooling water, chilled water and refrigerant.

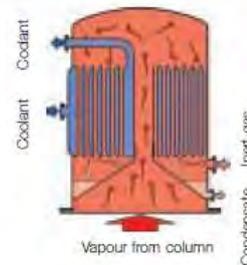


Direct mounting of a spiral condenser at a stripper tower reduces installation costs, increases product recovery and reduces pollutant escape.

Condensers can also separate

Separation of the condensate produced from the inert gases takes place inside the spiral. Condensate can therefore easily be fed back into the column for reflux, or removed for further processing, without the need for external separation equipment.

Fitting a spiral condenser to a tower thus not only increases condensing performance, but also reduces ancillary equipment costs and removes the need for support structures.



Performance range

	Minimum	Maximum
Area range per body	1 m ² 10 ft ²	700 m ² 7000 ft ²
Design temperature	-100 °C -150 °F	400 °C 750 °F
Design pressure	Full vacuum	40 barg and above 580 psig and above
Pressure vessel codes	PED, ASME, AS1210 and others	
Standard construction materials	Stainless steel, carbon steel	
Other construction materials	Any metal that can be cold formed and welded – including Duplex, titanium, Hastelloy, 904L	

Typical applications

Type of fluids and gases	Fouling liquids – containing solids, fibres, liquors, slurries and sludges; Gases – pure vapour and mixtures with inert gases.
Type of duty	Liquid/liquid – preheating, heating, cooling, interchanging, heat recovery. Vapour/liquid – top condensers, reflux condensers, vacuum condensers, vent condensers, reboilers, gas coolers.
Type of industry	<ul style="list-style-type: none"> • Petrochemical • Refinery • Steel making • Pulp and paper • Metal/ore processing • Wastewater treatment • Pharmaceutical • Vegetable oil processing • Distillery

5. Catálogo de intercambiadores de calor



**Quality, Value and Performance...
An API Heat Transfer Tradition**

Since 1953, original equipment manufacturers and aftermarket providers have looked to API Heat Transfer for a wide variety of heat transfer products.

The Basco® Type 500 remains the industry standard in ultimate value and long term reliability.



Standard Heat Exchangers Deliver Cost Effective Performance

API Heat Transfer's Basco Type 500 Shell & Tube Heat Exchanger offers the cost effectiveness and proven performance that comes with having a standard design, while easily allowing for a wide variety of options to meet specific customer requirements.

This line of pre-engineered compact heat exchangers is available in fixed tubesheet and removable bundle designs, the latter with either straight tube or U-tube arrangements. Flow configurations can be one, two, or four pass. Units are available as Commercial Standard, ASME, or ASME/TEMA-C.

The Basco Type 500 is intended to provide maximum service performance at minimum cost and lead-time.



Quality and Reliability

Reliability comes from using high quality materials in a well-conceived design that is properly applied by knowledgeable engineers and manufactured by skilled personnel. API Heat Transfer utilizes modern, high precision machining centers to convert raw materials into high value component parts. Then experienced skilled welders and assemblers transform these components into superior quality finished heat exchangers.

Over the decades, the Basco Type 500 has proven its ruggedness and reliability in tens of thousands of applications worldwide.

Rugged and versatile enough to meet your most demanding needs.

Basco Type 500 Heat Exchangers are used in these and other applications:

- Compressor Systems
- Hydraulic Systems
- Stationary Engines
- Marine Applications
- Turbines
- Paint Systems
- Air Dryers
- Vapor Recovery Systems
- Sterilizing Systems
- Lube Oil Consoles



Manufacturing at a Glance

Our Basco Type 500 is manufactured in two facilities – Buffalo, NY and Suzhou, China – to support our customers on a global basis. Each facility has ISO 9001 certification assuring world-class manufacturing methods and full accountability.



Robotic CNC Machining Center assures precision drilled tubesheets, twenty-four hours a day.



Use of rolled coil tubing supports the flexibility inherent in DFT manufacturing. Special straightening equipment and unique burr-free cutting process result in superior rolled joints.

MOUNTING BRACKETS
Heavy stamped steel brackets are standard and can be rotated and reversed for a variety of mounting needs. Installations other than horizontal with the brackets underneath should be checked for weight. Cradle mounting is available on all models.

TUBES
Tubes are available in Copper, 90/10 CuNi, Stainless Steel, Admiralty or Titanium. Tubes are roller expanded. Seal welding and grooving available in some cases.

END BONNETS
End Bonnets are of high quality cast Iron, Bronze or Stainless Steel in 1, 2 or 4-pass configurations. Fabricated heads are available and are standard on TEMA-C models. Zinc anodes to neutralize the effects of galvanic action can be furnished on special order.

SHELLS
Rugged shell available in Steel and Stainless Steel. Minimum clearances between shell and baffles reduce by-pass and maximize heat transfer.

BAFFLES
Precision punched baffles assure effective circulation by providing minimum clearances between the tubes and tube holes. Baffle cuts and spacing for each diameter are consistent with best practices.

TUBESHEETS
Thick Carbon Steel, Stainless Steel or 90/10 CuNi tubesheets are welded to the shell. Holes are precision drilled for proper fit.

Basco Type 500 Heat Exchangers

Type 500 Commercial Standard Models

3" – 8" Diameters, Straight and U-Tubes



Type 500 Standard Materials

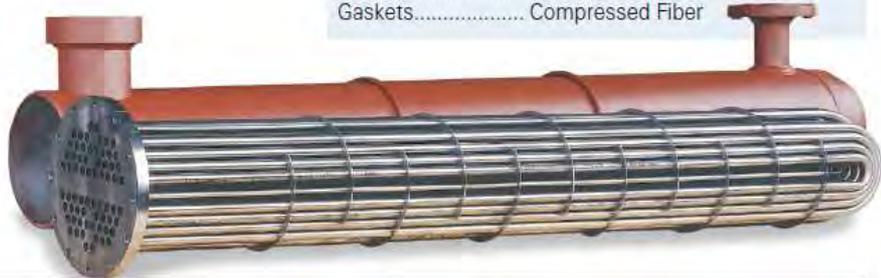
Shell.....	Steel Pipe or Tubing
Tubes.....	Copper, Admiralty or 90/10 CuNi
Tubesheets.....	Steel, Stainless or 90/10 CuNi
Bonnets.....	Cast Iron
Baffles.....	Carbon Steel
Gaskets.....	Compressed Fiber

Commercial standard model and modified model with special shellside flanges shown. Several modifications are available without adding manufacturing delays.

Type 500 Stainless Steel Models

3" – 8" Diameters, Straight and U-Tubes

Model shown is removable tubesheet U-tube with type 304 Stainless Steel tubing. Fixed bundle models also available.



Type 500 S Materials

Shell.....	Welded 304 Stainless
Tubes.....	304 Stainless Steel
Tubesheets.....	304 Stainless Steel
Bonnets.....	Cast 304 Stainless
Baffles.....	304 Stainless Steel
Gaskets.....	Compressed Fiber

Type 500 ASME/TEMA-C Models

5" – 12" Diameters, Straight and U-Tubes

ASME Code models are available from 5" diameter and up. TEMA-C models are available in straight and U-tube designs through 12" diameter.



ASME/TEMA-C Materials

Shell.....	Carbon Steel
Tubes.....	Copper, Admiralty, 90/10 CuNi, SS
Tubesheets.....	Carbon Steel, 90/10, SS
Bonnets.....	Carbon Steel, Cast Ductile Iron
Baffles.....	Carbon Steel, SS
Gaskets.....	Compressed Fiber

Common Specifications

Standard Straight-Tube Type 500 Heat Exchangers

Model	Shell Dia.	No. Tubes			Surface			Connection Size – (Max Flow)			
		1/4"	3/8"	5/8"	1/4"	3/8"	5/8"	Shell	1-Pass	2-Pass	4-Pass
03014 03024	3-1/4"	60	24	NA	4.6 7.8	2.7 4.8	-	1	1-1/2 (47)	1 (23)	1 (12)
04014 04024 04036	4-1/2"	104	44	NA	7.9 13.6 20.4	5.0 8.6 12.2	-	1-1/2	2 (86)	1-1/4 (43)	3/4 (22)
05014 05024 05036	5-1/4"	180	80	28	13.7 23.6 35.4	9.1 15.7 24	5.3 9.1 13.6	1-1/2	2-1/2 (160)	1-1/2 (80)	1 (40)
06024 06036 06048 06060	6-1/4"	264	116	40	34.5 51.8 69.1 86.4	22.8 34.2 45.6 57	13.0 19.5 26 32.5	2	3 (230)	2 (115)	2 (57)
08024 08036 08048 08060 08072	8-5/8"	NA	232	76	- - - - -	45.6 68.3 91.1 114 136.7	24.9 37.3 49.7 62.1 74.5	3	3 (461)	2-1/2 (231)	2 (115)

ASME Code Straight-Tube Type 500 Heat Exchangers

Model	Shell Dia.	No. Tubes		Surface			Connection Size – (Max Flow)			
		3/8"	5/8"	1/4"	3/8"	5/8"	Shell	1-Pass	2-Pass	4-Pass
05024 per foot	5-1/4"	80	28	-	15.7 7.8	28 4.5	1-1/2	2-1/2 (160)	1-1/2 (80)	1 (40)
06024 per foot	6-1/4"	116	40	-	22.8 11.4	13 6.5	2	3 (230)	2 (115)	1-1/2 (57)
08024 per foot	8-5/8"	232	76	-	45.6 22.8	24.9 12.4	3	3 (461)	2-1/2 (231)	2 (115)

ASME/TEMA-C Straight-Tube Heat Exchangers

Model	Shell Dia.	No. Tubes		Surface			Connection Size – (Max Flow)			
		3/8"	5/8"	1/4"	3/8"	5/8"	Shell	1-Pass	2-Pass	4-Pass
05024 per foot	5-1/4"	72	20	-	14 7.8	6.5 4.5	1-1/2	2-1/2 (160)	1-1/2 (80)	1 (40)
06024 per foot	6-1/4"	104	36	-	20.4 10.2	11 5.9	2	3 (230)	2 (115)	1-1/2 (57)
08024 per foot	8-5/8"	208	68	-	40.9 20.4	22.2 11.1	3	3 (461)	2-1/2 (231)	2 (115)
10120 per foot	10-3/4"	344	116	-	338 34	190 19	4 FL	6 FL (630)	4 FL (315)	2-1/2 (158)
12120 per foot	12-3/4"	516	172	-	507 51	281 28	6 FL	6 FL (935)	4 FL (465)	3 (234)

Standard Type 500 U-Tube Heat Exchangers

Model	Shell Dia.	No. Tubes		Surface			Connection Size – (Max Flow)			
		3/8"	5/8"	1/4"	3/8"	5/8"	Shell	1-Pass	2-Pass	4-Pass
05048 per foot	5-1/4"	34	8	-	27 6.8	11 2.7	1-1/2	-	1-1/2 (44)	1 (22)
06048 per foot	6-1/4"	52	14	-	51 10.2	18.5 4.6	2	-	2 (77)	1-1/2 (38)
08048 per foot	8-5/8"	104	34	-	82 20.5	44.5 11.2	3	-	2-1/2 (195)	2 (93)

ASME/TEMA-C U-Tube Heat Exchangers

Model	Shell Dia.	No. Tubes		Surface			Connection Size – (Max Flow)			
		3/8"	5/8"	1/4"	3/8"	5/8"	Shell	1-Pass	2-Pass	4-Pass
10120 per foot	10-3/4"	174	58	-	350 34	195 19	4 FL	-	4 FL (316)	2-1/2 (158)
12120 per foot	12-3/4"	260	88	-	527 51	297 29	6 FL	-	4 FL (480)	3 (240)

*Max tube length: 3/8" OD - 12 feet; 5/8" OD - 20 feet. Max flow based on 8 fps. Corrosion allowance: 1/16" both sides on TEMA-C models. Flanges are 150# ANSI Raised-Face

Product Nomenclature

Size (inches)	05	024
Shell Dia.		Tube Length

Overall length, shell port center distance and mounting hole locations can be adjusted by adding or subtracting the actual tube length differential.

Standard Ratings

Design Pressure	Std Units	TEMA-C/ASME
Shellside	300 psi	150 psi
Tubeside	150 psi	150 psi
Design Temp	300°F, Stainless higher	
Test Pressure	All units are either pneumatically or hydrostatically tested.	

Shells - Steel or 304 Stainless pipe to ASME specification. Shells are cleaned prior to assembly.

Tubes - Copper, roller expanded into tubesheet in 1/4", 3/8" or 5/8" OD. Also available in Admiralty, 304, 316 Stainless Steel or 90/10 CuNi.

Tubesheets - Quality steel to ASME specifications. Precision machined for excellent sealing. Stainless Steel and 90/10 CuNi also available in all sizes.

Baffles - Hot-rolled punched steel for enhanced strength and reliability. Engineered for correct fit to reduce tube wall damage from high velocity fluids. Also available in Brass and 304 Stainless Steel.

Heads - Cast or fabricated construction. Available in 1, 2, or 4-pass designs to meet ASME specifications. Designed to provide excellent gasket sealing. Options include fabricated heads from Steel, 304 Stainless, and 90/10 CuNi. Cast heads are available in Iron, cast 304 Stainless, or cast Bronze. Zinc anodes can be supplied for added protection.

Connections - Tubeside or shellside threaded or flanged in sizes 3", 4", 5", 6" and 8". Additional connections can be provided as option on all models.

Codes - ASME, ASME/TEMA-C are available and stamped accordingly. Code Version 1 has ductile iron bonnets and tubing for shell. Code Version 2 has fabricated heads and pipe for shell.

Finish - Exterior surfaces are cleaned and painted with a high quality red oxide primer.

Straight-Tube Heat Exchangers

Commercial Standard – Common Dimensions

Model	Single-Pass																
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K-NPT	L-NPT	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T
03014 03024	3-1/4	4-1/2	10 20	2-5/16	16-3/8 26-3/8	2-3/4	4-1/2	1-5/8	7/16	1/4	1	17-3/8 27-3/8	3-11/16	1/2	3/8	1-1/2	3/8
04014 04024 04036	4-1/4	6	9 19 31	3-1/8	16-5/8 29-5/8 38-5/8	3-1/2	4-1/4	1-3/4	7/16	1/4	1-1/2	17-7/8 27-7/8 39-7/8	4-7/16	5/8	3/8	2	-
05014 05024 05036	5-1/4	6-3/4	9 19 31	3-7/16	17-1/8 27-1/8 39-1/8	4	5-1/4	2	1/2x3/4	1/4	1-1/2	19 29 41	5	15/16	3/8	2-1/2	-
06024 06036 06048 06060	6-1/4	7-3/4	18-1/4 30-1/4 42-1/4 54-1/4	4-1/16	27-1/8 39-1/8 51-1/8 63-1/8	4-1/2	6-1/4	2-1/2	1/2x3/4	3/8	2	29-1/8 41-1/8 53-1/8 65-1/8	5-7/16	1	1/2	3	-
08024 08036 08048 08060 08072	8-5/8	10-1/2	17 29 41 53 65	5-7/16	27-1/2 39-1/2 51-1/2 63-1/2 75-1/2	5-3/4	8-1/4	3-1/2	5/8x7/8	3/8	3	31-1/8 43-1/8 55-1/8 67-1/8 79-1/8	7-1/16	1-13/16	1/2	3	-

5", 6" & 8" ASME Code – Common Dimensions

Model	Single-Pass																
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K-NPT	L-NPT	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T
05048	5-1/4	6-3/4	42	3-7/8	51-5/8	4	5-1/4	2	1/2x3/4	1/4	1-1/2	53-1/2	5-3/4	15/16	3/8	2-1/2	-
06048	6-1/4	7-3/4	41-1/2	4-7/16	51-3/4	4-1/2	6-1/4	2-1/2	1/2x3/4	3/8	2	53-3/4	6-1/8	1	1/2	3	-
08048	8-5/8	10-1/2	40	5-7/8	52-3/8	5-3/4	8-1/4	3-1/2	5/8x7/8	3/8	3	56	8	1-13/16	1/2	3	-

10" & 12" ASME/TEMA-C – Common Dimensions

Model	Single-Pass																
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K-NPT	L-NPT	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T
10120	10-3/4	145-3/8	109-1/2	11-1/8	11-1/8	6-13/16	10	13-3/4	96	2-1/4	12-1/2	4	1-3/8	7	4FL	6FL	-
12120	12-3/4	145-3/4	107-1/2	12-7/16	12-7/16	6-15/16	11	15-3/4	94	2-1/4	14-1/2	5	1-3/8	8-1/4	6FL	6FL	-

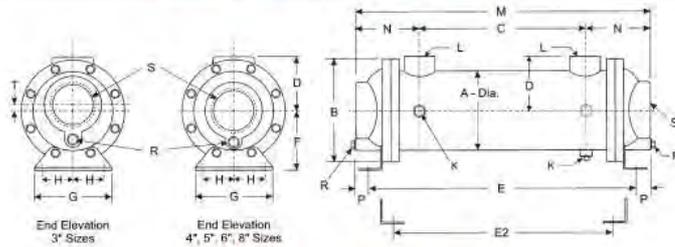
Model	Two-Pass						Four-Pass						Weight	E2	Model
	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T			
03014 03024	17-1/8 27-1/8	3-9/16	3/8	3/8	1	1	17-1/8 27-1/8	3-9/16	3/8	3/8	3/4	1	18 23	13-5/8 23-5/8	03014 03024
04014 04024 04036	17-7/8 27-7/8 39-7/8	4-7/16	5/8	3/8	1-1/4	1-1/16	17-7/8 27-7/8 39-7/8	4-7/16	5/8	3/8	3/4	1-1/4	32 41 52	13-7/8 23-7/8 35-7/8	04014 04024 04036
05014 05024 05036	19 29 41	5	15/16	3/8	1-1/2	1-1/2	18-13/16 28-13/16 40-13/16	4-13/16	3/4	3/8	1	1-11/16	45 55 75	13-3/8 23-3/8 35-3/8	05014 05024 05036
06024 06036 06048 06060	29-1/8 41-1/8 53-1/8 65-1/8	5-7/16	1	1/2 See Note	2	1-9/16	29-1/8 41-1/8 53-1/8 65-1/8	5-7/16	1	1/2 See Note	1-1/2	2	75 100 125 150	23-1/2 35-1/2 47-1/2 59-1/2	06024 06036 06048 06060
08024 08036 08048 08060 08072	30-5/8 42-5/8 54-5/8 66-5/8 78-5/8	7-1/16	1-13/16	1/2 See Note	2-1/2	2-1/4	30-5/8 42-5/8 54-5/8 66-5/8 78-5/8	7-1/16	1-13/16	1/2 See Note	2	2-1/2	165 215 285 325 390	23-5/8 35-5/8 47-5/8 59-5/8 71-5/8	08024 08036 08048 08060 08072

Model	Two-Pass						Four-Pass						Weight	E2	Model
	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T			
05048	53-1/2	5-3/4	15/16	3/8	1-1/2	1-1/2	53-5/16	5-9/16	3/4	3/8	1	1-11/16	-	47-7/8	05048
06048	53-3/4	6-1/8	1	1/2	2	1-9/16	53-3/4	6-1/8	1	1/2	1-1/2	2	-	48-1/8	06048
08048	56	8	1-13/16	1/2	2-1/2	2-1/4	55-1/2	8	1-13/16	1/2	2	2-1/2	-	48-1/4	08048

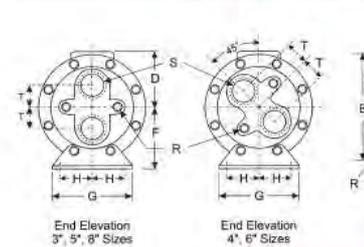
Model	Two-Pass						Four-Pass						Weight	E2	Model
	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T			
10120	4	1-3/8	7	4FL	4FL	-	4	1-3/8	7	4FL	2-1/2	-	-	-	10120
12120	5	1-3/8	8-1/4	6FL	4FL	-	5	1-3/8	8-1/4	6FL	3	-	-	-	12120

All models are available in other lengths. Apply the appropriate dimension changes to all length measurements along the centerline. Maximum tube length for 3/8" tubing is 12 feet. Maximum tube length for 5/8" tubing is 20 feet. FL indicates ANSI 150 lb. RF flange. Code design models are equipped with bottom drain only on the shell side. Bonnet vents may not be tapped unless required or if equipped with zinc anodes.

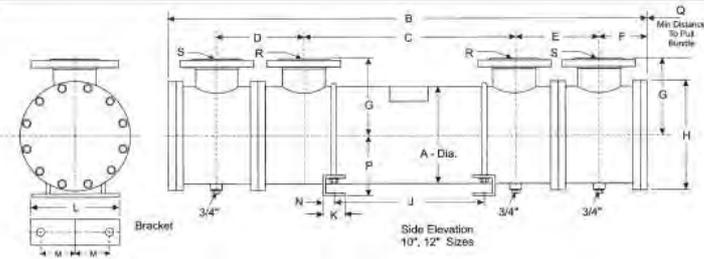
SINGLE-PASS STANDARD and CODE



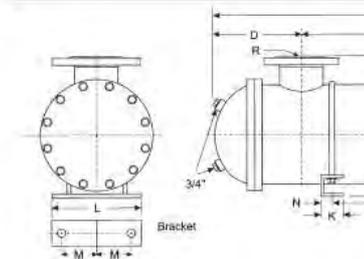
TWO-PASS STANDARD and CODE



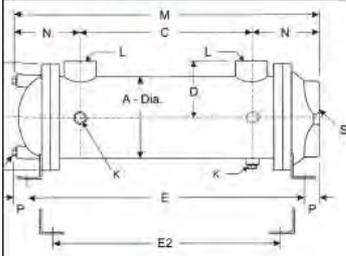
SINGLE-PASS ASME/TEMA-C



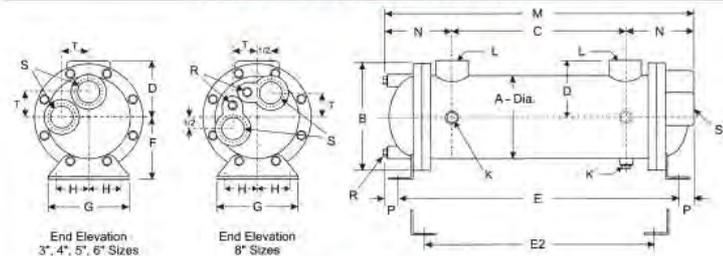
TWO-PASS ASME/TEMA-C



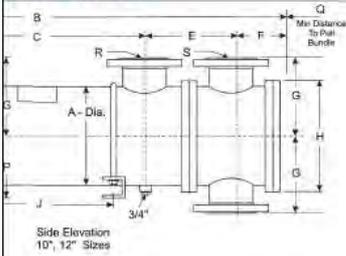
STANDARD and CODE



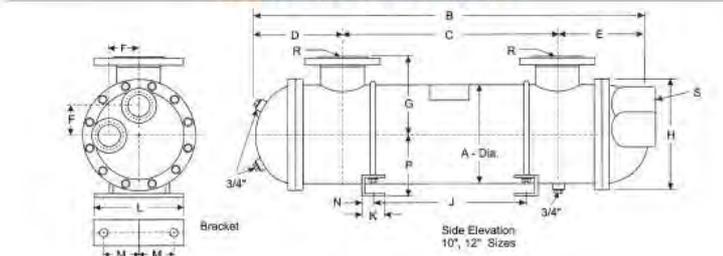
FOUR-PASS STANDARD and CODE



ASME/TEMA-C



FOUR-PASS ASME/TEMA-C



U-Tube Heat Exchangers

Commercial Standard U-Tube - Common Dimensions

Model	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K-NPT	L-NPT
05048	5-1/4	6-3/4	48-1/2	3-7/16	57-5/16	4	4-1/2	2	1/2x3/4	1/4	1-1/2
06048	6-1/4	7-3/4	49	4-1/16	58-3/8	4-1/2	6-1/4	2-1/2	1/2x3/4	3/8	2
08048	8-5/8	10-1/2	50-1/2	5-7/16	61-13/16	5-3/4	8-1/4	3-1/2	5/8x7/8	3/8	3

5", 6" & 8" ASME Code Models

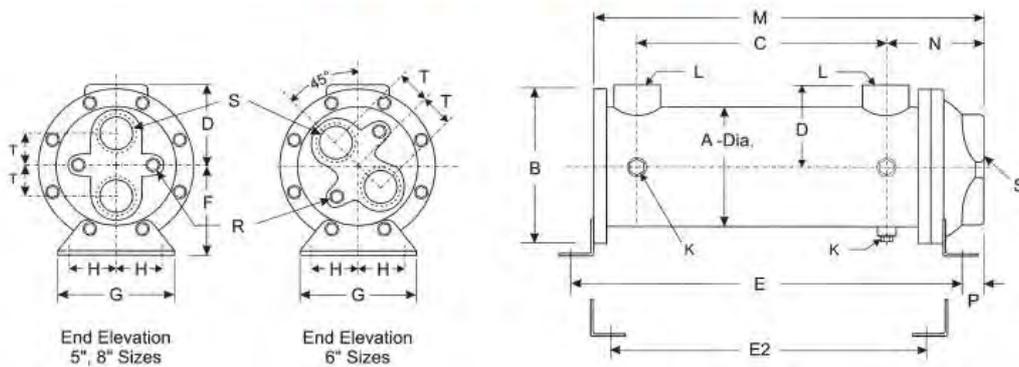
Model	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K-NPT	L-NPT
05048	5-1/4	6-3/4	48-1/2	3-7/8	57-5/16	4	5-1/4	2	1/2x3/4	1/4	1-1/2
06048	6-1/4	7-3/4	49	4-7/16	58-3/8	4-1/2	6-1/4	2-1/2	1/2x3/4	3/8	2
08048	8-5/8	10-1/2	50-1/2	5-7/8	61-13/16	5-3/4	8-1/4	3-1/2	5/8x7/8	3/8	3-

10" & 12" ASME/TEMA-C Models

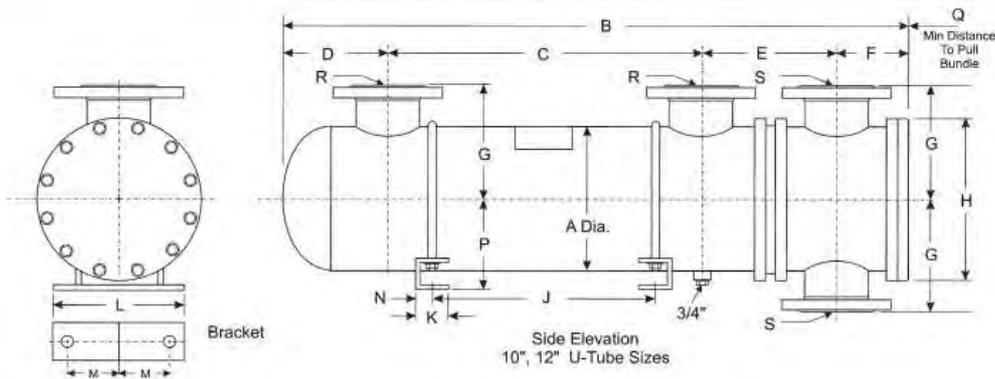
Model	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
10120	10-3/4	148-3/4	121	8-15/16	12	6-13/16	10	13-3/4	105	2-1/4	12-1/2
12120	12-3/4	153-1/2	122-1/2	10-9/16	13-1/2	6-15/16	11	15-3/4	109	2-1/4	14-1/2

All models are available in other lengths. Apply the appropriate dimension changes to all length measurements along the centerline. Maximum tube length for 3/8" tubing is 12 feet. Maximum tube length for 5/8" tubing is 20 feet. FL indicates ANSI 150 lb. RF flange.

TWO-PASS U-TUBE MODELS



TWO-PASS U-TUBE ASME/TEMA-C



Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles

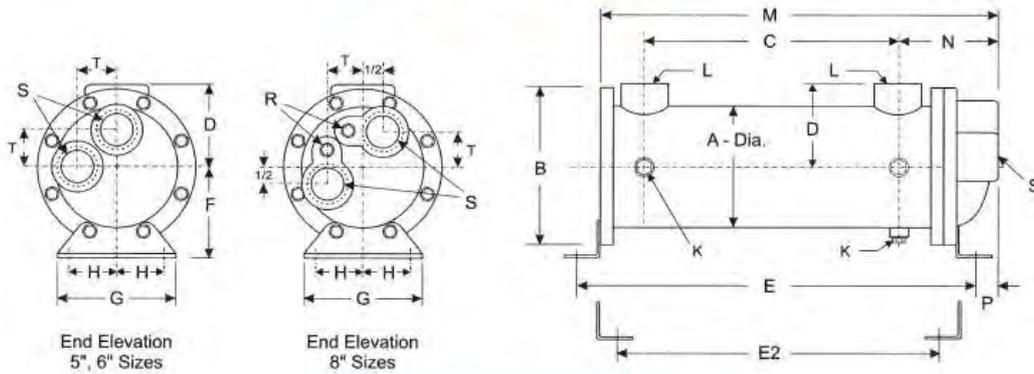
Two-Pass							Four-Pass						Weight	E2	Model
Model	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T			
05048	57-1/16	5-3/4	15/16	3/8	1-1/2	1-1/2	57-1/16	5-9/16	3/4	-	1	1-11/16	80	53-9/16	05048
06048	58-3/8	6-1/8	1	1/2	2	1-9/16	58-3/8	6-1/8	1	-	1-1/2	2	135	54-3/4	06048
08048	62-1/2	8	1-13/16	1/2	2-1/2	2-1/4	60-1/2	8	1-13/16	1/2	2	2-1/2	300	57-5/8	08048

Two-Pass							Four-Pass						Weight	E2	Model
Model	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T	M	N	P	R-NPT	S-NPT	T			
05048	57-1/4	5-3/4	15/16	3/8	1-1/2	1-1/2	57-1/16	5-9/16	3/4	-	1	1-11/16	90	53-9/16	05048
06048	58-3/8	6-1/8	1	1/2	2	1-9/16	58-3/8	6-1/8	1	-	1-1/2	2	145	54-3/4	06048
08048	62-1/2	8	1-13/16	1/2	2-1/2	2-1/4	62-1/2	8	1-13/16	1/2	2	2-1/2	310	57-11/16	08048

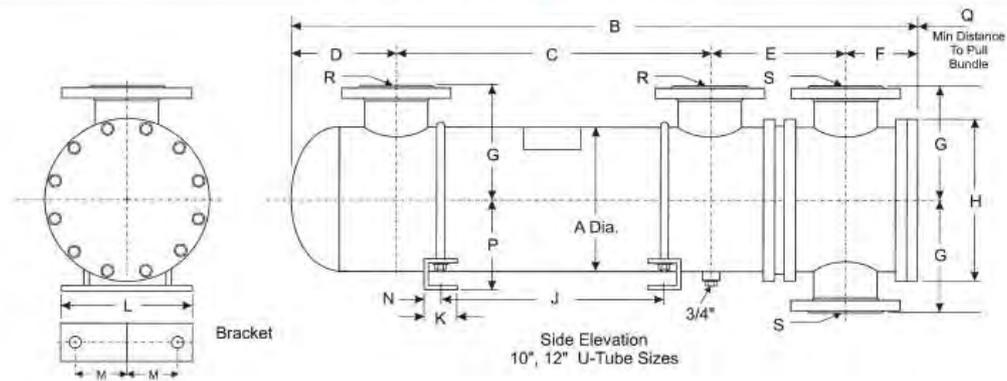
Two-Pass							Four-Pass						Weight	E2	Model
Model	M	N	P	Q	R	S	M	N	P	Q	R	S			
10120	4	1-3/8	7	116	4FL	4FL	4	1-3/8	7	122	4FL	2-1/2	1085	-	10120
12120	5	1-3/8	8-1/4	117	6FL	4FL	5	1-3/8	8-1/4	123	6FL	3	1580	-	12120

All models are available in other lengths. Apply the appropriate dimension changes to all length measurements along the centerline. Maximum tube length for 3/8" tubing is 12 feet. Maximum tube length for 5/8" tubing is 20 feet. FL indicates ANSI 150 lb. RF flange.

FOUR-PASS U-TUBE MODELS



FOUR-PASS U-TUBE ASME/TEMA-C



6. Catálogo del microfiltro

Water Technologies

Membrane Microfiltration Systems (EF and EFC Series)

Microfiltration Systems

SIEMENS

The Siemens tubular polymeric microfiltration systems are skid-mounted and factory assembled. The factory assembly, including wiring and testing, ensures easy reassembly and installation.

The tubular membranes are designed for very high solids loadings and can operate with up to 2.0 to 5.0 weight percent solids. The KYNAR® membrane is very chemically inert so it can withstand pH ranges from 0.0 to 14.0 standard units.

The rugged membranes are non-plugging, abrasive and chlorine resistant. All materials in contact with the wastewater or cleaning solutions are either PVC, polyethylene, stainless steel or other corrosion resistant materials.

The membrane provides for an absolute barrier to the passage of solids and therefore is capable of removing metals (and other contaminants) to their solubility limits.

This also results in the removal of most colloids and therefore provides a filtrate that exhibits a very low SDI, making the filtrate a perfect feed for a reverse osmosis unit or other polishing technology.

A fully automatic backpulse mechanism is included to periodically cause a reverse flow of filtrate across the

membrane, dislodging contaminants and allowing the high velocity flow to sweep them away. The backpulse prolongs the on-line cycles and reduces the cleaning requirements.

Each system is supplied fully assembled with all necessary equipment for operation, including a piped-in-place cleaning system, which includes two tanks and a dedicated cleaning pump. Units are designed for automatic operation and can be supplied with a fully automated cleaning cycle if required.

FEATURES

- PVDF (KYNAR®) membrane provides excellent chemical resistance and long life
- Tubular design allows for high solids loading
- Piped-in-place cleaning system is standard on all units
- Units are skid-mounted
- Rapid installation assured by skidded assemblies and mistake proof electrical connections

Membrane Microfiltration Systems (EF and EFC Series)

Microfiltration Systems

SPECIFICATIONS								
Model Number	EF/EFC-400	EF/EFC-424	EF/EFC-1200	EF/EFC-2400	EF/EFC-3600	EF/EFC-4800	EF/EFC-7200	EF/EFC-10800
Capacity (Nominal)	4-24 gpm 1.5-5.5 m ³ /hr	8-48 gpm 2-11 m ³ /hr	8-48 gpm 1.8-11 m ³ /hr	20-96 gpm 4.5-22 m ³ /hr	36-144 gpm 8-33 m ³ /hr	42-192 gpm 9-43 m ³ /hr	72-288 gpm 16-65 m ³ /hr	108-322 gpm 4-98 m ³ /hr
Tubes per Module	4	4	10	10	10	10	10	10
Quantity (min-max)	4-12	8-24	6-12	1,2-24	18-36	24-48	36-72	54-108
Concentration Tank Volume (Water included with EFC Series only)	275 gallons 1.0 m ³	550 gallons 2.1 m ³	660 gallons 2.5 m ³	1,375 gallons 5.2 m ³	1,700 gallons 6.4 m ³	2,600 gallons 9.8 m ³	4,280 gallons 16.2 m ³	5,000 gallons 18.9 m ³
Process Pump(s)	Qty. 1 2.5 HP	Qty. 1 1.5 HP	Qty. 1 2.0 HP	Qty. 1 3.0 HP	Qty. 1 5.0 HP	Qty. 2 3.0 HP	Qty. 2 5.0 HP	Qty. 3 5.0 HP
Dimensions (L x W x H)	11'-10" x 4'-10" x 11" 3,607 x 1,473 x 2,718 mm	18'-2" x 5'-4" x 11'-7" 5,563 x 1,626 x 3,531 mm	24'-7" x 5'-10" x 8'-10" 7,493 x 1,778 x 2,997 mm	25'-7" x 7'-1" x 10'-0" 7,747 x 2,159 x 3,048 mm	33'-0" x 8'-1" x 11'-10" 10,058 x 2,464 x 3,607 mm	26'-8" x 9'-4" x 11'-9" 8,153 x 2,896 x 3,629 mm	37'-0" x 17'-1" x 11'-11" 11,582 x 5,207 x 3,632 mm	39'-4" x 25'-3" x 11'-11" 11,989 x 7,696 x 3,632 mm
Shipping Weight	1,000 lbs 450 kg	2,000 lbs 900 kg	7,500 lbs 3,400 kg	10,000 lbs 4,550 kg	15,000 lbs 6,800 kg	18,000 lbs 8,160 kg	29,000 lbs 13,150 kg	43,000 lbs 19,500 kg
Operating Weight	4,000 lbs 1,810 kg	8,000 lbs 3,630 kg	18,000 lbs 8,160 kg	26,000 lbs 11,800 kg	34,000 lbs 15,420 kg	52,000 lbs 23,590 kg	73,000 lbs 33,110 kg	98,000 lbs 44,450 kg

The information provided in this literature contains mostly general descriptions of characteristics of performance which in actual case of use do not always apply as described or which may change as a result of further development of the product. An obligation to provide the respective characteristics shall only exist if expressly agreed in the terms of the contract.

Siemens
Water Technologies
2000 Marcus Drive
Warrendale, PA 15086
866.525.0621 Toll Free
724.772.6520 Phone
724.772.6521 Fax

Printed in U.S.A.
EWP/ERC/JUE/DS 1106
www.siemens.com/water

©2006 Siemens Water Technologies Corp.
Subject to change without prior notice.

7. Catálogos de las calderas de vapor



ATTSU®

Seguridad, calidad, innovación, economía
Safety, quality, innovation, economy
Sécurité, qualité, innovation, économie
Segurança, qualidade, inovação, economia

ATTSU®
La fuerza de un grupo
www.attsu.com

ATTSU ARCONEP **ATTSU TECNIVAP** **ATTSU SINGUL**

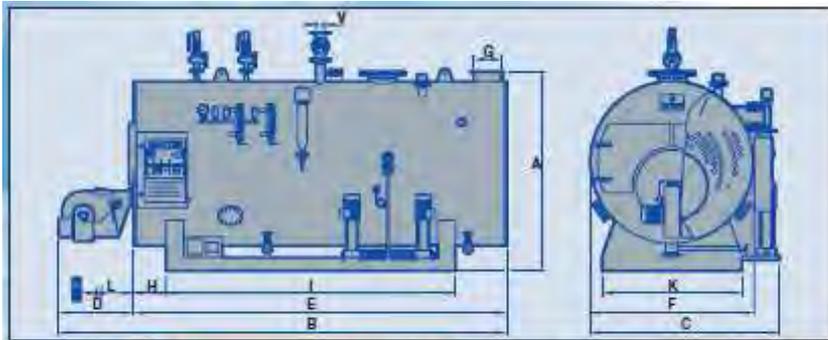
Polígono nº4, Calle C 5
E-28938 MOSTOLES (Madrid)
Tel. 916 474 737 - Fax 916 473 516
arconep@attsu.com

Pol. Ind. C/ Faguera, s/n
E-17460 CELRA (Girona)
Tel. 972 171 736 - Fax 972 171 740
tecnivap@attsu.com

Ciudad de Elda, 15 - Pol. Fuente del Jaro
E-48888 PATERNA (Valencia)
Tel. 961 340 332 - Fax 961 340 786
hy@attsu.com

ISO 9001
EMAS
P
CE

Diseño de una planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles



El fabricante se reserva la facultad de introducir modificaciones sin previo aviso.
The right to modify without notification is reserved by the manufacturer.
Le fabricant se réserve la faculté de modifier sans avertissement par le fabricant.
O fabricante reserva-se a facultade de introduzir modificações sem prévio aviso.

Presiones de trabajo estándar hasta 16 bar / 232 psi
Standard working pressures up to 16 bar / 232 psi
Pressões de trabalho padrão até 16 bar / 232 psi

		2.000	2.500	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000
Caudal nominal Nominal flow rate Caudal nominal	MH	2.000	2.500	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000
Producción de vapor Steam production Produção de vapor	Kg/h	2.900	3.500	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000
Potencia térmica útil Useful thermal power Potência térmica útil	kW	1.514	1.895	2.274	3.024	3.793	4.551	5.307	6.065	7.584	9.101	10.614	12.136	13.652	15.167
Consumo específico Specific consumption Consumo específico	Kcal/h x 1.000	1.304	1.630	1.956	2.609	3.262	3.914	4.564	5.216	6.522	7.827	9.129	10.437	11.741	13.044
	Btu/h x 1.000	5.174	6.467	7.760	10.351	12.942	15.529	18.117	20.694	25.374	31.053	36.731	42.408	48.082	53.751
Consumo de combustible Fuel consumption Consumo de combustível	Gasóleo - Light Oil (lit/h) gasóleo - Light Oil (lit/h)	141	176	211	281	351	421	491	561	700	840	980	1.120	1.260	1.400
	Gasóleo - Heavy Oil (kg/h) gasóleo - Heavy Oil (kg/h)	130	163	195	260	325	390	455	520	649	778	910	1.040	1.170	1.300
	Gas natural - Nat. Gas (m³/h) gas natural - Nat. Gas (m³/h)	100	163	195	260	325	390	455	519	649	779	909	1.039	1.169	1.299
	Propano - LPG (kg/h) propano - LPG (kg/h)	104	130	156	208	259	311	362	413	519	623	728	829	932	1.026
Peso de los vapores Vapour weight Peso de los vapores	Tm (kg/m³)	9	10	11	14	16	18	22	26	30	36	40	44	48	54
Subpresión de vapor Steam pressure Subpressão de vapor	mbar	4	5	6	8	9	11	12	13	15	17	19	21	23	25
	mmHg (da)	49	50	60	80	90	110	100	120	130	150	160	180	190	220
	MPa	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5
Dimensiones Dimensions Dimensões	A	mm	2.650	2.650	3.000	3.000	3.000	3.250	3.250	3.500	3.700	3.850	3.950	4.000	4.000
	B	mm	4.350	5.100	5.700	5.700	6.250	7.900	7.900	8.750	9.200	9.100	10.450	11.100	11.600
	C	mm	2.575	2.575	2.575	2.900	2.900	3.000	3.000	3.400	3.550	3.650	3.800	4.000	4.000
	D	mm	900	900	1.000	1.000	1.000	1.100	1.200	1.400	1.400	1.400	2.000	2.000	2.000
	E	mm	3.650	4.200	4.700	4.700	5.250	6.800	6.800	7.350	7.800	7.700	8.650	9.100	9.600
	F	mm	2.100	2.100	2.100	2.450	2.450	2.450	2.450	2.900	3.100	3.200	3.250	3.500	3.500
	G	mm	400	400	450	500	550	600	650	700	800	850	900	1.000	1.050
	H	mm	300	300	300	300	300	300	300	350	350	350	350	350	350
	I	mm	1.850	2.450	2.950	2.950	3.250	4.250	4.250	4.950	5.150	4.950	5.650	6.250	6.750
	J	mm	1.550	1.550	1.550	1.850	1.850	1.850	2.050	2.050	2.250	2.450	2.650	2.650	2.650
	L	mm	2.700	2.200	3.700	3.800	4.600	5.600	5.300	6.000	6.300	6.100	6.800	7.400	7.400
	Variante 0 bar	DN 65	DN 65	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 200	DN 200	DN 200	DN 200
	10 bar	DN 65	DN 65	DN 65	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 200	DN 200	DN 200
	12 bar	DN 50	DN 65	DN 65	DN 80	DN 90	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 150	DN 150	DN 200
	14 bar	DN 50	DN 50	DN 65	DN 65	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 150
	16 bar	DN 50	DN 50	DN 50	DN 65	DN 80	DN 80	DN 80	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150



0 bar Alimentación: 105°C / *Varia según longitud de quemador
0 bar, feeding: 105°C (211°F) / *Varies according to length of the burner
0 bar, alimentação: 105°C / *Varia según la longitud de brâsador
0 bar, alimentação: 105°C / *Varia segundo o comprimento do queimador

Nuevo generador de vapor ATTSU modelo HH, rediseñado después de diez años en servicio, conserva las principales características de fiabilidad y alto rendimiento que le han dado prestigio y se le han introducido innovaciones que han mejorado sus características técnicas:

- Monobloque, horizontal, pirotubular, tres pasos de humos y cámara de humos totalmente refrigerada por el agua de la caldera (cámara húmeda)
- Gran volumen y altura de la cámara de vapor
- Puertas delanteras y traseras de acceso a la cámara de humos de abertura sencilla y rápida
- Bocas de registro, inspección y limpieza en el circuito de agua
- Alto rendimiento térmico
- Diseñadas según TRD, ISO 9001 con marcado CE
- Certificadas según Directiva CE-97/23

The new ATTSU HH model steam generator, redesigned after ten years in service, is still having the main features of reliability and high throughput which have afforded it its prestige, while innovations have been introduced which have improved its technical features:

- Fire tubes, monobloc, horizontal, triple smoke circuit and smoke box completely cooled by the boiler water (wet chamber)
- Large volume and height of the steam chamber
- Quick and easy opening front and rear access doors to the smoke box
- Manhole, inspection hatch and cleaning hatch in the water circuit
- High thermal performance
- Designed according to TRD, ISO 9001 with CE marking
- Certified according to Directive CE-97/23

Le nouveau générateur de vapeur ATTSU modèle HH redessiné après dix ans de service, conserve ses principales caractéristiques de fiabilité et haute performance qui lui ont apporté du prestige et incorpore des nouveautés qui améliorent ses caractéristiques techniques :

- Pirotubulaire, monobloc, horizontal, triple parcours de fumée et cuve à fumée totalement refroidie par l'eau de la chaudière (chambre humide)
- Volume et hauteur importants de la chambre de vapeur
- Portes avant et arrière d'accès à la chambre à fumée à ouverture facile et rapide
- Ouverture de vérification, d'inspection et de nettoyage du circuit d'eau
- Haut rendement thermique
- Conçues selon TRD, ISO 9001 avec le marquage CE
- Certifiées en accord avec la Directive CE-97/23

O novo gerador de vapor ATTSU modelo HH, renovado após dez anos em serviço, conserva as principais características de fiabilidade e alto rendimento que lhe deram prestigio e foram-lhe introduzidas inovações que melhoraram as suas características técnicas:

- Monobloco, horizontal, pirotubular, três passagens de fumos e câmara de fumos totalmente refrigerada pela água da caldeira (câmara húmida)
- Grande volume e altura da câmara de vapor
- Portas dianteiras e traseiras de acesso à câmara de fumos de abertura simples e rápida
- Bocas de registo, inspeção e limpeza no circuito de água
- Alto rendimento térmico
- Concebidas segundo TRD, ISO 9001 com marcação CE
- Certificadas segundo Directiva CE-97/23

CERTUSS
Generadores de vapor



Universal SC
Capacidades de evaporación
700 - 1800 kg/h

Nuestro sucesivo programa de suministro

CERTUSS Generadores de vapor Serie Junior

Modelo	Capacidad (kg/h)	Presión de trabajo (bar)
J1	400 - 500	1.5
J2	1000 - 2000	1.5
J3	2000 - 4000	1.5
J4	1200 - 1800	1.5

CERTUSS Generadores de vapor Serie Elektro

Modelo	Capacidad (kg/h)	Presión de trabajo (bar)
E1	100 - 200	1.5
E2	300 - 600	1.5
E3	1000 - 1500	1.5

CERTUSS PARCOVAP®
Recuperación de calor de condensaciones



CERTUSS
Unidad de alimentación CVE

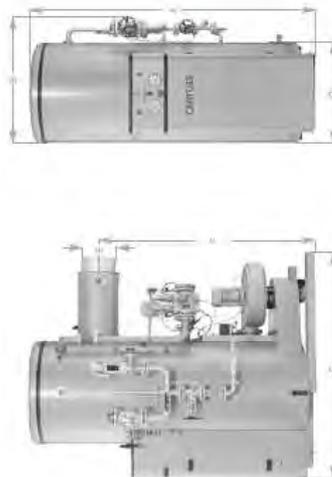


CERTUSS Equipos para el tratamiento de agua



Ventajas de nuestra técnica

- Se necesita poco espacio
- Instalación no se necesita cimentación
- Robusta construcción todo acero
- Camisa doble patentada - refrigeración por aire, ningún material de aislamiento
- Aspiración del aire arriba, se aspira el calor concentrado en la nave de calderas, el polvo del fondo permanece inmóvil
- Sistema de quemador CERTUSS integrado bajo en sustancias perjudiciales
- Amortiguación de ruidos y de vibraciones, fijaciones elásticas de grupos
- Adaptación inmediata a la demanda, economizadora de energía, con apenas pérdidas por radiaciones
- Suspensión central vertical exenta de dilatación del sistema calentador con purga del todo por el punto inferior
- Zona de evaporación recambiable
- Cuando hace falta, limpieza rápida y fácil del sistema calentador, sin necesidad de desmontaje
- Bajo demanda, instalaciones totales o parciales
- Mantenimiento sencillo, también por el explotador
- Servicio postventa ejemplar reconocido



Datos técnicos

Tamaño	Rendimientos		Carga nominal MW	Etapas	Presiones		Consumo máx.	Dimensiones (mm)		Largo C	Calderas Diám. D	Esp. de comb. Diám. del tubo E	Capacidad (kg/m ³) F	Pot. eléctrica conectada kW	Conexiones					
	Cantidad de vapor kg/h	Rendimiento térmico MW			presión de trabajo máx. MPa (bar)	presión máx. admisible MPa (bar)		Fusible (kg/h)	Gas (m ³ /h)						Alto A	Ancho B	Conexión de gas DN	Gas líquido DN	Agua de alimentación DN	Conexión de vapor DN
5	700	4,59	510	2	0,8-1,4-2,2-2,9 (8-14-22-26)	1,0-1,6-2,5-3,2 (10-16-25-32)	42,9 52,1	50,9 61,8	19,7 24,0	1070	1835	300	17,50	1100	4,0	9 _{1/2} "	85	40	1 ^{1/2} "	50
6	850	5,57	619	2	0,8-1,4-2,2-2,9 (8-14-22-26)	1,0-1,6-2,5-3,2 (10-16-25-32)	61,3 75,8	72,7 94,6	28,2 36,7	1210	2020	350	19,40	1500	7,2	9 _{1/2} "	85	40	1 ^{1/2} "	50
7	1500	8,84	1063	2	0,8-1,4-2,2-2,9 (8-14-22-26)	1,0-1,6-2,5-3,2 (10-16-25-32)	82,0 101,4	106,1 130,9	42,3 50,8	1350	2300	500	2105	2300	8,7	10 _{1/2} "	80	50	1 ^{1/2} "	65

Valores de referencia: Gas natural a 10 MW/Nm³ - 8000 kcal/Nm³, gas licuado a 25,8 MW/Nm³ - 22000 kcal/Nm³. Las dimensiones y los pesos están redondeados por exceso o por defecto. MPa y bar son valores de referencia. Para la incorporación se pueden quitar los tubos accesorios laterales. **Suministro completo con bomba de agua.** Valores de rendimientos referidos a 100°C de temperatura del agua de alimentación y 1 MPa (10 bar) de sobrepresión del vapor. Los tamaños de construcción 5 - 7 CERTUSS se pueden suministrar también con logares combinados turbo-gas natural. Quemador CERTUSS con recuperación de los gases de combustión (Reducción NO_x) opcional. Salvo modificaciones técnicas.

8. 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[®]
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 m³/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 ventajas de ABEL CM

- Hasta 225 m³/h
- Hasta 10,0 MPa
- Diseño probado
- Control óptimo
- Larga vida de servicio
- Fácil mantenimiento
- Fiabilidad operativa gracias a la tecnología de doble membrana

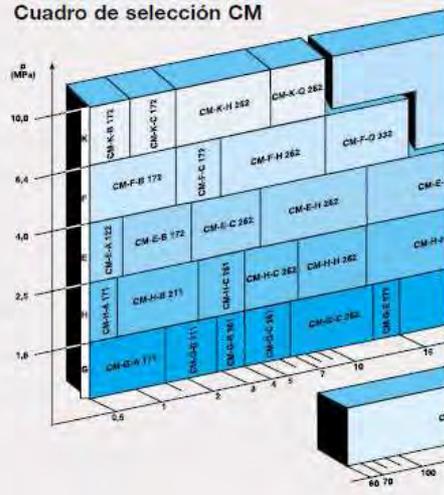
Las bombas compactas de membrana ABEL están diseñadas para manejar medios difíciles. Son compatibles con todo tipo de productos abrasivos, corrosivos, granulados, pigmentados o viscosos. Con frecuencia, son la mejor solución en condiciones de trabajo delicadas.

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.

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.

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 días 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



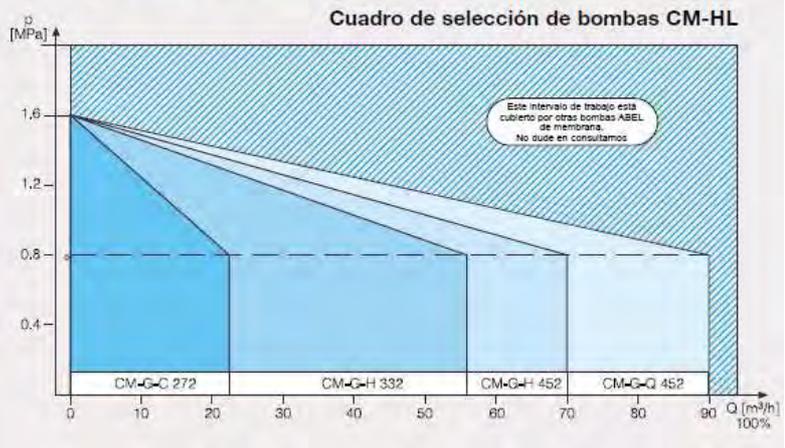
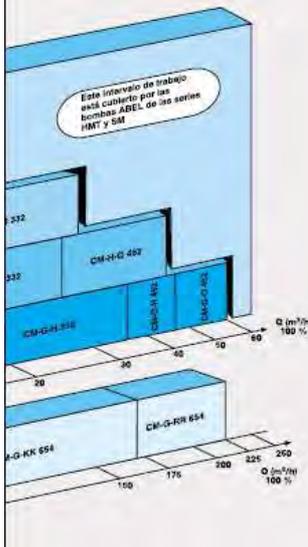
La tecnología CM

- 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.



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

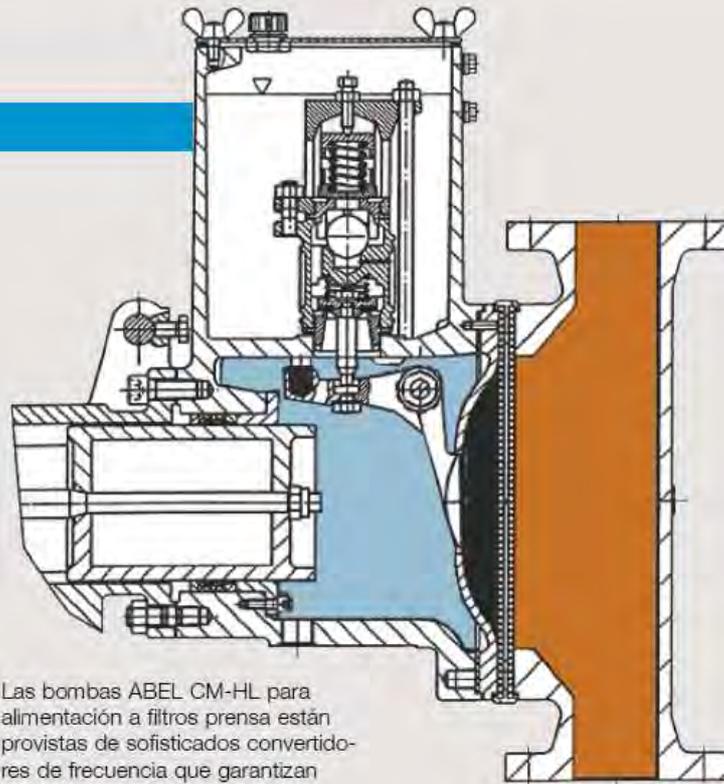
En caso de que el producto o el medio hidráulico penetre en el espacio intermedio de la doble membrana, una función de control integrada detecta el problema inmediatamente, antes de que el producto contamine el medio hidráulico o viceversa. Alternativamente, un control eléctrico puede activar una alarma automática.

Bolas de válvula de alta precisión y larga duración

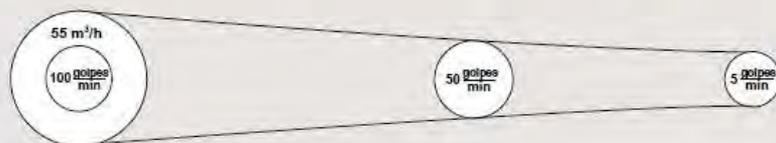
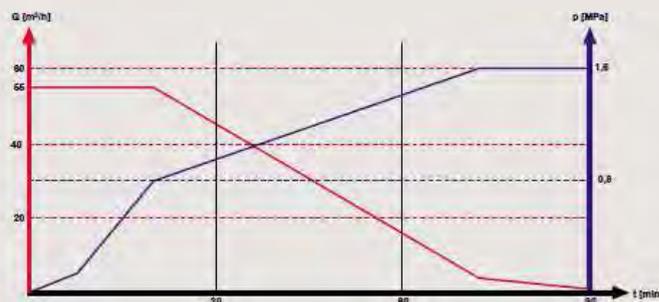
Las bombas compactas de membrana ABEL combinan dos materiales blandos que garantizan un funcionamiento uniforme. En su versión estándar, las bombas se equipan con bolas de válvula mecanizadas y asientos de poliuretano. Por supuesto, son posibles muchas otras combinaciones.

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.



9. Catálogo de aislante térmico de conducciones

HT/Armaflex®

El aislamiento perfecto para aplicaciones industriales y a altas temperaturas

Disponible en rollo. Optimiza el material necesario

altamente flexible sin PVC ni CFCs

aislamiento elastomérico de células cerradas

adecuado para altas temperaturas

+175° C
+150° C

HT/Armaflex® es un aislamiento elastomérico flexible basado en caucho EPDM con resistencia excepcional a las temperaturas elevadas. Su estructura de célula cerrada y su baja conductividad térmica evitan la difusión del vapor de agua y reducen las pérdidas de energía, protegiendo y optimizando la eficiencia y la vida útil de la instalación. A la vez que permanece flexible a temperaturas de aplicación hasta 150° C, está libre de polvo y fibras y es fácil de instalar sin herramientas especiales.

Solar Aplicaciones industriales Calefacción

Diagrama de pérdida de calor del HT/Armaflex®

- Temperatura de línea = +150°C
- Temperatura ambiente = +20°C
- Conductividad térmica del aislamiento a 40°C: 0,042 W/(m·K)
- Coeficiente de transferencia de calor de la superficie externa: 10 W/(m²·K)

Gracias a las propiedades térmicas del aislamiento, el flujo calórico desde las tuberías aisladas con HT/Armaflex® se mantiene al mínimo posible. La estructura homogénea, igualmente repartida y estable a largo plazo de células cerradas evita el flujo de calor por convección, asegurando una conductividad térmica muy baja del material de aislamiento. Esto ayuda a mantener en un nivel bajo la temperatura de la superficie externa y evita pérdidas innecesarias de calor. Debido a la flexibilidad del HT/Armaflex® el elevado gradiente de temperatura en el espesor del aislamiento no produce ninguna tensión interna.

	Ø 18 mm	Ø 89 mm
Temp. de la supe.	32,6°C	37,6°C
Flujo de calor	26,8 W/m	76,7 W/m
Flujo de calor	79,4%	88,1%
Ahorro en el flujo de calor (en comparación con el tubo sin aislar)		

Espesor del aislamiento = 25 mm Diámetro exterior del tubo = 18 mm = 25 mm

Aplicación

El HT/Armaflex® se utiliza como aislamiento y protección de tuberías y accesorios en aplicaciones tales como:

- Tuberías en procesos industriales.
- Tubos en unidades de refrigeración (las temperaturas de descarga pueden superar los 105°C).
- Líneas de vapor de doble temperatura y baja presión trabajando en ciclos de limpieza.
- Líneas calientes de alta presión en bombas de calor reversibles aire – aire.
- Tuberías de transporte de gases.
- Colectores solares.
- Depósitos de almacenaje de productos químicos.
- Líneas de calefacción centralizada.
- Aplicaciones en automoción.



Gama de producto

-  Coquillas
-  Coquillas en rollos
-  Plancha en rollos
-  Cinta autoadhesiva
-  Accesorios



Coquillas HT/Armaflex®

Plancha y cinta

Accesorios



- Adhesivo Armaflex HT 625
- Limpiador especial para adhesivo Armaflex



Las preguntas actuales sobre lo que resta de recursos naturales y el continuo aumento de precios del combustible hacen que el uso de un aislamiento correcto en las instalaciones que funcionan a altas temperaturas sea un deber creciente. HT/Armaflex® no sólo contribuye a un uso eficiente de la energía y una vida útil óptima de la instalación, sino que también evita las fluctuaciones de temperatura en la línea debidos a los cambios en la temperatura ambiente - lo cual es de gran importancia en las industrias alimentaria y farmacéutica, como ejemplos. Los costes de instalación, mantenimiento y los tiempos fuera de servicio, que a menudo exceden en mucho los costes de los materiales (hasta 10 veces mayores) se reducirán de forma drástica con el uso del HT/Armaflex®.

HT/Armaflex®



Datos técnicos

Breve descripción:	Aislamiento elastomérico de célula cerrada, altamente flexible.
Material:	Espuma elastomérica base caucho EPDM, de color negro.
Áreas de aplicación:	Aislamiento térmico de tuberías, depósitos y conductos en: aplicaciones industriales; conducciones de gas caliente, conducciones de vapor y de temperatura dual, automoción y paneles solares.
Particularidades:	A temperaturas elevadas, puede iniciarse un proceso de endurecimiento en la superficie interior de la plancha o coquilla. Este proceso no tiene influencia en el funcionamiento correcto del aislamiento en su conjunto siempre que el material haya sido instalado de la forma correcta con todas las juntas debidamente selladas.
Características especiales:	Libre de CFCs. Cumple con DIN 1988, partes 2 y 7.

Propiedades	Valor/Valoración	Supervisión	Observaciones
Campo de aplicación Temp. máx. de la línea	Coquillas: +150°C (+175°C*) Plancha: +130°C		* para temperaturas superiores a 150°C o inferiores a -50°C, consulte a nuestro Departamento Técnico.
Temp. mín. de la línea	Coquillas y planchas: -60 °C (-200°C*)		
Conductividad térm. λ a 0 °C a 40 °C	≤ 0,038 W/(m · K) ≤ 0,042 W/(m · K)	○	Ensayado según EN 12667 (DIN 52612) para planchas, y EN ISO 8497 (DIN 52613) para coquillas
Factor de resistencia μ a la permeabilidad al vapor de agua	≥ 3.000	○	Ensayado según EN 12086 para planchas y según EN 13469 para coquillas
Comportamiento en caso de incendio 1. Clasificación de materiales de construcción	B2 Clase 1	○	Ensayado según DIN 4102, Parte 1 Ensayado de conformidad con British Standard (BS) 476, Parte 7
2. Comportamiento práctico frente al fuego	Autopextinguible, no gotas, no propaga la llama.		Homologado por: • Lloyd's Register of Shipping, Londres • Registro Italiano Navale • Det Norske Veritas

○ = seguimiento interno regular

Gama de productos

HT/Armaflex® coquillas

Diámetro interior en mm.	Espesor del aislamiento			
	10 mm	13 mm	19 mm	25 mm
	Referencia	Referencia	Referencia	Referencia
010	HT-10x010	HT-13x010		
012	HT-10x012	HT-13x012	HT-19x012	HT-25x012
015	HT-10x015	HT-13x015	HT-19x015	HT-25x015
018	HT-10x018	HT-13x018	HT-19x018	HT-25x018
022	HT-10x022	HT-13x022	HT-19x022	HT-25x022
028	HT-10x028	HT-13x028	HT-19x028	HT-25x028
035	HT-10x035	HT-13x035	HT-19x035	HT-25x035
042	HT-10x042	HT-13x042	HT-19x042	HT-25x042
048	HT-10x048	HT-13x048	HT-19x048	HT-25x048
054	HT-10x054	HT-13x054	HT-19x054	HT-25x054
057	HT-10x057	HT-13x057	HT-19x057	HT-25x057
060	HT-10x060	HT-13x060	HT-19x060	HT-25x060
076	HT-10x076	HT-13x076	HT-19x076	HT-25x076
089	HT-10x089	HT-13x089	HT-19x089	HT-25x089

HT/Armaflex® cinta

Espesor: 3 mm

Ref.	ancho	largo
HT-TAPE	50 mm	15 m

Planchas en rollo, 1m ancho

Referencia
HT-10-99/E
HT-13-99/E
HT-19-99/E
HT-25-99/E

Todos los datos y la información técnica están basados en resultados alcanzados en condiciones típicas de aplicación. Los receptores de esta información deben, por su propio interés y responsabilidad, aclarar con nosotros si estos datos e informaciones son aplicables o no al área de aplicación pretendida. Las instrucciones de instalación están disponibles en nuestro Manual de Instalación Armaflex. Consulte con nuestro servicio técnico antes de aislar aceros inoxidables. Debe usarse el adhesivo Armaflex HT 625 para una unión correcta de las juntas y costuras.



Armacell Iberia SL
Apartado de Correos, 2 • E-17200 Palafrugell
Tel. 972 61 34 19/20 • Fax 972 30 03 63
www.armacell.com • info.es@armacell.com



DOCUMENTO N° 5:

ESTUDIO ECONÓMICO

19. ESTUDIO ECONÓMICO

19.1. Costes de producción

Evaluando los costes de producción (C) conoceremos los gastos que hay que realizar para poder llevar a cabo la producción. Es decir, es el dinero del que, una vez realizada la inversión inicial en el inmovilizado, la empresa debe disponer para que la planta permanezca operativa.

Los costes de producción se pueden dividir en tres tipos:

1. Costes derivados del inmovilizado instalado (F_I): mantenimiento (mano de obra, materiales,...), gastos de seguridad (protección contra incendios, vigilancia, primeros auxilios,...), servicios generales (transporte de mercancías, laboratorio,...), servicio administrativo (oficinas, contabilidad,...).

$$F_I = a \cdot I_F$$

Consideramos que estos costes corresponden a un 5% del capital total de inmovilizado (I_F) por año. Por tanto, supondrá:

$$F_I = a \cdot I_F = 0,05 \cdot 17.826.844 = 891342\text{€} / \text{año}$$

2. Costes derivados de la mano de obra (F_L): los derivados de los salarios de los trabajadores en planta, responsables, gerentes, etc. Para evaluarlos es preciso establecer cuales serán los turnos de trabajo, el volumen de plantilla y el salario de cada componente de la misma.

El personal necesario en la planta piloto en todo momento serán 4 operarios: 2 operarios en planta y 2 operarios en la sala de control, que cobrarán 7,5 €/hora trabajada cada uno. El trabajo se distribuirá en 3 turnos de 8 horas. Además, junto con esos 4 operarios, por cada turno siempre habrá un ingeniero responsable que cobrará 13€/h trabajada.

Teniendo en cuenta una carga laboral de 350 días (8400 h), y que como se ha dicho, en todo momento habrá 4 operarios y un ingeniero responsable, el coste anual de la mano de obra será:

$$8400h \cdot 4\text{operarios} \cdot \frac{7,5\text{€}}{h \cdot \text{operario}} + 8400h \cdot \frac{13\text{€}}{h} = 361.200\text{€}$$

Respecto a gerentes y directivos, estos corresponden a la planta de biodiesel de partida, y por tanto no habrá que considerar un aumento de plantilla por este concepto.

3. Costes derivados del volumen de producción (F_Q): servicios generales (consumo eléctrico, consumo de agua, gestión de residuos, consumo de vapor,...), consumo de materias primas, control de calidad.

3.1. Consumo eléctrico: Corresponde principalmente al gasto de electricidad de los equipos para operar. Los equipos basan su funcionamiento en la energía eléctrica son: bombas, centrifugas, agitadores, evaporadores (bombas propias) y microfiltro (bombas propias). Además, también se consumirá energía eléctrica en los dispositivos de control y en la iluminación de la planta.

BOMBAS

Teniendo en cuenta que se realizan 247 ciclos de producción al año (350 días de operación, 34 horas por ciclo), la potencia útil de cada bomba (calculada en el apartado de diseño de bombas) y determinando el número de horas por ciclo que cada bomba trabaja, determinamos el consumo anual total de las 31 bombas:

	Putil (KW)	h/ciclo	horas/año	kW·h/año
B1	88,19	3	741	65347,52
B2	0,000007	3	741	0,01
B3	18,85	3	741	13966,97
B4	16,89	3	741	12514,49
B5.1	21,95	3	741	16268,17
B5.2	21,60	3	741	16008,56
B6	7,02	3	741	5204,40
B7.1	18,59	3	741	13775,34
B7.2	751,93	3	741	557183,46
B8	30,17	3	741	22357,65
B9	0,03	3	741	21,44
B10	39,11	3	741	28981,34
B11	505,78	3	741	374785,35
B12.1	168,79	1	247	41691,49
B12.2	168,77	1	247	41685,42
B12.3	168,79	1	247	41691,49
B13.1	960,62	1	247	237273,51
B13.2	959,09	1	247	236895,41
B13.3	959,09	1	247	236895,41
B14	28,93	3	741	21434,57
B15	6,51	3	741	4827,39
B16	19,66	3	741	14570,43
B17	22,55	3	741	16710,14
B18	1278,42	3	741	947312,21
B19.1	289,98	12	2964	859514,55
B19.2	3,48	12	2964	10319,48
B19.3	249,48	12	2964	739458,72
B20	30,26	12	2964	89680,56
B21	3,27	12	2964	9705,90
B22	39,66	12	2964	117564,39
B23	2,53	12	2964	7490,28
B24	0,91	3	741	673,12
Total kW·h/año en bombas				4.801.809

CENTRÍFUGAS

Como ya sabemos, en la planta se dispondrán 3 centrifugas; dos iguales en pretratamiento y en el proceso de purificación tras la fermentación. El consumo energético total sin embargo no será el de las tres, pues las centrifugas de pretratamiento no funcionan a la par, si no que lo hacen alternativamente, cada vez que una precisa ser parada y limpiada debido a que la corriente que tratan es de contenido muy graso. Así, el consumo energético anual por las centrifugas es:

Centrífuga	Potencia Motor (kW)	h/ciclo	horas/año	kW·h/año
DC1-220	11	3	741	8.151
DC1-400	30	3	741	22.230
Total kW·h/año en centrifugas				30.381

AGITADORES

Habrà 4 agitadores funcionando en la planta: uno en el tanque de mezcla, y 3 en los fermentadores (uno por cada fermentador). El consumo energético de estos será:

Agitador	Potencia Motor (kW)	h/ciclo	horas/año	kW·h/año
INOXPA NRI-B-1.11-25007-1	0,75	3	741	555,75
INOXPA NRI-D-1.10-25040-1	4	10	2470	9.880
INOXPA NRI-D-1.10-25040-1	4	10	2470	9.880
INOXPA NRI-D-1.10-25040-1	4	10	2470	9.880
Total kW·h/año en agitadores				30.195,75

EVAPORADORES

Serán 3 los evaporadores instalados en la planta, El evaporador 1 y 3 corresponden al mismo modelo por lo que sus consumos serán iguales. Hay que aclarar que lo que consume energía eléctrica en los evaporadores en la bomba de impulsión que poseen, al ser todos ellos de circulación forzada. Sus consumos energéticos supondrán:

Evaporador	Potencia Bomba (kW)	h/ciclo	horas/año	kW·h/año
ECC-EvapoSep CS M-500	31	3	741	42.237
ECC-EvapoSep CS M-5000	253	12	2964	749.892
ECC-EvapoSep CS M-500	31	12	2964	91.884
Total kW·h/año en evaporadores				864.747

MICROFILTRO

El consumo eléctrico del microfiltro es consecuencia de su bomba, necesaria para crear la diferencia de presión entre un lado y otro de la membrana de separación:

Microfiltro	Potencia Bomba (CV)	Potencia bomba (kW)	h/ciclo	horas/año	kW·h/año
EF/EFC-2400	30	37,3	3	741	27.639,3

Entonces, el consumo eléctrico total por equipos de proceso será la suma de todos ellos, resultando:

Consumo eléctrico equipos de proceso = 5.754.772 kW·h/año = 5,754 MW/año

Con respecto al alumbrado de la planta y el consumo de la instrumentación, consideramos que estos corresponden a un 10% y 5% del consumo de las unidades. Así el consumo eléctrico total de la planta será, de forma aproximada:

Consumo eléctrico de la planta = 5.754.772 · 1,15 = 6.617.988 kW·h/año ≈ 6,618 MW·h/año

3.2. Consumo de agua: El consumo de agua viene del agua de refrigeración de los 3 evaporadores, del enfriador previo al llenado de los fermentadores, del agua de dilución de los tanques de fermentación (solo se añade el total de este volumen de dilución una vez, pues para el resto de los ciclos el agua se recircula, purgando una pequeña parte), y el agua del reactor de inoculación.

Todos estos consumos se recogen en la tabla siguiente:

Unidad	Caudal agua (Kg/h)	h/ciclo	h/año	Agua total (l/año)
Evaporador 1	2315	3	741	1715415
Evaporador 2	41800	12	2964	123895200
Evaporador 3	852	12	2964	2525328
Enfriador	3403	3	741	2521623
Agua dilución tanques	14108	-	-	14108
Agua reactor inoculación	2500	3	741	1852500
Total consumo agua				132524174

Además se consumirá agua en la planta como consecuencia de las instalaciones para la plantilla y para limpieza. Consideramos que esta agua corresponde al 10% del agua consumida en la planta. Así pues, el consumo total de agua será:

Consumo total de agua = 132.524 · 1,10 ≈ 150.000 m³/año

3.3. Consumo de vapor: La planta será autosuficiente en el suministro de vapor, pues se instalarán dos calderas para generarlo, una de ellas de menor

capacidad de generación para la zona de pretratamiento y otra de un tamaño mayor para las unidades de purificación del producto.

Por tanto, a la hora de hablar de costes por vapor, los únicos posibles serían los generados por consumo de combustible en las calderas. Este combustible es el que al quedarse, produce la energía necesaria para vaporizar el agua.

No obstante, como se explicó en el apartado del diseño general de las calderas de vapor, el combustible que se usará, será el que se produce en la planta de biodiesel. Así, a pesar de que efectivamente se está consumiendo un combustible, este no supone costes algunos al ser generado por la misma empresa que lo consume en las calderas, y ser suministrado a coste cero.

No obstante, si es necesario estimar el consumo de biodiesel que se consumirá en las calderas, para poder determinar qué proporción de la producción total habrá que destinar a estos fines, y conocer así el volumen de producción de biodiesel que se venderá en el mercado.

El cálculo de este consumo se realizó en el apartado de diseño general de las calderas de vapor, y se estimó para las dos, un total de 1.059.630 l de biodiesel, que suponía aproximadamente un 17% de la producción total.

Esta producción, considerando un precio medio de venta de 0,80 €/l, supondrían 847.704 €. Esta cantidad de dinero no solo será recuperada, sino que permitirá dar beneficios económicos en la planta de producción de 1,3-PDO, tal y como se verá más tarde, ya que este tiene un precio de venta mayor en el mercado.

3.4. Consumo de materias primas: La materia prima básica de la planta, la glicerina cruda, es el residuo proveniente de la producción del biodiesel. Por ello, esta materia prima se obtiene a coste cero, evitando a la planta de producción de 1,3-PDO uno de los principales costes de las plantas industriales; los costes de adquisición de materias primas.

La única materia prima como tal que se utiliza en la planta es el ácido sulfúrico 0,1 M usado en el tanque de mezcla para reducir el pH del glicerol crudo y producir así la precipitación de jabones, sales y otros sólidos.

El consumo anual de ácido sulfúrico es:

$$\text{Consumo} = 2,6 \frac{l}{h} \cdot 3 \frac{h}{\text{ciclo}} \cdot 247 \frac{\text{ciclos}}{\text{año}} = 1926,6 \frac{l}{\text{año}}$$

3.5. Gestión de Residuos: La gestión de residuos se realizará mediante una empresa especialista en estas tareas. Los residuos que habrá que gestionar son una mezcla de las corrientes de salida de las centrifugas de pretratamiento

y post tratamiento y del microfiltro (líneas L5.1, L5.2, L16 y L17). Los residuos estarán compuestos por tanto por biomasa desactivada, grasas (jabones), sales, compuestos químicos (glicerina, ácido acético) y agua.

La cantidad de residuos que habrá que gestionar al año serán la suma de los residuos aportados por las corrientes citadas en cada ciclo, multiplicado por los 247 ciclos de producción que se llevan a cabo al año:

$$(Q_{L5} \cdot t_{L5} + Q_{L16} \cdot t_{L16} + Q_{L17} \cdot t_{L17}) \cdot 247 = (447 \cdot 3 + 367,7 \cdot 3 + 227,4 \cdot 3) \cdot 247 = 772.196 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Así pues, resumiendo todos los factores de gastos de producción, tendremos:

- **6.617.988 kW·h/año ≈ 6,618 MW·h/año**

En la tabla siguiente, vemos que en España, el precio por kW·h para uso industrial es de 11,54 céntimos de euro, según UNESA (Asociación Española de la Industria Eléctrica).

Precios de la electricidad en países de la UE, para usos industriales. Primer semestre 2009 (cent Euro/kWh, Impuestos incluidos). EUROSTAT	
Países	cent Euro
ESTONIA	6,43
BULGARIA	6,49
SUECIA	6,67
FINLANDIA	6,89
FRANCIA	7,02
DINAMARCA	8,59
PORTUGAL	8,94
POLONIA	9,02
GRECIA	9,48
REP. CHECA	10,69
BELGICA	11,11
REINO UNIDO	11,17
HOLANDA	11,30
ALEMANIA	11,32
ESPAÑA	11,54
IRLANDA	12,06
HUNGRIA	12,41
ITALIA	14,35
EU 27	10,51
EU 16	10,90

Esto supone un coste anual en electricidad de:

$$6.617.988 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{año}} \cdot 0,1154 \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{h}} = 763.716 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

- **150.000 m³ de agua/año**

El precio medio del agua en España (cada municipio fija su precio propio) esta en 1,38 €/m³. Considerando este precio, el coste en consumo de agua sería:

$$150.000 \frac{m^3}{año} \cdot 1,38 \frac{€}{m^3} = 207.000 \frac{€}{año}$$

- **772.196 kg/año residuos**

Según las fuentes consultadas, la retirada y gestión de este tipo de residuos supone un coste de unos 50 €/Tn.

$$772,2 \frac{Tn}{año} \cdot 50 \frac{€}{Tn} = 38.600€$$

- **1926,6 l/año de acido sulfúrico 0,1 M**

Según “purchasingdata.com” el precio de la tonelada de acido sulfúrico puro en Europa en 2009 estuvo entre los 100 y 120 \$, esto es aproximadamente de 69 a 83 € por tonelada. La masa de acido sulfúrico puro que necesitamos es:

$$1926,6l \cdot 0,1 \frac{mol}{l} \cdot 98 \frac{g}{mol} = 18880,68g \approx 19kg$$

Esta masa, a un precio de 83 euros la tonelada, supone un coste de apenas 1,6 € /año.

- **Costes derivados del inmovilizado instalado: 891.342 €/año**

- **Personal: 361.200 € /año**

Sumando todos los costes de producción, la planta concluimos que la planta incurrirá en unos gastos totales anuales aproximados de:

$$\underline{\text{Costes producción}} = 2.261.860 € / año$$

19.2. BENEFICIO BRUTO Y RENTABILIDAD

El beneficio bruto anual es la diferencia entre las ganancias por ventas anuales y los costes de producción anuales. Una vez que hemos evaluados estos costes de producción, solo queda saber cuanto dinero ingresa la empresa por consecuencia de la venta del 1,3-propanodiol producido en la planta.

Para ello, lo primero es conocer la producción exacta anual. Según el balance de materia, de la corriente L22 que sale del evaporador 3, sale una corriente pura de 1,3-PDO de 300 kg/h. Teniendo en cuenta que el evaporador trabaja durante 12 horas por ciclo, la producción será:

$$350 \frac{\text{dias}}{\text{año}} \cdot \frac{24\text{horas}}{1\text{dia}} \cdot \frac{1\text{ciclo}}{34\text{horas}} \cdot \frac{12\text{horas}}{\text{ciclo}} \cdot 300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 889412 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \approx 889,5 \frac{\text{Ton}}{\text{año}}$$

Para fijar un precio de venta del producto se han tenido en cuenta varios factores. Primeramente hay que saber cuanto es el coste de producción por kilogramo de 1,3-PDO, que resulta en 3,06 €/kg. Obviamente, si queremos que la planta resulte rentable, el precio de venta deberá ser superior a este.

Sin embargo, hay que conocer a que precios podría venderse este producto en el mercado. Según la bibliografía consultada, en el año 1994, cuando había una producción mundial de 100000 libras/año (45390 kg/año) el precio de mercado del 1,3-PDO estaba entre los 12 y los 20 dólares por libra (15,95 a 26,59 €/kg). También se estima que por entonces con una escala de producción de 10 millones de libras/año (4.539.000 kg/año) el precio de venta podría ser de 1,1 \$/libra (1,46 €/kg).

Debido a la antigüedad de este estudio, y que la producción que se indica es aproximadamente 5 veces superior a la de nuestra planta, estos datos han servido solo como indicador del posible rango del precio de venta del producto. Ha sido el precio de venta de la compañía china "Zouping Mingxing Chemical Co.,Ltd" el que ha nos ha dado un idea precisa de a que precio se puede vender el 1,3-PDO en el mercado actual. Esta compañía tiene fijado un precio de venta de 5667 \$/Ton (3542 €/Ton=3,54€/kg) en Enero de 2010. Con este precio ya cubriríamos costes, obteniendo algo de beneficio también.

Sin embargo el mercado chino de este producto tiene algunas diferencias con el mercado europeo. Primeramente, se trata del país en el que mas compañías producen 1,3-PDO (se han encontrado hasta 6), lo que favorece una competencia y por tanto reducción del precio. Además hablamos de un país en el que los precios de mano de obra y de materias primas son notablemente inferiores a los de Europa así como los requerimientos de cumplimiento de calidad y respeto con el medio. Teniendo en cuenta todo esto, decidimos que el precio de mercado del 1,3-PDO en Europa puede ser mayor que en China.

Para comenzar la producción en la planta, fijaremos un precio de 8 €/kg. Este precio, se verá influenciado en el transcurso de tiempo por las fluctuaciones del mercado.

Así, el ingreso anual por producción será:

$$889412 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \cdot 9 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 8.004.708 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Por tanto el beneficio neto anual, será:

$$\text{Beneficio neto} = 8.004.708 - 2.261.860 = 5.742.848 \text{ €}$$

19.3. AMORTIZACION DE LA INVERSION Y RENTABILIDAD

Con las ganancias netas conseguidas anualmente, se han de cubrir dos puntos:

- Reducir la cuantía del préstamo adquirido para la construcción de la planta
- Proporcionar beneficios a la empresa, para que siga desarrollándose y pueda aumentar su capital.

Debido a que los préstamos tienen fijados un interés nominal, es interesante reducirlos o eliminarlos por completo cuanto antes, reduciendo así el coste adicional sobre el precio real de la inversión.

Existen varios modelos de amortización de inversiones. En nuestro caso usaremos el modelo de amortización progresiva. En este sistema el deudor se compromete a cancelar una cantidad constante, al finalizar o comenzar cada período de tiempo convenido. La cantidad se desglosará en dos partes; la primera para cancelación de intereses y la segunda para la amortización de una parte del capital tomado en préstamo. En consecuencia, al ser las anualidades constantes, al comenzar la amortización del capital, comenzará a disminuir la parte destinada al pago de intereses, aumentando la parte destinada a la amortización del capital en cada período.

En el siguiente cuadro se muestran las características del préstamo adquirido para la construcción de la planta, así como los pagos, cantidades amortizadas y préstamo restante por amortizar en cada uno de los períodos de pago.

CARACTERÍSTICAS PRÉSTAMO	
Importe	17.826.844
Años	7
Comisión de apertura	0,75%
Interés nominal	4,25%
Periodo de pago	Semestral
Tipo amortización	Progresiva

PAGOS TOTALES	
PRINCIPAL	17.826.844
COMISION	133.701,33
SUMA	17.960.545

INTERESES	3.180.192,77
-----------	--------------

TOTAL	21.140.738
-------	------------

Año	Cuota	Intereses	Amortizado	Pendiente
0				17.960.545
1	3.020.105,44	763.323,18	2.256.782,26	15.703.763,07
2	3.020.105,44	667.409,93	2.352.695,51	13.351.067,56
3	3.020.105,44	567.420,37	2.452.685,07	10.898.382,49
4	3.020.105,44	463.181,26	2.556.924,18	8.341.458,30
5	3.020.105,44	354.511,98	2.665.593,46	5.675.864,84
6	3.020.105,44	241.224,26	2.778.881,18	2.896.983,66
7	3.020.105,44	123.121,81	2.896.983,63	0,00

La tasa de retorno nos da una idea de la rentabilidad del proyecto. Esta se determina mediante la siguiente expresión:

$$Tasa\ retorno = \frac{Ganancias - Gastos}{Gastos} \cdot 100$$

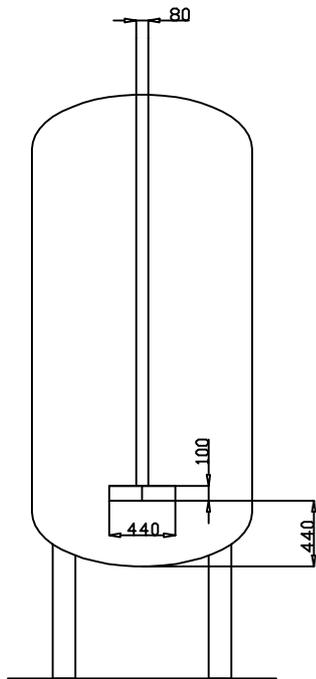
Considerando una vida útil de 25 años para la planta, y 7 años de amortización (14 semestres), los datos de rentabilidad en el periodo en el que se paga el préstamo (periodo de amortización), periodo en el que ya se ha pagado el préstamo (periodo libre de amortización) y los totales en toda la vida de la planta son:

Periodo	Ingresos	Gastos		Tasa de retorno
		Coste producción	Amortización	
Amortización (8 años)	8.004.708	2.261.860	3.020.105,44	51,5
Libre de amortización	8.004.708	2.261.860	0,00	253,9
Vida total (25 años)	200.117.700	56.546.500	21.140.738,08	157,6

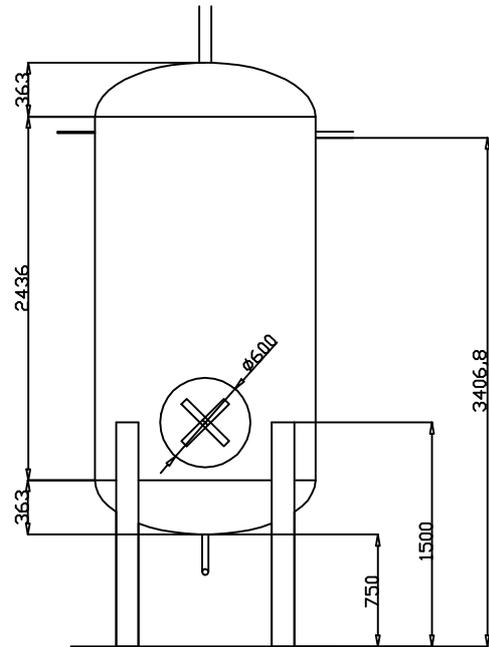
DOCUMENTO N° 2:

PLANOS

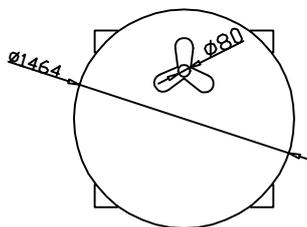
ALZADO INTERIOR



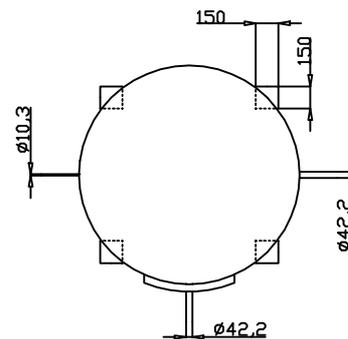
ALZADO EXTERIOR



PLANTA INTERIOR

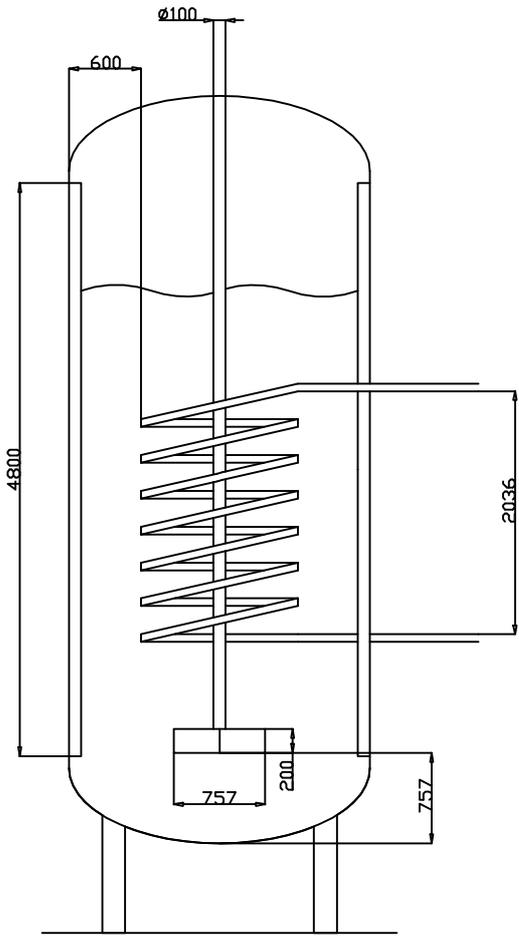


PLANTA EXTERIOR

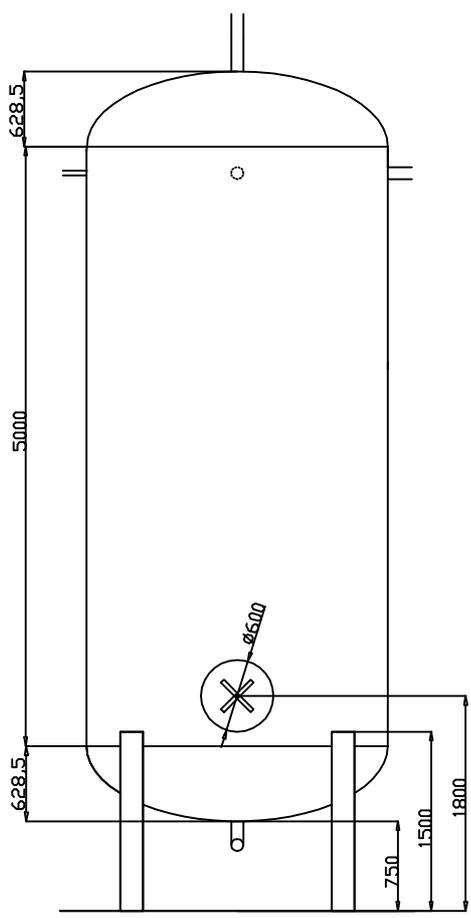


	Nombre	Firma	Fecha	UNIVERSIDAD DE CADIZ FACULTAD DE CIENCIAS
Dibujado	Amador Montouto González		19/01/10	
Comprobado	Amador Montouto González		01/02/10	
Escala 1:45	TANQUE DE MEZCLA			Nº Plano: 01
				Sustituye a:
				Sustituido por:

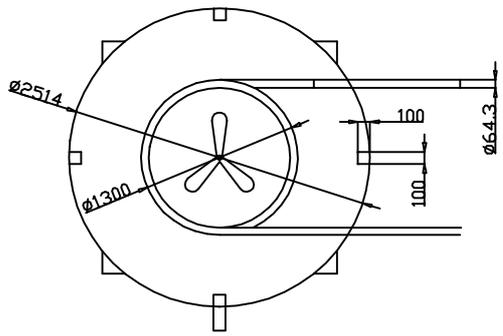
ALZADO INTERIOR



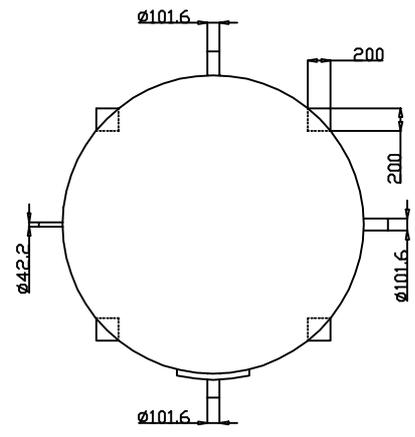
ALZADO EXTERIOR



PLANTA INTERIOR

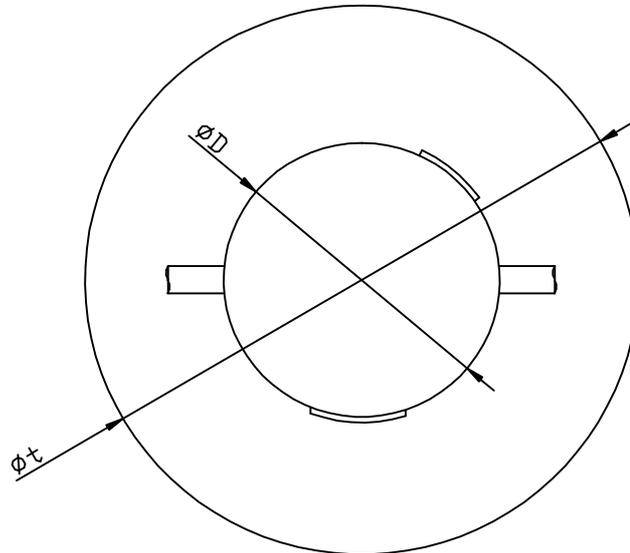
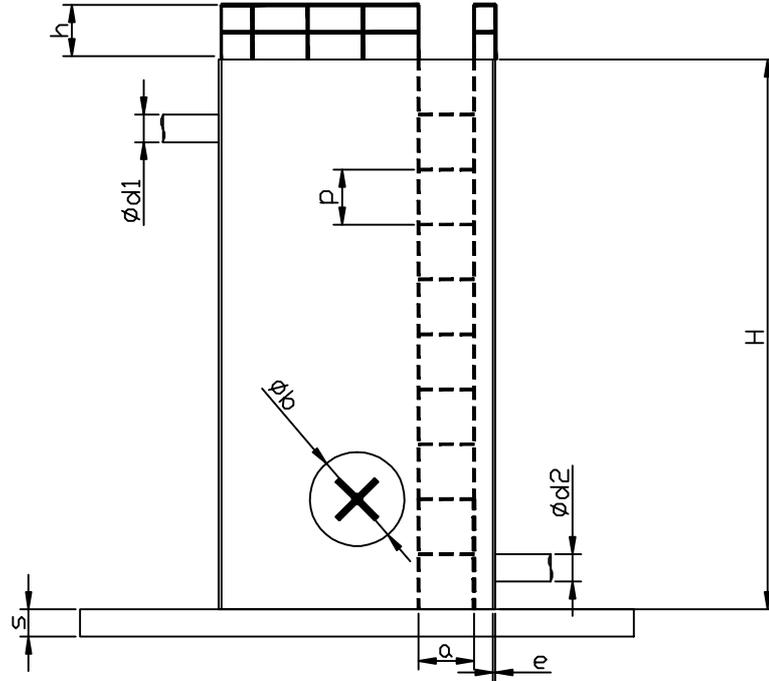


PLANTA EXTERIOR

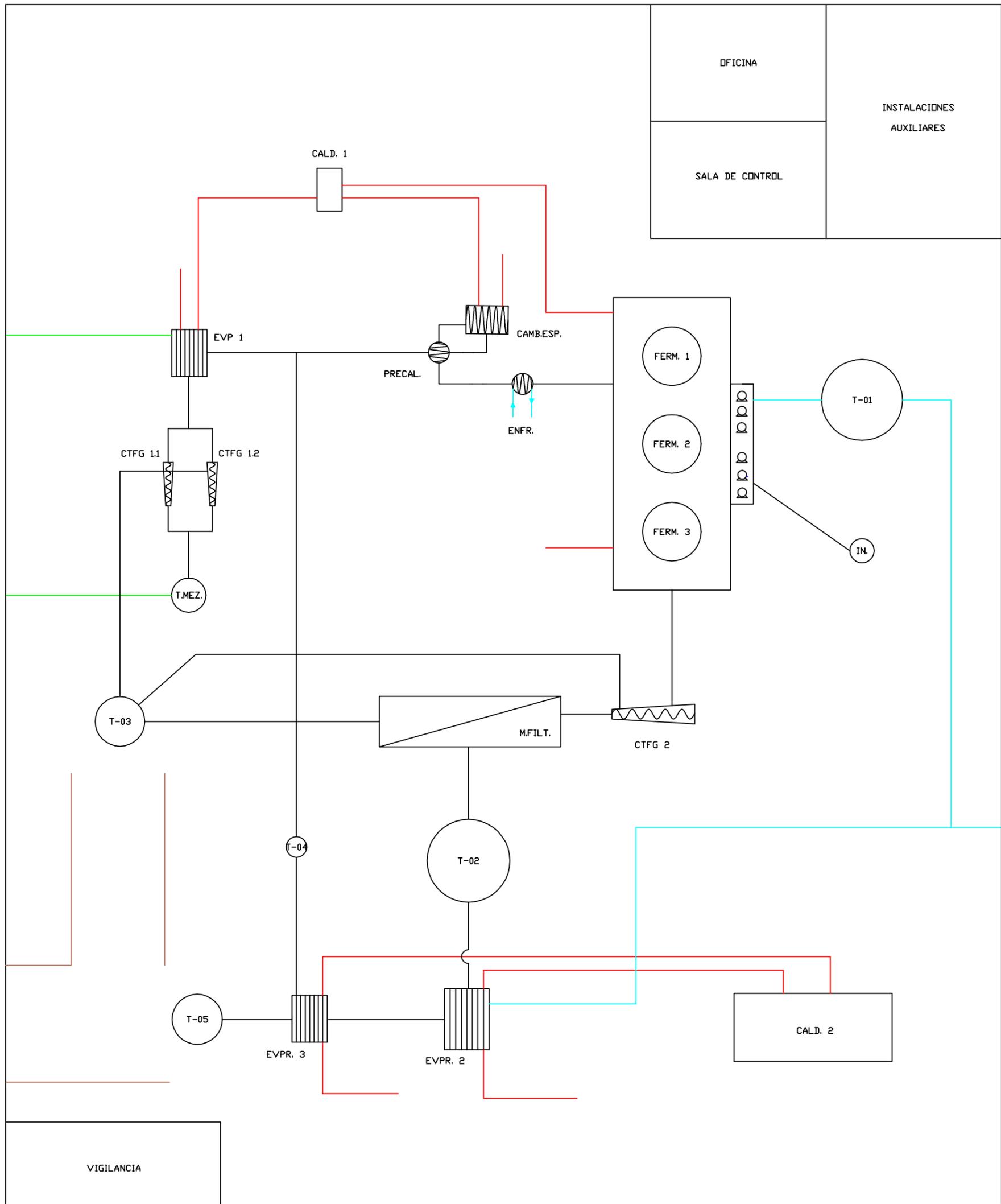


	Nombre	Firma	Fecha	UNIVERSIDAD DE CADIZ FACULTAD DE CIENCIAS
Dibujado	Amador Montouto González		19/01/10	
Comprobado	Amador Montouto González		19/01/10	
Escala 1:67	FERMENTADORES			Nº Plano: 02
				Sustituye a:
				Sustituido por:

	D	H	e	d1	d2	b	h	t	s	a	p
T-01	3461	6890	8	101,6	101,6	600	1000	13780	150	600	300
T-02	3542	7050	8	101,6	33,4	600	1000	7084	150	600	300
T-03	2123	4220	6	21.3/17.1	101,6	600	1000	4246	150	600	300
T-04	882	1740	5	10,3	10,3	500	-	1764	150	400	200
T-05	2146	4270	6	17,1	101,6	600	1000	4292	150	600	300

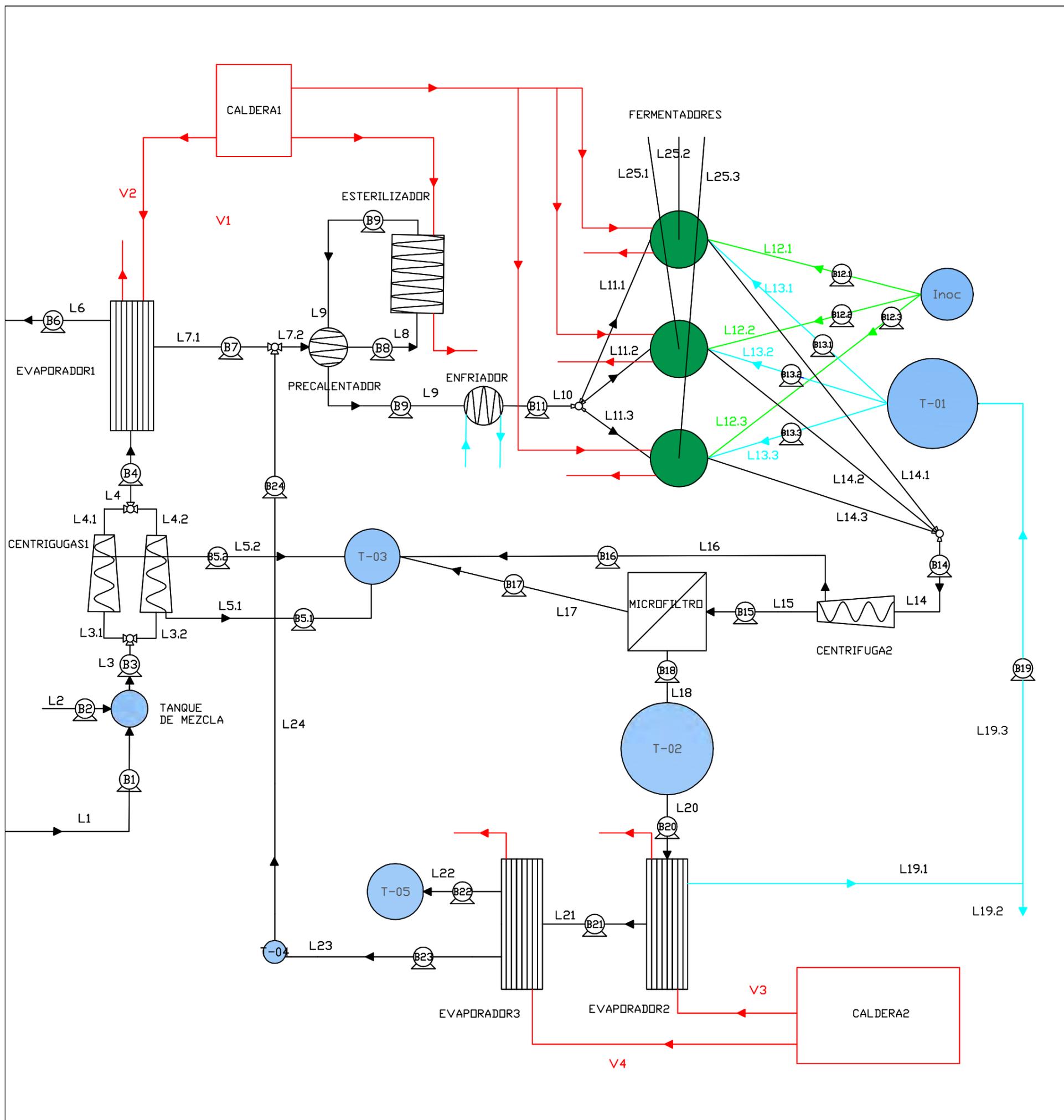


	Nombre	Firma	Fecha	UNIVERSIDAD DE CADIZ FACULTAD DE CIENCIAS
Dibujado	Amador Montouto González		19/01/10	
Comprobado	Amador Montouto González		01/02/10	
Escala	TANQUES ALMACENAMIENTO (T-01,T-02,T-03,T-04,T-05)			Nº Plano: 03
				Sustituye a:
				Sustituido por:



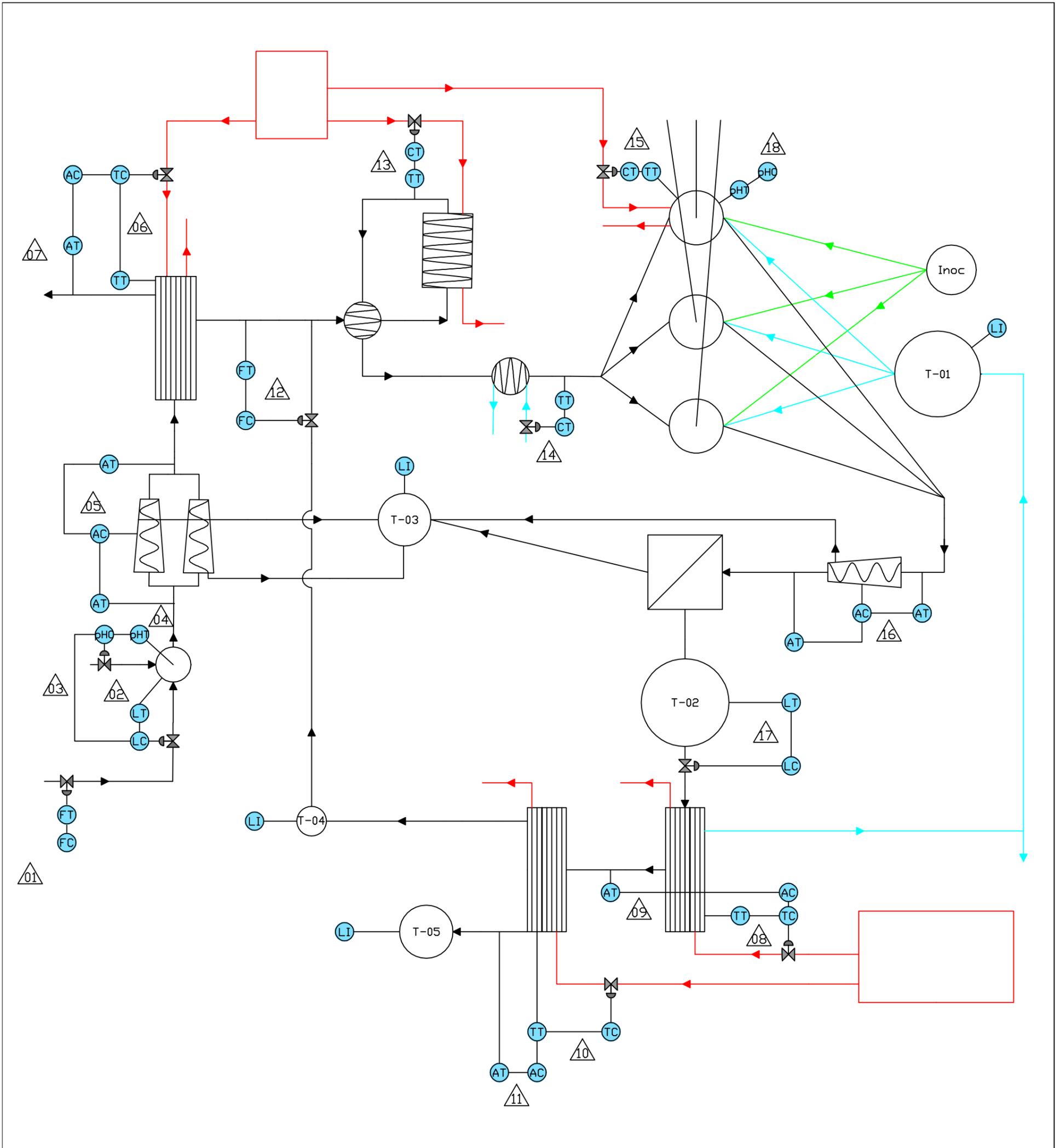
- DE/A PLANTA DE BIODIESEL
- VAPOR
- AGUA
- TRANSITO VEHICULOS

	Nombre	Firma	Fecha	UNIVERSIDAD DE CADIZ FACULTAD DE CIENCIAS
Dibujado	Amador Montouto González		19/01/10	
Comprobado	Amador Montouto González		01/02/10	
Escala 1:185	DISTRIBUCION EN PLANTA			Nº Plano: 04 Sustituye a: Sustituido por:



- INOCULO
- VAPOR
- AGUA

	Nombre	Firma	Fecha	UNIVERSIDAD DE CADIZ FACULTAD DE CIENCIAS
Dibujado	Amador Montouto González		19/01/10	
Comprobado	Amador Montouto González		01/02/10	
Escala	DIAGRAMA DE FLUJO			Nº Plano: 05
				Sustituye a:
				Sustituido por:



VARIABLES:
(1ª letra)

F: CAUDAL
L: NIVEL
pH: pH
T: TEMPERATURA
A. COMPOSICION

DISPOSITIVOS:
(2ª letra)

C: CONTROLADOR
T: TRANSMISOR
I: INDICADOR

	Nombre	Firma	Fecha	UNIVERSIDAD DE CADIZ FACULTAD DE CIENCIAS
Dibujado	Amador Montouto González		19/01/10	
Comprobado	Amador Montouto González		01/02/10	
Escala	LAZOS DE CONTROL			Nº Plano: 06
				Sustituye a:
				Sustituido por:

DOCUMENTO N° 3:

PLIEGO DE CONDICIONES

1. DISPOSICIONES GENERALES	5
1.1. OBJETIVO	5
1.2. DOCUMENTOS QUE DEFINEN LAS OBRAS	5
1.3. COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE LOS DOCUMENTOS	5
2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	6
2.1. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS	6
2.1.1. Dirección facultativa	6
2.1.2. Obligaciones y derechos del contratista	7
2.1.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares	9
2.1.4. Recepción provisional y definitiva y plazo de garantía	14
2.1.5. Casos no previstos en este pliego	16
2.2. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS	16
2.2.1. Principio general	16
2.2.2. Garantías de cumplimiento y fianzas	17
2.2.3. Penalizaciones	18
2.2.4. Precios	18
2.2.5. Medición, valoración y abono de las unidades de obra	21
2.3. CONDICIONES GENERALES LEGALES	30
2.3.1. Arbitrio y jurisdicción	30
2.3.2. Responsabilidades legales del contratista	30
2.3.3. Subcontratas	34
2.3.4. Pago de arbitrios	35
2.3.5. Causas de rescisión del contrato	35
3. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES	36

3.1. COMIENZO DE LAS OBRAS	37
3.1.1. Replanteo	37
3.1.2. Limpieza del terreno	38
3.2. MOVIMIENTO DE TIERRAS	38
3.2.1. Excavaciones	38
3.2.2. Drenaje	40
3.2.3. Vaciado de tierras	41
3.2.4. Entibaciones	42
3.2.5. Rellenos	42
3.3. CIMENTACIONES	42
3.3.1. Hormigones	42
3.3.2. Fabricación y puesta en obra del hormigón	44
3.3.3. Cimentaciones	48
3.3.4. Obra de madera	50
3.4. ESTRUCTURAS DE ACERO	50
3.4.1. Estructura de acero	50
3.4.2. Protección de la estructura	52
3.4.3. Carpintería metálica	52
3.5. ALBAÑILERÍA	52
3.5.1. Fábrica de ladrillos	52
3.5.2. Ejecución del muro de cerramiento	53
3.5.3. Ejecución de tabicados	54
3.5.4. Enfoscados, enlucidos y guarnecidos	55
3.5.5. Solados	56
3.5.6. Ejecución de alicatados	57

3.6. PINTURA	57
3.6.1. Ejecución de los trabajos de pintura	59
3.6.2. Items que necesitan ser pintados	59
3.6.3. Items que no necesitan ser pintados	59
3.7. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN Y ALUMBRADO	60
3.7.1. Características técnicas	60
3.7.2. Motores	65
3.7.3. Transformador	66
3.7.4. Puesta a tierra	67
3.7.5. Autorización y puesta en servicio de la instalación	70
3.7.6. Responsabilidad y sanciones	70
3.8. AISLAMIENTO TÉRMICO	71
3.8.1. General	71
3.8.2. Materiales	71
3.9. EQUIPOS	72
3.9.1. Pruebas	72
3.9.2. Revisiones periódicas	72
3.9.10. Entrega de los equipos	73
3.10. SALUD Y SEGURIDAD EN LA OBRA	74
3.10.1. Objeto	74
3.10.2. Condiciones técnicas	74
3.10.3. Protecciones personales y colectivas	75
3.10.4. Condiciones facultativas	78
3.10.5. Condiciones económicas	85

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 planta piloto para la bioconversión del glicerol procedente de la industria de los biocombustibles”. 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 com o 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 cumplan 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 partidaalzada 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, lim pieza 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 repasar 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:

- Deposito 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% efectuada 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 ediciones 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 m ediciones 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 la 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

Habrà 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 la 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 m³ 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 ± 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 al precio asignado en el Presupuesto 3 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 m³ 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 labores 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 estaticidad 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 cm³ de arena con el tamiz de 5mm, los cuales se vierten en una probeta de 300 cm³ con 150 cm³ 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 cm³ de arena con una solución de sosa al 3% hasta completar los 150 cm³; después de 3 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/cm². 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 procedimiento 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 las 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/cm² 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 asegure 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 m², 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/cm² 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 empararlo. 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 ± 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 m² 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 cirtas y tabiques, tanto sencillos como dobles se hará por m², descontándose de la medición los huecos existentes.

Los enfoscados guarnecidos y blanqueos se valorarán también por m² 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 cuatros 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 ± 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 m² 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 férreos 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 lim pieza 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 natura. 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 un a 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 taparán y protegerán perfectamente los envases y se limpiarán y repararán 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 m² 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 m², 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 sobrintensidades 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 el contacto directo 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 omipolares que actúen sobre el neutro al mismo tiempo que en las fases (corte omipolar 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.

Tomadas 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 mm² para las líneas principales de tierra y de 35 mm² 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 15 m.

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. 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.

3.9.2. 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.

3.9.3. 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 reemplazado 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 tabloncillos embridados, firmemente sujetos al terreno y cubierta cuajada de tabloncillos.

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 tablonces 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 50mm² y pica de acero o cobre desnudo, trenzado de 50mm² de 2 metros de longitud y $\frac{3}{4}$ 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 Mutualidad 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

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 tuvieron 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, Enero 2010

Firmado: Amador Montouto González

DOCUMENTO N° 4:

PRESUPUESTO

1. ESTADO DE LAS MEDICIONES

El estado de las mediciones es un documento básico para llevar a cabo el proyecto. Tiene como misión definir y determinar las unidades de cada partida de obra que configura la totalidad de la obra objeto del proyecto.

Para el presente proyecto consistirá en indicar la cantidad de elementos o equipos básicos que constituyen la planta de proceso, que suponen las unidades de obra de la obra total. Se indicará en que parte de la memoria se encuentra la unidad contada, sus características básicas, sus dimensiones en caso de que le aplique (si es vital conocerlas para la realización de la obra), y la cantidad requerida en las obras del proyecto.

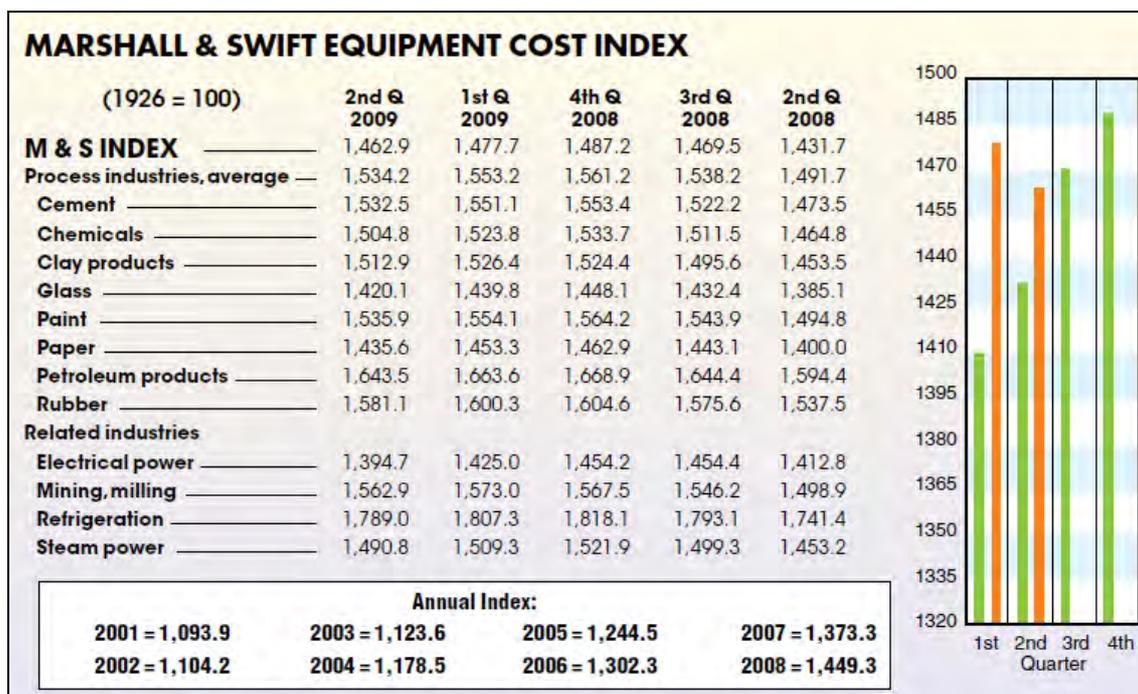
Equipo / elemento	Descripción	Dimensiones	Nº
Tanque mezcla	Tanque cilíndrico con fondos superior e inferior semielípticos. Construido en acero inoxidable AISI 304 (e = 6 mm) Agitador hélice 3 palas INOXPA NRI-B-1.11-25007-1 (0,75 KW)	V = 4,841 m ³ H = 3,23 m D = 1,452 m	1
Centrifuga 1	Centrifuga de decantación INGOR modelo DC1-220	L = 0,930 m D = 0,220 m	2
Centrifuga 2	Centrifuga de decantación INGOR modelo DC1-400	L = 1,750 m D = 0,400 m	1
Evaporador 1 y 3	Evaporador EEC-Evaposep Model CS-500	2,6 x 1,9 x 2,2	2
Evaporador 2	Evaporador EEC-Evaposep Model CS-5000	2,0 x 1,5 x 1,8	1
Pre calentador	Cambiador de calor de carcasa y tubos modelo BASCO Standard Type 500 U-Tube 06048 de 4 pasos A=3,11 m ²	L = 1,350 m D = 0,197 m	1
Esterilizador	Cambiador de calor de doble espiral Alfa Laval Área intercambio de calor: 5,2 m ²		1
Enfriador	Cambiador de calor de carcasa y tubos modelo BASCO ASME/TEMA-C U-Tube 10120 de 4 pasos. A=11 m ²	L = 3,693 m D = 0,350 m	1
Reactor biológico	Tanque cilíndrico con fondos superior e inferior semielípticos. Construido en acero inoxidable AISI 304 (e = 7 mm) Agitador hélice 3 palas INOXPA NRI-D-1.10-25040-1 (4 KW) Serpentín de calefacción de diámetro exterior (A=15,32 m ²)	V = 25,67 m ³ H = 6,684 m D = 2,194 m	3
Microfiltro	Microfiltro tangencial SIEMENS EF/EFC-2400	7,747 x 2,159 x 3,048	1
Deposito almacenam. T-01	Tanque cilíndrico con fondo superior e inferior planos Construido en acero inoxidable AISI 304 (e = 8 mm)	V = 64,22 m ³ H = 6,89 m D = 3,46 m	1
Deposito almacenam. T-02	Tanque cilíndrico con fondo superior e inferior planos Construido en acero inoxidable AISI 304 (e = 8 mm)	V = 68,89 m ³ H = 7,05 m D = 3,54 m	1
Deposito almacenam. T-03	Tanque cilíndrico con fondo superior e inferior planos Construido en acero inoxidable AISI 304 (e = 6 mm)	V = 14,78 m ³ H = 4,22 m D = 2,12 m	1
Deposito almacenam. T-04	Tanque cilíndrico con fondo superior e inferior planos Construido en acero inoxidable AISI 304 (e = 5 mm)	V = 1,04 m ³ H = 1,74 m D = 0,88 m	1

Deposito almacenam. T-05	Tanque cilíndrico con fondo superior e inferior planos Construido en acero inoxidable AISI 304 (e = 6 mm)	V = 15,30 m ³ H = 4,27 m D = 2,15 m	1
Caldera 1	Caldera pirolítica modular CERTUS tamaño 5 Producción de vapor 850 kg/h	2,290 x 1,070 x 1,835	1
Caldera 2	Caldera pirolítica ATTSU HH 5000 Producción de vapor 5000 kg/h	3,000 x 6,750 x 2900	1
Válvula 3 Vías		D=1,25 in; 1 in; 0,375 in	4
Válvula 4 Vías		D=1,25 in; 3,5 in	2
Bomba membrana	Bombas ABEL CM Compactas de Membrana Modelos CM-G-H 332, CM-G-B 261, CM-G-B 211, CM-G-B 171	-	32

2. COSTE DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES

A continuación se expone el coste de las unidades básicas para la construcción de la planta y la inversión total que supone su adquisición. Estos precios de los equipos se han calculado mediante graficas de estimación de costes obtenidas de la bibliografía, que se adjuntas al final del capítulo.

En la mayoría de los casos, el coste inicial del equipo se obtiene para un año pasado, por lo que es necesario actualizar el precio para el año q cursa. Para esto se ha recurrido a los Índices de Marshall y Swift. En el momento de la realización de este estudio, los últimos índices disponibles eran los del segundo semestre del año 2009.



Para utilizar estos índices y obtener el precio actual de las unidades, es preciso usar la expresión siguiente:

$$C_2 = C_1 \cdot \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^{0,6}$$

Donde: C_2 = Coste actual del equipo

C_1 = Coste en año anterior del equipo

I_2 = Índice de Marshall-Swift actual

I_1 = Índice de Marshall-Swift en año anterior

Por otro lado, en varios casos, la información de costes disponible para ciertos equipos, corresponde a unidades de distinta capacidad o tamaño, de manera que la estimación de coste del equipo no se puede considerar adecuada. Para estos casos, se aplica al coste de la unidad un escalado proporcional al escalado del equipo, siguiendo la expresión:

$$C_2 = C_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^n$$

Siendo: T_2 = tamaño del equipo actual

T_1 = tamaño del equipo anterior

n = cte. función del equipo (si se desconoce, el valor usual es 0,6)

Valores típicos de n para distintos equipos se exponen en la siguiente tabla:

PROCESS EQUIPMENT SIZE EXPONENT (N) - TABLE 1		
EQUIPMENT NAME	UNIT	SIZE EXPONENT (N)
Agitator, propeller	Hp	0.50
Agitator, turbine	Hp	0.30
Air compressor, single stage	cfm	0.67
Air compressor, multiple stage	cfm	0.75
Air dryer	cfm	0.56
Boiler, industrial, all sizes	lb/hr	0.50
Boiler, package	lb/hr	0.72
Centrifuge, horizontal basket	dia (inches)	1.72
Centrifuge, solid bowl	dia (inches)	1.00
Conveyor, belt	feet	0.65
Conveyor, bucket	feet	0.77

Conveyor, screw	feet	0.76
Conveyor, vibrating	feet	0.87
Crystallizer, growth	ton/day	0.65
Crystallizer, forced circulation	ton/day	0.55
Crystallizer, batch	gallons	0.70
Dryer, drum and rotatory	sq. ft.	0.45
Dust collector, cyclone	cfm	0.80
Dust collector, cloth filter	cfm	0.68
Dust collector, precipitator	cfm	0.75
Evaporator, forced circulation	sq. ft.	0.70
Evaporator, vertical and horizontal tube	sq. ft.	0.53
Fan	Hp	0.66
Filter, plate and press	sq. ft.	0.58
Filter, pressure leaf	sq. ft.	0.55
Heat exchanger, fixed tube	sq. ft.	0.62
Heat exchanger, U-tube	sq. ft.	0.53
Mill, ball and roller	ton/hr	0.65
Mill, hammer	ton/hr	0.85
Pump, centrifugal carbon steel	Hp	0.67
Pump, centrifugal stainless steel	Hp	0.70
Tanks and vessels, pressure, carbon steel	gallons	0.60
Tanks and vessels, horizontal, carbon steel	gallons	0.50
Tanks and vessels, stainless steel	gallons	0.68

En caso de que sea necesario ambas ecuaciones se combinan, resultando:

$$C_2 = C_1 \cdot \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^{0,6} \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^n$$

En otras ocasiones, será el material de construcción del equipo lo que será distinto entre el equipo base para la estimación, y nuestro equipo. En estos casos se multiplicara el coste obtenido por unos factores de corrección establecidos para cada material (en nuestro caso, esta corrección será solo la del acero inoxidable AISI 304). Estos aparecen en algunos casos en las graficas de estimación de costes que se han utilizado para el calculo del precio

de las unidades, y en los casos en los que no es así, se aplican los valores de la siguiente tabla:

Factors for Converting Carbon Steel to Equivalent Alloy Costs		
Material	Pumps, etc.	Other Equipment
All Carbon Steel	1.00	1.00
Stainless Steel, Type 410	1.43	2.00
Stainless Steel, Type 304	1.70	2.80
Stainless Steel, Type 316	1.80	2.90
Stainless Steel, Type 310	2.00	3.33
Rubber-lined Steel	1.43	1.25
Bronze	1.54	
Monel	3.33	

Así, la expresión final para el cálculo del coste de los equipos cuando sea preciso hacer escalamiento por año, tamaño y material, resulta:

$$C_2 = C_1 \cdot \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^{0.6} \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^n \cdot M$$

siendo M= factor de corrección por material.

Hay que puntualizar que dado que no se disponen de precios exactos, este cálculo del coste de los equipos principales es realmente una estimación de los mismos. Cada uno de los precios obtenidos para los equipos se han obtenido partiendo de graficas de costes extraídas de bibliografía, y en caso de no estar disponibles para un equipo concreto de la página web de Matches (www.matche.com), una empresa que se dedica a la asistencia en el diseño, operación y análisis de costes de proyectos industriales.

El método de estimación de costes que se ha seguido es la estimación de costes por equipos principales de la planta. Para método de cálculo de costes, el error está entre un +30%/-20% del coste real total.

En la tabla siguiente aparecen los costes estimados para cada unidad en el año 2009:

Equipo / elemento	Año	Precio unitario (€)	Corrección material (AISI 304=2,8)	Cantidad	Coste final (€)
Tanque de mezcla	2002	7668	2,8	1	37.373
	2009	9233			
Agitador	2002	3417	2,8	1	
	2009	4114			
Centrifuga (pretrat.)	2002	2715	2,8	2	18.307
	2009	3269			
Centrifuga (post trat.)	2002	7095	2,8	1	23.920
	2009	8543			
Evaporador 1 y 3	2002	62925	2,8	2	424.297
	2009	75767			
Evaporador 2	2002	279200	2,8	1	941.309
	2009	336182			
Precalentador	2002	3198	2,8	1	10.782
	2009	3851			
Esterilizador	2002	5541	2,8	1	18.681
	2009	6672			
Enfriador	2002	6995	2,8	1	23.583
	2009	8423			
Reactor biológico	2002	64635	2,8	3	741.994
	2009	77826			
Agitador	2002	6277	2,8	3	
	2009	7558			
Serpentín	2003	6856	No	3	
	2009	8255			
Microfiltro	2002	76923	2,8	1	259.342
	2009	92622			
Deposito almac. T-01	2002	137786	2,8	1	464.539
	2009	165907			
Deposito almac. T-02	2002	144753	2,8	1	488.027
	2009	174296			
Deposito almac. T-03	2002	7702	2,8	1	25.967
	2009	9274			
Deposito almac. T-04	2002	5952	2,8	1	20.067
	2009	7167			
Deposito almac. T-05	2002	7800	2,8	1	26.297
	2009	9392			
Caldera 1	2002	30259	2,8	1	102.017
	2009	36435			
Caldera 2	2002	69930	2,8	1	235.765
	2009	84202			

Válvula 3 Vías (D= 1,25 in)	1990	175	No	2	421
	2009	211			
Válvula 3 Vías (D= 1 in)	1990	170	No	1	205
	2009	205			
Válvula 3 Vías (D= 0,375 in)	1990	105	No	1	126
	2009	126			
Válvula 4 Vías (D= 1,25 in)	1990	175	No	1	211
	2009	211			
Válvula 4 Vías (D= 3,5 in)	1990	623	No	1	750
	2009	750			
Bomba membrana 1 (Q=4,17·10 ⁻⁴ m ³ /s)	2002	1163	2	12	30.808
	2009	1400			
Bomba membrana 2 (Q=8,33·10 ⁻⁴ m ³ /s)	2002	1888	2	9	40.920
	2009	2273			
Bomba membrana 3 (Q=1,94·10 ⁻³ m ³ /s)	2002	3486	2	5	41.975
	2009	4197			
Bomba membrana 4 (Q=9,72·10 ⁻³ m ³ /s)	2002	6973	2	6	100.753
	2009	8396			
TOTAL (€)					4.081.237

Índices de Marshall usados:

$$I_{2009} = 1504,8$$

$$I_{2002} = 1104,2$$

$$I_{1990} = 915,1$$

3. COSTE TOTAL DEL INMOVILIZADO

En el apartado previo hemos calculado el coste total de adquisición de los equipos principales que se van a instalar en la planta. Este coste, no será sin embargo, el correspondiente a instalarlos y dejarlos listos para el funcionamiento. Este coste final de puesta en servicio de todos estos elementos de la planta es el Capital de Inmovilizado.

Para determinarlo, usaremos el Método de Estimación Factorial. En el se considera el coste de los equipos sin instalar (I_E), y a continuación se le añaden una serie de factores directos e indirectos sobre el precio inicial. Estos factores, que se evalúan como fracción del I_E , tienen unos valores típicos para las plantas en las que predominan los fluidos, como en la nuestra. Se muestran en las tablas siguientes:

TABLA 12. Factores para estimar el coste total de la planta

COSTE DEL EQUIPO DE PROCESO INSTALADO		I_E
FACTORES EXPERIMENTALES COMO FRACCIÓN DE I_E		
<i>Tuberías de proceso</i>		f_1
Proceso de sólidos		0,07-0,10
Proceso mixto		0,10-0,30
Proceso de fluidos		0,30-0,60
<i>Instrumentación</i>		f_2
Control poco automatizado		0,02-0,05
Control parcialmente automatizado		0,05-0,10
Control complejo, centralizado		0,10-0,15
<i>Edificios de fabricación</i>		f_3
Construcción abierta		0,05-0,20
Construcción semiabierta		0,20-0,60
Construcción cerrada		0,60-1,00
<i>Plantas de servicios</i>		f_4
Eseasa adición a las existentes		0,00-0,05
Adición considerable a las existentes		0,05-0,25
Plantas de servicios totalmente nuevas		0,25-1,00
<i>Conexiones entre unidades</i>		f_5
Entre las unidades de servicios		0,00-0,05
Entre unidades de proceso separadas		0,05-0,15
Entre unidades de proceso dispersas		0,15-0,25
COSTE FISICO TOTAL		$I_E \left(1 + \sum_i f_i \right)$
FACTORES EXPERIMENTALES COMO FRACCIÓN DEL COSTE FISICO		
<i>Ingeniería y construcción</i>		f_{i1}
Ingeniería inmediata		0,20-0,35
Ingeniería compleja		0,35-0,50
<i>Factores de tamaño</i>		f_{i2}
Unidad comercial grande		0,00-0,05
Unidad comercial pequeña		0,05-0,15
Unidad experimental		0,15-0,35
<i>Contingencias</i>		f_{i3}
De la compañía		0,10-0,20
Variaciones imprevistas		0,20-0,30
Procesos exploratorios		0,30-0,50
Factor de costes indirectos	$f_I = \sum_i f_{i4}$	

TABLA 13. Factores experimentales típicos para sistemas de proceso en los que predominan fluidos *

COSTE DEL EQUIPO PRINCIPAL SIN INSTALAR		I_E
COSTES DIRECTOS ADICIONALES COMO FRACCIÓN DE I_E		
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
	Σf_i	1,09-2,05
COSTE DIRECTO TOTAL $(1 + \Sigma f_i)I_E$		
COSTES INDIRECTOS COMO FRACCIÓN DE LOS COSTES DIRECTOS		
Gastos generales, Gerencia		0,30
Servicios técnicos, honorarios de ingeniería		0,13
Imprevistos		0,13
	$f_I = 1 + 0,56 = 1,56$	
COSTE TOTAL $I_F = (1 + \Sigma f_i)f_I I_E = (3,1-4,8)I_E$		

* Adaptado de J. HAPPEL: *Chemical Process Economics*. Wiley, Nueva York, 1958.

En nuestro caso, siendo conscientes de que este método es una estimación, y por tanto su precisión es limitada, adoptaremos los mayores coeficientes cuando se especifique un rango posible para ellos y colocarnos así en el caso más desfavorable. A continuación se exponen los factores adoptados y el coste que supone cada uno de estos costes directos e indirectos:

Coste equipos sin instalar (€)	I E	4081237
--------------------------------	-----	---------

Costes directos adicionales	Fracción sobre I E	
Mano de obra para instalación equipos	0,2	816247
Aislamiento (de equipos y de conducciones)	0,25	1020309
Conducciones de acero al carbono	0,6	2448742
Instrumentación	0,15	612186
Cimientos	0,13	530561
Edificios	0,07	285687
Estructuras	0,05	204062
Protección contra incendios	0,1	408124
Instalación eléctrica	0,15	612186
Pintura y limpieza	0,1	408124
Total costes directos adicionales = Σf_i	1,8	7346227

Total costes directos (€)	I E (1+1,8)	11427464
----------------------------------	--------------------	-----------------

Costes indirectos	Fracción sobre costes directos	
Gastos generales, Gerencia	0,3	3428239
Servicios técnicos, honorarios de ingeniería	0,13	1485570
Imprevistos	0,13	1485570
Costes indirectos totales = Σf_i	0,56	6399380

Coste total instalación planta	I E (1+2,05)(1+0,56)	17826844
---------------------------------------	-----------------------------	-----------------

Así, la expresión que nos da nuestro Capital Total de Inmovilizado, es:

$$I_F = (1+1,8) \cdot (1+0,56) \cdot 4.081237€ = 17.826.844€$$

Se concluye pues que el coste total para realizar el presente proyecto es de: **Diecisiete millones, ochocientos veintiséis mil, ochocientos cuarenta y cuatro euros.**

En Puerto Real, Enero de 2010

Firmado: Amador Montouto González

