

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ACEITE SECO A PARTIR DE RESIDUOS VACUNOS

Mateo Bruno Pastur Romay
Óscar Pombar Álvarez
Adrián Soto Paz

Septiembre de 2014

ÍNDICE

Documento I. Memoria

- **Anexo I. Balances de materia**
- **Anexo II. Cálculos justificativos**
- **Anexo III. Análisis de viabilidad económica**
- **Anexo IV. Fichas de seguridad**
- **Anexo V. Bibliografía**

Documento II. Planos

Documento III. Pliego de condiciones

Documento IV. Estudios con entidad propia

Documento V. Presupuesto



Documento I. Memoria

Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos

1. Objeto	4
2. Justificación del proyecto y estudio de alternativas.....	5
2.1 Selección de alternativas.....	5
2.2 Selección de la materia prima.....	7
2.3 Capacidad.....	10
2.4 Productos.....	11
2.4.1 <i>Drying oil</i>	11
2.4.2 Ácido acético	12
3. Situación y emplazamiento	14
3.1 Justificación del lugar escogido	14
3.2 Datos técnicos del polígono	15
4. Descripción del proceso	18
4.1 Sección 100: Obtención de ácido palmítico a partir de los residuos grasos de matadero.....	18
4.1.1 Recepción de materias primas	18
4.1.2 Constitución de las grasas	19
4.1.3 Extracción de las grasas de los residuos grasos de matadero	20
4.1.4 Refino de las grasas.....	21
4.1.5 Desdoblamiento de grasas: obtención de glicerina y ácidos grasos	23
4.1.6 Separación de los ácidos grasos	26
4.2 Sección 200: Producción de <i>drying oil</i>	28
4.2.1 Acondicionamiento de la alimentación	28
4.2.2 Fase de reacción	28
4.2.3 Fase de separación de los compuestos	29
4.2.4 Utilidades.....	31
5. Descripción de la instalación	32
5.1 Acondicionamiento de la alimentación	33
5.1.1 Bomba centrífuga P-201 A/B.....	33
5.1.2 Horno H-201	33
5.2 Fase de reacción	34
5.2.1 Reactor R-201.....	34
5.3 Purificación y almacenamiento de los productos	35
5.3.1 Condensador E-201.....	35
5.3.2 Bomba centrífuga P-202 A/B.....	36
5.3.3 Enfriador X-201	36
5.3.4 Filtro F-201.....	36
5.3.5 Bomba centrífuga P-203 A/B.....	36
5.3.6 Intercambiador de calor E-202	37
5.3.7 Bomba centrífuga P-204 A/B.....	37
5.3.8 Columna de destilación T-201.....	37
5.3.9 Intercambiador de calor E-203.....	38
5.3.10 Bomba centrífuga P-205 A/B	39
5.3.11 Tanque de almacenamiento TK-201	39
5.3.12 Bomba centrífuga P-206 A/B	39
5.3.13 Columna de destilación T-202	40
5.3.14 Intercambiador de calor E-204	41
5.3.15 Intercambiador de calor E-205	41
5.3.16 Bomba centrífuga P-207 A/B	41
5.3.17 Tanque de almacenamiento TK-202	42
5.4 Recirculación a la sección 100	42
5.4.1 Intercambiador de calor E-206	42

5.4.2 Bomba centrífuga P-208 A/B.....	42
6. Control e instrumentación	43
6.1 Introducción.....	43
6.2 Lazo de control 201	44
6.3 Lazo de control 202	45
6.4 Lazos de control 203, 210, 212, 214, 220, 221, 228, 230	45
6.5 Lazo de control 204	46
6.6 Lazo de control 205	47
6.7 Lazo de control 206	47
6.8 Lazo de control 207	48
6.9 Lazo de control 208	48
6.10 Lazo de control 209.....	49
6.11 Lazo de control 211.....	50
6.12 Lazo de control 213.....	50
6.13 Lazos de control 215 y 222	51
6.14 Lazos de control 216 y 223	51
6.15 Lazos de control 217 y 224	52
6.16 Lazos de control 218 y 225	53
6.17 Lazos de control 219, 226, 227 y 229.....	53
6.18 Dispositivos de alivio y alarmas	54
7. Legislación, normas y códigos de diseño.....	56
7.1 Referente a la obra y la construcción	56
7.2 Referente a la seguridad y salud	57
7.3 Referente al medio ambiente.....	60
7.4 Referente al proceso	61
7.5 Normas y códigos utilizados en el diseño de equipos.....	62
8. Seguridad del proceso	63
8.1 Identificación de escenarios de incidentes	63
8.2 Disposición de los equipos en la planta.....	77
8.3 Inventario de sustancias.....	79
8.3.1 Ácido Acético.....	79
8.3.2 <i>Drying oil</i>	80

1. Objeto

El objeto del presente proyecto es el diseño de una planta de *producción de aceite seco a partir de residuos vacunos*, el cual se plantea como Trabajo Fin de Grado para la obtención del título como graduado en Ingeniería Química por la Universidad de Santiago de Compostela.

Así pues, la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Santiago de Compostela constituye el peticionario del citado documento, por el cual los alumnos Mateo Bruno Pastur Romay, Óscar Pombar Álvarez, y Adrián Soto Paz optan al título de graduado en Ingeniería Química.

2. Justificación del proyecto y estudio de alternativas

En este apartado se analizará el problema primitivo y los posibles procesos que pueden utilizarse, así como las posibles materias primas del proceso. En función del proceso seleccionado se explicarán las características principales de los productos, y si la producción es posible con la materia prima seleccionada.

2.1 Selección de alternativas

En la actualidad se utilizan aceites secos naturales que tienen un bajo poder secante, y por lo tanto, es necesario emplear una gran cantidad para que cumplan su función. Debido a esto surge la necesidad de obtener aceites con un mayor poder secante, para así reducir la cantidad empleada. El problema primitivo es, por lo tanto, producir un aceite sintético de alto poder secante.

A continuación se presentan las distintas alternativas para obtener aceites secantes sintéticos:

- Una forma de obtenerlos es partiendo de un producto semielaborado, el ácido palmítico. La reacción produce 1-tetradeceno, conocido como *drying oil*, y ácido acético como subproducto. El principal inconveniente es que se forma goma (1-octacoseno) en una reacción secundaria al reaccionar una parte del *drying oil* formado.
- Para la producción de 1-tetradeceno también existe otro proceso. En él se obtienen alpha-olefinas de C₆ a C₃₀, mediante la oligomerización de etileno con un catalizador de trietilo de aluminio. Este proceso obtiene una gran cantidad de productos, por lo que sería muy difícil poder satisfacer la demanda necesaria de aceite secantes.
- Existen también más procesos para la obtención de aceites secantes sintéticos. Uno de ellos fue patentado por Münzel Chemische Unternehmungen A.G, en él a partir del ricino se obtendría, en varias etapas

de reacción, el trienol y el dienol que tienen las propiedades de los aceites secantes. El tren de reacción se puede ver a continuación:

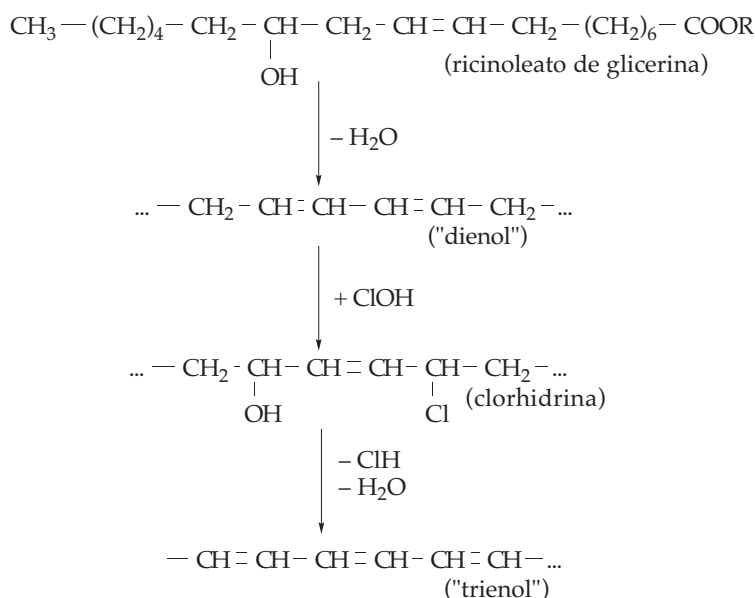


Ilustración 1. Tren de reacción del ricino

De este proceso se desconoce más información, ya que como se dijo anteriormente la patente es propiedad de una empresa suiza, y no se han encontrado más datos.

- En la actualidad, algunas empresas obtienen aceites secantes de mayor calidad a partir de combinaciones de ácidos sintéticos como 2-Etil-Hexanoico, Isonanoico y Neodecanoico con metales de Cobalto, Manganeso, Calcio, Plomo, Zirconio o Zinc. Este proceso se descarta debido a que las materias primas del proceso serían compuestos químicos con un alto coste, y como se estudiará en el siguiente apartado, hay alternativas mejores desde el punto de vista económico y medioambiental.

El aceite secante seleccionado es el 1-tetradeceno debido a que aparte de tener unas buenas propiedades como agente secante tiene otros usos importantes

como se explicará a continuación en el apartado de productos finales. También es uno de los aceites secantes más usados, y por lo tanto será más fácil su venta.

A pesar de que la goma se trata de un residuo, se elige este proceso para satisfacer el problema primitivo debido a que se obtienen dos productos con valor comercial, como son el propio *drying oil* y el ácido acético.

Otro de los motivos por los que se escoge el proceso que parte de ácido palmítico, es que este compuesto puede ser extraído de residuos de matadero. De esta forma, se le está dando salida a un residuo que necesitaría de un tratamiento especial.

2.2 Selección de la materia prima

Para llevar a cabo la alternativa seleccionada será necesario que unas materias primas sufran una serie de transformaciones físico-químicas, y se transformen en el producto deseado.

Para la producción de *drying oil*, el producto semielaborado del que se parte es el ácido palmítico. Este último y otros ácidos grasos se encuentran presentes en las grasas de origen vegetal, animal o industrial. De las grasas se extraen los ácidos grasos, que se separan por medio de una destilación a vacío o una cristalización, siendo la primera la de mayor rendimiento.

En la Tabla 1 se reflejan los distintos porcentajes de ácido palmítico en las principales grasas.

Tabla 1: Porcentaje en peso de ácido palmítico en distintas grasas (Fuente: FEDNA)

Materia prima	% de ácido palmítico
Algodón	23,8
Soja	10,1
Palma	42,5
Lecitinas de soja	18
Sebo vacuno	24,8
Manteca	23,4
Grasa de pollo	21
Jabón de palma	44,5
Grasas hidrogenadas	45

La mayor parte de estas grasas están destinados a la venta, por tanto usarlas como materia prima del proceso supone la compra de un producto con un cierto valor. Hay otras, como el sebo vacuno que se encuentra presente en los residuos de los mataderos, que tienen un valor menor, ya que se está manipulando un residuo que en un principio carece de valor.

La selección de los residuos de matadero como materia prima tiene varios motivos:

- El primero de ellos es el bajo precio de adquisición, ya comentado anteriormente.
- El segundo es un motivo medioambiental, ya que actualmente en los mataderos se generan una gran cantidad de residuos que conllevan grandes problemas de contaminación. Muchos de estos mataderos necesitan el servicio de empresas auxiliares para su tratamiento, por lo que les supone un coste adicional.
- Finalmente existe el problema de que debido a los cambios alimentarios de la población mundial, se consumen carnes con un menor contenido de grasas, lo que hace que en los mataderos se acumule un residuo con mayor contenido en grasas, al que se le debe buscar una salida lo más económica posible.

El ácido palmítico se encuentra en distintos residuos de mataderos, no solo en el vacuno. La principal razón de tratar residuos vacunos es que tiene un porcentaje considerable de ácido palmítico, y aparte se genera un gran volumen de residuos, sobre todo en Galicia que es el lugar geográfico donde se situará la planta.

En la Tabla 2 se refleja la composición del sebo vacuno. Se puede observar que contiene una gran cantidad de compuestos que también podrían ser tratados para obtener otros productos o ser vendidos como compuestos químicos para distintos fines, principalmente el ácido esteárico y el ácido oleico.

Tabla 2: Composición del sebo vacuno (Fuente: FEDNA)

Compuesto	Porcentaje
C_{<14}	Trazas
Ácido mirístico, C_{14:0}	3,2
Ácido Palmítico, C_{16:0}	24,8
Ácido Palmitoleico, C_{16:1}	3,2
Ácido esteárico, C_{18:0}	21,3
Ácido oleico, C_{18:1}	38,3
Ácido linoleico, C_{18:2}	2,0
Ácido linolénico, C_{18:3}	Trazas
C_{>20}	Trazas

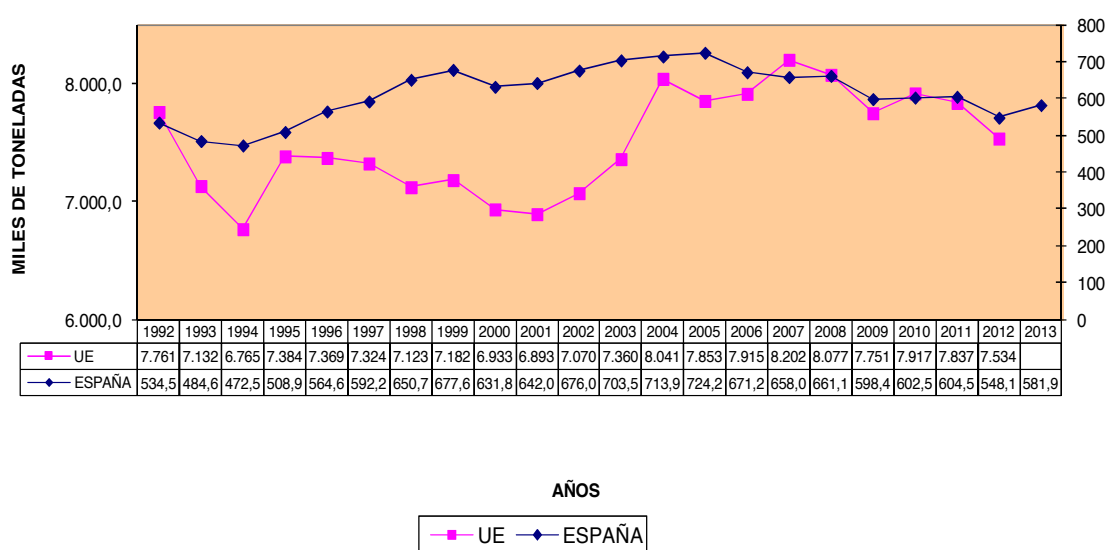
Los ácidos grasos obtenidos del sebo vacuno también tienen otros usos importantes como la generación de biodiesel, y otras muchas como se refleja en la Tabla 3.

Tabla 3: Aplicaciones de los principales ácidos grasos del sebo vacuno. (Fuente: “Introducción a la Química Industrial” Ángel Vian Ortuño. 2ª Edición. Editorial Reverté. 2012 Madrid. Página:567)

Aplicación	Ácido palmítico	Ácido esteárico	Ácido oleico
Jabones y tensoactivos	X	X	X
Cosméticos. Productos farmacéuticos.	X	X	X
Productos textiles		X	X
Pinturas y barnices	X	X	X
Caucho		X	X
Velas y ceras		X	X
Desinfectantes e insecticidas			X
Plásticos		X	X
Papelería		X	X
Lubricantes		X	X
Emulgentes	X	X	X

2.3 Capacidad

La producción en España de vacuno durante el año 2013 fue de 581.900 toneladas, obtenida a partir de la Gráfica 1. La Comunidad Autónoma de Castilla y León produce el 21%, Galicia el 16%, y Asturias menos del 5%.



Gráfica 1: Producción de Carne Vacuno en España y la UE entre 1992 y 2013 (Fuente: datos de EUROSTAT y SGT MARM, elaborada por S.G de Productos Ganaderos)

A partir de los datos anteriores se obtiene que la producción de Carne Vacuno en Galicia durante el año 2013 fue de 93.104 toneladas. En Castilla y León fue de 122.199 toneladas, y en Asturias fue de cerca de 20.000 toneladas.

Esta producción es en peso canal, que tiene una relación de 0,55-0,60 con el peso vivo del animal, por tanto el resto se tratará de residuos. El residuo contiene entre un 16 y un 30% de grasas, de las que se podrían extraer cerca de 30.000 t/año de ácido palmítico, suficiente para satisfacer la producción. Debido a que es posible no tener acceso a toda el residuo vacuno, se comprará el 10% de la necesidad de ácido palmítico a un proveedor.

2.4 Productos

En el proceso se producen dos productos principalmente, el *drying oil* y el ácido acético. En este apartado se describirán sus principales aplicaciones.

2.4.1 Drying oil

El 1-Tetradeceno es una α -olefina de 14 carbonos con una insaturación en uno de sus extremos, su formula química es $C_{14}H_{28}$. A temperatura ambiente es un líquido incoloro o ligeramente blanco de densidad menor que el agua, tiene un punto de ebullición de $252^{\circ}C$, y reacciona con oxidantes fuertes, auto-oxidándose en contacto con el aire.

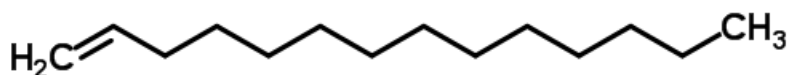


Ilustración 2. Estructura del 1-Tetradeceno.

Se utiliza en la producción de aminas, óxidos de aminas, oxo-alcoholes, compuestos aromáticos, α -olefinas sulfonadas, epóxidos, ácidos grasos sintéticos. También se utiliza en los aceites de bronceado, y tiene uso como aceite secante debido a su auto oxidación en contacto con el aire.

Los aceites secantes reciben este nombre debido a que en contacto con el aire forman capas finas sólidas, resultado de una polimerización por la acción del oxígeno, conocida como auto oxidación. Los principales usos de los aceites secantes son en la manufactura de pinturas, barnices, resinas sintéticas, y tintas de impresión.

Existen aceites secantes de origen natural, siendo los mas utilizados el aceite de linaza y el aceite de tung. A los aceites secantes naturales tan solo les confiere el poder “secante” un porcentaje de ellos, necesitándose mayores cantidades para un mismo fin, como ya se mencionó anteriormente.

Los aceites secantes sintéticos, como es el caso del 1-tetradeceno, son puramente secantes, por lo que se necesitan cantidades menores. Otro factor importante es la presencia de insaturaciones que favorecen la auto oxidación y por tanto actúan de forma más rápida.

2.4.2 Ácido acético

En la reacción principal del proceso aparte del producto principal del proceso, que es el 1-Tetradeceno, se produce una cantidad considerable de ácido acético que tiene diversos usos y un valor considerable en el mercado, aumentando la rentabilidad del proceso.

El ácido acético, también conocido como ácido etílico o ácido etanoico entre otros, está formado por dos átomos de carbono y un grupo carboxilo que le confiere el poder de ser un ácido débil. Tiene un punto de fusión de 16,7°C, en estado líquido es corrosivo e incoloro, con olor acre y tiene una densidad mayor que el agua. Su punto de ebullición es de 118°C. Es inflamable y hay riesgo de incendio y explosión en contacto con ácidos y bases fuertes, el aire y algunos compuestos químicos.

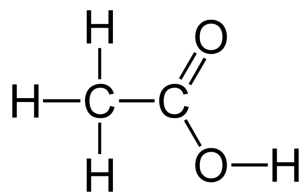


Ilustración 3. Estructura del Ácido Acético.

Sus principales aplicaciones son en la obtención de acetato de vinilo, anhídrido acético y la obtención de diversos derivados con usos en herbicidas, detergentes, sector textil y farmacéutico entre otros.

3. Situación y emplazamiento

3.1 Justificación del lugar escogido

Para la ubicación de la planta será necesario tener en cuenta una serie de factores tales como la disponibilidad de buenas comunicaciones por carretera, facilidad para la llegada de materia prima, e infraestructura adecuada en cuanto a energía eléctrica, telecomunicaciones y saneamiento.

Por ello, la planta de *producción de aceite seco a partir de residuos vacunos* se situará en el Polígono Industrial Morelle que se encuentra localizado en la carretera C-535, en la localidad de Sarria; Lugo.

Los residuos de vacuno, llegan a la planta únicamente por medio de camiones procedentes de distintos mataderos. Por este motivo, la distancia o la disponibilidad del resto de comunicaciones: ferroviaria, por aire o por mar, son de menor importancia que las comunicaciones por carretera.

A la hora de seleccionar este emplazamiento se tuvo en cuenta su localización en el centro de la zona de recogida de materias primas, ya que se sitúa relativamente cerca de todos los puntos de producción de las materias primas (mataderos), y cuenta con excelentes comunicaciones por carretera con las principales ciudades de Galicia, norte de Portugal, oeste de Castilla y León y Asturias.

La localización del polígono en la pequeña localidad de Sarria encuentra su principal motivo en la creación de un radio de 300 kilómetros aproximadamente en torno a dicha villa, con el fin de abarcar las regiones mencionadas anteriormente en el interior de esta circunferencia.

Las distancias a los distintos lugares de donde proviene la materia prima, así como las carreteras que se emplean se recogen en la Tabla 4.

Tabla 4: Distancia a las principales ciudades donde se recogerán residuos

Lugar de referencia	Distancia	Carreteras
Santiago de Compostela	143 km	A6
Ourense	87 km	N-120
Pontevedra	223 km	A6+A54
Lugo	33 km	LU-546
A Coruña	126 km	A6
Ferrol	136 km	A8+AG 54
Vigo	179 km	A52
Oviedo	277 km	A8
Gijón	273 km	A8
Ponferrada	119 km	A8
León	228 km	A6
Porto	300 km	A52+A55+IP 1
Braga	254 km	A52+A55+IP 1
Zamora	306 km	A6

Otro de los motivos de situar la fábrica en un polígono industrial es que cuenta con una serie de servicios para todas sus parcelas:

- Abastecimiento de agua.
- Red de energía eléctrica.
- Saneamiento de aguas residuales y pluviales.
- Telecomunicaciones.
- Subministro de gas.
- Servicio de recogida basura

3.2 Datos técnicos del polígono

En Polígono Industrial de Morelle se encuentra recientemente en proceso de crecimiento. Una vez construida la fase 1ª surgió la necesidad de acometer la 2ª

fase de la actuación, ante la falta de suelo industrial urbanizado en el municipio, y la demanda real existente del mismo.

La distribución de la fase 2º del Polígono Industrial de Morelle se muestra en la Figura 1. Más detalles sobre el emplazamiento se detallan en el Plano 01.

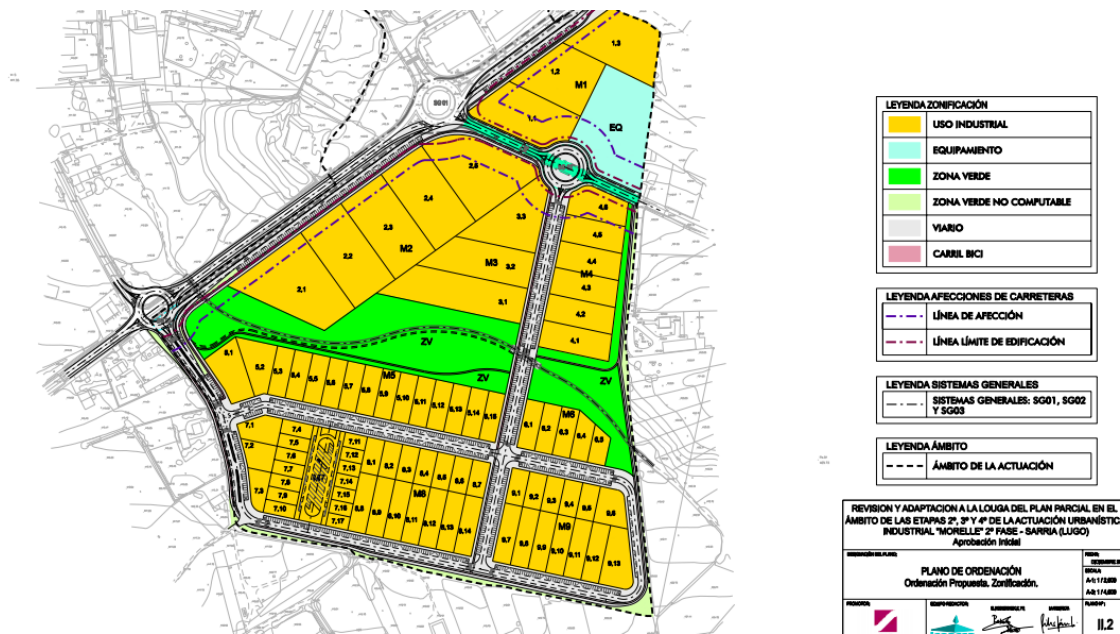


Figura 1: Mapa de la distribución de parcelas de el Polígono de O Morelle

De los 351.072,94 m² de suelo de los que dispone, la distribución en cuanto a los usos del mismo sería la que se puede ver en la Tabla 5:

Tabla 5: Distribución de la superficie del Polígono de O Morelle

	Superficie Total	Superficie Lucrativa	Edificabilidad
	m ²	m ²	m ²
Fase 1º	118.280,95	88.790,76	66.593,07
Fase 2º	232.791,99	110.780,35	110.780,35
TOTAL	351.072,94	228.917,03	117.373,42

De entre todas las parcelas disponibles, se selecciona la parcela M2, de 31.983 m² de superficie total, situada en la fase 2º del polígono como la más

adecuada teniendo en cuenta las necesidades actuales de espacio y posibles ampliaciones y equipos que completen el proceso.

4. Descripción del proceso

El proceso de obtención de aceite seco a partir de residuos vacunos tiene dos partes bien diferenciadas. La primera de ellas es la obtención del ácido palmítico a partir de los residuos grasos de los mataderos, este proceso se llevará a cabo en la sección 100 de la planta. La sección 200 de la planta, y en la que se centrará el presente proyecto, se encarga de producir el aceite seco a partir del ácido palmítico obtenido en la sección 100.

4.1 Sección 100: Obtención de ácido palmítico a partir de los residuos grasos de matadero

4.1.1 Recepción de materias primas

La llegada de los residuos de los mataderos a la planta debe hacerse de una forma específica para que estos se conserven de la mejor forma posible, y no atenten contra la salud pública. Esta forma viene recogida en el Reglamento 1069/2009/CE, también existen recomendaciones en el BREF de Mataderos e Industria de Subproductos Animales.

El Reglamento anteriormente mencionado establece que los residuos o subproductos deben ser transportados en paquetes nuevos precintados, contenedores a prueba de fugas, o vehículos. En el caso de esta planta se hará en vehículos, debido a la cantidad de residuos que se transportarán, y la distancia que deben recorrer.

Los vehículos serán reutilizables, y por lo tanto, deberán cumplir los siguientes requisitos:

- Limpiarse, lavarse, y desinfectarse después de cada uso.
- Conservarse en condiciones limpias.
- Limpiarse y secarse antes de su uso.

Es muy importante evitar los problemas asociados con el derramamiento o fuga de cualquier material. Para ello debe diseñarse adecuadamente el vehículo y cuidarse las operaciones de carga/descarga.

La técnica utilizada para la carga/descarga es la construcción de un túnel o área cubierta, lo suficientemente grande para albergar el vehículo completo. Las puertas de entrada y salida del túnel deben poder ser cerradas y abiertas con facilidad. Estas puertas permanecerán cerradas en la descarga de materias primas.

Los vehículos se recomiendan que transporten los materiales a una temperatura inferior a los 5°C. El vehículo será diseñado de tal forma que facilite la carga/descarga de materias primas. El suelo deberá tener un acabado químicamente resistente para prevenir el daño de los productos químicos usados diariamente para la limpieza, además de que puede que sea necesaria en ocasiones una esterilización a presión.

4.1.2 Constitución de las grasas

El ácido palmítico que se utiliza para producir *drying oil* es obtenido a partir de los residuos grasos de los mataderos. A continuación se explicarán brevemente las etapas principales que se emplean habitualmente en la obtención de ácidos grasos a partir de residuos grasos de matadero.

El proceso de obtención de los distintos ácidos grasos no es objeto de diseño en este proyecto, pero se describirá brevemente, ya que influye directamente en la sección de la planta diseñada.

Las grasas que son muy abundantes en los tejidos de plantas y animales, están formados por la combinación de ácidos grasos y glicerina. Junto a los glicéridos, que son ésteres glicerínicos de ácidos grasos, las grasas contienen pequeñas cantidades de vitaminas, proteínas, esteroides, colorantes, hidrocarburos, y agua. En su mayor parte, las sustancias que acompañan a los glicéridos son insaponificables, contrariamente a la fracción grasa, lo que facilitará su separación.

Los ácidos grasos que se encuentran en las grasas van desde cadenas de 12 carbonos hasta cadenas de 18 carbonos. En las grasas vacunas los componentes principales son el ácido palmítico, ácido oleico y ácido esteárico, por lo que el proceso se centrará en estos tres.

4.1.3 Extracción de las grasas de los residuos grasos de matadero

El proceso comienza con la llegada de los residuos procedentes de los mataderos. Estos deben transportarse en camiones acondicionados para que la materia prima llegue en el mejor estado posible. Los residuos del matadero son depositados en cámaras de almacenamiento y deberán ser tratados en un período de 24 horas, ya que corren el peligro de ser degradados si se tratan en un período superior.

La composición de los residuos grasos depende de la edad, sexo, peso alcanzado, y raza de los animales de los que procede, estando compuesta principalmente por agua, grasa, y residuo seco.

El primer paso para la extracción de las grasas animales del tejido graso del residuo es hacer pasar estos residuos por un triturador, que reduce el producto bruto a trozos de aproximadamente 1 cm. Los residuos son llevados al triturador mediante tornillos transportadores debido a su tamaño y formas irregulares.

Las máquinas trituradoras son molinos de cilindros con dos pares de cilindros. Estos están estriados o dentados, y giran a velocidades diferentes. Cuando son dos los pares de cilindros, los superiores están dentados o estriados más gruesamente que los inferiores. En el triturador se logra un tamaño homogéneo de la materia prima, que permitirá un tratamiento térmico posterior más uniforme y completo. El triturador debe estar protegido por imanes para evitar los problemas que se puedan producir por la presencia de piezas metálicas.

La siguiente etapa es la fusión de los residuos triturados. La fusión puede verificarse sin que el agua o vapor se ponga en contacto con el residuo, o por contacto directo con los mismos. Se distingue según esto la fusión en seco y la fusión húmeda. El objetivo de esta etapa es lograr la fusión de las grasas y deshidratar el producto que se introduce, de tal modo, que a la salida se obtiene una mezcla de grasa fundida y residuo seco.

Para la separación del residuo, la mezcla se pasa por una prensa de tornillo. Como el rendimiento máximo que se puede obtener en este tipo de separadores es del 90% es necesario eliminar los sólidos restantes, y así purificar la grasa haciendo pasar la salida de la prensa de tornillo por un separador centrífugo.

Si el contenido en grasa del residuo seco es lo suficientemente alto, puede llegar hasta el 40% en peso, se procede a su agotamiento mediante el tratamiento en autoclave agitado seguido de una extracción con lipodisolventes. El disolvente se recupera por destilación. Por otra parte, el destino de la grasa extraída obliga a recuperar también el disolvente que haya podido retener. Para ello, se somete a una inyección de vapor, el cual arrastra el disolvente restante. El residuo seco puede ser enviado a fábricas de pienso o de harinas de carne.

La temperatura en los tanques de almacenamiento de la grasa será próxima a los 65°C, pues a esta temperatura se detienen los procesos enzimáticos y bacteriológicos y, de esta manera, la grasa se mantiene estable.

4.1.4 Refino de las grasas

Las grasas tienden con facilidad a la fermentación, por tanto su tratamiento debe ser rápido. Si el tratamiento no es el correcto, pueden aparecer en las grasas sustancias como:

- Materias sólidas libres
- Sustancias sólidas en estado coloidal

- Sustancias colorantes
- Sustancias odorantes

Mediante un proceso de refinado se consigue liberar a la grasa de sustancias que afecten al color, acidez, y transparencias que son los principales factores que afectan para la obtención de aceites secos. Para la separación de los compuestos que afectan a las propiedades de las grasas se llevan a cabo las siguientes operaciones:

- Deslecitinación: los fosfatidos provocan que se originen decantaciones durante el almacenamiento de la grasa bruta y que se formen espumas al calentarla, por tanto es de gran importancia su eliminación. Para ello se aplica un tratamiento que consiste en una coagulación-floculación con agua a 80°C y posterior centrifugación.
- Desfangado: la separación de las materias sólidas libres se lleva a cabo mediante una centrífuga con descarga intermitente de las impurezas.
- Desgomado: las sustancias sólidas en estado coloidal provocan turbiedad en las grasas, su eliminación tiene lugar en un proceso de coagulación de la dispersión coloidal, que puede tener lugar en presencia de un floculante. Este proceso es continuo a 65-75°C, con agua o agentes floculantes como disoluciones muy diluidas de ácidos. Es importante trabajar siempre dentro del intervalo de temperaturas, ya que por debajo de 65°C las grasas se vuelven muy viscosas, y por encima del intervalo las sustancias a separar aumentan considerablemente su solubilidad. Para finalizar la separación se decanta o centrifuga el sólido precipitado. Finalmente se lavan con agua las grasas para obtener un pH neutro.
- Decoloración: la separación de las sustancias colorantes comienza con una deshidratación a 60-80°C y a una presión de 50-70 mm de Hg. A continuación tiene lugar la propia decoloración, que consiste en un proceso de adsorción sobre tierras o carbón activo a una temperatura de 100-110°C.

- Desodorización: la eliminación de sustancias odorantes se realiza por arrastre con vapor de agua. Se debe operar a baja temperaturas para evitar destilaciones parciales, procesos de polimerización e hidrólisis, para ello se opera a una presión de 4-6 mm de Hg y 200-230°C. Trabajando en estas condiciones también se evita la oxidación atmosférica.

4.1.5 Desdoblamiento de grasas: obtención de glicerina y ácidos grasos

Una vez obtenida la grasa purificada, el siguiente paso es aplicar un método que permita obtener los ácidos grasos a partir de ella. El método se conoce por el nombre de desdoblamiento de la grasa, y consiste en la reacción entre grasa y un exceso de agua para la obtención de glicerina y ácidos grasos. La reacción general de desdoblamiento es la hidrólisis:

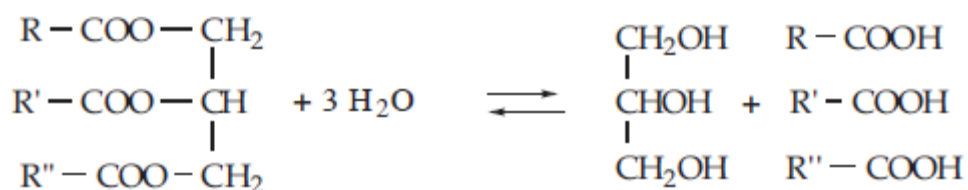


Ilustración 4. Hidrólisis (desdoblamiento de la grasa)

La dificultad de la reacción radica en la inmiscibilidad del agua y la grasa a desdoblar. Todo lo que contribuya al más íntimo contacto de los reactantes favorecerá a la reacción: agitación, temperatura, presión, y catalizadores que provoquen acciones superficiales tendentes a que el agua moje a la grasa. Esto explica las diversas variantes o direcciones de trabajo que existen para el desdoblamiento de las grasas.

Hay cuatro direcciones de trabajo para el desdoblamiento de las grasas con fines industriales:

- Sin presión, forzando la hidrólisis con ácido y catalizador (método de Twitchell).
- Con presiones medias y activando la hidrólisis por adición de cal (método alcalino).
- Por hidrólisis a alta presión y sin catalizador.
- Desdoblamiento con producción de jabón (saponificación).

El método Twitchell es barato de instalación, pero consume mucho vapor, es lento, y no siempre da productos de la pureza deseable, por los restos del reactivo que les acompaña. El método alcalino es más caro de instalación que el Twitchell, pero ahorra mucho vapor y tiempo, y da productos más puros. Este último se tiende a emplear en combinación con el Twitchell.

Los métodos de alta presión son ideales para grandes producciones y además son continuos. No emplean catalizador, por lo que la pureza de los productos es mejor, y menos laborioso el acabado de calidad. Destacan el método Emery-Colgate y el método Cow.

El método de trabajo utilizado es el de alta presión, debido a que no añade compuestos químicos al proceso y se utiliza en grandes producciones.

Los métodos actuales de alta presión consisten en una batería de columnas de 4 a 6. La grasa y el agua entran en sucesivas columnas en contracorriente. La temperatura de operación, 225 a 230°C, se mantiene por inyección de vapor de alta presión (30 atm). En las columnas se introduce el agua por un extremo superior y la grasa por el extremo inferior. Un esquema simplificado de la operación se puede ver en la Figura 2.

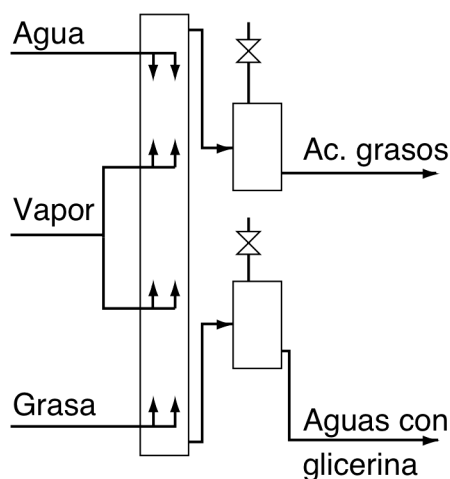


Figura 2: Esquema simplificado del Método de alta presión.(Fuente: “Introducción a la Química Industrial” Ángel Vian Ortuño. 2ª Edición. Editorial Reverté. 2012 Madrid. Página:568)

Dadas las características del mercado del desdoblamiento de grasas la operación se suele efectuar en continuo, lo que lleva consigo una serie de ventajas que se pueden ver en la Tabla 6:

Tabla 6: Comparación entre el desdoblamiento de grasas en continuo y discontinuo (Fuente: Fuente: “Introducción a la Química Industrial” Ángel Vian Ortuño. 2ª Edición. Editorial Reverté. 2012 Madrid. Página:569)

Hidrólisis	Discontinua	Continua
Grado de desdoblamiento (%)	88-90	99
Concentración de glicerol (%)	7-10	12-16
Capacidad (t/ día)	36	80-90
Operarios diarios	6	3
Consumo de vapor (kg/t)	1000	800

Al operar con exceso de agua resulta prácticamente como monomolecular. El producto contiene dos fases, una fase acuosa que lleva glicerina en disolución, y una fase orgánica que contiene los ácidos grasos. Estas dos fases deben ser tratadas para su posterior utilización.

A partir de las aguas glicerinosas se obtiene la glicerina, concentrándola por evaporación-destilación. El exceso de agua ha de responder a un óptimo económico determinado por los costes de evaporación, que crecen con la cantidad de agua, y el rendimiento del desdoblamiento, que disminuye al hacerlo el exceso

de agua en el primer miembro de la ecuación de equilibrio. Este compromiso se alcanza normalmente entre los siguientes límites: 88 a 92% de desdoblamiento y 7 a 10% de glicerol en las aguas glicerinosas.

La separación de los distintos ácidos grasos constituyentes de la grasa se realiza por diferentes procedimientos:

- Por enfriamiento, para que cristalicen los de carácter saturado, y subsiguiente filtración.
- Por destilación-rectificación, a presión reducida.
- Por destilación molecular.

4.1.6 Separación de los ácidos grasos

El método seleccionado es la destilación a presión reducida, ya que es la que mejor trabaja con grandes producciones y en continuo.

La mezcla de ácidos grasos contiene principalmente ácido palmítico, ácido oleico y ácido esteárico. La secuencia de separación consiste en dos columnas de destilación, ambas operan a vacío (4-6 mm de Hg) debido a que las altas temperaturas de ebullición de los tres ácidos pueden dañar el producto.

Debido a que se carece de datos de procesos industriales, se procedió a realizar una simulación en el simulador de procesos químicos *HYSYS*, para conocer, de forma aproximada, el grado de separación y así determinar la composición exacta del ácido palmítico que se obtiene. El contenido de impurezas es muy importante, ya que afectará directamente al diseño de la sección 200.

El ácido palmítico es el producto de cabezas de la segunda columna de destilación, obteniéndose con una concentración del 97,16%. Existe un 1,55% de ácido oleico y el resto son trazas de ácido esteárico.

En la Figura 3 se muestra un esquema de las operaciones que se realizan para obtener el ácido palmítico a partir de los residuos.

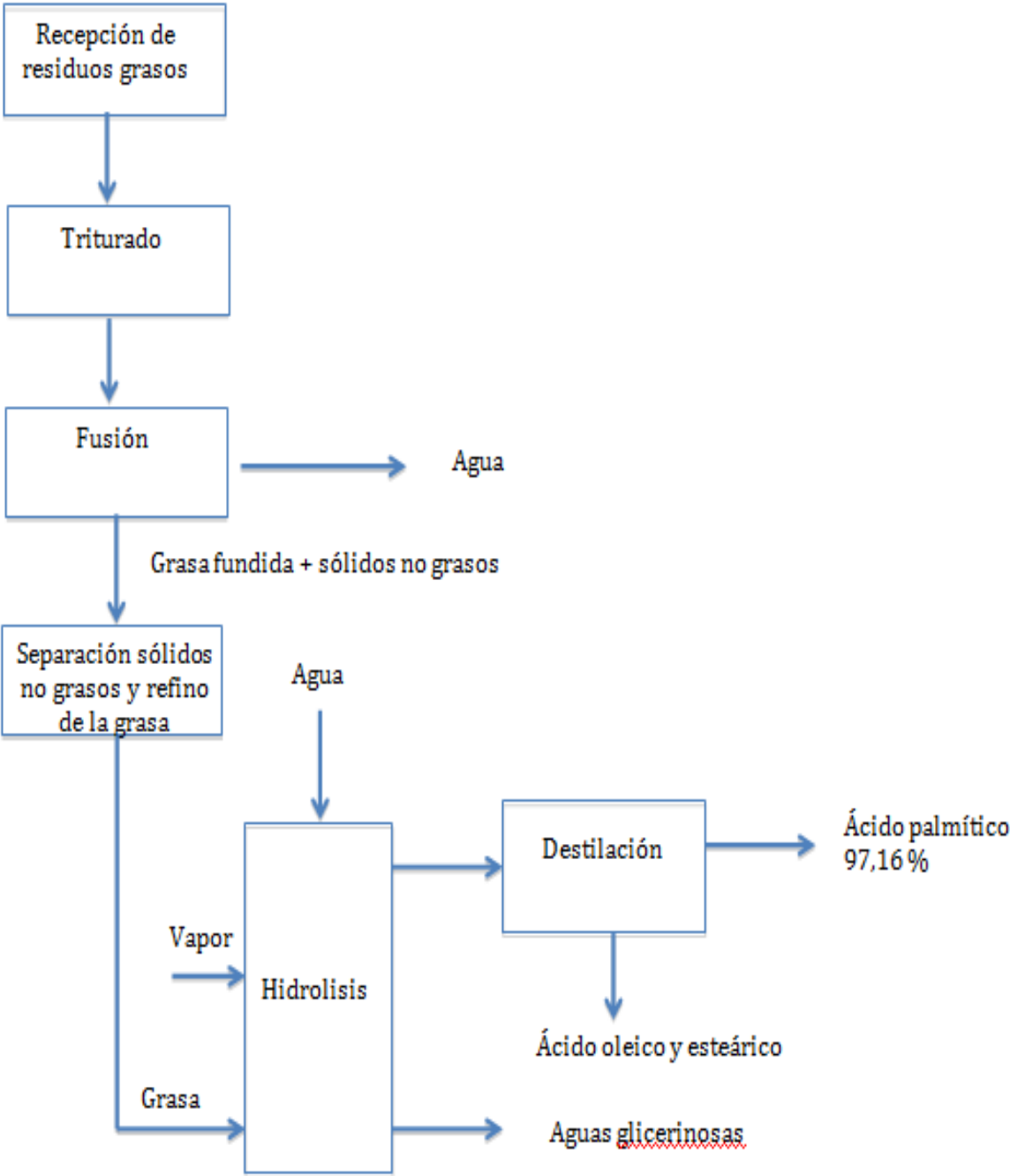


Figura 3. Diagrama de bloques de la sección 100

4.2 Sección 200: Producción de drying oil

4.2.1 Acondicionamiento de la alimentación

La corriente de alimentación a la sección 200 proviene del tren de destilación de la sección 100. Esta corriente está compuesta de ácido palmítico en su mayor porcentaje, 97,16%, y trazas de ácido oleico y esteárico. Las condiciones de la corriente son de 100°C y presión cercana a la atmosférica, 125 kPa. Para obtener dichas condiciones, tras el tren de destilación es necesario superar el vacío al cual se produce la separación y elevar su temperatura hasta la deseada.

El primer paso consiste en el bombeo desde la sección 100 hasta el horno encargado de vaporizar y calentar la alimentación al reactor. El cambio de fase se produce a 360,7°C, y la temperatura de reacción es de 370°C. La alta temperatura y el cambio de fase hacen que sea necesario el uso de un horno. Las heurísticas aconsejan el uso de hornos a partir de 400°C, pero debido a la cantidad de calor que es necesario se ha considerado el uso del horno.

4.2.2 Fase de reacción

La reacción que se produce en el reactor es un “cracking térmico” del ácido palmítico para formar ácido acético y aceite seco. También se produce una reacción secundaria en la que una parte del 1-tetradeceno formado genera goma.

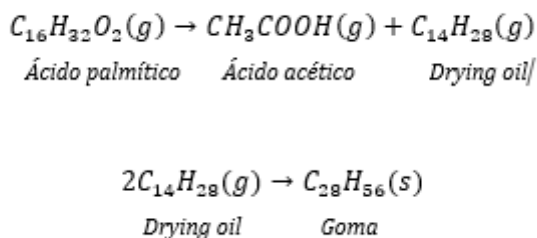


Ilustración 5. Reacciones del proceso.

A la hora de seleccionar las condiciones de reacción debe hacerse un balance entre la conversión de la reacción principal y la selectividad. Las condiciones seleccionadas son de 370°C y 125 kPa, con una conversión del 62,50% y una selectividad de 38,3 moles de DO/moles de goma. En estas condiciones la reacción se produce en fase gas, siendo la goma el único componente en fase líquida, pero debido a su bajo porcentaje se arrastra con los gases.

4.2.3 Fase de separación de los compuestos

A la salida del reactor la corriente está compuesta por:

- Ácido acético: 39,18%
- Aceite seco: 38,67%
- Ácido palmítico: 20,66%
- Goma: 0,49%

También contiene trazas de ácido oleico y ácido esteárico.

El objetivo de los siguientes equipos es separar todos los componentes para la comercialización de ácido acético y aceite seco, la recirculación del ácido palmítico con las trazas de ácido oleico y esteárico, y el envío a un gestor autorizado de la goma.

La goma tiene un alto punto de ebullición, superior a los 400°C, por tanto su separación en una columna de destilación se descarta, aparte de que no podría trabajar con cantidades equimolares. La operación seleccionada es la filtración, esto se debe a que el objetivo es separar una pequeña cantidad de un residuo sólido del producto líquido, y no se conocen datos acerca del tamaño de partícula, lo que descarta la centrifugación y la decantación. La cristalización también se descartó, ya que el objetivo es obtener un líquido puro, no un sólido.

Para la filtración es necesario enfriar la corriente hasta la temperatura de solidificación de la goma, esta es de 132°C. Para asegurar la total solidificación se enfría la corriente hasta 100°C.

La corriente a la salida del reactor está en fase gas, por tanto el primer paso será la condensación, la mezcla completa condensa a los 154°C. Una vez condensada la mezcla debe enfriarse hasta los 100°C para la solidificación de la goma. El equipo seleccionado es un recipiente con una camisa de refrigeración de agua, que garantiza que se absorbe el calor suficiente.

Una vez enfriada la corriente se introduce en el filtro, que se encarga de separar la corriente de proceso de la goma. Esta se almacenará para la recogida periódica en un gestor autorizado, ya que se trata de un residuo peligroso.

La corriente resultante contiene principalmente ácido acético, aceite seco, y ácido palmítico. Para la separación de los tres componentes se utilizan dos columnas de destilación, estas utilizan una secuencia de separación directa. De la primera torre se obtiene como producto de cabezas el ácido acético, y en la corriente de colas una mezcla de ácido palmítico y aceite seco que será la alimentación de la segunda columna de destilación.

El ácido acético debe enfriarse para su posterior almacenamiento. La temperatura de almacenamiento es de 25°C, ya que fueron las condiciones que se consideraron óptimas para este caso. El ácido acético a nivel laboratorio se recomienda almacenar entre 15-25°C, por lo que se toma la decisión de almacenarlo dentro de este intervalo de temperatura.

En la segunda columna de destilación se obtiene como producto de cabezas el aceite seco, y en la corriente de colas el ácido palmítico. El aceite seco también deberá enfriarse para su almacenamiento. La temperatura de almacenamiento es de 25°C, ya que la ficha de seguridad tan solo pone limitaciones para su almacenamiento en cuanto a contacto con aire, agua u oxígeno. Esta temperatura

resulta la más cómoda para el diseño y por inexistencia de limitaciones, es la que se toma.

Finalmente el ácido palmítico, que contiene ácido oleico y esteárico, se enfría y se bombea hasta la sección 100 de la planta para ser reprocesado. Esto se debe a que si se recirculase al inicio de la sección 200 se producirían acumulaciones de inertes, lo que llevaría a tener que hacer purgas periódicas, perdiendo productos con un valor económico.

4.2.4 Utilidades

El proceso utiliza diversas utilidades, principalmente en las operaciones de intercambio de calor:

- Agua de río: se utiliza como fluido refrigerante en los intercambiadores de calor E-201, E-203, E-204, y E-205. También se utilizan en los condensadores de la T-201, T-202.
- Vapor de media presión: como fluido calefactor en el E-202.
- Sales inorgánicas fundidas: fluido calefactor del R-201.
- Gas natural: combustible en el horno H-201.

El agua de río se calienta hasta 20°C, por lo que para ser vertido al medio ambiente es posible que sea necesario tratarla, en caso de que afectase al medio ambiente. Las sales inorgánicas tienen un tiempo de vida determinado, una vez concluido, serán recogidas en un gestor autorizado para su correcto tratamiento. El gas natural, una vez tiene lugar la combustión, es emitido a la atmósfera.

5. Descripción de la instalación

En este apartado se indica el objetivo de los equipos mas importantes del proceso, con sus principales características. Se describirán según aparecen en el diagrama de flujo del proceso del Plano 02.

Tabla 7: Lista de equipos

Acondicionamiento de la alimentación	
P-201 A/B	Bomba centrífuga
H-201	Horno
Reacción	
R-201	Reactor
Purificación y acondicionamiento de los productos	
E-201	Condensador
P-202 A/B	Bomba centrífuga
X-201	Enfriador
F-201	Filtro
P-203 A/B	Bomba centrífuga
E-202	Intercambiador de calor
P-204 A/B	Bomba centrífuga
T-201	Columna de destilación
E-203	Intercambiador de calor
P-205 A/B	Bomba centrífuga
TK-201	Tanque de almacenamiento
P-206 A/B	Bomba centrífuga
T-202	Columna de destilación
E-204	Intercambiador de calor
E-205	Intercambiador de calor
P-207 A/B	Bomba centrífuga
TK-202	Tanque de almacenamiento
Recirculación a la sección 100	
E-206	Intercambiador de calor
P-208	Bomba centrífuga

5.1 Acondicionamiento de la alimentación

El objetivo de esta etapa del proceso es que la alimentación a la sección de reacción este en las condiciones adecuadas de presión y temperatura. La alimentación del proceso procede de la sección 100 y su composición es de ácido palmítico al 97,16% con impurezas de ácido oleico y ácido esteárico.

5.1.1 Bomba centrífuga P-201 A/B

El objetivo de esta bomba es transportar la materia prima desde la sección 100 hasta la sección 200, y que llegue a la presión de 297,25 kPa a la entrada del horno H-201. Esta presión es superior a la de reacción, ya que en el horno se producirá una caída de presión que debe ser compensada.

La P-201 tendría una bomba de repuesto para cuando fuese necesario su uso, esto mismo sucede con el resto de las bombas del proceso. Ambas son de iguales características con una potencia de 550 W.

5.1.2 Horno H-201

El horno H-201 tiene como objetivo calentar y vaporizar la mezcla que va a alimentar al reactor R-201. La temperatura de entrada al horno es de 100°C y la de salida de 370°C, temperatura de la reacción. La vaporización se produce a los 360,7°C. En el horno se produce una caída de presión de 157,25 kPa, siendo la presión de entrada de 297,25 kPa y la de salida de 140 kPa.

El horno es del tipo cilíndrico vertical, con solo sección de radiación y una potencia de 1113,92 kW. La cámara de radiación esta formado por 40 tubos de un diámetro externo de 75mm, un espesor de 5,5 mm y una longitud de 4,27m. Los tubos son de acero inoxidable debido a las altas temperaturas. Los tubos se encuentran dispuestos a 112,50 mm de las paredes de la cámara, separados entre

ellos 150,00 mm. La cámara está formado por ladrillos de mullita refractaria de baja densidad, una capa de aire, y finalmente una capa de ladrillos de construcción.

La chimenea tiene como objetivo garantizar que los gases de combustión se dispersan en la atmosfera. Esta tiene una longitud de 6,00 m y un diámetro de 650 mm. La chimenea está formada por dos chapas de acero con una capa de aislante de fibra cerámica en medio. El acero es del tipo austenítico.

5.2 Fase de reacción

En la fase de reacción el objetivo es que a partir del ácido palmítico que entra al reactor se obtengan los productos, *drying oil* y ácido acético. Existe una reacción secundaria, no deseada, que propicia la formación de una olefina, la goma.

5.2.1 Reactor R-201

El reactor R-201 se trata de un reactor con características especiales, es decir, no se trata de un reactor de uso común como puede ser un reactor de mezcla completa o un reactor de flujo en pistón. Se trata de un tipo de reactor también conocido como Reactor-intercambiador, que como su propio nombre indica, se trata de un intercambiador de calor convencional de carcasa y tubos en el que en su interior se lleva a cabo una reacción.

A pesar de ello, se puede clasificar como un reactor multitubular isotérmico, esto quiere decir que la reacción de cracking térmico que se lleva a cabo tiene lugar a una temperatura constante como antes se mencionó, a 370°C.

Se trata de un reactor de 6,4 metros cúbicos de volumen y con una altura de 6,3 metros. Construido con acero inoxidable austenítico 316 tanto para la carcasa como para los tubos.

En su interior se disponen 140 tubos con un diámetro interno de 9,15 milímetros, un espesor de 4 milímetros y una longitud de 6,1 metros dispuestos de forma triangular formando un haz de 0,32 metros de diámetro.

La carcasa que contiene dicho haz presenta un espesor de 0,12 metros, resultando un diámetro externo de 0,63 metros.

Dicho reactor emplea como medio calefactor unas sales fundidas que están compuestas por un 53% de KNO_3 , 40% de NaNO_2 y un 7% de NaNO_3 . Estas sales presentan una alta corrosividad, de ahí el empleo del acero inoxidable austenítico 316. Las sales se calientan una vez empleadas en el reactor por medio de un horno que las recircula, el cual no se diseñará.

5.3 Purificación y almacenamiento de los productos

La corriente de salida del reactor contiene diversos compuestos, pero tan solo el *drying oil* y el ácido acético serán comercializados. Por tanto será necesario separar, en la medida de lo posible, estos productos del resto de los compuestos. Una vez separados los productos es necesario que se almacenen en unas condiciones determinadas de presión y temperatura.

5.3.1 Condensador E-201

La corriente de salida del reactor está en fase gas, el objetivo del E-201 es condensar toda la corriente para su posterior tratamiento. La temperatura de salida del reactor es de 370°C y la condensación completa se produce a los 154°C .

El condensador es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y dos por tubos. El fluido a condensar circula por la carcasa y el fluido refrigerante, agua de río, circula por los tubos. Está formado por 72 tubos de 25 mm de diámetro externo y 2,1 mm de espesor. La carcasa tiene un diámetro de 339 mm y un espesor de 5,5 mm.

5.3.2 Bomba centrífuga P-202 A/B

El objetivo de la P-202 es bombear el líquido condensado que sale del E-201 hasta el enfriador X-201, también debe aportar la potencia suficiente para compensar la caída de presión que se produce en el condensador. Las bombas serán de características similares con una potencia de 40 W.

5.3.3 Enfriador X-201

La goma debido a su alto punto de ebullición no se puede separar por una destilación. La operación que se utilizará es la filtración, para ello es necesario enfriar la corriente hasta una temperatura que la goma solidifique. Para ello se utiliza el enfriador X-201. La corriente se enfriará desde los 154°C hasta 100°C. La goma solidifica a 132°C, pero para asegurar su solidificación se enfría hasta los 100°C.

El enfriador tiene una refrigeración de agua de río con un caudal de 2,17 kg/s.

5.3.4 Filtro F-201

El filtro debe separar la fase sólida de la fase líquida. En este caso la fase sólida esta compuesta por la goma, que es el residuo del proceso, y se encuentra en pequeñas cantidades.

Para la selección del tipo de filtro se siguió el diagrama de selección de Purchas, y el filtro seleccionado es del tipo tambor.

5.3.5 Bomba centrífuga P-203 A/B

El objetivo de la P-203 es que la corriente que sale del filtro sea bombeada hasta el intercambiador de calor E-202. La bomba debe suministrar la suficiente potencia para transportar la corriente y compensar la caída de presión del filtro.

El grupo de bombeo se conoce como P-203 A/B y ambas bombas tendrán las mismas características, con una potencia de 40 W.

5.3.6 Intercambiador de calor E-202

La alimentación de la columna de destilación debe encontrarse en el punto de burbuja para que se produzca una separación satisfactoria. El E-202 tiene como objetivo calentar la corriente que sale del filtro a 100°C hasta el punto de burbuja que es de 154°C.

El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y seis por tubos. El fluido de proceso circula por la carcasa y el vapor de calefacción circula por los tubos. Está formado por 48 tubos de 19 mm de diámetro externo y 2,1 mm de espesor. La carcasa tiene un diámetro de 290 mm y un espesor de 5,5 mm.

5.3.7 Bomba centrífuga P-204 A/B

La bomba P-204 tiene como objetivo transportar desde el E-202 hasta la primera columna de destilación, también debe aportar la potencia suficiente para que la destilación se produzca a la presión adecuada.

Las dos bombas tienen las mismas características con una potencia de 60 W.

5.3.8 Columna de destilación T-201

El objetivo de esta columna es separar el ácido acético de la corriente que sale del filtro.

Se trata de un recipiente cilíndrico vertical con cabezales semiesféricos, construido de acero inoxidable AISI 316L, según el código ASME VIII.

Se trata de una columna de platos que consta de 23 etapas, divididas en 2 secciones, una de rectificación y otra de agotamiento.

- Sección de rectificación (6 etapas).

Las funciones de la sección de rectificación son:

- Purificar el ácido acético.
- Minimizar la existencia de drying oil y ácido palmítico en el destilado.

- Sección de agotamiento (17 etapas).

La finalidad de esta sección es:

- Minimizar la salida de ácido acético en colas.

En ambas zonas se emplean platos perforados existiendo entre ellos una separación de 0,457 m.

La columna de destilación trabaja en condiciones del 85% de inundación y con la relación de reflujo de 2,11. La alimentación entra a una presión de 125 kPa como líquido saturado a una temperatura cercana a 154⁰C a una altura de 10 m. La columna T-201 presenta una pérdida de presión de 18,68 kPa y tiene una altura de 13 m.

5.3.9 Intercambiador de calor E-203

El E-203 tiene como objetivo enfriar el ácido acético para su almacenamiento. A la salida del condensador de la columna T-201 el ácido acético se encuentra a 123,4 °C, el ácido se almacenará a 25⁰C. Por lo tanto el E-203 enfriará la corriente que sale como producto de cabezas de la columna T-201, que contiene ácido acético al 99 %, de 123,4 °C hasta 25 °C.

El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y dos por tubos. El fluido de proceso circula por la carcasa y el agua de río circula por los tubos. Está formado por 18 tubos de 13,7 mm de diámetro externo y

3 mm de espesor. La carcasa tiene un diámetro de 100,30 mm y un espesor de 5,5 mm.

5.3.10 Bomba centrífuga P-205 A/B

Los tanques de almacenamiento de los productos se encontrarán alejadas de las unidades de proceso por motivos de seguridad, por tanto será necesario transportar los productos hasta los tanques de almacenamiento. Por tanto el objetivo de la P-205 es el de transportar el ácido acético hasta el tanque de almacenamiento TK-201.

Las dos bombas son de las mismas características con una potencia de 3,1 W.

5.3.11 Tanque de almacenamiento TK-201

Los productos de la planta serán recogidos diariamente para su comercialización. Se almacenarán un período máximo de dos días por posibles imprevistos. El objetivo del tanque TK-201 es almacenar de forma segura el ácido acético.

Conocida la producción y el período de almacenamiento se calcula el volumen del tanque, éste es de 29,02 m³. El tanque es horizontal montado sobre una estructura de hormigón. El material será acero inoxidable 316 debido a su resistencia a la corrosión del ácido acético, tendrá un espesor de 6,075 mm. La altura del tanque es de 2,00 m y un diámetro de 4,30 m. El cabezal será elíptico con el mismo espesor que el resto del recipiente.

5.3.12 Bomba centrífuga P-206 A/B

En la primera columna de destilación se produce una caída de presión y es necesario transportar la corriente de colas de la columna T-201 hasta la columna T-202 a una altura determinada. El objetivo de la P-206 es transportar desde la T-201 hasta la T-202 la corriente 10, aumentando su presión hasta 125 kPa que es a

la que opera la T-202. Las dos bombas tienen las mismas características con una potencia de 60 W.

5.3.13 Columna de destilación T-202

El objetivo de esta columna es separar el *drying oil*, que se envía al tanque de almacenamiento TK-202, del ácido palmítico que se recircula a la sección 100 de la planta.

Se trata de un recipiente cilíndrico vertical con cabezales semiesféricos, construido de acero al carbono de grado A285, según el código ASME VIII.

Se trata de una columna de platos que consta de 11 etapas, divididas en 2 secciones, una de rectificación y otra de agotamiento.

- Sección de rectificación (6 etapas).

Las funciones de la sección de rectificación son:

- Purificar el *drying oil*

- Sección de agotamiento (5 etapas).

La finalidad de esta sección es:

- Minimizar la salida de *drying oil* en colas.
- Purificar el ácido palmítico que se pretende recircular.

En ambas zonas se emplean platos perforados existiendo entre ellos una separación de 0,457 m.

La columna de destilación trabaja en condiciones del 85% de inundación y con la relación de reflujo de 1,29. La alimentación entra a una presión de 125 kPa totalmente como líquido a su temperatura de burbuja, sobre 276°C a una altura de 4 m. La columna T-202 presenta una pérdida de presión de 9,52 kPa y tiene una altura de 7,57 m.

5.3.14 Intercambiador de calor E-204

Los intercambiadores de calor E-204 y E-205, tienen como objetivo enfriar el *drying oil* para su almacenamiento en el tanque TK-202. El uso de dos intercambiadores de calor se debe a la gran cantidad de fluido refrigerante necesario.

El E-204 se encarga de enfriar la corriente desde 260°C hasta 118°C. El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y dos por tubos. El fluido de proceso circula por la carcasa y el agua de río circula por los tubos. Está formado por 18 tubos de 25 mm de diámetro externo y 2,1 mm de espesor. La carcasa tiene un diámetro de 181,9 mm.

5.3.15 Intercambiador de calor E-205

El E-205 tiene como objetivo enfriar la corriente que sale del E-204 desde 118°C hasta 25°C, temperatura de almacenamiento del aceite seco.

El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y dos por tubos. El fluido de proceso circula por la carcasa y el agua de río circula por los tubos. Está formado por 34 tubos de 17,1 mm de diámetro externo y 3,2 mm de espesor. La carcasa tiene un diámetro de 166,67 mm.

5.3.16 Bomba centrífuga P-207 A/B

De la misma forma que el TK-201, el TK-202 se encuentra alejado de las unidades de proceso, por tanto será necesario transportar el *drying oil* hasta su lugar de almacenamiento. Por tanto el objetivo de la P-207 es el de transportar el ácido acético hasta el tanque de almacenamiento TK-202.

Las dos bombas son de las mismas características con una potencia de 30 W.

5.3.17 Tanque de almacenamiento TK-202

El objetivo del tanque de almacenamiento TK-202 es almacenar de forma segura el *drying oil*, con una capacidad suficiente para almacenarlo durante dos días.

Conocida la producción y el período de almacenamiento se calcula el volumen del tanque, este es de 122,57 m³. El tanque es vertical montado sobre una estructura de hormigón. El material será acero al carbono, ya que el fluido no es corrosivo, tendrá un espesor de 6,677 mm. La altura del tanque es de 4,00 m y un diámetro de 6,25 m. El cabezal será elíptico con un espesor de 8,273 mm.

5.4 Recirculación a la sección 100

La corriente de colas de la T-202 contiene ácido palmítico, ácido oleico y ácido esteárico. La corriente podría recircularse a la sección 200 pero se acumularían el ácido oleico y el esteárico, por lo que se recircularán a la sección 100 para ser reprocesados y así la sección 200 tendrá una alimentación constante.

5.4.1 Intercambiador de calor E-206

El objetivo de este intercambiador de calor es enfriar la corriente de colas de la T-202, que contiene ácido palmítico, ácido oleico, y ácido esteárico. La corriente se enfría desde 358,7^oC hasta 200,6^oC, que es la temperatura a la que debe entrar al tren de destilación de la sección 100.

El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y dos por tubos. El fluido de proceso circula por la carcasa y el agua de río circula por los tubos. Está formado por 12 tubos de 33,4 mm de diámetro externo y 3,91 mm de espesor. La carcasa tiene un diámetro de 203,34 mm.

5.4.2 Bomba centrífuga P-208 A/B

Esta bomba se encarga de transportar la corriente compuesta por ácido palmítico, ácido oleico, y ácido esteárico enfriado en el E-206 hasta la sección 100 de la planta donde será reprocesado.

6. Control e instrumentación

6.1 Introducción

En los procesos químicos aparte de los cambios originados por cambios en las especificaciones, restricciones de seguridad o medioambientales, existen otros cambios incontrolados, conocidos como perturbaciones. Para controlar estos cambios es necesario implementar un sistema de control.

El objetivo de los lazos de control es detectar las desviaciones del proceso y corregirlas mediante una acción de control. Estos cambios se hacen de forma automática, ya que un operador tendría que realizar una gran cantidad de acciones.

El control del proceso está detallado en el diagrama de tuberías e instrumentación en el plano 03. En las burbujas de los lazos de control se siguen las Normas ANSI/ISA. La primera letra representa la variable controlada, en este proceso las variables controladas son las siguientes:

- Caudal: representado por la letra F.
- Temperatura: representado por la letra T.
- Presión: representado por la letra P.
- Nivel: representado por la letra L.
- Composición: representado por la letra A.

En un sistema de control automático existen tres operaciones básicas: la medida, la decisión y la acción. Los componentes que realizan estas operaciones son:

- Sensor-transmisor: mide la variable a controlar y la acondiciona para ser enviada.
- Controlador: en función de la medida decide la acción correctora para mantener la variable controlada en el valor deseado.

- Elemento final de control: en este proceso tan solo se utilizarán válvulas de control. Éstas actúan modificando el caudal de la corriente que regulan.

Aparte de estos elementos es posible que sean necesarios, transductores y conversores A/D y D/A para transformar las señales.

En todos los lazos de control, antes y después de la válvula de control, existirán dos válvulas de corte. Para que en caso de fallo en la válvula de control, ésta quede aislada. La corriente quedará retenida, impidiendo su paso a otros puntos del proceso, siendo contenida por un sistema de drenajes. La corriente de proceso circulará por una corriente de by-pass, que está controlada por una válvula manual.

6.2 Lazo de control 201

El objetivo del lazo de control 201 es el de asegurar que la alimentación a la sección 200 tenga un contenido mínimo de impurezas, teniendo que éstas serán principalmente el ácido oleico y el ácido esteárico que acompañan al ácido palmítico. Esto se debe a que los equipos han sido diseñados para trabajar con un contenido de impurezas, y si estas se aumentan en gran cantidad, el proceso puede verse en una situación peligrosa.

El lazo de control es del tipo on-off, en el que si se supera un contenido de impurezas mayor del 10% en masa se cortará la alimentación a la sección 200, para así evitar problemas mayores. El AT-201 se encarga de obtener una señal representativa del valor de la composición, esta señal es enviada al AC-201 para que en función de la señal recibida abra o cierre la válvula de control, AV-201.

Tabla 8: Elementos del lazo de control 201

Identificador	Descripción
AT-201	Sensor-transmisor de composición
AC-201	Controlador de composición
AV-201	Válvula de control

6.3 Lazo de control 202

La alimentación de la sección 200 procede de la sección 100 de la planta, por tanto es necesario asegurar que se tendrá una alimentación constante, para así poder garantizar la producción y que los equipos funcionen en las condiciones óptimas para las que han sido diseñados.

El lazo de control es del tipo feedback. Mediante un sensor se obtiene una señal representativa del caudal de la corriente, el FT-202 transforma esta señal para ser enviada al FC-202. El controlador en función del caudal medido y del caudal deseado, establecido por el set point, realiza una manipulación en el elemento final de control, en este caso la válvula FV-202.

Tabla 9: Elementos del lazo de control 202

Identificador	Descripción
FT-202	Sensor-transmisor de caudal
FC-202	Controlador de caudal
FV-202	Válvula de control

6.4 Lazos de control 203, 210, 212, 214, 220, 221, 228, 230

El objetivo de estos lazos de control es garantizar el flujo mínimo de las bombas, para que en caso de ausencia de flujo no se dañen los equipos.

Este lazo consta de un sensor-transmisor de caudal, un controlador de caudal y una válvula de control.

El funcionamiento del lazo es del tipo feedback, en el transmisor de flujo se obtiene el caudal de entrada a la bomba, este se compara con el caudal mínimo en el controlador y se manipula la válvula de la línea de recirculación.

6.5 Lazo de control 204

El objetivo del lazo de control 204 es el de asegurar el aire suficiente en la combustión del horno H-201, para que así tenga lugar una combustión eficiente y no se produzca monóxido de carbono por una combustión incompleta.

El lazo es del tipo cascada. El controlador primario es el AC-204, que se recibe la señal del porcentaje de oxígeno en los gases de combustión, y el controlador secundario es el FC-204 que en función de la señal del AC-204 y de la señal del sensor-transmisor FT-204 regula la cantidad de aire necesario en la combustión.

El funcionamiento del lazo consiste en que el AT-204 obtiene una señal representativa del porcentaje de oxígeno en los gases de combustión. Esta señal se envía al AC-204 que calcula el aire necesario para la combustión, para así establecer el nuevo valor de consigna al FC-204. El FC-204 también recibe una señal con el caudal de aire mediante el FT-204, de tal manera que el controlador de caudal compara las dos señales y regula la válvula FV-204.

Tabla 10: Elementos del lazo de control 204

Identificador	Descripción
AT-204	Sensor-transmisor de composición
AC-204	Controlador de composición
FT-204	Sensor-transmisor de caudal
FC-204	Controlador de caudal
FV-204	Válvula de control

6.6 Lazo de control 205

El objetivo de este lazo de control es asegurar que la corriente de entrada al reactor lo hace a la temperatura de reacción, es decir 370°C.

El lazo es del tipo feedback. En este el TT-205 envía al TC-205 una señal con la temperatura de la corriente de salida del horno, en función de ésta regula la entrada de combustible al horno mediante la válvula TV-205. En caso de que sea necesaria una mayor temperatura se introducirá mas combustible, es decir, se abrirá mas la válvula de control.

Tabla 11: Elementos del lazo de control 205

Identificador	Descripción
TT-205	Sensor-transmisor de temperatura
TC-205	Controlador de temperatura
TV-205	Válvula de control

6.7 Lazo de control 206

El objetivo del lazo de control 206 es mantener el caudal de alimentación al reactor constante, de esta forma el reactor operará lo más cerca posible de las condiciones óptimas para las que fue diseñado.

El lazo es del tipo feedback y su funcionamiento es similar al del lazo de control 202.

Tabla 12: Elementos del lazo de control 206

Identificador	Descripción
FT-206	Sensor-transmisor de caudal
FC-206	Controlador de caudal
FV-206	Válvula de control

6.8 Lazo de control 207

La reacción que tiene lugar en el R-201 es en fase gas, por lo que será necesario el control de la presión. Para ello está implantado el lazo de control 207.

El funcionamiento del lazo es del tipo feedback. El PT-207 es el encargado de obtener una señal representativa de la presión del reactor, para enviársela al PC-207 y que este realice la acción necesaria sobre la PV-207. La válvula de control PV-207 está situada en la corriente de salida de los gases del reactor, en caso de sea necesario disminuir la presión esta válvula se abrirá en mayor porcentaje. Si tuviese lugar un episodio de sobrepresión el equipo cuenta con dispositivos de alivio.

Tabla 13: Elementos del lazo de control 207

Identificador	Descripción
PT-207	Sensor-transmisor de presión
PC-207	Controlador de presión
PV-207	Válvula de control

6.9 Lazo de control 208

El reactor opera de forma isoterma, para ello es necesario controlar su temperatura. El fluido calefactor del horno son las sales fundidas, las cuales se calientan en un horno mediante un ciclo cerrado. El lazo de control 208 tiene como objetivo mantener constante la temperatura del reactor manipulando la cantidad de fluido que calienta las sales fundidas.

El lazo es del tipo feedback. El funcionamiento del lazo es similar a los otros lazos feedback del proceso. La variable manipulada es el caudal de combustible del horno que calienta las sales que se utilizan como fluido calefactor. El uso de esta variable manipulada puede tener una dinámica lenta, pero permite una mayor variación en el poder calorífico de la corriente que si solo se modificase su caudal.

Tabla 14: Elementos del lazo de control 208

Identificador	Descripción
TT-208	Sensor-transmisor de temperatura
TC-208	Controlador de temperatura
TV-208	Válvula de control

6.10 Lazo de control 209

El condensador E-201 tiene como objetivo condensar completamente la corriente de salida del reactor. En caso de que la corriente no condensase completamente, se producirían problemas aguas abajo en el proceso, por lo que el lazo de control 209 tiene como objetivo asegurar que la condensación se produce completamente.

El lazo de control será del tipo feedback reforzado con un control feedforward. El funcionamiento del lazo consiste en que el TT-209 obtiene el valor de la temperatura de la corriente de salida condensador enviando esta señal al FY-209. El FY-209 también recibe información de la parte feedforward del lazo, mediante los sensores-transmisores FT-209 y PT-209, que envían sus respectivas señales. Con toda esta información calcula la cantidad de fluido refrigerante necesario. El FC-209 recibe la señal del relé y en función de esta actúa sobre la válvula de control FV-209 que regula el caudal de fluido refrigerante.

Tabla 15: Elementos del lazo de control 209

Identificador	Descripción
TT-209	Sensor-transmisor de temperatura
FT-209	Sensor-transmisor de caudal
PT-209	Sensor-transmisor de presión
FY-209	Relé de caudal
FC-209	Controlador de caudal
FV-209	Válvula de control

6.11 Lazo de control 211

El objetivo de lazo es controlar la temperatura de la corriente de entrada al filtro, asegurando que se enfríe lo suficiente para que se produzca la solidificación completa de la goma.

El lazo es del tipo feedback. Su funcionamiento es similar al de los otros lazos feedback del proceso, la variable manipulada es el porcentaje de apertura de la válvula que regula el caudal de fluido refrigerante.

Tabla 16: Elementos del lazo de control 211

Identificador	Descripción
TT-211	Sensor-transmisor de temperatura
TC-211	Controlador de temperatura
TV-211	Válvula de control

6.12 Lazo de control 213

El objetivo del lazo de control es controlar la temperatura de la corriente de entrada a columna de destilación T-201. Para un mejor funcionamiento de la columna de destilación la mezcla debe entrar a la temperatura de burbuja.

El funcionamiento del lazo es del tipo feedback, con un funcionamiento similar al lazo 211. En este caso la variable manipulada es el porcentaje de apertura de la válvula que regula la entrada de vapor de calefacción al intercambiador de calor E-202.

Tabla 17: Elementos del lazo de control 213

Identificador	Descripción
TT-213	Sensor-transmisor de temperatura
TC-213	Controlador de temperatura
TV-213	Válvula de control

6.13 Lazos de control 215 y 222

El objetivo de los lazos de control 215 y 222 es mantener la presión en las columnas de destilación T-201 y T-202 constante.

Los dos lazos son del tipo feedback y tienen un funcionamiento similar. La variable manipulada es el porcentaje de apertura de la válvula que regula el caudal de agua de refrigeración del condensador de la torre. En caso de que aumente la presión, se abrirá la válvula para que se enfríe mas la mezcla y así se reduzca la presión.

Tabla 18: Elementos del los lazos de control 215 y 222

Identificador	Descripción
PT-215 y 222	Sensor-transmisor de presión
PC-215 y 222	Controlador de presión
PV-215 y 222	Válvula de control

6.14 Lazos de control 216 y 223

El objetivo de ambos lazos es controlar la temperatura en la sección superior de las columnas de destilación. Si se mantiene la presión constante, mediante el control de la temperatura puede controlarse directamente la composición de la corriente de destilado. El motivo de mantener constante la temperatura en la sección superior (y no en la inferior) es que la composición de destilado en ambas columnas es la más importante ya que los productos de destilado están destinados a su comercialización.

Hay que aclarar que la temperatura debe ser medida en el plato que refleja fuertemente los cambios en la composición. Además como ya se explicó antes, para tener una buena relación entre la temperatura y la composición es necesario que la presión sea constante. Por este motivo, en esta configuración el punto de medición para el control de la presión está localizado cerca del punto de control de la temperatura para fijar la relación entre la temperatura y la composición.

El funcionamiento de los lazos es del tipo cascada. El controlador primario es el de temperatura, que establece el punto de consigna al controlador secundario, que es el de caudal de la corriente de reflujo a la columna. En función del punto de consigna y de la señal recibida por el sensor de flujo, el controlador secundario realiza la acción oportuna sobre la válvula de control que regula el caudal de reflujo a la columna.

Tabla 19: Elementos de control de los lazos 216 y 223

Identificador	Descripción
TT-216 y 223	Sensor-transmisor de temperatura
TC-216 y 223	Controlador de temperatura
FT-216 y 223	Sensor-transmisor de caudal
FC-216 y 223	Controlador de caudal
FV-216 y 223	Válvula de control

6.15 Lazos de control 217 y 224

El objetivo de estos lazos de control es mantener dentro de unos niveles el nivel en acumulador de las torres T-201 y T-202.

Ambos lazos son del tipo cascada. El controlador primario es el de nivel y el secundario el del caudal de la corriente de destilado. El funcionamiento es similar al del lazo 216, el controlador primario establece el set point al controlador secundario, este en función del set point y la señal enviada por el sensor de flujo realiza la acción oportuna sobre el elemento final de control. La variable manipulada es el porcentaje de apertura de la válvula que regula el caudal de la corriente de destilado.

Tabla 20: Elementos de los lazos de control 217 y 224

Identificador	Descripción
LT-217 y 224	Sensor-transmisor de nivel
LC-217 y 224	Controlador de nivel
FT-217 y 224	Sensor-transmisor de caudal
FC-217 y 224	Controlador de caudal
FV-217 y 224	Válvula de control

6.16 Lazos de control 218 y 225

El objetivo de estos lazos es mantener el nivel de líquido en las torres de destilación dentro de unos valores.

Son lazos del tipo cascada y su funcionamiento es similar al de los lazos 216 y 217. El controlador primario es el de nivel en la columna y el secundario el que regula el caudal del producto de colas. La variable manipulada es el porcentaje de apertura de la válvula que regula el caudal de colas.

Tabla 21: Elementos de los lazos de control 218 y 225

Identificador	Descripción
LT-218 y 225	Sensor-transmisor de nivel
LC-218 y 225	Controlador de nivel
FT-218 y 225	Sensor-transmisor de caudal
FC-218 y 225	Controlador de caudal
FV-218 y 225	Válvula de control

6.17 Lazos de control 219, 226, 227 y 229

El objetivo de estos lazos de control es controlar la temperatura de salida de los intercambiadores de calor E-203, E-204, E-205, y E-206. La función de estos

intercambiadores es enfriar las mezclas para almacenarlas a una temperatura adecuada.

Son lazos del tipo feedback. La variable a controlar es la temperatura de salida del intercambiador de calor, y la variable manipulada el porcentaje de apertura de la válvula que regula el caudal de fluido refrigerante.

Tabla 22: Elementos de los lazos de control 219, 226 y 228

Identificador	Descripción
TT-219, 226,227, y 228	Sensor-transmisor de temperatura
TC-219, 226,227, y 228	Controlador de temperatura
TV-219, 226,227, y 228	Válvula de control

6.18 Dispositivos de alivio y alarmas

Los dispositivos de alivio y alarmas que se han considerado son sólo los mas importantes, es posible que en una fase mas avanzada del diseño de la planta se encuentre la necesidad de más alarmas y dispositivos de alivio. Algunos de estos dispositivos no se encontraban en el diseño inicial, pero una vez analizado los peligros en la unidades mediante el método HAZOP, se añadieron las que se consideraron de mayor importancia.

En el horno H-201 y el reactor R-201 tienen alarmas de alta y baja temperatura, ya que son los equipos en los que un descontrol de la temperatura puede llevar a cabo situaciones peligrosas.

Las columnas de destilación T-201, T-202, y el reactor R-201, trabajan con gases a alta temperatura, por lo que necesitan mecanismos de alivio, para que en caso de un episodio de sobrepresión se evite una situación con graves consecuencias. También dispondrán de alarma de alta presión, para actuar antes

del mecanismo de alivio e intentar retornar a las condiciones de operación normales.

Los tanques de almacenamiento TK-201 y TK-202, y en las torres T-201 y T-202, dispondrán de indicadores de nivel, y alarmas de alto y bajo nivel. El principal objetivo de estos sistemas es la seguridad de la planta.

7. Legislación, normas y códigos de diseño

En este apartado se hará un resumen de la legislación, normas, y códigos de diseño, que afectan a la construcción y al diseño. Se dividirá en diferentes apartados: uno referente a la obra y la construcción, otro referente a la seguridad y salud, otro al medio ambiente, y finalmente la legislación que influye directamente en el proceso químico. En el último apartado se indican los códigos y normas utilizados en el diseño de equipos.

7.1 *Referente a la obra y la construcción*

- Real Decreto 1081/1989, de 28 de agosto, por el que se regula el reconocimiento de certificados, diplomas y otros títulos en el sector de la Arquitectura, de los Estados miembros de la Comunidad Económica Europea, así como el ejercicio efectivo del derecho de establecimiento y la libre prestación de servicios.
- Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- Estatuto de los Trabajadores (Ley 8/1980, Ley 32/1984, Ley 11/1994).
- Real Decreto Legislativo 1/1995, de 24 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores.
- Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Ley 32/2006, de 19 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se prueba el Código Técnico de la Edificación. Incluido todos los documentos básicos de:
 - Seguridad estructural.
 - Seguridad Caso de Incendio.
 - Seguridad de Utilización y Accesibilidad.
 - Salubridad.
 - Protección frente al ruido.
 - Ahorro de energía.

- Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico “DB-HR Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se prueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

7.2 Referente a la seguridad y salud

- Real Decreto Legislativo 1/1994, de 20 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de la Seguridad Social.
- Ley de 31/1995 de 8 de Noviembre, Prevención de Riesgos Laborales, que tiene por objeto promover la seguridad y la salud de los trabajadores, mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo, regulando las actuaciones a desarrollar por las Administraciones Públicas, así como los empresarios, los trabajadores y sus respectivas organizaciones representativas.
- Real Decreto 39/1997 de 17 de enero, Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997 de 14 de abril, sobre Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997 de 14 de abril, sobre Manipulación de cargas.
- Real Decreto 773/1997 de 30 de Mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio, sobre Utilización de Equipos de Trabajo.

- Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 780/1998 de 30 de Abril, por el que se modifica el R.D. 39/1997 de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 1254/1999 de 16 de Julio por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. BOE nº148 21/06/2001.
- Ley 54/2003 de 12 de Diciembre de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. BOE nº 60 11/03/2006.
- Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro. BOE nº 302 19/12/2006.
- Normas Técnicas Reglamentarias sobre Homologación de Medios de Protección Personal del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales:
 - MT- 1 "Cascos de seguridad no metálicos" B.O.E. nº 209 de 1/9/75
 - MT-2 "Protectores auditivos" B.O.E. nº 210 de 2/9/75
 - MT-3 "Pantallas para soldadores" B.O.E. nº 211 de 3/9/75
 - MT-4 "Guantes aislantes de la electricidad" B.O.E. nº 37 de 12/2/80
 - MT-5 "Calzado de seguridad contra riesgos mecánicos" B.O.E. nº 213 de 5/9/75
 - MT-6 "Banquetas aislantes de maniobra" B.O.E. nº 214 de 6/9/75

- MT-7 "Adaptadores faciales" B.O.E. nº 215 de 8/9/75
- MT-8 "Filtros mecánicos" B.O.E. nº 216 de 9/9/75
- MT-9 "Mascarillas autofiltrantes" B.O.E. nº 217 de 10/9/75
- MT-11 "Guantes de protección frente agresivos químicos" B.O.E. nº 166 de 13.7.77
- T-12 "Filtros químicos y mixtos contra monóxido de carbono" B.O.E. nº 210 de 2/9/77
- MT-13 "Cinturones de seguridad: Sujeción" B.O.E. nº 95 de 21/4/78
- MT-16 "Gafas tipo universal como protección contra impactos" B.O.E. nº 216 de 9/9/78
- MT-17 "Oculares protectores contra impactos" B.O.E. nº 33 de 7/2/79
- MT-18 "Oculares filtrantes para pantallas para soldador" B.O.E. nº 148 de 21/6/79
- MT-19 "Cubrefiltros y antecristales para pantallas de soldador" B.O.E. nº 4 de 5/1/81
- MT-20 "Equipos semiautónomos de aire fresco con manguera de aspiración" B.O.E. nº 64 de 16/3/81
- MT-21 "Cinturones de seguridad: Suspensión" B.O.E. nº 65 de 17/3/81
- MT-22 "Cinturones de seguridad: Caída" B.O.E. nº 80 de 3/4/81
- MT-24 "Equipos semiautónomos de aire fresco con manguera de presión" B.O.E. nº 246 de 13/10/81
- MT-25 "Plantillas de protección frente riesgos de perforación" B.O.E. nº 243 de 10/10/81
- MT-26 "Aislamiento de seguridad de las herramientas manuales utilizadas en trabajos eléctricos en instalaciones de baja tensión" B.O.E. nº 305 de 22/12/81
- MT-27 "Bota impermeable al agua y a la humedad" B.O.E. nº 299 de 14/12/81
- MT-28 "Dispositivos personales utilizados en las operaciones de elevación y descenso. Dispositivos anticaídas" B.O.E. nº 312 de 30/12/74

7.3 Referente al medio ambiente

- Directiva 91/271/CEE, modificada por la Directiva 98/15/CE, define los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas. Esta Directiva ha sido transpuesta a la normativa española por el R.D. Ley 11/1995, el R.D. 509/1996, que lo desarrolla, y el R.D. 2116/1998 que modifica el anterior.
- Reglamento (CEE) nº1836/93 del Consejo, de 29 de junio de 1993, por el que se permite que las empresas del sector industrial se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales.
- Directiva 96/61/CE del Consejo de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. Modificada por:
 - Directiva 2003/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de mayo de 2003
 - Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003
 - Reglamento (CE) nº 1882/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de septiembre de 2003
- Directiva 97/11/CE del Consejo de 3 de marzo de 1997, por lo que se modifica la Directiva 85/337/CEE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por lo que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Real Decreto 1073/2002 de 18 de Octubre sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas de plomo, benceno y monóxido de carbono.
- Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

- Real Decreto 101/2011 de 28 de Enero por el que se establecen las normas básicas que han de regir los sistemas de acreditación y verificación de las emisiones de efecto invernadero y los datos tonelada-kilómetro de los operadores aéreos y de las solicitudes de la asignación gratuita transitoria de instalaciones fijas en el ámbito de aplicación de la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por lo que se regula el régimen de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

7.4 Referente al proceso

- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial.
- Real Decreto 1254/1999 de 16 de Julio por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos en el trabajo. BOE nº 104 01/05/2001.
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIEAPQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Reglamento 1069/2009/CE de 21 de Octubre por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano.

7.5 Normas y códigos utilizados en el diseño de equipos

- Normas ANSI/ISA 5.1-1984 para Instrumentación, símbolos e identificaciones.
- Norma API 560 en la que se establecen los requisitos mínimos para el diseño, materiales, fabricación, pruebas, preparación para el envío e instalación de calentadores de fuego.
- Norma UNE 67019-86/2R: Ladrillos cerámicos de arcilla cocida.
- Norma UNE 123001: Cálculo, diseño e instalación de chimeneas modulares.
- Código ASME BPV Sección VII para la construcción de recipientes a presión.
- Normas TEMA: para el diseño de intercambiadores de calor.

8. Seguridad del proceso

8.1 *Identificación de escenarios de incidentes*

Para la identificación de escenarios de incidentes se recurrió al método HAZOP. Este consiste en una técnica estructurada y sistemática de análisis de riesgos que permite identificar peligros potenciales y problemas operacionales en procesos químicos, generalmente documentados a través de diagramas de procesos e instrumentos.

El estudio se ha realizado dividiendo los equipos a estudiar en diversos nodos. Un nodo de la alimentación de la unidad, otro con los servicios auxiliares y utilidades, y, finalmente, un nodo con los posibles peligros en la operación del equipo. El método HAZOP se ha aplicado al horno H-201, el reactor R-201, y la columna de destilación T-202.

Tabla 23: Nodo de alimentación al H-201

Palabra guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
NO	No flujo	1. Problemas en la sección 100 de la planta.	Sobrecalentamiento de los tubos y rotura, originando incendio o explosión.	A) Instalar un sensor de flujo con un sistema de alarmas y parada. B) Tener otra fuente de materia prima.
		2. Fallo de P-201.	Como para 1.	C) Instalar una bomba de repuesto.
		3. Conducción bloqueada.	Como para 1.	D) Revisar periódicamente la conducción.
		4. Rotura de la conducción.	Como para 1.	Cubierto por D). E) Si se repite cambiar el material de la conducción.
MÁS	Más flujo	5. Válvula mas abierta	El horno no tiene capacidad suficiente para calentar el fluido de proceso.	I) Instalar un lazo de control para garantizar un flujo máximo.
MENOS	Menos flujo	6. Fugas en la conducción	Como para 1.	Cubierto por A)

Tabla 24: Nodo de servicios auxiliares del H-201

Palabra guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
NO	No flujo de aire	1. Problemas en la traída de aire.	No se produce la combustión.	A) Revisión periódica del sistema. B) Alternativa en caso de fallo.
		2. Cierre de la válvula de control.	Como para 1.	C) Si falla mas de lo debido utilizar una válvula con menor probabilidad de fallo.
	No flujo de combustible	3. Problemas en el suministro de combustible.	Como para 1.	D) Como A. E) Como B.
		4. Cierre de la válvula de control.	Como para 1.	F) Como C.
MÁS	Más aire	5. Válvula mas abierta.	Exceso de aire y por lo tanto una combustión menos eficiente.	G) Instalar un lazo de control para garantizar el O ₂ suficiente, con un nivel máximo y mínimo.
	Más combustible	6. Válvula mas abierta.	Combustión incompleta y emisión de CO con lo que conlleva.	H) Detector de CO a la salida de la chimenea con un sistema de parada.

Tabla 25: Nodo de operación del H-201

Palabra guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
MÁS	Más presión	1. Cierre de la válvula de salida de gases	Sobrepresión en los tubos y posible rotura.	A) Instalar un sistema de alivio
		2. Calentamiento excesivo del gas	Como para 1	Cubierto por A)
	Más temperatura	3.Exceso de aire y fluido calefactor.	Calentamiento excesivo del fluido de proceso y de los tubos con posible rotura.	C) Sensores de temperatura con alarmas de alta temperatura.
		4. Menor caudal dentro de los tubos.	Calentamiento de los tubos y posible rotura.	Cubierto por C)
MENOS	Menos temperatura	5. Exceso de fluido de proceso	No se alcanza la temperatura necesaria provocando problemas aguas abajo del proceso.	D) Alarmas de baja temperatura
		6. Menor fluido calefactor o aire del necesario.	Como para 5.	Cubierto por D)
MAYOR QUE	Presencia de inertes	7. Problemas en la destilación de la sección 100	Aumenta el calor necesario y el horno no es capaz de calentar lo suficiente el fluido de proceso.	E) Instalar un analizador de composición a la entrada de la sección 200

Tabla 26: Nodo de alimentación al R-201

Palabra guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
NO	No flujo	1. Problemas aguas arriba en el proceso.	Calentamiento de los tubos con posible rotura. No se produce la reacción.	A) Sistema de parada del horno que calienta el fluido calefactor.
		2. Conducción bloqueada.	Como para 1.	Cubierto por A) B) Revisión periódica de la conducción.
		3. Rotura de la conducción.	Como para 1. Liberación de gases al ambiente.	Cubierto A) y B) C) Dispositivo de detección de fugas y mecanismo de seguridad.
		4. Cierre de la válvula de entrada.	Como para 1.	Cubierto por A) D) En caso de fallo reiterado cambio de la válvula.
MÁS	Más flujo	5. Apertura de la válvula FV-206.	No se produce la reacción completa.	E) Lazo de control de la composición de DO y sistema de parada.
MENOS	Menos flujo	6. Cierre parcial de la válvula FV-206.	Calentamiento excesivo de los gases y por tanto descontrol de la reacción.	F) Las alarmas de temperatura del reactor. H) Sistema de seguridad del horno similar al del H-201

Tabla 27: Nodo de servicios auxiliares del R-201

Palabra guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
NO	No flujo de fluido calefactor	1. Cierre de la válvula de control.	No se produce la reacción.	A) Revisión periódica de la válvula. B) Opción de manipulación manual.
		2. Rotura en los tubos del horno que calienta las sales.	Como para 1.	C) Sistema de seguridad del horno idéntico al del H-201.
MÁS	Más fluido calefactor	3. Apertura de la válvula TV-208.	Descontrol de la reacción y pérdida de producto.	D) Las alarmas de temperatura del reactor. E) Sistema de seguridad del horno similar al del H-201 G)Alarma de temperatura alta

Tabla 28: Nodo de operación del R-201

Palabra guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
MÁS	Más presión	1. Mayor entrada de gases por apertura de la válvula FV-206.	Sobrepresión en el reactor con peligro de rotura.	A) Dispositivo de alivio PSV-201
		2. Cierre de la válvula PV-207.	Como para 1.	Cubierto por A)
	Más temperatura	3. Calentamiento en exceso del fluido calefactor.	Descontrol de la reacción y pérdida de producto.	B) Las alarmas de temperatura del reactor. C) Sistema de seguridad del horno similar al del H-201
MENOS	Menos temperatura	4. Calentamiento en exceso del fluido calefactor.	Como para 3.	Cubierto por B) y C).
MAYOR QUE	Presencia de inertes	5. Fallo del lazo de control 201.	No se produce la reacción deseada y posible descontrol del reactor.	D) Lazo de control de la composición de DO y sistema de parada.

Tabla 29: Nodo de alimentación a la T-202

Palabra guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
NO	No flujo	1. Fallo de la bomba P-206.	Paralización del proceso de separación esperado	A) Alarma de nivel mínimo en la columna. B) Bomba de repuesto.
		2. Conducción bloqueada, válvula cerrada por error.	Como para 1.	Cubierto por A) C) Revisión periódica de la conducción. D) Instalar sistema de desconexión automática para protección de bombas
		3. Rotura de la conducción	Como para 1. Pérdidas de compuestos químicos.	Cubierto por A) y C) E) Sistema de detección de pérdidas de compuestos y contención segura.
		4. Inexistencia de flujo procedente de la T-201. Cierre de la válvula FV-221 por fallo del lazo del control 221.	Como para 1.	Cubierto por A) F) Asegurar una buena comunicación con el operador de la columna T-201.

MÁS	Más flujo	5. La válvula FV-221 falla abierta o el bypass de la FV abre por error.	Aumento del nivel en la columna. Posible existencia de no condensables debido a la capacidad del condensador. Disminuye la eficacia de la columna Inundación de la columna No se consigue vaporizar toda la salida por fondos de la columna	G)Instalar una alarma de nivel máximo H)Implantar un sistema-bloqueo en el by-pass cuando no deba usarse
MENOS	Menos flujo	6. Pérdidas en bridas o en válvulas	Disminuye el nivel en la columna. Variación de la eficacia de la separación. Posible arrastre en la columna. Peligro de sobrecalentamiento de los tubos de la caldera	Cubierto por A),C)y E)

Tabla 30: Nodo de servicios auxiliares de la T-202

Palabra guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
NO	No flujo de fluido refrigerante del condensador.	2. Problemas en la línea de traída del fluido refrigerante(roturas o conducciones bloqueadas)	No condensa la mezcla y por tanto no hay reflujo, lo que provoca que no se produzca la separación.	A) Sistema de parada de la columna. B) Alarma de nivel en el tanque de reflujo
	No flujo de fluido calefactor a la caldera	2. Problemas en la línea de traída del fluido calefactor(roturas o conducciones bloqueadas)	No se vaporiza parte de la corriente que abandona la columna y aumenta el nivel provocando una posible inundación. No se produce la separación.	C) Alarma de nivel alto. D) Sistema evacuación segura de la columna.
MÁS	Más fluido calefactor	3. Problemas en la línea de traída del fluido calefactor	Se puede evaporar más líquido de lo normal lo que provoca la presencia de no condensables en el condensador. Cambia la composición de los productos porque se ve afectada la eficacia de la separación Posible episodio de sobrepresión	E) Alarma de nivel bajo F) Mecanismo de alivio de la presión
	Más fluido refrigerante	4. Problemas en la línea de traída del fluido refrigerante	Subenfriamiento de la corriente de reflujo y por tanto varía la eficacia de separación.	G) Alarma de temperatura alta

Tabla 31: Nodo de operación de la T-202

Palabra guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
MÁS	Más presión	1. Cierre de la válvula 224 Por fallo del lazo de control 224 estando la bomba P-206 en funcionamiento.	Posibilidad de presurización hidráulica por acción de la bomba P-206 que envía producto a la columna. Riesgo de superar la presión de diseño. Riesgo de fugas y roturas.	A) PAH que pueda ser gestionada por el operario con tiempo suficiente B)PSV de envío a antorcha C) Estudiar la mejora de seguridad que supone instalar un LT independiente que actúe cerrando la alimentación con una XV independiente.
		2. Cuando el reflujo tiene una composición elevada en incondensables o llegada procedente de la T-201 de productos más ligeros a lo esperado.	Aumento gradual de presión en la columna. Si la situación se mantiene en el tiempo integridad mecánica en riesgo	Cubierto por A) y B)
		3. Fuego externo	Integridad mecánica en riesgo	D)Comprobar que la válvula está calculada a fuego.

		4. Mayor caudal de fluido calefactor.	Se puede evaporar mas liquido de lo normal lo que provoca la presencia de no condensables en el condensador. Cambia la composición de los productos porque se ve afectada la eficacia de la separación Posible episodio de sobrepresión	Cubierto por A) y B) E)Alarma de nivel bajo
	Más temperatura	5. Menor caudal de fluido refrigerante del condensador.	Aumento de la temperatura de la columna y por tanto variación de la eficacia de la separación.	F)Indicador de temperatura

		6. Fuego externo o fuerte radiación solar.	como 5. Peligro de la integridad mecánica de la columna.	
MENOS	Menos temperatura	7. Condiciones invernales	Aumento del nivel de la columna. Disminuye la eficacia de la columna Posible congelamiento de la columna y peligro de la integridad mecánica	G)Aislante calorífugo mediante vapor.
MAYOR QUE	Operación	8. Alimentación fluctuante a la columna	La válvula 225 abriría y cerraría bruscamente intentando mantener el nivel de líquido. Sin consecuencias para la seguridad. Riesgo de generar problemas operativos graves en la unidad	

DE OTRA FORMA	Composición de la alimentación a la columna.	9. Perturbaciones en la columna T-201.	La columna no está diseñada para separar una mezcla con esa composición	H) Un indicador de la composición de alimentación en el tanque de acético
	Presencia de ácido acético	10. Perturbaciones en la columna de destilación T-201.	Incrementa el grado de corrosión de la instalación Presiones más elevadas	Necesaria verificación de la idoneidad de materiales de construcción. Verificar que el diseño de la columna y tubería sea capaz de resistir sobrepresiones generadas por la presencia de compuestos más volátiles.

8.2 Disposición de los equipos en la planta

La disposición de los equipos en la planta se hará respetando las distancias mínimas que se indican en la Figura 5, también se seguirán las recomendaciones del artículo “Implantaciones de equipos en plantas petroquímicas” de la revista Ingeniería Química de Mayo de 1998. Estas distancias se aplicarán entre los distintos bloques en los que se dividirá la planta:

- Bloque de intercambio de calor: en él se encontraran los intercambiadores de calor E-201, E-202, E-203, E-204, E-205, E-206, X-201, y también el F-201, ya que este último se encuentra al lado del X-201 porque se conduce una corriente con sólidos.
- Bloque reactor-horno: en los procesos químicos en los que se utilice un horno para calentar la alimentación del reactor se recomienda que se encuentren lo más cerca posible a este último. Esto se debe a que así las líneas de transferencia son más cortas y más sencillas, también se recomienda que tengan chimeneas comunes. La distancia entre estos debe ser de entre 6 y 10 metros.
- Bloque de las columnas de destilación: en él se encuentran la T-201 y T-202. La distancia mínima recomendaba entre ambas torres es de 3 metros, en función de la necesidad de reemplazar los platos.
- Bloque de almacenamiento de productos: los tanques TK-201 y TK-202 se encontrarán juntos y alejados del resto de unidades de proceso, para que en caso de accidentes no se vean afectados, ya que contienen una gran cantidad de productos, ambos con peligro de explosión.
- Bloque de sala de control, oficinas, vestuarios y comedor: se encuentran juntos debido a que ninguno es peligroso, y así se encuentran alejados de las unidades de proceso.
- Bloque de utilidades y tratamiento de residuos: las utilidades como las sales fundidas, y los residuos como la goma, deben ser almacenados para su recogida periódica por un gestor autorizado.

La distribución de los equipos puede verse con más detalle en el plano 04, que contiene el diagrama de implantación de la planta.

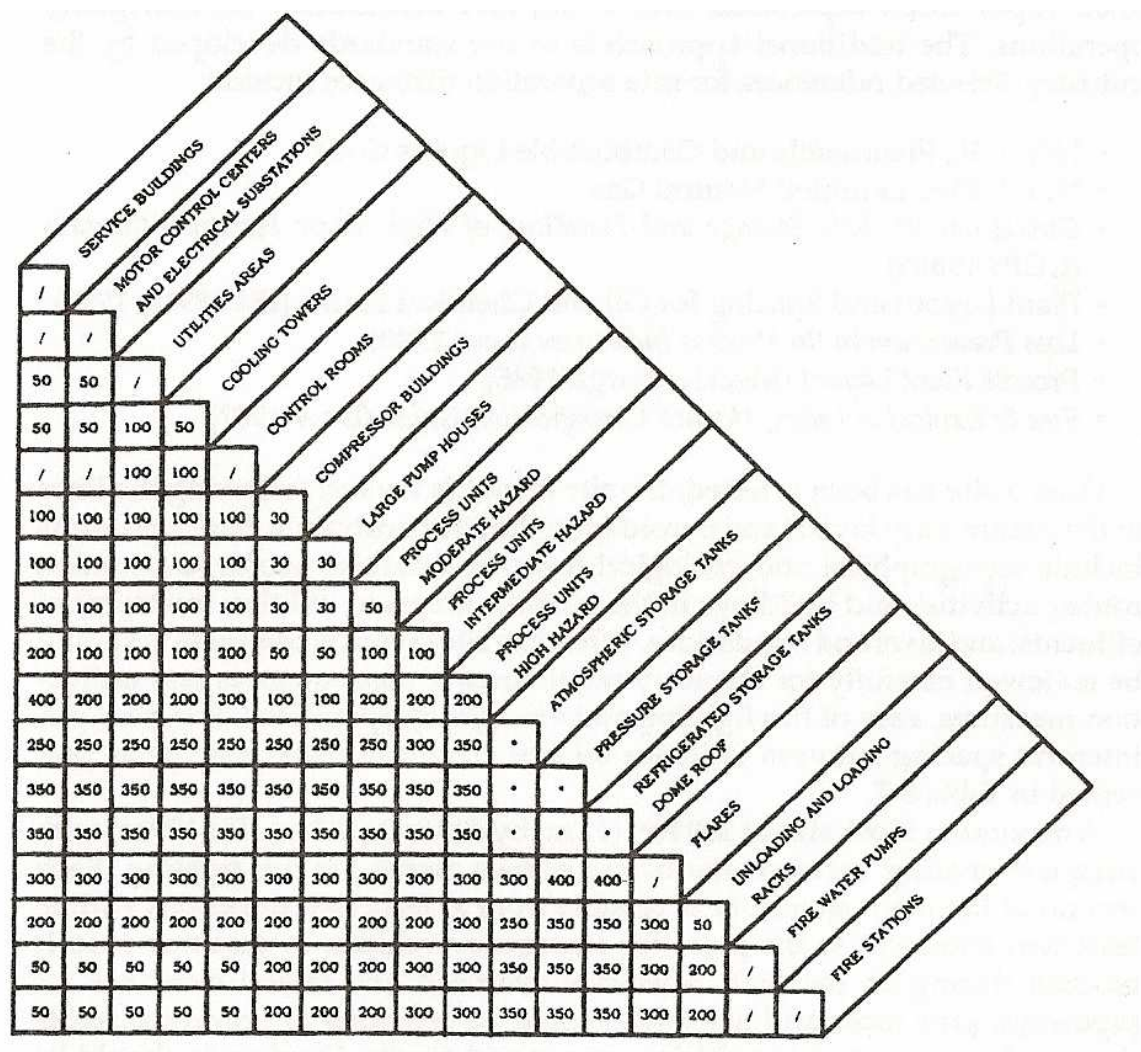


Figura 4: Distancias mínimas de seguridad entre unidades en pies.

El bloque rector-horno se considera como de alta peligrosidad, por lo que se encontrará separado del resto de bloques 61 metros, de la sala de control debe encontrarse a un mínimo de 90 metros, esto se cumple, ya que se sitúan en extremos opuestos de la planta.

Los otros bloques de unidades se consideran de peligrosidad intermedia, por lo que deberán separarse 30 metros.

La distancia que recorre el fluido de proceso entre las distintas unidades está reflejado en el diagrama de-hacia de la Tabla 33.

Hacia De	P-201	H-201	R-201	E-201	X-201	F-201	E-202	T-201	E-203	TK-201	T-202	E-204	TK-202
P-201	-	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H-201	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-201	-	-	-	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-201	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-
X-201	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
F-201	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-
E-202	-	-	-	-	-	-	-	61	-	-	-	-	-
T-201	-	-	-	-	-	-	-	-	61	-	4	-	-
E-203	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	-	-	-
TK-201	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-202	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	-
E-204	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61
TK-202	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 32: Diagrama de-hacia

8.3 *Inventario de sustancias*

Las únicas sustancias que se almacenarán en el proceso serán el ácido acético y el 1-tetradeceno. Se almacenarán cerca de 25 toneladas de ácido acético, y casi 76 toneladas de 1-tetradeceno. Para la clasificación de las sustancias se seguirá lo establecido en la Directiva 2012/18/UE. En concreto se estudiará si son sustancias peligrosas, por la definición del apartado 3 del artículo 10, en caso de que sean peligrosas se comprobará si la cantidad almacenada se encuentran dentro del intervalo estipulado en la Directiva.

8.3.1 **Ácido Acético**

El ácido acético tiene un punto de inflamación de 39°C, por lo que se considera una sustancia inflamable. La cantidad almacenada es inferior a 5000 toneladas, por lo que se encuentra por debajo del intervalo que indica la necesidad de: presentar la Notificación, mantener la Política de Prevención de Accidentes Graves a disposición de la Comunidad Autónoma, remitir el Plan de Emergencia Interior.

Este compuesto también puede producir enfermedades crónicas como el edema pulmonar, por lo que se considera una sustancia tóxica, asimismo, se

encuentra por debajo de las 50 toneladas, por lo que tampoco es necesario presentar la Notificación, mantener la Política de Prevención de Accidentes Graves a disposición de la Comunidad Autónoma, remitir el Plan de Emergencia Interior.

8.3.2 *Drying oil*

El *drying oil* o 1-tetradeceno, no se considera una sustancia inflamable ni tóxica, pero si es combustible. Se encuentra por debajo del límite inferior para sustancias combustibles, por lo que no es necesario aplicar todo lo mencionado en el apartado del ácido acético.



Anexo I. Balances de materia

Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos

1. Balances de materia del proceso	3
2. Balance de materia de las unidades	7
2.1. Bomba P-201.....	7
2.2. Horno H-201.....	8
2.3. Reactor R-201	9
2.4. Condensador E-201	10
2.5. Bomba P-202.....	11
2.6. Enfriador X-201	12
2.7. Filtro F-201.....	13
2.8. Bomba P-203.....	14
2.9. Intercambiador de calor E-202	15
2.10. Bomba P-204.....	16
2.11. Columna de destilación T-201.....	17
2.12. Intercambiador de calor E-203.....	18
2.13. Bomba P-205.....	19
2.14. Tanque de almacenamiento TK-201	20
2.15. Bomba P-206.....	21
2.16. Columna de destilación T-202.....	22
2.17. Intercambiador de calor E-204.....	23
2.18. Intercambiador de calor E-205.....	24
2.19. Bomba P-207.....	25
2.20. Tanque de almacenamiento TK-202	26
2.21. Intercambiador de calor E-206.....	27
2.22. Bomba P-208.....	28

1. Balances de materia del proceso

En esta sección se explicará la realización del balance de materia general y se presentarán los balances de materia referidos a cada una de las unidades de la planta con el fin de facilitar su comprensión, de una forma más rápida y visual. En todas las corrientes del proceso se encuentran trazas de dos compuestos: ácido esteárico y ácido oleico, que se han tenido en cuenta a la hora de los balances para el cálculo de los flujos totales. La composición de la corriente de alimentación a la sección 200 se ha obtenido a través de una simulación en *HYSYS* del tren de destilación de la sección 100. Sin embargo, éstos no se incluyen en las tablas ya que son constantes a lo largo de todo el proceso. La aparición de los equipos seguirá el orden que llevan en el proceso de producción de aceite seco.

El cálculo de la salida de colas y de destilado de las columnas T-201 y T-202 se aplican las especificaciones de cada uno que se pueden ver en el anexo II de la Memoria.

Antes de mostrar los balances de cada unidad se explicará cómo se calcula el balance general de materia:

Producción de D.O = 12.500 t/año

Los cálculos se realizarán en kmol/h para manejar magnitudes menores:

$$12.500 \frac{t}{año} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 t} \times \frac{1 \text{ kmol}}{196,4 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ año}}{330 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} = 8,036 \text{ kmol de D.O/h}$$

Conocida la selectividad de la reacción se calcula la goma producida en la reacción secundaria:

$$8,036 \frac{\text{kmol de D.O}}{h} \times \frac{1 \text{ kmol de goma}}{38,3 \text{ kmol de D.O}} = 0,210 \text{ kmol de goma/h}$$

En la reacción secundaria por cada 2 moles de D.O se forman 1 mol de goma. Por tanto el D.O necesario para formar goma es:

$$0,210 \frac{\text{kmol de goma}}{h} \times \frac{2 \text{ kmol de D.O}}{1 \text{ kmol de goma}} = 0,420 \text{ kmol de D.O/h}$$

El D.O formado en la reacción primaria es igual al producido más el que ha reaccionado para formar goma en la reacción secundaria:

$$\text{D.O reacción primaria: } 8,036 \frac{\text{kmol}}{h} + 0,420 \frac{\text{kmol}}{h} = 8,456 \text{ kmol de D.O/h}$$

La cantidad de ácido acético formado se calcula mediante la estequiometria de la reacción primaria. En la reacción primaria se forma la misma cantidad de ácido acético que de D.O:

$$\begin{aligned} \text{Reac. primaria: } & 8,456 \frac{\text{kmol de D.O}}{h} \times \frac{1 \text{ kmol de A. Acético}}{1 \text{ kmol de D.O}} \\ & = 8,456 \frac{\text{kmol de A. Acético}}{h} \end{aligned}$$

$$\text{A. Acético formado: } 8,456 \frac{\text{kmol}}{h}$$

1ª Reacción

$$8,456 \frac{\text{kmol de D.O}}{h} \times \frac{1 \text{ kmol de A. Palmítico}}{1 \text{ kmol de D.O}} \times \frac{100}{62,54} = 13,520 \text{ kmol de A. Palmítico}/h$$

$$8,456 \frac{\text{kmol de D.O}}{h} \times \frac{1 \text{ kmol de A. Acético}}{1 \text{ kmol de D.O}} = 8,456 \frac{\text{kmol de A. Acético}}{h}$$

2ª Reacción

$$0,210 \frac{\text{kmol de goma}}{h}$$

Recirculación de ácido palmítico

$$(8,456 + x)(1 - 0,6254) = x$$

$$x = 5,065 \text{ kmol de A. Palmítico recirculado}/h$$

Tabla 1. Balance de materia general

Corriente (kmol/h)	A.Palmítico	D.O	A.Acético	Goma
Entrada reactor	13,520	-	-	-
Salida reactor	5,065	8,036	8,456	0,210

En la Figura 1 se esquematizan los resultados obtenidos.

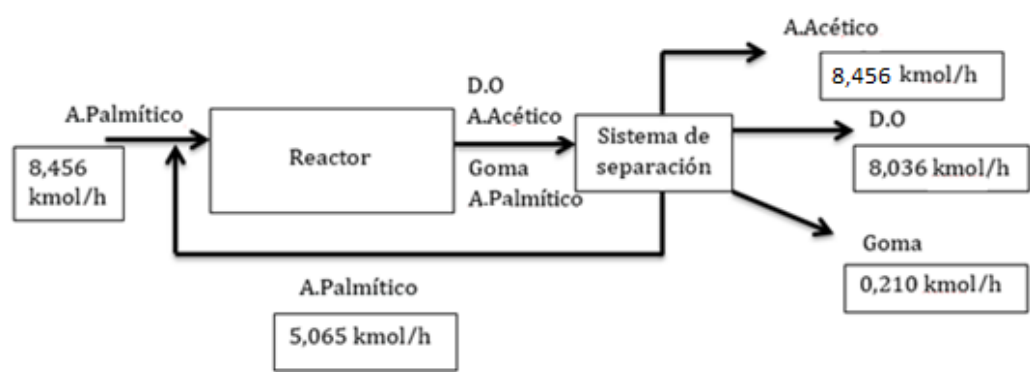


Figura 1. Balance general de materia

2. Balance de materia de las unidades

2.1. Bomba P-201

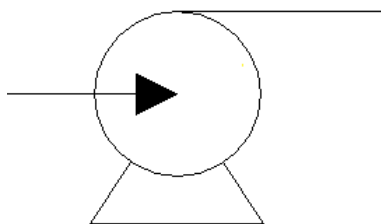


Figura 2. Bomba P-201

Tabla 2. Información de las corrientes de P-201

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	13,85	13,85
Flujo másico (kg/h)	3530,89	3530,89
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	100	100
Presión (kPa)	101,325	297,25
Fracción molar ác.palmítico	0,9761	0,9761
Fracción molar ác.acético	0	0
Fracción molar drying oil	0	0
Fracción molar goma	0	0

2.2. Horno H-201

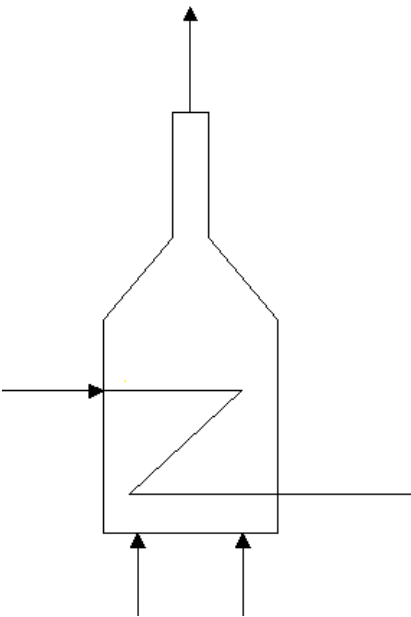


Figura 3. Horno H-201

Tabla 3. Información de las corrientes del H-201

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	13,85	13,85
Flujo másico (kg/h)	3530,89	3530,89
Temperatura (°C)	100	370
Presión (kPa)	297,25	140
Fracción molar ác.palmítico	0,9761	0,9761
Fracción molar ác.acético	0	0
Fracción molar drying oil	0	0
Fracción molar goma	0	0

2.3. Reactor R-201

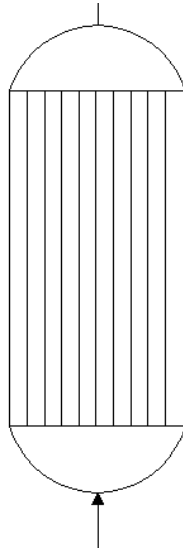


Figura 4. Reactor R-201

Tabla 4. Información de las corrientes del R-201

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	13,85	21,99
Flujo másico (kg/h)	3530,89	3530,89
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	370	370
Presión (kPa)	125	116
Fracción molar ác.palmitico	0,9761	0,2303
Fracción molar ác.acético	0	0,3845
Fracción molar drying oil	0	0,3654
Fracción molar goma	0	0,0095

2.4. Condensador E-201

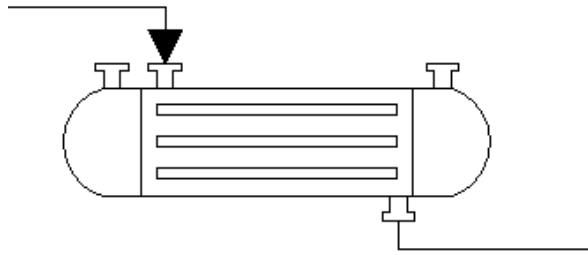


Figura 5. Condensador E-201

Tabla 5. Información de las corrientes del E-201

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	21,99	21,99
Flujo másico (kg/h)	3530,89	3530,89
Temperatura (°C)	370	154
Presión (kPa)	114,28	103,28
Fracción molar ác.palmítico	0,2303	0,2303
Fracción molar ác.acético	0,3845	0,3845
Fracción molar drying oil	0,3654	0,3654
Fracción molar goma	0,0095	0,0095

2.5. Bomba P-202

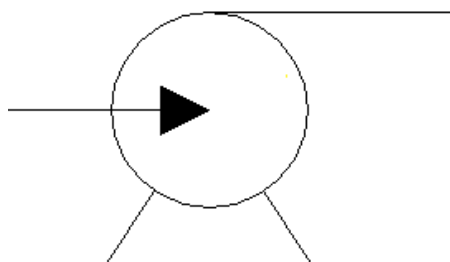


Figura 6. Bomba P-202

Tabla 6. Información de las corrientes de P-202

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	21,99	21,99
Flujo másico (kg/h)	3530,89	3530,89
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	154	154
Presión (kPa)	103,28	135
Fracción molar ác.palmítico	0,2303	0,2303
Fracción molar ác.acético	0,3845	0,3845
Fracción molar drying oil	0,3654	0,3654
Fracción molar goma	0,0095	0,0095

2.6. Enfriador X-201

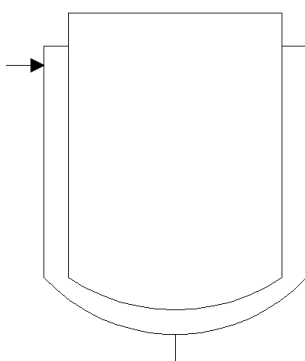


Figura 7. Enfriador X-201

Tabla 7. Información de las corrientes del X-201

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	21,99	21,99
Flujo másico (kg/h)	3530,89	3530,89
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	154	100
Presión (kPa)	135	125
Fracción molar ác.palmítico	0,2303	0,2303
Fracción molar ác.acético	0,3845	0,3845
Fracción molar drying oil	0,3654	0,3654
Fracción molar goma	0,0095	0,0095

2.7. Filtro F-201

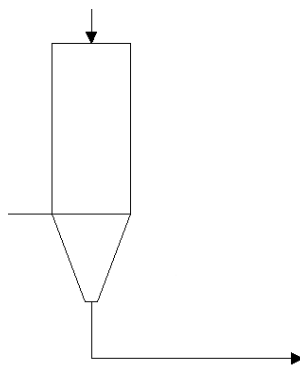


Figura 8. Filtro F-201

Tabla 8. Información de las corrientes del F-201

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	21,99	21,78
Flujo másico (kg/h)	3530,89	3448,49
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	100	100
Presión (kPa)	125	120
Fracción molar ác.palmitico	0,2303	0,2325
Fracción molar ác.acético	0,3845	0,3882
Fracción molar drying oil	0,3654	0,3689
Fracción molar goma	0,0095	0

2.8. Bomba P-203

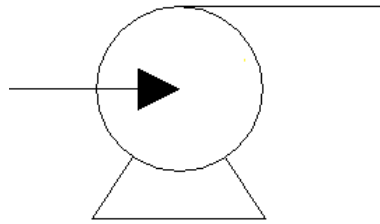


Figura 9. Bomba P-203

Tabla 9. Información de las corrientes de P-203

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	21,78	21,78
Flujo másico (kg/h)	3448,49	3448,49
Temperatura (°C)	100	100
Presión (kPa)	120	125,5
Fracción molar ác.palmítico	0,2325	0,2325
Fracción molar ác.acético	0,3882	0,3882
Fracción molar drying oil	0,3689	0,3689
Fracción molar goma	0	0

2.9. Intercambiador de calor E-202

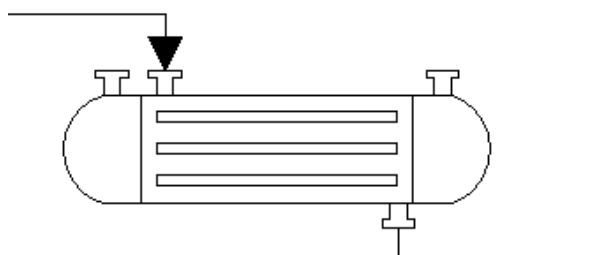


Figura 10. Intercambiador de calor E-202

Tabla 10. Información de las corrientes del E-202

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	21,78	21,78
Flujo másico (kg/h)	3448,49	3448,49
Temperatura (°C)	100	154
Presión (kPa)	125,5	125
Fracción molar ác.palmítico	0,2325	0,2325
Fracción molar ác.acético	0,3882	0,3882
Fracción molar drying oil	0,3689	0,3689
Fracción molar goma	0	0

2.10. Bomba P-204

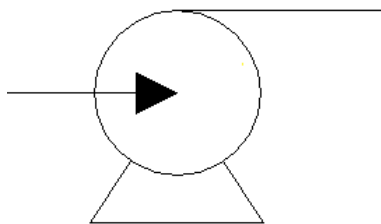


Figura 11. Bomba P-204

Tabla 11. Información de las corrientes P-204

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	21,78	21,78
Flujo másico (kg/h)	3448,49	3448,49
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	154	154
Presión (kPa)	125	125
Fracción molar ác.palmítico	0,2325	0,2325
Fracción molar ác.acético	0,3882	0,3882
Fracción molar drying oil	0,3689	0,3689
Fracción molar goma	0	0

2.11. Columna de destilación T-201

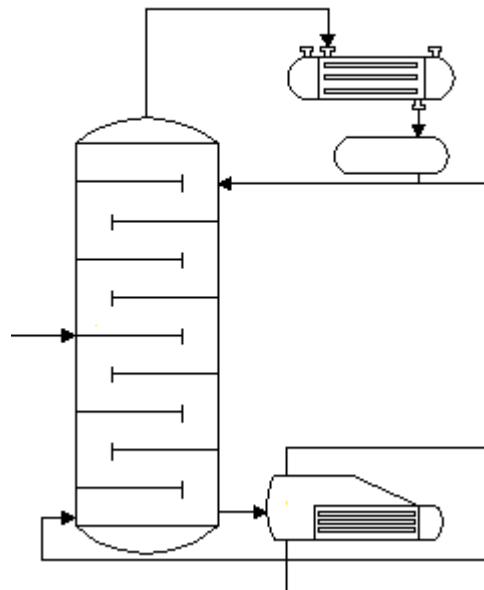


Figura 12. Columna de destilación T-201

Tabla 12. Información de las corrientes de T-201

	Entrada	Salida cabeza	Salida colas
Flujo molar (kmol/h)	21,78	8,452	13,329
Flujo másico (kg/h)	3448,49	518,89	2929,60
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	154	123,4	276,5
Presión (kPa)	125	110	120
Fracción molar ác.palmítico	0,2325	0	0,380
Fracción molar ác.acético	0,3882	0,990	0,006
Fracción molar drying oil	0,3689	0,010	0,597
Fracción molar goma	0	0	0

2.12. Intercambiador de calor E-203

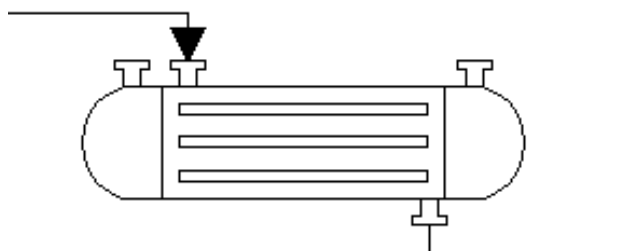


Figura 13. Intercambiador de calor E-203

Tabla 13. Información de las corrientes del E-203

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	8,452	8,452
Flujo másico (kg/h)	518,89	518,89
Temperatura (°C)	123,4	25
Presión (kPa)	110	101,32
Fracción molar ác.palmítico	0	0
Fracción molar ác.acético	0,990	0,990
Fracción molar drying oil	0,010	0,010
Fracción molar goma	0	0

2.13. Bomba P-205

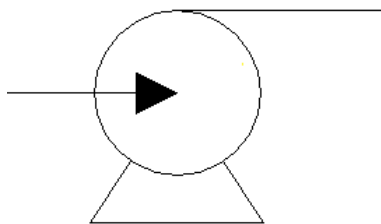


Figura 14. Bomba P-205

Tabla 14. Información de las corrientes de P-205

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	8,452	8,452
Flujo másico (kg/h)	518,89	518,89
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	25	25
Presión (kPa)	101,32	125
Fracción molar ác.palmítico	0	0
Fracción molar ác.acético	0,990	0,990
Fracción molar drying oil	0,010	0,010
Fracción molar goma	0	0

2.14. Tanque de almacenamiento TK-201

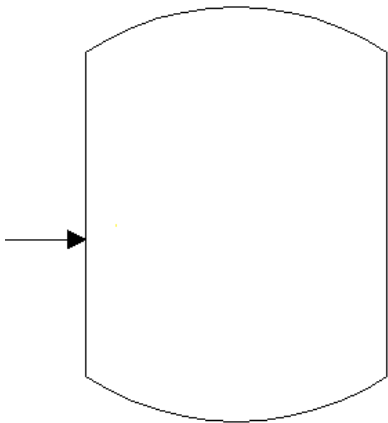


Figura 15. Tanque de almacenamiento TK-201

Tabla 15. Información de las corrientes del TK-201

	Entrada
Flujo molar (kmol/h)	8,452
Flujo másico (kg/h)	518,89
Temperatura (°C)	25
Presión (kPa)	125
Fracción molar ác.palmítico	0
Fracción molar ác.acético	0,990
Fracción molar drying oil	0,010
Fracción molar goma	0

2.15. Bomba P-206

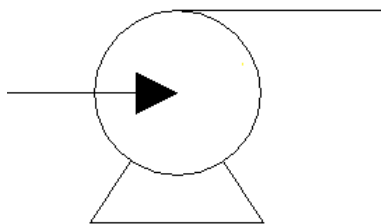


Figura 16. Bomba P-206

Tabla 16. Información de las corrientes de P-206

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	13,329	13,329
Flujo másico (kg/h)	2929,60	2929,60
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	276,5	276,5
Presión (kPa)	120	120
Fracción molar ác.palmítico	0,380	0,380
Fracción molar ác.acético	0,006	0,006
Fracción molar drying oil	0,597	0,597
Fracción molar goma	0	0

2.16. Columna de destilación T-202

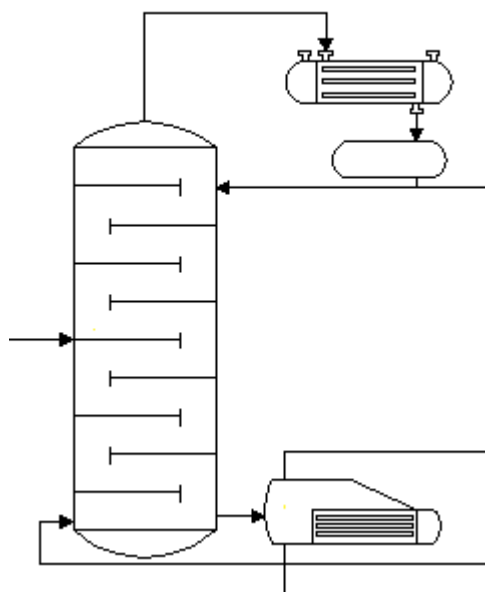


Figura 17. Columna de destilación T-202

Tabla 17. Información de las corrientes de T-202

	Entrada	Salida cabeza	Salida colas
Flujo molar (kmol/h)	13,329	8,011	5,318
Flujo másico (kg/h)	2929,60	1564,94	1364,66
Temperatura (°C)	276,5	259,6	358,7
Presión (kPa)	125	110	120
Fracción molar ác.palmítico	0,380	0,006	0,943
Fracción molar ác.acético	0,006	0,011	0
Fracción molar drying oil	0,597	0,983	0,015
Fracción molar goma	0	0	0

2.17. Intercambiador de calor E-204

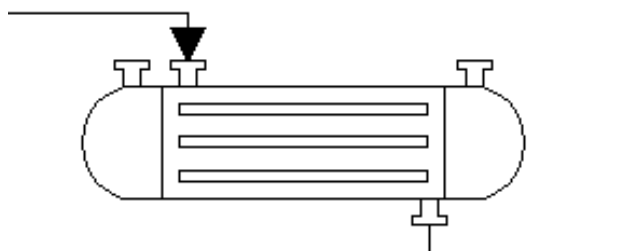


Figura 18. Intercambiador de calor E-204

Tabla 18. Información de las corrientes del E-204

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	8,01	8,01
Flujo másico (kg/h)	1564,94	1564,94
Temperatura (°C)	259,6	118
Presión (kPa)	110	106
Fracción molar ác.palmítico	0,006	0,006
Fracción molar ác.acético	0,011	0,011
Fracción molar drying oil	0,983	0,983
Fracción molar goma	0	0

2.18. Intercambiador de calor E-205

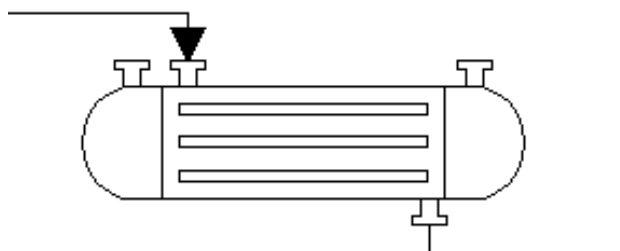


Figura 19. Intercambiador de calor E-205

Tabla 19. Información de las corrientes de E-205

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	8,01	8,01
Flujo másico (kg/h)	1564,94	1564,94
Temperatura (°C)	118	25
Presión (kPa)	106	102
Fracción molar ác.palmítico	0,006	0,006
Fracción molar ác.acético	0,011	0,011
Fracción molar drying oil	0,983	0,983
Fracción molar goma	0	0

2.19. Bomba P-207

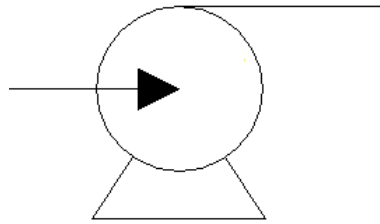


Figura 20. Bomba P-207

Tabla 20. Información de las corrientes P-207

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	8,01	8,01
Flujo másico (kg/h)	1564,94	1564,94
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	25	25
Presión (kPa)	102	125
Fracción molar ác.palmítico	0,006	0,006
Fracción molar ác.acético	0,011	0,011
Fracción molar drying oil	0,983	0,983
Fracción molar goma	0	0

2.20. Tanque de almacenamiento TK-202

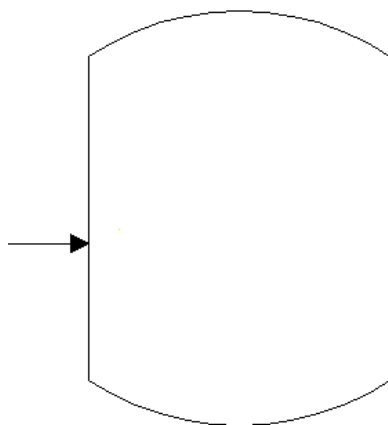


Figura 21. Tanque de almacenamiento TK-202

Tabla 21. Información de las corrientes del TK-202

	Entrada
Flujo molar (kmol/h)	8,01
Flujo másico (kg/h)	1564,94
Temperatura (°C)	25
Presión (kPa)	125
Fracción molar ác.palmítico	0,006
Fracción molar ác.acético	0,011
Fracción molar drying oil	0,983
Fracción molar goma	0

2.21. Intercambiador de calor E-206

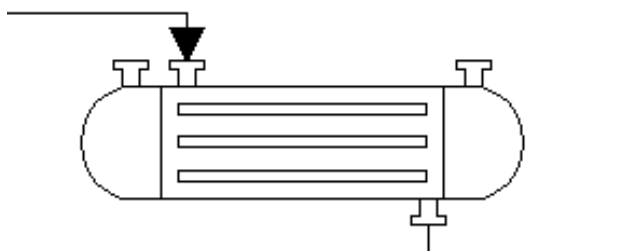


Figura 22. Intercambiador de calor E-206

Tabla 22. Información de las corrientes del E-206

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	5,318	5,318
Flujo másico (kg/h)	1364,66	1364,66
Temperatura (°C)	358,7	200,6
Presión (kPa)	120	114
Fracción molar ác.palmítico	0,943	0,943
Fracción molar ác.acético	0	0
Fracción molar drying oil	0,015	0,015
Fracción molar goma	0	0

2.22. Bomba P-208

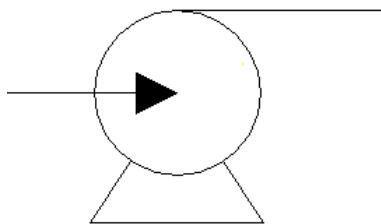


Figura 23. Bomba P-208

Tabla 23. Información de las corrientes P-207

	Entrada	Salida
Flujo molar (kmol/h)	5,318	5,318
Flujo másico (kg/h)	1364,66	1364,66
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	200,6	200,6
Presión (kPa)	114	125
Fracción molar ác.palmítico	0,943	0,943
Fracción molar ác.acético	0	0
Fracción molar drying oil	0,015	0,015
Fracción molar goma	0	0



Anexo II. Cálculos justificativos

Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos

1. Diseño del horno H-201	5
1.1 Diseño térmico	5
1.1.1. Balance de energía.....	5
1.1.2. Eficiencia del horno.....	8
1.1.3. Cálculo del calor liberado y del combustible y aire necesarios.....	9
1.1.4. Método de Lobo y Evans	11
1.2. Dimensionamiento de la chimenea	22
1.3. Diseño mecánico	27
1.3.1. Calculo del número de quemadores	27
1.3.2. Disposición de los elementos de la cámara	28
1.3.3. Material y espesor de los tubos	28
1.3.4. Cálculo de las dimensiones del refractario	30
1.3.5. Materiales de la chimenea	32
1.3.6. Calculo del peso del horno y la chimenea	33
1.3.7. Análisis estructural de la chimenea.....	35
1.3.8. Selección del soporte	39
1.4. Caída de presión del fluido de proceso.....	42
1.5. Impacto ambiental del H-201	43
1.6. Seguridad de H-201	44
2. Diseño del reactor R-201	47
2.1. Introducción.....	47
2.2. Consideraciones.....	49
2.3. Cálculo de la entalpía de reacción	49
2.4. Balance de energía.....	52
2.5. Volumen del reactor y tiempo medio de residencia (TMR).....	53
2.6. Diseño Intercambiador-Reactor	57
2.7. Diseño mecánico.....	78
2.7.1. Elección del material de construcción.....	78
2.7.2. Diseño del espesor de la carcasa.....	82
2.7.3. Determinación de los cabezales y su espesor.....	85
2.7.4. Aislante	87
2.7.5. Cálculo del peso	92
2.7.6. Deflectores	94
2.7.7. Soporte	94
3. Diseño del condensador E-201	105
3.1. Diseño térmico	105
3.1.1. Etapa 1: Especificación	105
3.1.2. Etapa 2: Propiedades físicas	107
3.1.3. Etapa 3: Coeficiente global	107
3.1.4. Etapa 4: Tipo y dimensiones del condensador	108
3.1.5. Etapa 5: Área de transferencia de calor	109
3.1.6. Etapa 6: Distribución y tamaño de los tubos	109
3.1.7. Etapa 7: Número de tubos	110
3.1.8. Etapa 8: Diámetro de la carcasa y el haz.....	113
3.1.9. Etapa 9: Coeficiente de transferencia de calor del lado de los tubos.....	115
3.1.10. Etapa 10: Coeficiente de transferencia de calor del lado de la carcasa.....	115
3.1.11. Etapa 11: Coeficiente global	116
3.1.12. Etapa 12: Caída de presión	118
3.2. Diseño mecánico.....	121
3.2.1. Condiciones de diseño.....	122
3.2.2. Materiales elegidos.....	122
3.2.3. Corrosión permisible.....	122
3.2.4. Elección del tipo de cubiertas terminales	122

3.2.5. Determinación del espesor mínimo de la pared para la carcasa, cabezales y tubos	123
3.2.6. Aislamiento	125
3.2.7. Cálculo del peso	126
4. Diseño de las columnas de destilación T-201 y T-202.....	128
4.1. Justificación del empleo de las columnas.....	128
4.1.1. Método de separación	128
4.1.2. Elección de los agentes de separación.....	131
4.1.3. Equipo de separación	131
4.1.4. Secuencia óptima de los equipos de separación	131
4.1.5. Condiciones óptimas de operación de los equipos	136
4.2. Diseño de la torre de destilación T-202	136
4.2.1. Introducción	136
4.2.2. Especificaciones del grado de separación requerido	138
4.2.3. Condiciones de operación.....	139
4.2.4. Dispositivo de contacto.....	140
4.2.5. Requerimientos de etapas y reflujo.....	141
4.2.6. Dimensionamiento de la columna.....	163
4.3. Diseño de la torre de destilación T-201.	213
4.3.1. Especificaciones del grado de separación requerido	213
4.3.2. Condiciones de operación.....	214
4.3.3. Dispositivos de contacto	214
4.3.4. Requerimientos de etapas y reflujo.....	214
4.3.5. Dimensionamiento de la columna.....	228
4.4. Estudio impacto ambiental de la T-202	244
4.4.1. Impacto sobre el medio y biológico	244
4.4.2. Contaminación atmosférica	244
4.4.3. Contaminación de las aguas y del subsuelo	245
4.4.4. Contaminación acústica.....	246
4.4.5. Vibraciones	246
4.4.6. Impacto visual	246
4.5. Estudio de seguridad y salud de la columna T-202.....	246
4.5.1. Peligros asociados a los compuestos	246
4.5.2. Peligros asociados a las condiciones de operación	247
5. Diseño intercambiadores E-202 E-203, E-204, E-205 y E-206	248
5.1. Introducción.....	248
5.2. Diseño térmico de los intercambiadores.....	251
5.2.1. Etapa 1 y 2: Recogida de propiedades y balance de energía.....	251
5.2.2. Etapa 3: Coeficiente global de transmisión de calor.....	255
5.2.3. Etapa 4: Tipo y dimensiones del intercambiador	256
5.2.4. Etapa 5: Área de transferencia de calor.....	258
5.2.5. Etapa 6: Distribución y tamaño de los tubos	258
5.2.6. Etapa 7: Número de tubos	261
5.2.7. Etapa 8: Diámetro de la carcasa y el haz.....	264
5.2.8. Etapa 9: Coeficiente de transferencia de calor del lado de los tubos.....	266
5.2.9. Etapa 10: Coeficiente de transferencia de calor del lado de la carcasa	267
5.2.10. Etapa 11: Coeficiente global.....	270
5.2.10. Etapa 12: Caída de presión	270
5.3. Resumen de los intercambiadores de calor.....	275
6. Selección del filtro F-201.....	278
7. Diseño de los tanques de almacenamiento TK-201 y TK-202	281
7.1. Almacenamiento de ácido acético: TK-201.....	281

Peso del recipiente.....	285
Soporte.....	286
7.2. Almacenamiento de drying oil: TK-202	289
Peso del recipiente.....	291
Soporte.....	292
8. Diseño de las bombas	301
8.1 Justificación de las bombas.....	310

1. Diseño del horno H-201

Los hornos tienen diversos usos en la industria química, como son el “cracking” térmico, procesos de gas a alta temperatura, o vaporización de corrientes. Este último es el que va a tener en este proceso.

El objetivo del horno es el de calentar la corriente de alimentación al reactor, compuesta por ácido palmítico al 97,61%, de 100°C hasta 370°C, para entrar en el reactor a la temperatura de reacción.

Tabla 1.1: Datos del fluido de proceso: Ácido palmítico

Caudal	3530,89 kg/h
Temperatura de entrada	100°C
Temperatura de salida	370°C
Temperatura de ebullición(125 kPa)	360,7°C
Entalpía de vaporización	250,16 kJ/kg

Para el diseño de la unidad se aplicará un sobredimensionamiento del 25% en el caudal de ácido palmítico para cubrir las simplificaciones hechas y posibles aumentos de caudal.

1.1 Diseño térmico

En el diseño térmico del H-201 se calcularán los balances de materia y energía. También se aplicará un método aproximado para conocer las principales dimensiones del horno, como es el número de tubos de la sección radiante.

1.1.1. Balance de energía

En los hornos con sección radiante el flujo de calor principal es por radiación, y sigue la Ecuación 1.1:

$$Q = F \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad [1.1]$$

En la transferencia de calor por radiación hay una iteración compleja entre las distintas partes, por lo que se utilizan métodos, con simplificaciones y suposiciones, basados en la Ecuación 1.1

El cálculo del calor necesario requiere tres etapas: primero el cálculo del calor necesario para alcanzar la temperatura de ebullición, luego el calor necesario para que se produzca el cambio de fase, y finalmente el calor para alcanzar la temperatura de salida del horno.

$$Q_{necesario} = Q_{100 \rightarrow 360,7^\circ C} + Q_{vap} + Q_{360,7+370^\circ C} \quad [1.2]$$

$$Q_{100 \rightarrow 360,7^\circ C} = m C_p \Delta T = 1,20 \frac{kg}{s} \cdot 2,5 \frac{kJ}{kg^\circ C} \cdot (360,7 - 100)^\circ C = 782,59 kJ/s \quad [1.3]$$

$$Q_{vap} = m \Delta H_{vap} = 1,20 \frac{kg}{s} \cdot 250,16 \frac{kJ}{kg^\circ C} = 301,22 kJ/s \quad [1.4]$$

$$Q_{360,7+370^\circ C} = m C_p \Delta T = 1,20 \frac{kg}{s} \cdot 2,69 \frac{kJ}{kg^\circ C} \cdot (370 - 360,7)^\circ C = 30,11 kJ/s \quad [1.5]$$

$$Q_{necesario} = 1.113,92 \frac{kJ}{s} = 1.113,92 kW \approx 1.114 MW$$

Los hornos con una potencia inferior a 1.500 MW suelen utilizar tan solo la cámara de radiación, debido a que es suficiente para satisfacer las necesidades. En caso de que fuese necesario aprovechar la energía que sale de la sección radiante, podría considerarse el añadir una sección de convección que precalentase el fluido de proceso u otra corriente. La potencia necesaria es inferior a 1.500 kW por lo que el horno a

utilizar será del tipo cilindro vertical “Cámara Radiante”. El esquema sería como el de la Figura 1.1.

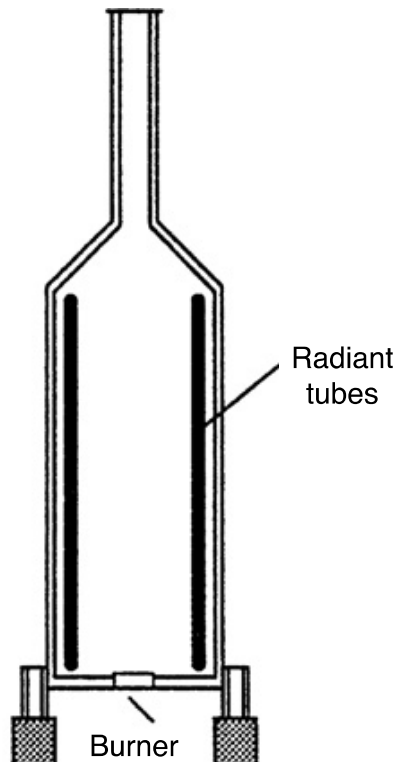


Figura 1.1: Esquema del horno tipo cilindro vertical solo con sección radiante(Fuente: Sinnott.R, Towler.G. “Chemical Engineering Design”. 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

El uso de precalentadores de aire está justificado cuando se debe economizar el combustible, debido a la gran cantidad de calor que se intercambia, y por tanto, a la gran cantidad de combustible que se consume. Al tratarse de un horno con poca potencia no se utilizarán precalentadores de aire.

El combustible seleccionado es un fuel gas, en concreto el gas natural. El principal motivo de la elección es que, tiene un poder calorífico suficiente para poder suministrar el calor necesario al horno, y aparte su distribución en España, lugar geográfico de la planta, está ya instaurada. Otro motivo es que desde el punto de vista medioambiental es mejor que otros combustibles como el carbón.

En la Tabla 1.2 se refleja la composición del gas natural en España, suministrado por la empresa Gas Natural Fenosa.

Tabla 1.2: Datos del combustible: Gas natural (Fuente: Gas Natural Fenosa)

Componente	%	PCI(MJ/kg)
N_2	3,50	0,00
CH_4	88,20	49,95
C_2H_6	5,75	47,45
C_3H_8	1,88	46,33
C_4H_{10}	0,36	45,73
C_5H_{12}	0,16	45,33
C_6H_{14}	0,17	45,00

A partir de la composición y el poder calorífico inferior de cada componente se obtiene el poder calorífico inferior del combustible:

$$P.C.I = \sum_{i=1}^n x_i P.C.I_i \quad [1.6]$$

$$P.C.I = 47,96 \text{ MJ/kg}$$

Los cálculos en el combustible se hacen suponiendo que todo reacciona y genera energía, para ello es necesario establecer un exceso de aire. El exceso de aire tiene dos objetivos: uno el citado anteriormente y otro con objetivo medioambiental, ya que una combustión incompleta generaría monóxido de carbono que no es deseado. Para combustibles en fase gas es suficiente con fijar un exceso de aire del 15%.

1.1.2. Eficiencia del horno

En un horno un porcentaje considerable del calor que desprende la llama no es absorbido por el fluido a calentar, por tanto es necesario establecer una eficiencia en el

horno que determina que porcentaje del calor liberado es absorbido por el fluido de proceso.

La eficiencia de un horno varía entre un 70 y un 95% dependiendo del tipo de horno, y de las condiciones de la operación. Un factor para determinar la eficiencia del horno es establecer la temperatura de salida de los gases entre 25 y 40°C por encima de la del fluido a la entrada. Esta temperatura se relaciona por medio de la Ecuación 1.7, específica para combustible en fase gas:

$$T_{stack} = \left\{ (0,98 - Eff) / 9,25 \times 10^{-5} \left(1 + \frac{ex_{air}}{100} \right)^{0,748} \right\}^{1/1,128} \quad [1.7]$$

$$T_{stack} = 131,09^{\circ}\text{C}$$

$$Eficiencia = 85\%$$

1.1.3. Cálculo del calor liberado y del combustible y aire necesarios

El calor liberado se calcula con el cociente del calor necesario y la eficiencia. Lógicamente este tiene que ser superior al calor necesario debido a las pérdidas mencionadas anteriormente.

$$Q_{liberado} = \frac{Q_{necesario}}{Eficiencia} \quad [1.8]$$

$$Q_{liberado} = \frac{1.113,92 \text{ kW}}{0,85} = 1.310,49 \text{ kW}$$

El calor de un horno se provee principalmente por una reacción de combustión. El combustible necesario se calcula una vez conocidos el poder calorífico inferior del combustible, y el calor que es necesario liberar:

$$\text{Combustible necesario} = \frac{Q_{\text{liberado}}}{P.C.I}$$

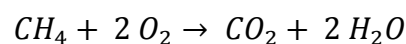
$$\text{Combustible necesario} = \frac{1.310,49 \text{ kJ/s}}{47.959,57 \text{ kJ/kg}} = 0,0273 \text{ kg/s}$$

El peso molecular del combustible se obtiene a partir de los pesos moleculares de sus componentes y la fracción molar:

$$PM_{\text{combustible}} = 18,10$$

$$\text{Combustible necesario} = 0,0273 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 18,10 \cdot \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 5,43 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} = 98,37 \text{ kg/h}$$

Para el cálculo del aire necesario debe conocerse la estequiometria de la reacción. El combustible es una mezcla de diversos componentes pero el que está en mayor porcentaje, cerca del 90%, es el metano, por tanto se supondrá para los cálculos que se produce la reacción de combustión del metano:



De la estequiometria de la reacción se obtiene que por cada mol de combustible son necesarios dos moles de oxígeno:

$$\begin{aligned} \text{Oxígeno sin exceso} &= 5,43 \frac{\text{kmol de combustible}}{\text{h}} \cdot \frac{2 \text{ kmol oxígeno}}{1 \text{ kmol de combustible}} \\ &= 10,87 \text{ kmol O}_2/\text{h} \end{aligned}$$

El oxígeno es tan solo el 21%, a partir de este dato se calcula la cantidad de aire:

$$\text{Aire} = 10,87 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot \frac{100}{21} = 51,73 \text{ kmol de aire/h}$$

Esta cantidad se corresponde a la cantidad de aire sin exceso, para calcular el aire necesario debe aplicarse el 15% en exceso:

$$\text{Aire necesario} = 59,48 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} = 1725,03 \text{ kg aire/h}$$

Una vez conocidos el aire y el combustible necesarios se calcula la relación entre ellos:

$$\frac{1725,03 \text{ kg aire/h}}{98,37 \text{ kg de combustible/h}} = 17,54 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg combustible}}$$

La relación recomendada para combustibles en fase gas es entre 17 y 18 kg/kg, por tanto se consideran como correctos los cálculos.

1.1.4. Método de Lobo y Evans

Existen diversos métodos para el cálculo de la absorción de calor en las secciones radiantes de los hornos:

- Método de Lobo y Evans: este método se usa mucho para el diseño de hornos en refinerías, y otros procesos que queman petróleo o gas. Con este método se obtiene una desviación media del 5,4% entre la absorción de calor predicha y la observada en diversas pruebas.
- Método de Wilson, Lobo y Hottel: se utiliza para el diseño de hornos tipo caja alimentados con petróleo o gas de refinería cuando el flujo de calor es de entre 5.000 y 30.000 BTU/h·ft². También tiene limitaciones en el exceso de aire, la temperatura de los tubos, y la longitud media del rayo radiante. Es menos exacto que el Método de Lobo y Evans.
- Ecuaciones Orrok-Hudson: se utiliza para calcular la absorción de calor en la sección radiante de una caldera con tubos de agua. Este método ya no se utiliza, ha sido reemplazado por expresiones más exactas.
- Método simplificado de Wohlenberg: este método es del tipo empírico, y se utiliza sólo para el quemado de carbón.

El Método simplificado de Wohlenberg, y las Ecuaciones de Orrok- Hudson se descartan, ya que no trabajan con el combustible seleccionado. El Método de Wilsom, Lobo y Hottel se utiliza en hornos tipo caja, por lo que también se descarta su uso. El método que mas se aproxima es el de Lobo y Evans, por tanto será el utilizado.

Para el diseño de hornos algunas empresas tienen métodos propios basados en datos empíricos, y datos obtenidos experimentalmente. Debido a que no se tiene acceso a ellos se ha descartado su uso.

Durante la resolución del método se utilizarán unidades del sistema inglés, debido a que todas las gráficas se encuentran en estas unidades, y así se facilitarán los cálculos.

La ecuación general de transmisión de calor por radiación, Ecuación 1.1, se puede simplificar a la Ecuación 1.9:

$$Q = 0,173 \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right] \cdot \alpha \cdot A_{cp} \quad [1.9]$$

En la cámara de radiación también se transferirá algo de calor por convección, por lo que a la Ecuación 1.9 será necesario añadirle otro término:

$$\Sigma Q = 0,173 \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right] \cdot \alpha \cdot A_{cp} + h_c \cdot A \cdot (T_G - T_S) \quad [1.10]$$

Donde:

- A: superficie total del tubo
- A_{cp} : superficie equivalente del plano frío
- F: factor total de intercambio
- h_c : coeficiente de convección
- ΣQ : calor total transferido a la superficie fría
- T_G : temperatura del gas de combustión a la salida de la sección radiante

- T_s : temperatura de la superficie del tubo
- α : factor por el cual A_{cp} debe reducirse para obtener la superficie fría real

El término de convección se simplifica suponiendo h_c igual a 2,0 , tomando A como aproximadamente $2,0 \cdot \alpha \cdot A_{cp}$, y F como 0,57. Estas suposiciones son los valores típicos que se toman en el diseño de hornos. Con estos datos la Ecuación 1.10 se simplifica a:

$$\frac{\Sigma Q}{\alpha \cdot A_{cp} \cdot F} = 0,173 \cdot \left[\left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right] + 7(T_g - T_s) \quad [1.11]$$

El resultado de la Ecuación 1.11 se calcula mediante la Gráfica 1.1. Donde también es necesario conocer el flujo de energía radiante.

El flujo de energía radiante para el calentamiento de fuel gas se estima entre 10000-12000 Btu/h ft².

$$q = 11.000 \text{ Btu/hft}^2$$

El método de Lobo y Evans es un método de prueba y error, por tanto será necesario realizar una estimación inicial de T_g , para ello es necesario estimar unos parámetros anteriormente:

$$\frac{Q}{\alpha A_{cp}} = 2 \times q = 22.000 \frac{\text{Btu}}{\text{hft}^2}$$

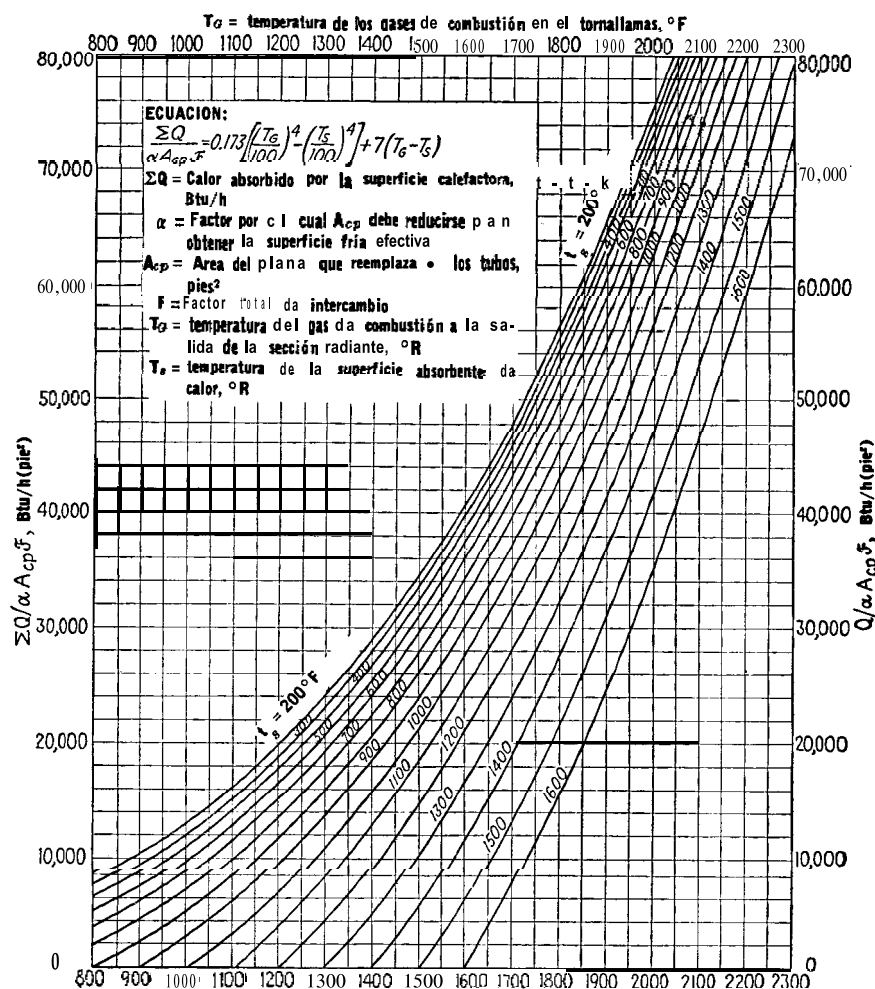
El factor total de intercambio, F , se supone como 0,57.

$$\frac{Q}{\alpha A_{cp} F} = 38596,6 \frac{\text{Btu}}{\text{hft}^2}$$

También es necesario fijar una temperatura de la superficie de los tubos, esta normalmente se supone como 150°F por encima de la temperatura máxima del fluido a calentar.

$$T_s = 643,15\text{ }^{\circ}\text{F} + 150^{\circ}\text{F} = 793,15\text{ }^{\circ}\text{F}$$

Con estos datos en la Gráfica 1.1 se calcula la T_g , que es la temperatura de los gases de combustión en torno a las llamas.



Es necesario calcular el vapor de atomización, para el funcionamiento adecuado de hornos este tiene una relación de 0,3 kg/ kg de combustible. El vapor de atomización tiene como objetivo mejorar la eficiencia de la combustión, y así reducir la emisión de contaminantes.

$$\begin{aligned} \text{Vapor de atomización} &= 98,37 \frac{\text{kg de combustible}}{h} \times \frac{0,3 \text{ kg de vapor}}{1 \text{ kg de combustible}} \\ &= 29,51 \text{ kg de vapor de atomización/h} \end{aligned}$$

El siguiente paso es realizar un balance de calor para conocer todo el calor que hay en el horno:

$$Q = Q_F + Q_A + Q_R + Q_S - Q_w - Q_G \quad [1.12]$$

En donde:

- Q: carga total en la sección radiante.
- Q_F: calor liberado por el combustible.
- Q_A: calor sensible sobre 60°F en el aire de combustión.
- Q_R: calor sensible sobre 60°F en los gases de combustión recirculados.
- Q_S: calor sensible sobre 60°F en el vapor usado para atomización de combustible.
- Q_w: pérdida de calor a través de las paredes del horno.
- Q_G: calor de los gases de combustión que salen de la sección radiante.

$$Q_F = 1.310,49 \text{ kW} = 4,48 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{h}$$

Las pérdidas se calculan como el 3% del calor liberado por el combustible.

$$Q_w = 0,03 \cdot Q_F = 1,34 \times 10^5 \text{ Btu/h}$$

El calor usado para atomización de combustible debido a que es muy bajo se puede despreciar. Lo mismo ocurre con el término Q_G y Q_R.

Por tanto la Ecuación 1.12 queda simplificada a:

$$Q = Q_F - Q_W = 4,58 \times 10^6 \text{ Btu/h}$$

Una vez conocido el calor total, y el flujo de energía radiante se calcula la superficie necesaria.

$$A_{total} = \frac{Q}{q} \quad [1.13]$$

$$A_{total} = \frac{4,58 \times 10^6 \text{ Btu/h}}{11000 \text{ Btu/hft}^2} = 395,22 \text{ ft}^2$$

Esta es la superficie necesaria para que se produzca el intercambio de calor. A partir de ella se calcula el número de tubos necesarios. Los tubos en un horno deben tener un diámetro de entre 75 y 150 mm, y una longitud no superior a 20m.

$$d_o = 75 \text{ mm} = 0,25 \text{ ft}$$

$$L = 4,27 \text{ m} = 14 \text{ ft}$$

$$\text{Número de tubos} = \frac{A_{total}}{\pi d_o L} \quad [1.14]$$

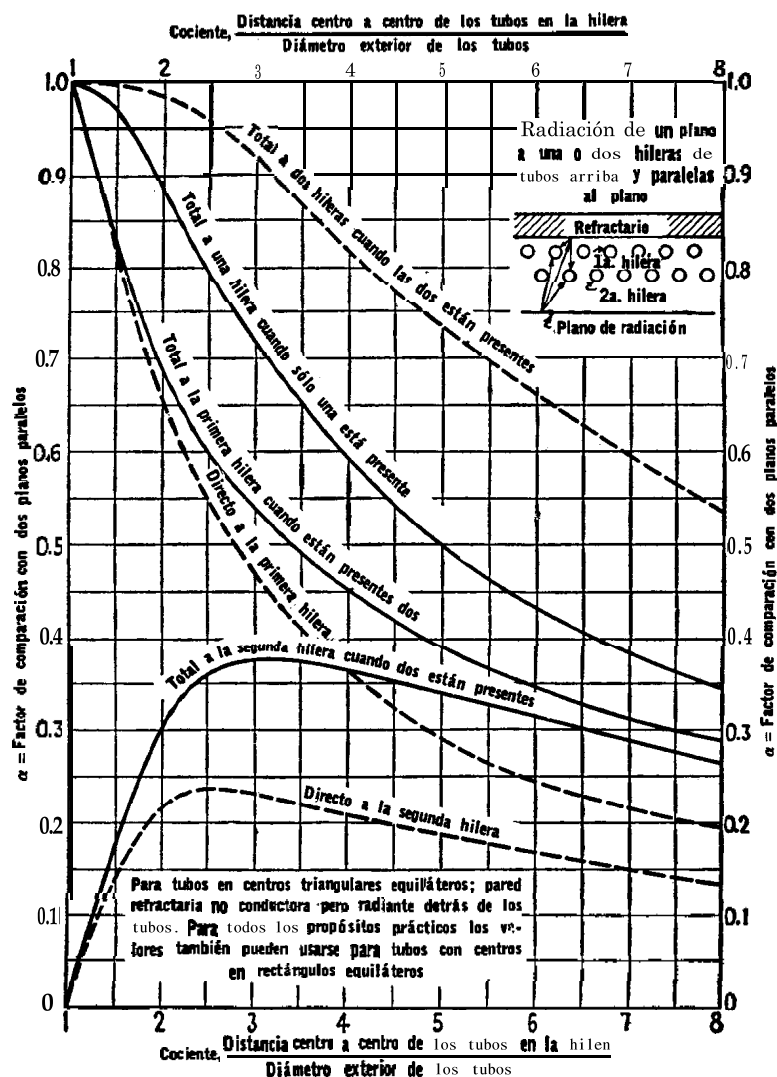
$$\text{Número de tubos} = \frac{395,22 \text{ ft}^2}{\pi 0,25 \text{ ft } 14 \text{ ft}} = 36,52 \approx 40 \text{ tubos}$$

El espaciado entre los centros de los tubos se toma como el doble del diámetro de los tubos:

$$P_t = 2d_o = 0,50 \text{ ft}$$

Los tubos radiantes se encuentran equidistantes, ya que así asegura una buena distribución circunferial del calor, pero el flujo de calor puede variar considerablemente de la parte inferior de los tubos a la superior.

La distribución de los tubos se toma como una hilera única. Es necesario tomar un parámetro, α , este es el factor de efectividad, por el cual, la superficie de un plano que remplace la hilera de tubos con emisividad supuesta de 1,0 debe multiplicarse para obtener un plano de superficie equivalente (frío). Este se calcula mediante la Gráfica 1.2, en la que se representan valores de α , para hileras de tubos simples y dobles con refractarios en su parte posterior.



Gráfica 1.2: Radiación entre un plano y una o más hileras de tubos paralelos al plano (Fuente: Donald Q.Kern.

"Procesos de transferencia de calor" Editorial Cecsca. 1999. México. Pág: 783)

$$\alpha = 0,9$$

Se calcula A_{cp} , que es el area equivalente a la hilera de tubos:

$$A_{cp} = N_{\text{tubos}}^{\circ} L P_t \quad [1.15]$$

$$A_{cp} = 40 \times 14 \text{ ft} \times 0,50 \text{ ft} = 275,59 \text{ ft}^2$$

A continuación se calcula el area de refractario, A_R :

$$A_R = A_{\text{total}} - A_{cp} \alpha \quad [1.16]$$

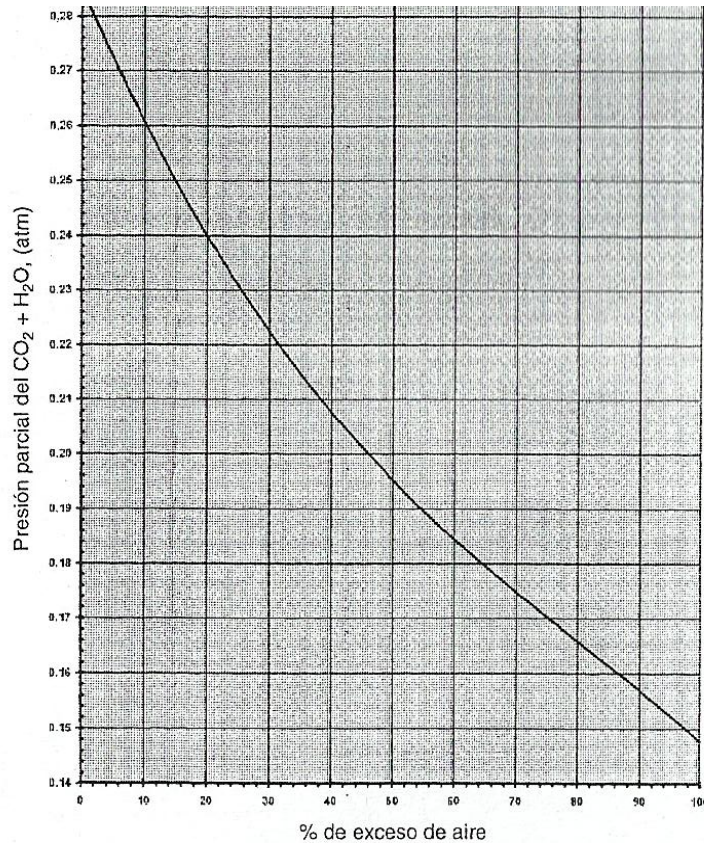
$$A_R = 424,77 \text{ ft}^2 - 275,59 \text{ ft}^2 0,9 = 176,74 \text{ ft}^2$$

$$\frac{A_R}{A_{cp} \alpha} = 0,71$$

El siguiente paso es el calculo de la emisividad. Para esto se supone que el combustible gaseoso que se utiliza produce flama no luminosa. Aun así hay una gran diferencia de emisividad entre los distintos gases de la combustión. Los gases diatómicos como el O_2 , N_2 y H_2 tienen emisividades muy bajas, por lo que se pueden considerar igual a cero en el diseño de hornos. Por otra parte el H_2O , y el CO_2 tienen buenas emisividades, el CO tiene también una emisividad considerable pero debido a que se trabaja con exceso de aire se supone que no habrá presencia del mismo. Por tanto para el calculo de la emisividad se consideran tan solo el H_2O y el CO_2 .

La emisividad de los gases en un horno es una función del producto $P \cdot L$ (atm-ft), donde P es la presión parcial, y L la longitud de la trayectoria media. También depende de la temperatura de los gases.

Se calcula el valor de la presión parcial de los gases de combustión que es función del exceso de aire. Se relacionan mediante la Gráfica 1.3.



Gráfica 1.3: Representación de la presión parcial en función del exceso de aire (Fuente: Alejandro Anaya, "Métodos para cálculo y diseño de hornos de proceso". Ingeniería Química, Vol.29, nº 341, 1997, Pág:96)

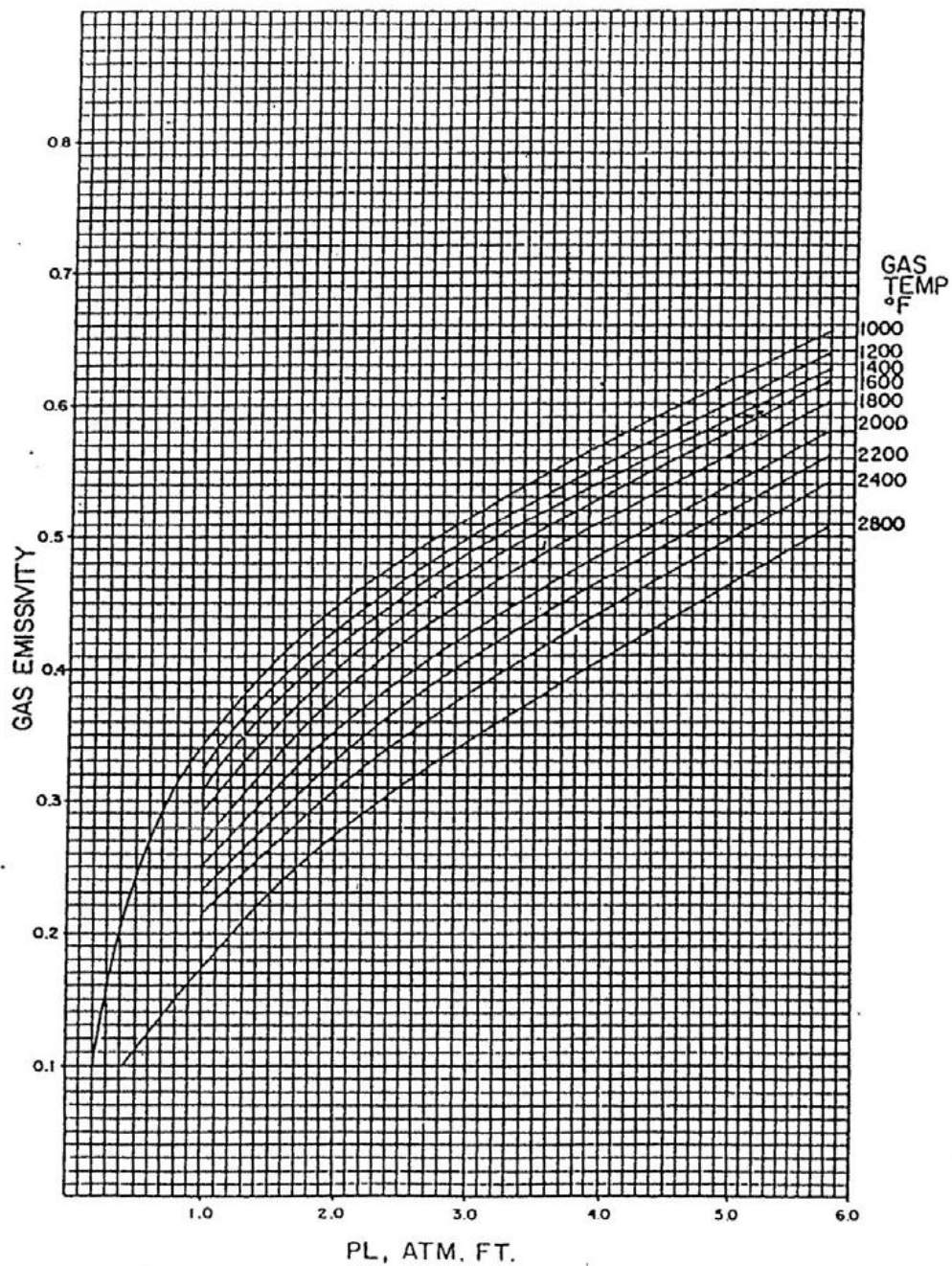
$$P = 0,25 \text{ atm}$$

El siguiente calculo es el de la longitud media del rayo radiante, esta es la longitud promedio de la capa de gases de combustión en todas direcciones para cada uno de uno de los puntos de la superficie circundante del horno, y se usa en lugar de la medida cúbica del volumen. Hottel determino el valor de L para hornos con diferentes geometrías, siendo para el caso de un horno cilíndrico igual al diámetro del mismo, que se calcula a partir de la Ecuación 1.17:

$$TCD = L_{\text{media del rayo radiante}} = \frac{2 \times d_0 N^{\circ}_{\text{tubos}}}{\pi} \quad [1.17]$$

$$L_{\text{media del rayo radiante}} = 6,27 \text{ ft}$$

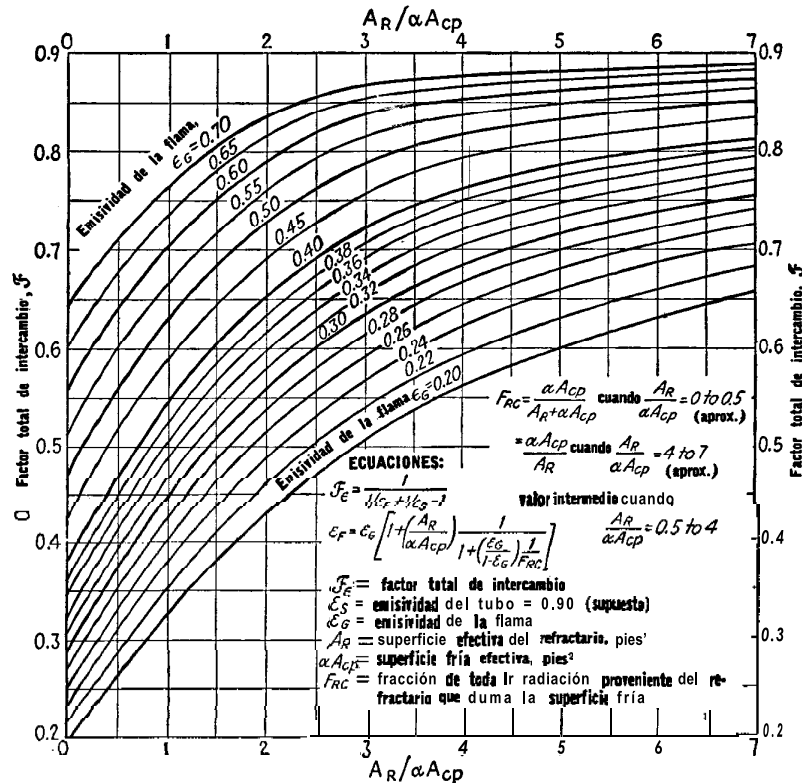
A partir de la Gráfica 1.4 se obtiene la emisividad de los gases:



Gráfica 1.4: Emisividad de los gases (Fuente: Alejandro Anaya, "Métodos para cálculo y diseño de hornos de proceso". Ingeniería Química, Vol.29, nº 341, 1997, Pág:96)

$$emisividad = 0,34$$

Se lee en la Gráfica 1.5 el valor del factor de intercambio, F:



Gráfica 1.5: Factor total de intercambio térmico para secciones radiantes. (Fuente: Donald Q. Kern. "Procesos de transferencia de calor" Editorial Ccsa. 1999. México. Pág: 796)

$$F = 0,47$$

Se calcula de nuevo $\frac{q}{\alpha A_{cp} F}$ y se comprueba en la Gráfica 1.1 el valor de T_g .

$$\frac{q}{\alpha A_{cp} F} = 4,01 \times 10^4 \text{ Btu/hft}^2$$

$$T_g = 1710 \text{ }^\circ\text{F}$$

El error respecto a la estimación inicial es del 1,79% por tanto se consideran las estimaciones como correctas.

Las normas API 560 para el diseño de hornos recomiendan que, para hornos cilíndrico-verticales, la relación entre la altura de la cámara y el diámetro sea de entre 1,7 y 2,5:

$$\frac{L}{TCD} = 2,2$$

Para hornos con vaporización se recomienda que la velocidad este entre 5 y 6 kg/m²·s. Se obtuvo una velocidad de 6,7 kg/m²·s, valor cercano al recomendado, por lo que se considera aceptable.

Ambas recomendaciones se encuentran dentro de los intervalos recomendados, por lo que el diseño se considera como válido.

1.2. Dimensionamiento de la chimenea

La función de la chimenea es la de dar salida a los gases de combustión procedentes de la combustión del gas natural, para que así puedan dispersarse en la atmosfera.

Los gases que circularán por la chimenea serán los gases producto de la combustión, y el aire en exceso que se utilizó para garantizar la combustión completa. Ninguno de los dos es especialmente corrosivo, este factor es importante, ya que sino sería necesario utilizar materiales especiales.

El diseño de la chimenea se lleva a cabo aplicando la experiencia, y métodos sencillos. El objetivo del diseño es garantizar que los gases circulen a una velocidad cercana a la recomendada, y que tenga la altura suficiente para que los gases lleguen a la atmosfera sin problemas.

La altura de la chimenea es muy importante, ya que debe garantizar el tiro o empuje suficiente en la chimenea. El tiro de la chimenea seleccionada es natural, este se

basa en el principio de Arquímedes, que dice que los gases calientes rodeados por unos gases fríos sufren un empuje hacia arriba. Para el cálculo de la altura necesario para garantizar el tiro de la chimenea se utilizará un método aproximado que se explicará más adelante.

La velocidad másica de los gases en la chimenea debe estar entre 1,5 y 2 kg/m²s. A partir de este dato se calcula el diámetro de la chimenea necesario para satisfacer esta condición. Para ello primero se debe calcular el caudal másico de los gases de combustión, esto se hace a través de la estequiometría de la reacción, y conociendo la cantidad que reacciona de combustible, y de aire.

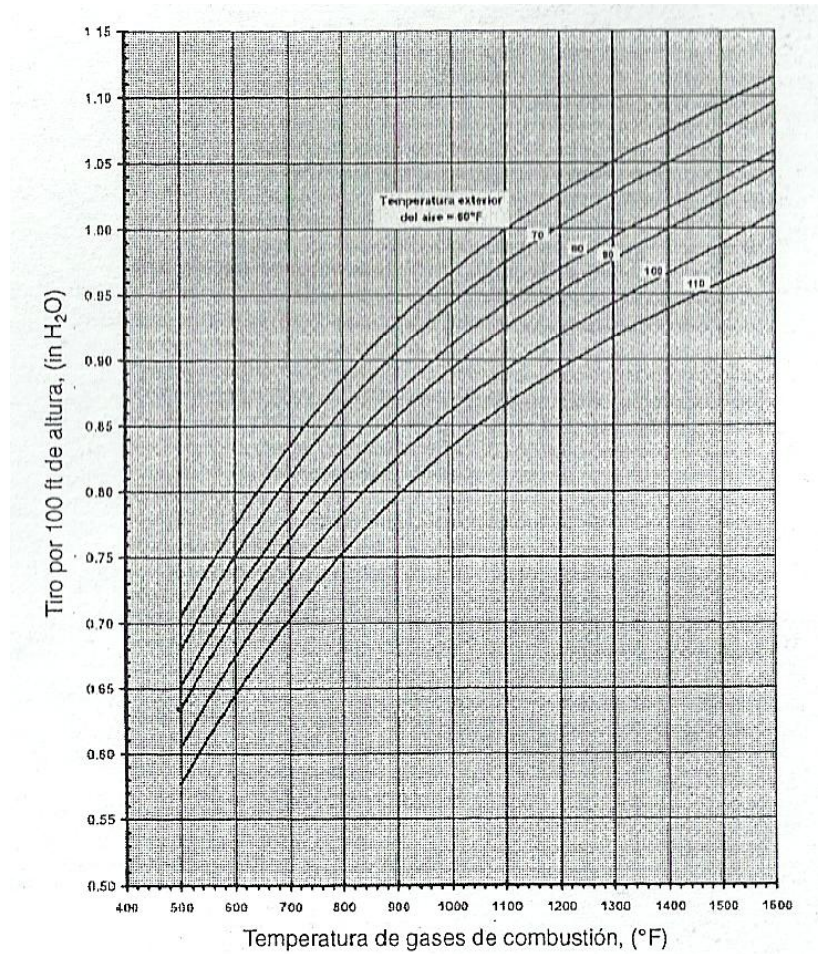
$$\text{Caudal másico de gases de combustión} = 1.746,77 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,49 \text{ kg/s}$$

$$D_{chimenea} = \sqrt{\frac{\text{caudal másico de gases de combustión}}{\text{velocidad másica} \times \pi/4}} \quad [1.18]$$

$$D_{chimenea} = 0,64 \text{ m}$$

Para el cálculo de la altura de la chimenea necesaria se utiliza el *método corto de Alejandro Anaya Durand*. El cálculo se hace en varios pasos, calculando el tiro, y las pérdidas de presión que se producen en cada sección del horno.

El primer paso es determinar el efecto de tiro de la caja de radiación. Para ello se supone que la temperatura del aire en el exterior es de 100°F, la temperatura de los gases de combustión es conocida y de 1680°F. Con estos datos se lee en la Gráfica 1.6 el tiro por 100 ft de altura de la chimenea:



Gráfica 1.6: Tiro de la chimenea (Fuente: Alejandro Anaya, "Métodos para cálculo y diseño de hornos de proceso". Ingeniería Química, Vol.29, n° 341, 1997, Pág: 100)

$$t_{/100} = 1,02 \text{ in } H_2O / 100 \text{ ft}_{altura}$$

La altura de la zona radiante es la misma que la de los tubos que hay en ella, por tanto 14 ft:

$$Tiro = t_Q = \frac{t_{/100} L_{T/Q}}{100} \quad [1.19]$$

$$Tiro = 0,1428 \text{ in } H_2O$$

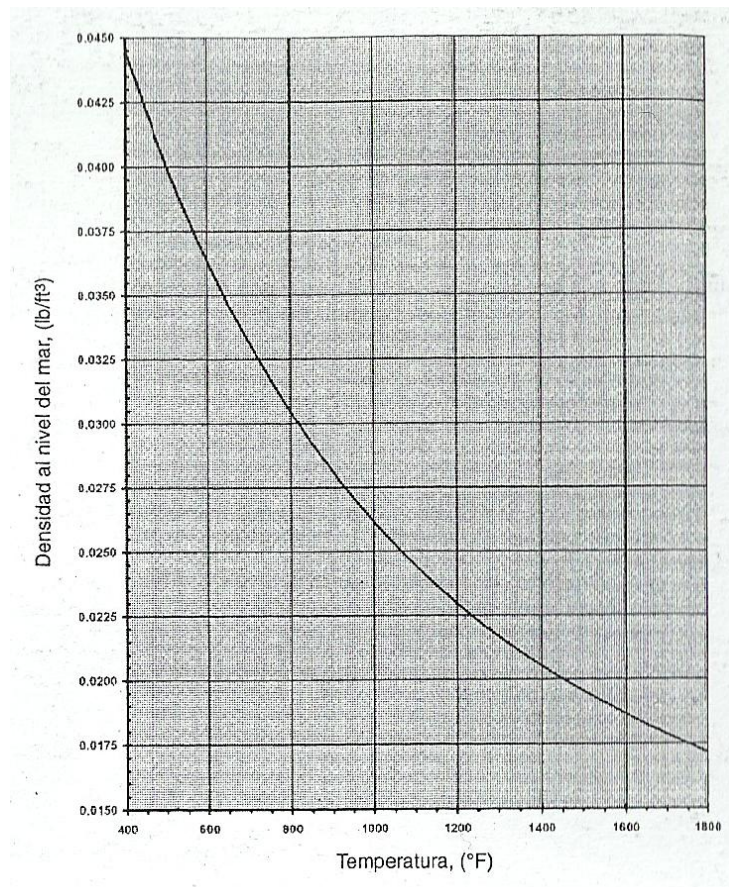
La caída de presión debido a los quemadores es un dato que suele aportar el fabricante, un valor típico es 0,25 in H₂O, con esto se calcula el tiro requerido:

$$Tiro\ requerido = 0,25\ in\ H_2O - 0,1428\ in\ H_2O = 0,11\ in\ H_2O$$

La temperatura en la chimenea se estima como 80°F por encima de la T_{stack}:

$$T_{ch} = 484\ ^\circ F$$

En la Gráfica 1.7 se lee la densidad de los gases a esa temperatura:



Gráfica 1.7: Densidad de los gases de combustión(Fuente: Alejandro Anaya, "Métodos para cálculo y diseño de hornos de proceso". Ingeniería Química, Vol.29, nº 341, 1997, Pág: 100)

$$\rho_G = 0,04\ lb/ft^3$$

Conocida la densidad se calcula el caudal volumétrico de los gases:

$$F_G = \frac{W_G}{\rho_G} \quad [1.20]$$

$$F_G = 26,81 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Se calcula la sección de la chimenea:

$$S_{Tch} = \pi \frac{D_{Ich}^2}{4} \quad [1.21]$$

$$S_{Tch} = 3,48 \text{ ft}^2$$

A continuación se calcula P_V :

$$P_V = 0,003 \times \left(F_G / S_{Tch} \right)^2 \times \rho_G$$

$$P_V = 0,007 \text{ in } H_2O$$

Se supone una altura de chimenea de 100 ft, y se calcula la caída de presión en la chimenea:

$$\Delta P_{Ch-D} = 3 \left(\frac{h_{ch}}{50 D_{Ich}} \right) P_V \quad [1.22]$$

$$\Delta P_{Ch-D} = 0,020 \text{ in } H_2O$$

Se calcula el tiro total requerido:

$$t_T = 0,11 + 0,020 = 0,127 \text{ in } H_2O$$

En la Gráfica 1.6 se lee el tiro de la chimenea:

$$t_{ch} = 0,64 \text{ in } H_2O / 100 \text{ ft de altura}$$

Finalmente se calcula la longitud de la chimenea:

$$L_{ch} = \left(\frac{t_T}{t_{ch}} \right) 100 \quad [1.23]$$

$$L_{ch} = 19,92 \text{ ft} = 6,07 \text{ m}$$

Se tomará como altura de la chimenea 6,00 metros, ya que es una medida más estándar, y por lo tanto más económica.

1.3. Diseño mecánico

1.3.1. Calculo del número de quemadores

El número de quemadores necesarios para conseguir la potencia requerida en la cámara de radiación depende si son del tipo natural o forzado. Para este horno se han seleccionado los de tipo natural. La potencia de cada quemador del tipo natural está comprendida entre 1 y 3,5 Gcal/h. Debido a la poca potencia necesario en el horno se comenzará el cálculo con un solo quemador, el grado de sobredimensionamiento para menos de cinco quemadores es de un 125%:

$$\text{Potencia quemador} = \frac{\text{Potencia requerida}}{n^{\circ} \text{ de quemadores}} \cdot \text{Sobredimensionamiento} \quad [1.24]$$

$$\text{Potencia quemador} = \frac{4,92 \times \frac{10^6 \text{ kJ}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ kcal}}{4,18 \text{ kJ}} \cdot \frac{1 \text{ Gcal}}{10^6 \text{ kcal}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{1} \cdot 1,25 = 1,47 \text{ Gcal/h}$$

Se encuentra dentro del intervalo, por tanto con un quemador es suficiente.

1.3.2. Disposición de los elementos de la cámara

La cámara de radiación se coloca en posición vertical como se indicó anteriormente, debido a la cantidad de calor necesaria. El material de la cámara será de acero, revestida interiormente con un material refractario para reducir las pérdidas de calor.

El fluido a calentar, el ácido palmítico, circula por el interior de los 40 tubos que están colocados a una distancia determinada de la pared de la cámara. Esta distancia es igual a 1,5 veces el diámetro externo del tubo o 4 pulgadas.

$$1,5 d_o = 4,43 \text{ in}$$

La distancia calculada es mayor a 4 pulgadas, por tanto será esta la distancia a la que se encuentren los tubos de la pared del refractario.

El quemador estará situado en la parte inferior de la cámara de radiación como es típico en los hornos cilíndricos-verticales, esto permite una distribución más homogénea del calor en los tubos.

1.3.3. Material y espesor de los tubos

Para la selección del material de los tubos se recomienda establecer una temperatura de diseño igual a la temperatura de la superficie de ellos, establecida en 800°F. En este diseño se ha aumentado esta temperatura debido a la alta temperatura a la que se encuentran los gases de combustión con los que están en contacto los tubos. La temperatura de diseño se ha establecido como la media entre la temperatura de los tubos y la de los gases de combustión, para evitar posibles roturas que causaría situaciones extremadamente peligrosas.

$$T_{\text{diseño tubos}} = 1.240 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

En función de esta temperatura se ha seleccionado el material de los tubos: Acero inoxidable, 18 Cr 8 Ni, soporta temperaturas de hasta 1500°F, por lo que teóricamente no debería tener problemas.

Para el cálculo del espesor mínimo de los tubos se aplica el reglamento API 560:

$$espesor = 3mm + \frac{P_{diseño} d_o}{2 S + P_{diseño}} \quad [1.25]$$

Tabla 1.3: Propiedades de los materiales más comunes en tubos(Fuente: Fuente: Sinnott. R,Towler,G."Chemical Engineering Design". Elsevier. 2008. Londres. Pág: 982)

Material	Grade	Min Tensile Strength (ksi)	Min Yield Strength (ksi)	Maximum Temperature (°F)	Maximum Allowable Stress at Temperature °F (ksi = 1000 psi)				
					100	300	500	700	900
Carbon steel	A285 Gr A	45	24	900	12.9	12.9	12.9	11.5	5.9
Killed carbon steel	A515 Gr 60	60	32	1000	17.1	17.1	17.1	14.3	5.9
Low alloy steel	A387 Gr 22	60	30	1200	17.1	16.6	16.6	16.6	13.6
1¼ Cr, ½ Mo, Si	410	65	30	1200	18.6	17.8	17.2	16.2	12.3
Stainless steel 13 Cr	304	75	30	1500	20.0	15.0	12.9	11.7	10.8
Stainless steel 18 Cr, 8 Ni	347	75	30	1500	20.0	17.1	15.0	13.8	13.4
Stainless steel 18 Cr, 10 Ni, Cb	321	75	30	1500	20.0	16.5	14.3	13.0	12.3
Stainless steel 18 Cr, 10 Ni, Ti	316	75	30	1500	20.0	15.6	13.3	12.1	11.5
Stainless steel 16 Cr, 12 Ni, 2 Mo									

La presión de diseño se toma como la presión de trabajo más un 10% para considerar posibles aumentos de presión, por tanto la presión de diseño para los tubos será de 327 kPa. De la Tabla 1.3 se obtiene el factor S que para el acero inoxidable seleccionado es de 11250 lb/in². A partir de la Ecuación 1.25 se obtiene el espesor mínimo:

$$espesor = 3mm + \frac{3.27 \frac{kg}{cm^2} \cdot 75 mm}{2 \cdot 790.79 \frac{kg}{cm^2} + 3.27 \frac{kg}{cm^2}} = 3,155 mm$$

Por seguridad se toman 5,5 mm de espesor para los tubos para tener en cuenta la posible corrosión que se puede producir.

1.3.4. Cálculo de las dimensiones del refractario

Las pérdidas en el horno se establecen como un 3% del calor de combustión, para garantizar estas pérdidas debe establecerse un espesor de la pared de refractario.

La función del refractario es muy importante, ya que reduce las pérdidas al exterior, y así la cantidad de combustible necesario es menor, por lo que los costes serán menores, y la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera también será menor.

Para el cálculo del espesor se utiliza la ecuación de conducción:

$$Q = k \frac{A}{\text{espesor}} \Delta T \quad [1.26]$$

La temperatura en el exterior se tomará como 40°C para que tengan una mayor seguridad los operarios de planta, la temperatura en el interior se supone como la temperatura de los gases de combustión, es decir, 916°C.

El área de refractario se calcula conociendo el diámetro y la longitud de la caja de radiación del horno, esta posee forma cilíndrica, por tanto:

$$\text{Área de refractario} = 74,12 \text{ m}^2$$

Una vez conocida el área de refractario se debe seleccionar un material con una conductividad que permita un espesor no mayor de 300 mm. Para economizar en material se utilizarán tres capas de material aislante: primero un refractario de mullita de baja densidad, a continuación una capa de aire debido a su baja conductividad, y bajo coste, finalmente una tercera capa de ladrillos de construcción. El refractario estará contenido en una capa de acero al carbono que no tiene función como aislante, es como la carcasa del equipo, de espesor 2 mm.

A partir de tablas y datos comerciales se obtienen las conductividades térmicas de los tres aislante utilizados:

- $k_{mullita} = 0,15 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^{\circ}\text{C}$
- $k_{aire} = 0,040 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^{\circ}\text{C}$
- $k_{ladrillo} = 0,60 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^{\circ}\text{C}$

La conductividad del aire se toma a la temperatura media de la capa en la que se encuentra, inicialmente se supone en 300°C , mas adelante se recalculará, y si se aleja mucho de la temperatura supuesta se volverán a realizar los cálculos.

En la Ecuación 1.26 el término $k/\text{espesor}$ es la inversa de la resistencia térmica, la resistencia térmica total es la resistencia de las tres capas. Se tomará una capa de refractario de mullita de baja densidad de 150 mm, y la capa de ladrillo de construcción también en 150 mm, estos se encuentran dentro de los valores típicos de los espesores de ladrillos según la Norma UNE 67019-86/2R. Con ayuda de la herramienta *SOLVER* del programa Microsoft Excel, se calculará el espesor de aire necesario para satisfacer la temperatura de la capa externa que se desea.

El primer paso es el cálculo de la resistencia de cada una de las capas y la resistencia total:

$$R_T = \sum_{i=1}^n R_{ti} = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i} \quad [1.27]$$

$$R_T = \frac{0,15}{0,15} + \frac{e_{aire}}{0,04} + \frac{0,15}{0,6}$$

Sustituyendo en la ecuación 1.26, y empleando la herramienta *SOLVER* se obtiene el espesor de la capa de aire:

$$\text{espesor aire} = 28,00 \text{ mm}$$

El espesor total del aislante es inferior al total recomendado para el aislamiento de hornos, por lo que se considera como válido. Es necesario comprobar que el valor de la conductividad del aire no se aleja mucho del valor real. Para ello se trata cada capa por separado y se calcula la variación de temperatura en cada capa:

$$\Delta T_i = q \cdot R_i \quad [1.28]$$

A partir de la ecuación 1.28 se obtienen las temperaturas de las capas intermedias:

$$T_2 = T_{interior} - q \cdot R_1 = 472,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_3 = T_2 - q \cdot R_2 = 153,32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

La temperatura media a la que se encuentra el aire es de 312,92 °C por lo que la conductividad no varía considerablemente, y el cálculo se toma como correcto.

La capa de aire no puede ser mayor de 30 mm, ya que si lo fuese podrían establecerse corrientes de convección en su interior. La capa de aire es de 28 mm por lo que teóricamente no debería tener problemas.

1.3.5. Materiales de la chimenea

Los métodos usados para el cálculo de las dimensiones de la chimenea eran aproximados, por lo que se redondearán los resultados obtenidos para tener unas medidas comerciales. Siendo la altura de la chimenea de 6,00 m, y su diámetro de 650,00 mm.

La chimenea necesaria para el horno es de unas dimensiones pequeñas, y los gases producidos por el gas natural no son especialmente corrosivos, con un acero inoxidable es suficiente para soportar las condiciones a las que estará sometido.

El acero seleccionado es el AISI 304, este es un acero del tipo austenítico. Este tiene una buena resistencia a la corrosión a altas temperaturas, cercana a los 1000°C, en ninguno de los casos los gases del horno deberían superar esta temperatura.

La chimenea estará conformada por dos chapas de acero de 5,50 mm de espesor con una capa de fibra cerámica de 25,00 mm en medio. La fibra proporciona el aislamiento suficiente a la chimenea para garantizar su funcionamiento.

Estas dimensiones cumplen la Norma UNE-123001 sobre “Cálculo y diseño de chimeneas metálicas”, en la que se establece que el espesor mínimo de la chapa metálica interna debe ser de al menos 0,6 mm, y la chapa exterior tiene el mismo espesor mínimo.

1.3.6. Cálculo del peso del horno y la chimenea

El cálculo del peso es muy importante, ya que debe seleccionar el soporte adecuado para el horno, y comprobar si la chimenea resistirá todos los esfuerzos a los que estará sometida.

Para el cálculo del volumen, y por tanto del peso de todos los elementos, se les supondrá una geometría cilíndrica. Esto se asumirá tanto para los tubos, como para el refractario, y la chimenea.

El volumen de un cilindro viene dado por la Ecuación 1.29:

$$V_{cilindro} = \pi \cdot h \cdot r^2 \quad [1.29]$$

Para el cálculo del peso de cada elemento se multiplicará el volumen por la densidad de dicho elemento.

Los 40 tubos son de acero inoxidable, y tienen un diámetro externo de 75,00 mm, un espesor de 3,50 mm, y una longitud de 4,25 m. La densidad del acero es de 7.960

kg/m³. Aplicando la Ecuación 29, y multiplicando por la densidad y el número de tubos se obtiene un peso de 1.068,17 kg. Se toman 1.070,00 kg.

Para el cálculo del peso de los aislante se aplica el mismo procedimiento. El ladrillo refractario de mullita de baja densidad tiene un espesor de 150,00 mm, y una densidad de 577,00 kg/m³. El peso es de 2.390,00 kg.

La capa de aire apenas influye en el cálculo del peso por tanto se despreciará.

El ladrillo de construcción también tiene un espesor de 150,00 mm, y una densidad de 1.500,00 kg/m³. El peso obtenido es de 7.286,97 kg. Se toman 7.300,00kg.

La carcasa de acero al carbono se calcula como si fuese un cilindro, de forma similar al peso de la carcasa de un intercambiador de calor. El peso es de 801,88 kg, se toman 802,00 kg.

La cámara del horno tan solo dispone de un quemador, este tiene un peso de 800,00 kg.

El cálculo del fluido de proceso se hace suponiendo que todo está en estado líquido para así hacer un cálculo más conservador. Se obtiene un peso de 45,96 kg. Se toman 50,00 kg.

El peso de la carpintería y otros elementos no se conoce, por tanto se multiplicará el peso total calculado por un factor de 1,50, para así realizar un diseño más conservador y por lo tanto más seguro.

El acero utilizado para la chimenea tiene una densidad de 7.930 kg/m³, y la fibra cerámica utilizada de 900,00 kg/m³. Se obtiene un peso de la chimenea de 1.418,90 kg. Se toma 1.500,00 kg.

El peso total del horno es de 13.110,00 kg. Se aplica el factor de seguridad de 1,5 anteriormente mencionado, y se obtiene un peso de 19.665,00 kg.

1.3.7. Análisis estructural de la chimenea

La chimenea se encuentra expuesta a diversos esfuerzos, como es el viento o posibles esfuerzos debido a su propio peso, por tanto es necesario comprobar que los podrá soportar sin problemas.

El análisis estructural de la chimenea se hará de forma similar al del reactor R-201, ya que los dos se encuentran dispuestos verticalmente.

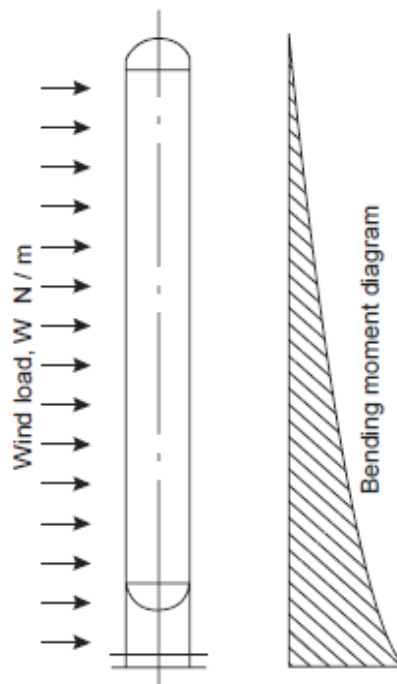


Figura 1.2: Fuerzas ejercidas por el viento en un recipiente vertical

En la Figura 1.2 se muestran las fuerzas ejercidas por el viento en la chimenea. El momento de flexión se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$M_x = \frac{W \cdot x^2}{2} \quad [1.30]$$

Para el cálculo del momento de flexión es necesario conocer la presión dinámica del viento:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot C_d \rho_a u_w^2 \quad [1.31]$$

Al tratarse de un recipiente con pared lisa, la ecuación de la presión dinámica del viento se simplifica a:

$$P_w = 0,05 \cdot u_w^2$$

La velocidad del viento en el lugar geográfico de la planta suele alcanzar máximos de 130 km/h, pero para hacer un diseño más conservador, y seguro, se supondrá que se alcanzan velocidades de 160 km/h. Por lo tanto la presión dinámica del viento es:

$$P_w = 1280 \text{ N/m}^2$$

La carga por unidad de longitud se obtiene multiplicando la presión dinámica del viento por el diámetro de la chimenea:

$$W = 896 \text{ N/m}$$

Mediante la ecuación anterior se calcula el momento flector:

$$M_x = 16128 \text{ N} \cdot \text{m}$$

A continuación se calcularán los esfuerzos de presión, del propio recipiente, y los esfuerzos de flexión. También se comprobará si la chimenea los soporta.

Esfuerzos de presión:

$$\sigma_L = \frac{P_i \cdot D_S}{4 \cdot t} \quad [1.32]$$

$$\sigma_L = \frac{0,294 \cdot 650}{4 \cdot 50} = 0,955 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_L = \frac{P_i \cdot D_s}{4 \cdot t} \quad [1.33]$$

$$\sigma_L = \frac{0,294 \cdot 650}{4 \cdot 50} = 0,955 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_h = \frac{P_i \cdot D_s}{2 \cdot t} \quad [1.34]$$

$$\sigma_h = \frac{0,294 \cdot 650}{2 \cdot 50} = 1,911 \text{ N/mm}^2$$

Esfuerzo del peso propio:

$$\sigma_w = \frac{W_V}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad [1.35]$$

$$\sigma_w = \frac{13905,18}{\pi \cdot (650 + 50) \cdot 50} = 0,126 \text{ N/mm}^2$$

Esfuerzos de flexión:

$$D_o = D_i + 2 \cdot t = 600 + 2 \cdot 50 = 700 \text{ mm}$$

$$I_v = \frac{\pi}{64} \cdot (700^4 - 650^4) = 3,032 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_b = \frac{M_x}{I_v} \cdot \left(\frac{D_i}{2} + t \right) = \frac{16128 \cdot 1000}{3,032 \times 10^9} \cdot \left(\frac{650}{2} + 50 \right) = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

El esfuerzo longitudinal resultante es:

$$\sigma_z = \sigma_L + \sigma_w \pm \sigma_b$$

$$\sigma_z \text{ (contra el viento)} = 2,696 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z \text{ (a favor del viento)} = -1,038 \text{ N/mm}^2$$

La diferencia de esfuerzos a favor de esfuerzos será de:

$$1,91 - (-1,038) = 2,95 \text{ N/mm}^2$$

La diferencia de esfuerzos en contra del viento será de:

$$1,91 - 2,696 = -0,786 \text{ N/mm}^2$$

El esfuerzo compresivo cuando el recipiente no se encuentra bajo presión es de:

$$0,126 + 1,87 = 1,996 \text{ N/mm}^2$$

Por último la chimenea debe cumplir dos condiciones:

$$\text{Esfuerzo max. compresión} < \text{Esfuerzo de pandeo crítico}$$

$$\text{Máxima diferencia de esfuerzos} < \text{Máximo esfuerzo permisible}$$

Primero se calcula el esfuerzo de pandeo crítico de la siguiente forma:

$$\sigma_c = 2 \times 10^4 \cdot \left(\frac{t}{D_o} \right) = 1428,57 = \text{N/mm}^2$$

$$2,95 < 1428,57$$

$$1,996 < 8$$

Se cumplen ambas condiciones, por tanto la chimenea soporta los esfuerzos estudiados.

1.3.8. Selección del soporte

El soporte seleccionado para el horno es del tipo silla, ya que se trata de un recipiente vertical que deberá soportar correctamente las cargas debidas al viento, y las debidas al propio peso del equipo.

El soporte tipo falda consiste en una carcasa soldada a la base del recipiente, mediante una brida en la parte inferior se transmite la carga a los cimientos. Las aperturas deben permitir el acceso, y la entrada de las tuberías de conexión del equipo.

El parámetro principal en el diseño de la falda es el espesor, este tiene que ser suficiente para soportar los esfuerzos debido al propio equipo, los momentos de flexión que puedan existir, y las cargas debido al viento.

El recipiente y la falda se encontrarán a temperaturas similares, debido al aislante del horno, esto hace que no deban de tenerse en cuenta la expansiones térmicas.

Los principales esfuerzos en la falda son uno de tensión, y otro de compresión:

$$\begin{aligned}\sigma_s &= (\text{tensión}) = \sigma_{bs} - \sigma_{ws} \\ \sigma_s &= (\text{compresión}) = \sigma_{bs} + \sigma_{ws}\end{aligned}$$

El esfuerzo de flexión en la falda, σ_{bs} , se calcula mediante:

$$\sigma_{bs} = \frac{4 \cdot M_s}{\pi \cdot (D_s - t_{sk}) \cdot t_{sk} \cdot D_s} \quad [1.36]$$

El esfuerzo debido al propio peso de la falda, σ_{ws} , se calcula mediante:

$$\sigma_{ws} = \frac{W_v}{\pi \cdot (D_s + t_{sk}) \cdot t_{sk}} \quad [1.37]$$

Donde:

- M_s : es el momento máximo de flexión, evaluado en la base de la falda, principalmente debido a las cargas por viento
- W_v : el peso total del recipiente y su contenido
- D_s : el diámetro interno de la falda, en la base
- t_{sk} : el espesor de la falda

Se recomienda que el espesor de la falda sea de al menos 6 mm, por tanto se harán los cálculos suponiendo un espesor de 6 mm. En caso de que no soportase los esfuerzos se aumentaría el espesor.

El espesor seleccionado para la falda debe ser suficiente para soportar todas las cargas mencionadas anteriormente. Debe cumplir las siguientes condiciones:

$$\sigma_s(\text{tensión}) < S_s \cdot E \cdot \text{sen}(\vartheta_s)$$

$$\sigma_s(\text{compresión}) < 0,125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_{sk}}{D_s}\right) \text{sen}(\vartheta_s)$$

Donde:

- S_s : es el esfuerzo de diseño máximo permisible para el material de la falda, tomado a 20°C
- E : la eficiencia de la unión soldada
- ϑ_s : el ángulo base de una falda cónica, normalmente 80° a 90°

La falda es de acero al carbono cilíndrica, este material soporto un esfuerzo máximo de 89 N/mm², su módulo de Young es de 200000 N/mm².

La carga máxima se produce cuando el recipiente está lleno de agua, un cálculo aproximado es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Peso máximo} &= \left(\frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{medio}}^2 \cdot h \right) \rho_{\text{agua}} \cdot g = \\ &= \left(\frac{\pi}{4} \cdot 1,6^2 \cdot 10,50 \right) 1000 \cdot 9,81 = 207.103,84 \text{ N} = 207,10 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Peso del recipiente} = 192,72 \text{ kN}$$

$$\text{Peso total} = 207,10 + 192,72 = 399,82 \text{ kN}$$

La carga del viento es de 0,896 kN/m. El siguiente paso es calcular el momento de flexión en la base de la falda:

$$M_{\text{falda}} = \text{carga del viento} \cdot \frac{h^2}{2}$$

Se supone una altura de la falda de 1,00 m, obteniéndose una altura total de 11,50 m.

$$M_{\text{falda}} = 0,896 \cdot \frac{11,50^2}{2} = 59,25 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

A continuación se calculan los momentos de flexión en la falda, con las Ecuaciones 1.36 y 1.37:

$$\sigma_{bs} = \frac{4 \cdot 59,25 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{\pi \cdot (1600 + 6) \cdot 6 \cdot 1600} = 4,89 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{ws}(\text{con agua}) = \frac{399,82 \cdot 10^3}{\pi \cdot (1600 + 6) \cdot 6} = 13,21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{ws}(\text{peso normal del recipiente}) = \frac{192,72 \cdot 1000}{\pi \cdot (1600 + 6) \cdot 6} = 6,37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Se calculan los momentos máximos de tracción y compresión:

$$\sigma_s \text{ máximo (compresión)} = 4,89 + 13,21 = 18,10 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_s \text{ máximo (tracción)} = 4,89 - 6,37 = 1,48 \frac{N}{mm^2}$$

Finalmente se comprueba si cumple las condiciones:

$$S \cdot E \cdot \text{seno}(90) = 89 \cdot 1 \cdot 1 = 89,00 \frac{N}{mm^2}$$

$$0,125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_{sk}}{D_s}\right) \cdot \text{seno}(90) = 0,125 \cdot 200000 \cdot \left(\frac{6}{1600}\right) \cdot 1 = 93,75 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_s(\text{tensión}) < S_s \cdot E \cdot \text{sen}(\vartheta_s)$$

$$1,48 < 89,00$$

$$\sigma_s(\text{compresivo}) < 0,125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_{sk}}{D_s}\right) \text{sen}(\vartheta_s)$$

$$18,10 < 93,75$$

Se cumplen ambas condiciones, por tanto los 6 mm de espesor son suficientes para el soporte tipo falda.

1.4. Caída de presión del fluido de proceso

La caída de presión dentro de un horno se establece, según las heurísticas del *Seider*, en 1,36 atm. Existen diversos métodos para el cálculo de las caídas de presión dentro de un horno, pero para facilitar los cálculos, y hacer un diseño conservados se aumentarán en un 25% la caída de presión, obteniéndose un valor de 1,7 atm.

1.5. Impacto ambiental del H-201

Las emisiones se calculan suponiendo que debido al exceso de aire todo el combustible reaccionará, y por tanto se emitirán a la atmosfera los productos de la combustión, los componentes del combustible, y del aire que no reaccionan. La cantidad de cada compuesto se calcula mediante un balance de materia, para el cálculo de los productos de la combustión se supuso que todo el combustible reacciona como CH_4 , debido a que es el componente mayoritario. En la Tabla 1.4 siguiente se muestra la cantidad de cada componente emitida por kilogramo de combustible:

Tabla 1.4: Emisiones a la atmosfera del horno H-201

Componente	kg componente/kg combustible	% en masa
Vapor de agua	2,245	11,885%
Dióxido de carbono	2,749	14,554%
Nitrógeno	13,731	72,693%
Oxígeno	-	-
Argón	0,164	0,867%
Total	18,889	

Otros componentes en cantidades inferiores al 0,001% pueden ser neón, helio, kriptón, óxido nitroso u otros componentes que puedan estar presentes en el aire. No se han tenido en cuenta posibles trazas en el combustible, ni las posibles roturas de tubos que provocarían la emisión de fluido de proceso.

El principal componente que se emite es nitrógeno, esto era de esperar, ya que es inerte, y es el componente mayoritario del aire, con el que se trabaja en exceso. De los componentes emitidos el que es de mayor peligro para el medioambiente es el dióxido de carbono, debido a las grandes cantidades que se emiten.

La emisión de óxidos de nitrógeno debe estar por debajo de los niveles mínimos establecidos, su concentración nunca debe superar los 5,00 ppm. Debido a que en ningún momento la llama supera los 1300°C, no se formarán óxidos de nitrógeno. Esto

se debe a que a partir de 1300°C el nitrógeno presente en el aire, y en el propio combustible, se combina con el oxígeno formando óxidos de nitrógeno.

En caso de que la emisión de CO₂ alcanzase niveles considerables, superiores a los permitidos, se estudiaría la instalación de filtros de carbono u otros métodos para reducir estas emisiones.

1.6. Seguridad de H-201

Las principales causas de accidentes se deben a fallos en componentes por el diseño inapropiado frente a presión interna, fuerzas externa, corrosión del medio, y temperatura. Todos estos parámetros se han tenido en cuenta a la hora de hacer el diseño de la unidad, tomando siempre la opción más conservadora, y segura.

En los hornos, la principal causa de accidente es el incendio o explosión por la ruptura de un tubo. Esto se debe al sobrecalentamiento del tubo, normalmente porque no tiene la carga de fluido suficiente, y recibe el propio tubo todo el calor. Para evitar esto debe instalarse un sistema de alarmas que en caso de alcanzarse un flujo mínimo se pare la operación. Otras causas son la explosión debido a la pérdida de llama o purga indebida, y la implosión debido a problemas en la corriente de aire.

Los niveles de CO altos son perjudiciales para el medioambiente, pero también para la seguridad de la unidad. Niveles altos de CO indican que parte del combustible no se quema, lo que conlleva a una pérdida de calor, y a un peligro de explosión a niveles altos de CO. Para ello se instala un lazo de control para garantizar la cantidad necesaria de aire para que se produzca la combustión completa, este lazo de control tiene que garantizar una cantidad mínima de aire. El lazo de control que garantiza la cantidad mínima de O₂ para la combustión se justifica por la seguridad, y la economía del proceso.

Prácticamente todos los accidentes en hornos se producen durante el arranque y la parada. Para ello es necesario establecer un protocolo estricto tanto de encendido

como de apagado. Es frecuente instalar un sistema de seguridad de apagado del horno si evolucionan situaciones inseguras.

Para el análisis de peligros en la operación de la unidad se recurrió al método HAZOP, que se encuentra en el apartado de seguridad de la memoria del presente proyecto.

El sistema a analizar en el HAZOP es la etapa de calentamiento de la materia prima del proceso para entrar en el reactor a la temperatura de reacción. El equipo en el que tiene lugar esta operación es el horno, H-201. La alimentación está formada por una corriente de ácido palmítico, con trazas de ácido oleico y esteárico. Este proviene de la sección 100 de la planta, donde tiene lugar la separación de los distintos ácidos grasos mediante un tren de destilación.

El horno trabaja a una presión cercana a las 3,00 atm, sufriendo el fluido de proceso una caída de presión de 1,70 atm. El ácido palmítico se calienta desde 100°C hasta 370°C, vaporizándose totalmente la mezcla. Al producirse la vaporización será de gran importancia el control de la presión, y los posibles episodios de sobrepresión.

Las corrientes que influyen en el horno son la del fluido de proceso, la del combustible, y la del aire. Por tanto el análisis de peligros se centrará en el estudio de estas tres líneas, y también de la presión, y la temperatura.

El ácido palmítico, al igual que el oleico y esteárico, es combustible y deben evitarse las llamas, por ello debe evitarse la ruptura de los tubos que llevaría a un accidente de graves consecuencias. Para esto se seleccionó un material que soporta altas temperaturas, el acero inoxidable, en teoría resiste hasta una temperatura superior a la máxima de la llama. Aun así, se debe instalar un sistema de alarmas que pare la operación en caso de no alcanzar un flujo mínimo, ya que sino se sobrecalentarían los tubos pudiendo tener lugar episodios de gran peligro.

El espesor de la tubería que conduce el fluido de proceso supera el mínimo calculado mediante la Norma API 560, aun así se aumento hasta 5,50 mm para una mayor seguridad de la operación. Esta decisión esta basada en que aparte de la presión de trabajo, la tubería puede que tenga que trabajar a mayores presiones debido a que por su interior circulan vapores a alta temperatura. A pesar de todas estas medidas también deberá instalarse un mecanismo de alivio para asegurar que los tubos no sufran ningún daño.

2. Diseño del reactor R-201

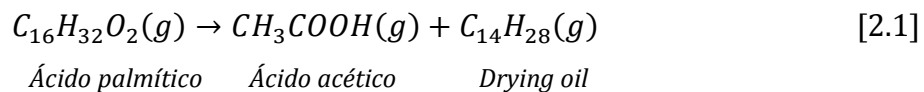
2.1. Introducción

En el reactor R-201 se produce el craqueo térmico del ácido graso empleado como materia prima de la operación; ácido palmítico. Mediante este craqueo se obtiene el producto deseado; *drying oil* (aceite seco) y un producto con valor comercial como es el ácido acético.

Por otra parte, cierta cantidad de *drying oil* produce una reacción secundaria no deseada, en la que dicho aceite se dimeriza para formar goma.

La etapa de reacción se lleva a cabo a una temperatura de 370°C y una presión de 125 kPa, lo que quiere decir, que la reacción tiene lugar en fase gas.

Las reacciones son las siguientes:



La reacción principal como se comentó anteriormente es la Ecuación 2.1. Cuya ecuación cinética obtenida a través de bibliografía es:

$$r_1 = k_1 \cdot C_{AP} \quad [2.3]$$

$$k_1 = 5,538 \times 10^{13} \cdot e^{\frac{-44500}{R \cdot T}} \quad [2.4]$$

La reacción secundaria, no deseada, que se produce por la dimerización del *drying oil*, se corresponde con la Ecuación 2.2. Su ecuación cinética viene definida de la siguiente manera:

$$r_2 = k_2 \cdot C_{DO}^2 \quad [2.5]$$

$$k_2 = 1.55 \times 10^{26} \cdot e^{\frac{-88000}{R \cdot T}} \quad [2.6]$$

Donde:

- La energía de activación se mide en cal/mol (kcal/kmol)
- Las concentraciones de ácido palmítico y *drying oil* en mol/L
- La temperatura en grados Kelvin
- R, constante de los gases ideales, en calorías por mol y grado Kelvin

De esta manera r, velocidad de reacción se medirá en kmol/m³·s.

La segunda reacción (no deseada) no se tendrá en cuenta a la hora del diseño, ya que la selectividad obtenida para este caso es lo suficientemente elevada como para poder despreciarla.

El reactor R-201 se trata de un reactor-intercambiador de calor, esto quiere decir, que realmente consiste en un intercambiador de calor en el cual, en su interior tiene lugar la reacción química. Consiste en el intercambiador de calor más común, conocido como de carcasa y tubos.

Se ha decidido trabajar con un reactor de estas características porque la reacción alcanza los valores de conversión y selectividad más favorables para el diseño en condiciones isotérmicas. De esta manera, por carcasa, tendrá lugar la reacción en fase gas de craqueo térmico, mientras que por los tubos, circulará un medio calefactor (ya que la reacción es endotérmica y la reacción a medida que avanza, disminuye su temperatura por la absorción de calor) como son las sales fundidas.

Estas sales fundidas tendrán un propio circuito de regeneración, es decir, las sales entrarán al reactor-intercambiador a una temperatura elevada y saldrán de él con una temperatura inferior, debido al calor que ceden a la reacción. A la salida del reactor,

estas sales serán enviadas en un circuito cerrado a un horno, que se encarga de elevar de nuevo su temperatura a la de entrada al reactor, y así sucesivamente.

2.2. Consideraciones

Para calcular la conversión y la selectividad se realizó un análisis exhaustivo de la cinética química mediante la ayuda de herramientas como Hysys y Matlab.

Mediante un programa implementado en Matlab, en el cual, introduciendo la velocidad de reacción (solo la primera), y teniendo en cuenta la concentración inicial de ácido palmítico, calcula la conversión de la reacción a diferentes temperaturas y a diferentes volúmenes de reactor. En función de las referencias de Grummit y Fleming se escogieron las condiciones adecuadas que facilitaran el diseño.

Tras la determinación de la conversión y la selectividad que se experimentará en el reactor R-201, mediante un análisis exhaustivo de la cinética química; los resultados son:

- Una conversión del 62,5%.
- Un valor de selectividad de 38,3.

2.3. Cálculo de la entalpía de reacción

La entalpía de reacción a una temperatura T, distinta de 25 grados Celsius (298 grados Kelvin) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta H_T = \Delta H_{298} + R \cdot \int_{298}^T \frac{C_P}{R} dT \quad [2.7]$$

La entalpía de reacción a 298 grados Kelvin se obtiene como la diferencia entre las entalpías de formación de los productos menos los reactivos.

El primer término de la ecuación 2.7, el valor de dicha entalpía de formación a 298⁰K, se obtiene a través de Hysys, que aporta dicho valor al introducir la ecuación cinética en el programa. $\Delta H_{298} = 9,5 \times 10^4$ kJ/kmol.

En cuanto al segundo término, el valor de C_p/R resulta de la siguiente aproximación:

$$\frac{C_p}{R} = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^{-2} \quad [2.8]$$

Los valores de las constantes A, B, C y D; son valores experimentales que se obtienen a través de bibliografía. En el caso de los compuestos que intervienen en la reacción 1 (ácido palmítico, drying oil y ácido acético) no se han podido encontrar, por lo que el método de cálculo del segundo término ha sido el siguiente:

- Gracias al simulador Hysys, se toman los valores de C_p a diferentes
- temperaturas, desde 25°C hasta 370°C, con intervalos de temperatura variables de los tres compuestos.

Tabla 2.1. Valores de C_p a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	DO	Cp (kJ/kmol°C)	
		Palmítico	Acético
25	414,7	505,2	90,96
35	423	515,4	92,24
45	431,2	525,6	93,53
55	439,3	535,6	94,82
65	447,5	545,5	96,12
75	455,6	555,2	97,43
85	463,7	564,9	98,76
95	471,8	574,4	100,1
105	479,9	583,9	101,5
125	496	602,5	81,71
145	512,1	620,8	84,44
165	528,3	638,8	87,08
185	544,6	656,6	89,64
205	561,1	674,3	92,1
230	582,2	696,3	95,07
260	503,5	722,8	98,47
290	523,5	750	101,7
310	536,5	768,9	103,7
340	555,2	799,1	106,7
350	561,3	810	107,6
360	567,3	821,4	108,6
370	573,2	679,4	109,5

- Seguidamente se divide cada uno de estos valores entre $R = 8,3144 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$

Tabla 2.2. Valores de C_p/R de los tres compuestos

C_p/R		
DO	Palmítico	Acético
49,88	60,76	10,94
50,88	61,99	11,09
51,86	63,22	11,25
52,84	64,42	11,40
53,82	65,61	11,56
54,80	66,78	11,72
55,77	67,94	11,88
56,74	69,08	12,04
57,72	70,23	12,21
59,66	72,46	9,83
61,59	74,66	10,16
63,54	76,83	10,47
65,50	78,97	10,78
67,48	81,10	11,08
70,02	83,75	11,43
60,56	86,93	11,84
62,96	90,20	12,23
64,53	92,48	12,47
66,78	96,11	12,83
67,51	97,42	12,94
68,23	98,79	13,06
68,94	81,71	13,17

- A continuación, se aplica el método de los trapecios para cada uno de los compuestos:

$$y = \Delta x \times \left(\frac{1}{2} \times y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{1}{2} \times y_n \right)$$

Los valores obtenidos fueron:

Tabla 2.3. Valor de la integral Cp/R para cada uno de los compuestos

DO	Palmítico	Acético
<i>Valor integral</i>	<i>Valor integral</i>	<i>Valor integral</i>
21373,49	27601,75	3991,11

$$\int_{25}^{370} \frac{C_P}{R} = v_i \int_{25}^{370} \frac{C_P}{R}_{ACÉTICO} + \int_{25}^{370} \frac{C_P}{R}_{DRYING OIL} + \int_{25}^{370} \frac{C_P}{R}_{PALMÍTICO} \quad [2.9]$$

Donde v_i se corresponde con el coeficiente estequiométrico de cada uno de los compuestos: 1, 1, -1 respectivamente.

- Finalmente:

$$\Delta H_T = 9,5 \times 10^4 + 8,3144 \cdot (-2237,16)$$

$$\Delta H_T = 7,64 \times 10^4 \frac{KJ}{Kmol}$$

2.4. Balance de energía

Para el cálculo del flujo másico necesario de sales fundidas (medio calefactor) que mantendrán el reactor a la misma temperatura (isotermo a 370°C), se hace imprescindible el balance de energía.

$$Q_{acumulado} + Q_{reacción} + Q_{absorbido} = 0 \quad [2.10]$$

Por tratarse de una reacción isoterma, el calor acumulado será 0, por lo que el balance de energía se simplifica a:

$$Q_{reacción} + Q_{absorbido} = 0 \quad [2.11]$$

El calor de reacción se calcula en base a la entalpía de reacción a 370°C.

$$Q_{reacción} = \Delta H_T \cdot F_{AO} \cdot X \quad [2.12]$$

Donde:

- ΔH_T es la entalpía de reacción
- F_{AO} el flujo molar de alimentación al reactor con un sobredimensionamiento del 25%
- X la conversión de la reacción

$$Q_{reacción} = 7,64 \times 10^4 \cdot 16,9 \cdot 0,6254 \quad [2.13]$$

$$Q_{reacción} = 224,30 \text{ KW}$$

$$Q_{absorbido} = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [2.14]$$

Combinando la Ecuación 2.12 y la Ecuación 2.14, se obtiene el flujo másico de sales fundidas.

$$m = \frac{Q_{absorbido}}{C_p \cdot \Delta T}$$

$$m = 2,608 \text{ Kg/s}$$

2.5. Volumen del reactor y tiempo medio de residencia (TMR)

El siguiente paso consiste en calcular el volumen del reactor. Analizado como un reactor de flujo en pistón, el balance de materia para un reactor de estas características queda definido por su ecuación de diseño:

$$V = F_{AO} \cdot \int_0^X \frac{dX}{-r_p} \quad [2.15]$$

En primer lugar, se tiene que calcular la concentración inicial en el reactor de ácido palmítico (C_{p0}). Hay que tener en cuenta que la reacción es en fase gas, por lo que

este cálculo se realizará en base a la consideración de que el ácido graso responde a la ley de los gases ideales.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad [2.16]$$

Donde:

- P es la presión de operación
- V el volumen del reactor
- n el número de moles
- R la constante de los gases ideales
- T la temperatura de operación

Combinando la Ecución 2.16, se obtiene el valor de la concentración inicial:

$$\frac{n}{V} = \frac{P}{R \cdot T}$$

$$\frac{n}{V} = \frac{125}{8,31 \cdot 643} = C_{P0} = 0,023 \text{ kmol/m}^3$$

El siguiente término que se debe tener en cuenta es la expansión molar, por tratarse de una reacción en fase gas. La expansión molar hace referencia al cambio en el número de moles a lo largo de la reacción. Para este caso, solo se toma la primera reacción, y se considera que por cada mol de ácido palmítico se producen uno de *drying oil* y otro de ácido acético.

$$\varepsilon = \frac{V(X = 1) - V(X = 0)}{V(X = 0)} = \frac{2 - 1}{1} = 1 \quad [2.17]$$

El valor de expansión 1 responde a un aumento en el número de moles, en los productos respecto de los reactivos.

El valor de la constante cinética k_1 resulta imprescindible para el cálculo, ya que se debe obtener el valor numérico de la velocidad de reacción (r_1). Resolviendo la Ecuación 2.4, se obtiene un valor de $k_1=4,189 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

La Ecuación 2.3 muestra la expresión de la velocidad de reacción. Ésta aparece en función del valor de C_P , factor que se debe expresar en función de la concentración inicial de ácido palmítico, calculada anteriormente (C_{P0}). En base a la definición de conversión:

$$X = \frac{C_{P0} - C_P}{C_{P0}} \quad [2.18]$$

$$C_P = C_{P0} \cdot (1 - X)$$

Para operaciones a presión y temperatura constante se obtiene (fase gas):

$$C_{P0} \cdot \frac{(1 - X_P)}{(1 + \varepsilon \cdot X_P)}$$

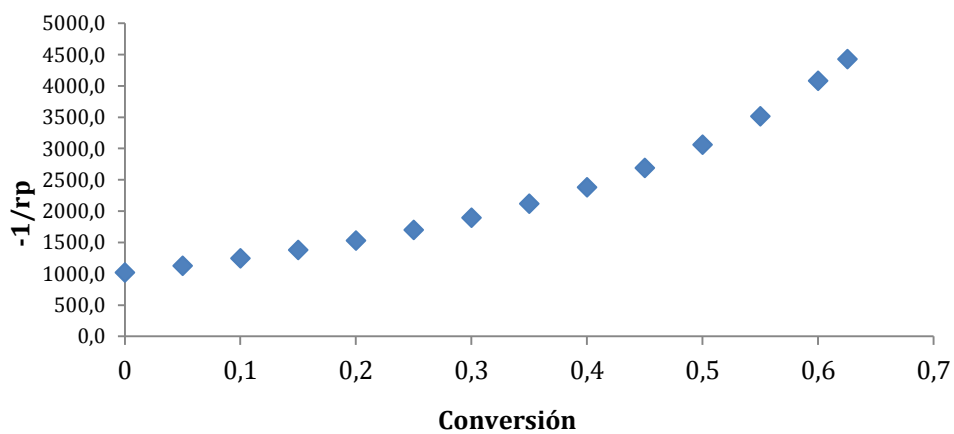
De esto modo, incluyendo el término en la ecuación de la velocidad cinética resulta:

$$r_1 = k_1 \cdot C_{P0} \cdot \frac{(1 - X_P)}{(1 + \varepsilon \cdot X_P)} \quad [2.19]$$

Tomando intervalos de 0,5 para la conversión empezando desde 0 y finalizando en el valor de $X_p = 0.625$, se desarrolla la siguiente tabla, obteniendo la velocidad de reacción para cada uno de los diferentes valores de conversión, y su inversa.

Tabla 2.4. Valores de la velocidad de reacción y su inversa

X	-r1 (kmol/m ³ ·s)	1/-r1 (m ³ ·s/kmol)	Resolución por trapezios
0	0,00098	1020,73	1260,36
0,05	0,00089	1128,17	108,10
0,1	0,00080	1247,56	
0,15	0,00072	1380,99	
0,2	0,00065	1531,09	
0,25	0,00059	1701,21	
0,3	0,00053	1895,64	
0,35	0,00047	2119,97	
0,4	0,00042	2381,70	
0,45	0,00037	2691,01	
0,5	0,00033	3062,18	
0,55	0,00028	3515,84	
0,6	0,00024	4082,91	
0,6254	0,00023	4429,00	



Gráfica 2.1. V/Fao

Aplicando el método de los trapecios se resuelve el valor de la integral, que se corresponde con el área bajo la curva de la Gráfica 2.1.

$$y = \Delta x \times \left(\frac{1}{2} \times y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{1}{2} \times y_n \right)$$

$$\int_0^{0,625} \frac{1}{-r_i} \cdot dX = 1368,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s/Kmol}$$

Finalmente se obtiene el valor del volumen de reacción resolviendo la Ecuación 2.15.

$$V = 1368,46 \cdot \frac{16,9}{3600} = 6,4 \text{ m}^3$$

El tiempo medio de residencia corresponde, de una manera aproximada, al tiempo que tardan las partículas en recorrer el reactor. Para el cálculo del tiempo medio de residencia (τ), teniendo en cuenta la relación entre F_{A0} y Q_0 y la definición de tiempo espacial ($\tau=V/Q$). La Ecuación 2.15 se convierte en:

$$\tau = C_{P0} \cdot \int_0^{X_P} \frac{dX_P}{-r_P} \quad [2.20]$$

El valor de la integral es el mismo que para el caso del cálculo del volumen del reactor, por lo tanto el TMR se corresponde a:

$$\tau = 0,023 \cdot 1368,46 = 32 \text{ segundos}$$

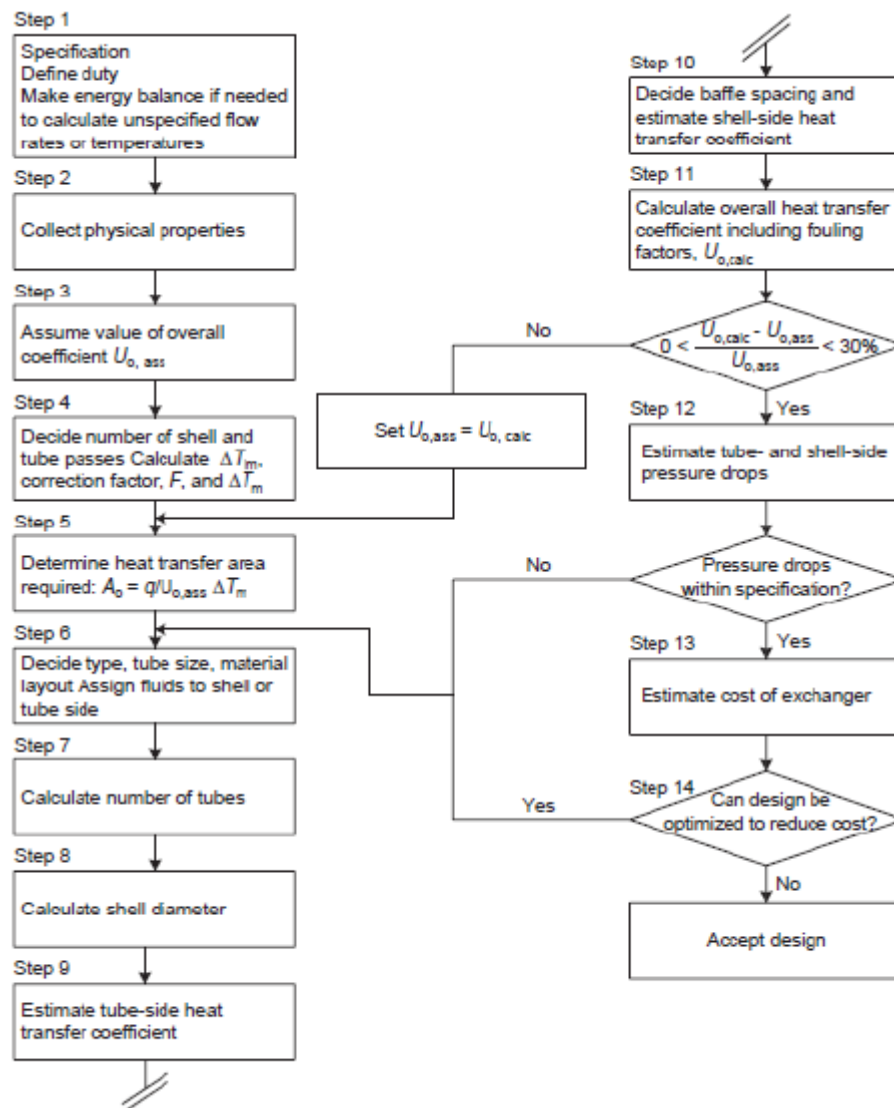
Que se corresponde con el valor de tiempo espacial:

$$\tau = \frac{V}{Q_0} = \frac{6,4}{0,201} = 32 \text{ segundos}$$

2.6. Diseño Intercambiador-Reactor

Una vez definido el calor necesario de intercambio (balance de energía), así como el volumen del reactor y el tiempo medio de residencia, se continúa con el cálculo del diseño satisfactorio del reactor.

Se seguirá la metodología del diseño de un intercambiador de calor de tubos y carcasa convencional, que se expone en el Esquema 2.1.

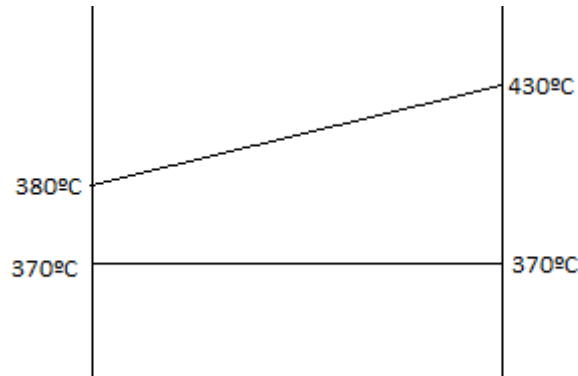


Esquema 2.1. Procedimiento de diseño de un intercambiador de carcasa y tubos (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934).

En primer lugar, se debe suponer un valor U , coeficiente integral de transmisión de calor. A través de bibliografía, en el caso de producción de acetona, se emplean sales fundidas como medio calefactor, y toman un valor de $180 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; por lo tanto para este caso se partirá de un valor de $175 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Junto con el calor intercambiado se debe incluir el cálculo del valor de ΔT media logarítmica. Para ello, primero se deben definir y diferenciar las 4 diferentes temperaturas con las que se trabaja. Entrada de las sales fundidas (medio calefactor), temperatura de salida de las sales, temperatura de entrada de reactivo, temperatura de

salida de los productos. El Esquema 2.2 muestra estos cuatro valores (perfil de temperaturas).



Esquema 2.2. Perfil de temperaturas (contracorriente)

Los perfiles de temperatura permiten comprobar si los intercambiadores cumplen la heurística que determina que debe existir un $\Delta T_{\min}$ de:

- 10°F o menos para temperaturas por debajo del ambiente
- 20°F por encima del ambiente hasta 300°F
- 50°F para temperaturas altas

El tipo de flujo que se empleará en el reactor es de flujo cruzado, de tal manera, la diferencia de temperatura media logarítmica queda definida como:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln (\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad [2.21]$$

De tal manera que:

$$\Delta T_1 = 430 - 370$$

$$\Delta T_2 = 380 - 370$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln (\Delta T_1 / \Delta T_2)} = 27,91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con ΔT_{ml} se puede obtener el valor de delta de temperatura media, multiplicando ΔT_{ml} por un factor de corrección F. Para el caso de una operación isoterma, en la que uno de los fluidos no sufre cambio de temperatura, este factor equivale a 1, por lo que el término ΔT_{ml} se corresponde con ΔT_m .

Como primera suposición se tomará un paso por carcasa y cuatro pasos por tubos. Con el calor de intercambio, ΔT_m calculados y el coeficiente integral de transmisión de calor supuesto se pudo obtener el Área necesaria para el intercambio de calor de la siguiente manera:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad [2.22]$$

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_m} = \frac{224,30}{175 \cdot 27,91} = 45,93 \text{ m}^2$$

Una vez conocido la superficie necesaria para llevar a cabo la reacción de manera isoterma, el siguiente paso consiste en decidir el tamaño de los tubos, el material de éstos y asignar a cada uno de los fluidos un medio de circulación, es decir, decidir que fluido circulará por carcasa y cuál por tubos.

Teniendo en cuenta, que tanto las sales fundidas que se van a emplear como medio calefactor, que están compuestas por un 53% de KNO_3 , 40% de NaNO_2 y un 7% de NaNO_3 , son corrosivas, y la reacción que tendrá lugar en el interior del reactor formará como producto secundario ácido acético, que también lo es, la decisión acerca del material a emplear resulta realmente importante.

Para comenzar con el diseño, se toma como material acero inoxidable austenítico 316, más adelante, en el diseño mecánico se corroborará si esta decisión fue correcta o si por el contrario se debe volver a este punto y rediseñar con un material más adecuado.

El tamaño de los tubos, en base a valores comunes, se toman de un catálogo de acero inoxidable austenítico 316, siendo el valor del diámetro externo de 17,15

milímetros, pidiendo como espesor de tubos 4 milímetros, debido a la corrosividad. El espesor necesario de tubos y carcasa también se comprobará y de desarrollará en el apartado de diseño mecánico.

La asignación de fluidos se llevó a cabo en función de las siguientes consideraciones:

- La corrosividad tanto de las sales fundidas como de la mezcla reaccionante se puede considerar prácticamente igual, ya que las posibles diferencias que puedan existir no serán relevantes. Por lo tanto, teniendo en cuenta, que el fluido más corrosivo debe ir por tubos, en principio no será la razón primordial para tomar la decisión.
- En cuanto al ensuciamiento, las sales fundidas se estima un valor de 5000 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, mientras que la mezcla reaccionante, considerándose como vapores orgánicos se asigna un valor de 5000 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Todos ellos obtenidos de la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Factores de ensuciamiento. (Fuente: Sinnot.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Fluid	Fouling ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Cooling water (towers)	3000–6000
Organic liquids & light hydrocarbon	5000
Refrigerated brine	3000–5000
Steam condensate	3000–5000
Steam vapor	4000–10000
Condensing organic vapors	5000
Condensing thermal fluids	5000
Aqueous salt solutions	1000–3000
Flue gases	2000–5000

De esta manera, las sales resultan tener la misma tendencia a ensuciar que la mezcla reaccionante, por lo que este aspecto tampoco determinará la decisión.

- El fluido que trabaje a mayor temperatura debería ser asignado a tubos, de esta manera se reducirá el coste total del equipo. Las sales fundidas se emplea como medio calefactor, por ello, experimenta un cambio de temperatura (aproximadamente unos 50°C), entran al reactor a una temperatura de 430°C , mientras, que los vapores orgánicos reactantes se mantienen a una temperatura constante entorno a los 370°C . Por lo tanto, en referencia a este parámetro, las sales fundidas deberían circular por la sección de tubos.
- La presión de operación es la misma, para ambos fluidos, por lo que este factor no afectará a la hora de hacer la asignación.
- La viscosidad también es considerada para determinar la selección. El fluido más viscoso debe colocarse por carcasa. En este caso, las sales inorgánicas presentan una viscosidad de 2,1 cP, mientras que los gases orgánicos es de 0,0076 cP. En este caso, es la mezcla reaccionante la que debería circular por tubos.
- En cuanto al flujo, generalmente se obtiene un diseño más económico si se asigna a la zona de carcasa el fluido con menor flujo. En este caso serían las sales fundidas.
- Por último, se debe tener en cuenta, que las sales fundidas, disponen de un circuito propio de regeneración, es decir, éstas entran al reactor a una temperatura (430°C), y salen a 380°C . Tras reducir su temperatura, se devuelven a un horno que elevará su temperatura hasta los 430°C para volver a ser empleadas en el interior del reactor. Por lo tanto, teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente y teniendo en cuenta, que este circuito propio cerrado de sales es más fácil si éstas se disponen por tubos, la asignación final queda:
 - Sales fundidas: Circulan por tubos.
 - Fase reactiva: Circula por carcasa.

La siguiente etapa del diseño de un reactor-intercambiador de carcasa y tubos, consiste en calcular el número de tubos necesarios para obtener el intercambio de calor necesario en el área del que se dispone.

Para ello es necesario calcular en primer lugar el área que ocupan los tubos, teniendo que decidir también una longitud para éstos. Se toma un valor recomendado y disponible comercialmente, como es 6,1 metros.

$$A_{tubos} = \pi \cdot d_e \cdot L \quad [2.23]$$

$$A_{tubos} = \pi \cdot \frac{17,1}{1000} \cdot 6,1 = 0,329 \text{ m}^2$$

Dividiendo el área necesaria para el intercambio de calor entre el área ocupada por los tubos, se obtiene el número de éstos necesarios para cumplir el requisito de área disponible.

$$N_{tubos} = \frac{A}{A_{tubos}} = \frac{45,93}{0,329} = 140 \text{ tubos} \quad [2.24]$$

Tomando cuatro pasos por tubos, el número de tubos por paso será:

$$N_{tubos-paso} = N_{tubos} / N_{pasos-tubo} = 140 / 4 = 35 \text{ tubos por paso}$$

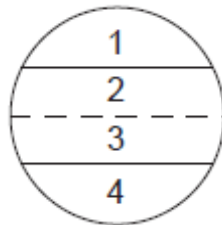


Ilustración 2.1. Disposición de los tubos para cuatro pasos.

La disposición de los tubos en el interior del equipo es algo muy importante, ya que influirá en la transferencia de calor. Las disposiciones más comunes son: triángulo equilátero, cuadrada o cuadrada rotada. La disposición seleccionada ha sido la triangular, ya que aporta mayor y mejor transferencia de calor, a pesar de experimentar una mayor caída de presión. Esta disposición recibe el nombre de pitch triangular y queda definido a través de la Ecuación 2.25 y la Ilustración 2.2:

$$Pt = 1,25 \cdot d_e \quad [2.25]$$

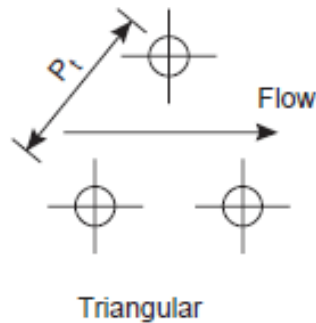


Ilustración 2.2. Pitch triangular

A continuación, con este valor se calcula el diámetro del haz de tubos que conforman el interior del reactor-intercambiador.

$$Db = d_e \cdot \frac{Nt^{\frac{1}{n_1}}}{k_1} \quad [2.26]$$

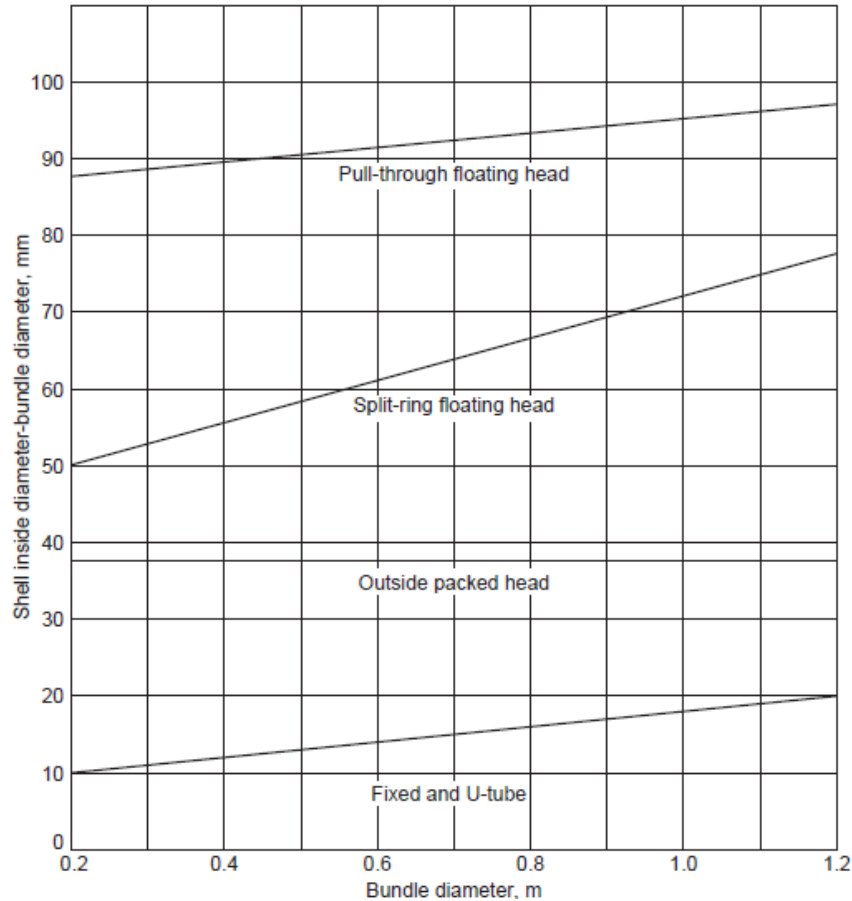
Donde n_1 y k_1 son valores constantes que dependen del número de pasos por tubo y de la disposición de los tubos, como se puede observar en la Tabla 2.6:

Tabla 2.6. Valores de n_1 y k_1 (Fuente: Sinnot,R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Triangular Pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
$>n_1$	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square Pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
n_1	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

$$Db = 17,3 \cdot \frac{140^{1/2,285}}{0,175} = 319,72 \text{ mm}$$

Conocido el diámetro del haz de tubos, se calcula el diámetro interno de la carcasa del equipo. Para ello solo hay que sumarle al diámetro del haz de tubos el espaciado existente entre el haz y la carcasa. Este valor se obtiene de la Gráfica 2.2:



Gráfica 2.2. Espaciado entre haz y carcasa en función del cabezal (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

El cabezal escogido es el *Outside packed head*, que se explicará su selección en el apartado de diseño mecánico. Leyendo en la Gráfica 2.2, tomando el diámetro del haz de tubos en el eje x, se obtiene un espaciado de 37 milímetros. Por lo tanto, el diámetro interno de la carcasa queda expresado mediante la siguiente ecuación.

$$D_s = D_b + \text{holgura} = 319,72 + 37 = 356,72 \text{ mm}$$

Cálculo de las velocidades de tubos y carcasa

Es importante calcular las velocidades de tubos y carcasa, y comprobar que los valores se ajustan a los estipulados, ya que solo de esta manera, podrá verificarse que el diseño que se está llevando a cabo es correcto y satisfactorio.

- Velocidad de tubos: Por tubos circulan sales fundidas, es decir, una mezcla de sales inorgánicas en estado líquido, para el que se estima que la velocidad de líquidos por tubos debe estar comprendida entre 1 y 2 metros por segundo. A pesar de ello, a través de bibliografía, en el que para el proceso de acetona emplean las sales fundidas del mismo modo que se emplean en este proceso, como medio calefactor, toman como velocidad ideal de las sales 0,6 metros por segundo.

En primer lugar se calcula el área transversal del tubo:

$$A_{trans} = \frac{\pi \cdot di^2}{4} = \frac{\pi \times (9,15 \times 10^{-3})^2}{4} = 6,58 \times 10^{-5} m^2 \quad [2.27]$$

A continuación, multiplicando el área transversal por el número de tubos, se obtendrá el área por paso necesaria para el proceso.

$$A_{paso} = A_{trans} \times N_{tubos} - paso \quad [2.28]$$

$$A_{paso} = 6,58 \times 10^{-5} \cdot 35 = 0,0023 m^2$$

Calculando la velocidad másica de las sales:

$$G_{sales} = \frac{A_{paso}}{m} = \frac{0,0023}{2,608} = 1133 \frac{Kg}{m^2 \cdot s} \quad [2.29]$$

Por lo tanto, la velocidad de las sales a través de los tubos será:

$$v_{tubos} = G_{sales} / \rho_{sales} \quad [2.30]$$

$$v_{tubos} = 1133/1980 = 0,57 \text{ m/s}$$

Comparando el valor obtenido con el obtenido por bibliografía, puede considerarse que la velocidad se puede tomar como válida.

- Velocidad de carcasa: En la carcasa se lleva a cabo la reacción en fase gas, y a una presión de 125 kPa. Para estas consideraciones, la velocidad recomendada se encuentra entre 10 y 30 metros por segundo.

La velocidad por la carcasa se obtiene mediante el cociente entre el caudal volumétrico de entrada al equipo y el área de flujo cruzado.

$$v_{carcasa} = \frac{m}{A_s} \quad [2.31]$$

$$A_s = \frac{(P_t - d_e) \times l_b \times D_s}{P_t}$$

Donde:

- P_t es el pitch triangular
- d_e es el diámetro externo de los tubos
- l_b es el espaciado entre los deflectores que se toma igual al diámetro interno de la carcasa
- D_s es el diámetro interno de la carcasa

$$A_s = \frac{(21,44 - 17,3) \cdot 356,7 \cdot 356,7}{21,44} = 25469,45 \text{ mm}^2$$

$$v_{carcasa} = \frac{0,2007}{0,025469} = 8 \text{ m/s}$$

A pesar de estar por debajo del intervalo recomendado se puede tomar como un valor correcto, ya que está muy próximo a 10 metros por segundo, además de que se

debe tener en cuenta que el flujo con el que se trabaja en este equipo es muy bajo, factor que justifica que la velocidad por carcasa sea algo inferior.

Cálculo de los coeficientes individuales de calor (interno y externo) y coeficiente integral de calor

El siguiente paso consiste en obtener el valor de los coeficientes individuales de transferencia de calor, tanto del lado de tubos (interno, h_i), como del lado de carcasa (externo, h_e). Para ello se empleará el método Kern, desarrollado por el hombre que da nombre a dicho método.

- **Coeficiente individual interno (lado de los tubos)**

La correlación del método de Kern responde a la Ecuación 2.32.

$$h_i = \frac{Re \times j_h \times Pr^{0,59} \times K}{d_i} \quad [2.32]$$

Donde

- h_i es el coeficiente individual interno
- Re el Reynolds de la sección de tubos
- j_h es el factor de transferencia de calor
- Pr el Prandtl de la sección de tubos
- K es la conductividad del fluido
- D_i el diámetro interno.

En primer lugar se deben calcular los números adimensionales de Reynolds y Prandtl.

$$Re = \frac{v_{tubos} \cdot d_i \cdot \rho_{sales}}{\mu_{sales}} \quad [2.33]$$

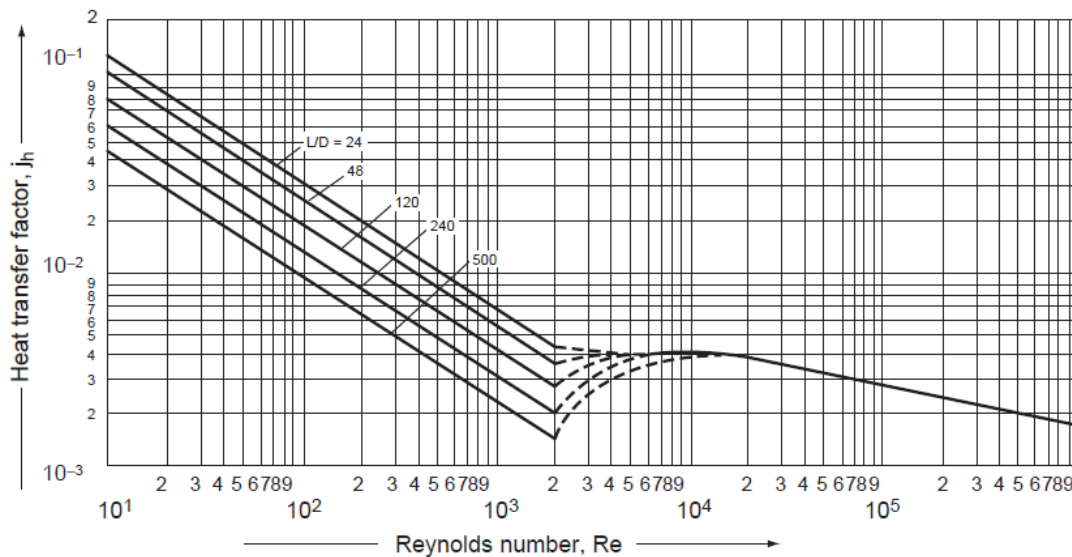
$$Re = \frac{0,57 \cdot 9,15 \times 10^{-3} \cdot 1980}{2,1 \times 10^{-3}} = 4,94 \times 10^3$$

$$Pr = \frac{C_{p\text{sales}} \cdot \mu_{\text{sales}}}{K_{\text{sales}}} \quad [2.34]$$

Donde el valor de C_p de las sales se debe expresar en $\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$:

$$Pr = \frac{1720 \cdot 2,1 \times 10^{-3}}{0,606} = 5,96$$

Con el valor de Reynolds calculado y la relación L/D (355) se obtiene mediante la Gráfica 2.3, el factor de transferencia de calor j_h ($3,5 \cdot 10^{-3}$)



Gráfica 2.3. Factor de transferencia de calor. Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Empleando la Ecuación 2.32, se obtiene el valor de h_i .

$$h_i = \frac{4,94 \times 10^3 \cdot 3,5 \times 10^{-3} \cdot 5,96^{0,33} \cdot 0,606}{9,15 \times 10^{-3}} = 2063 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

De bibliografía, en el caso ya mencionado como referencia por emplear sales fundidas como medio calefactor, obtiene un valor de coeficiente individual para sales fundidas de $2546 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, por lo que se puede deducir que el valor obtenido es satisfactorio.

- ***Coefficiente individual externo (lado de carcasa)***

Se calculará por el método Kern, por lo que la correlación empleada no varía, tan solo, existe la variante de que el diámetro no será el diámetro interno de la carcasa, sino que se calculará un diámetro equivalente.

$$h_e = \frac{Re \times j_h \times Pr^{0,59} \times K}{d_{eq}} \quad [2.35]$$

Para una disposición de los tubos de forma triangular, el diámetro equivalente se calcula mediante la Ecuación 2.36.

$$d_{eq} = \frac{1,10}{d_e} \cdot (Pt^2 - 0.917 \cdot d_o^2) \quad [2.36]$$

Con el diámetro equivalente calculado, se determina el valor del Reynolds del lado de carcasa.

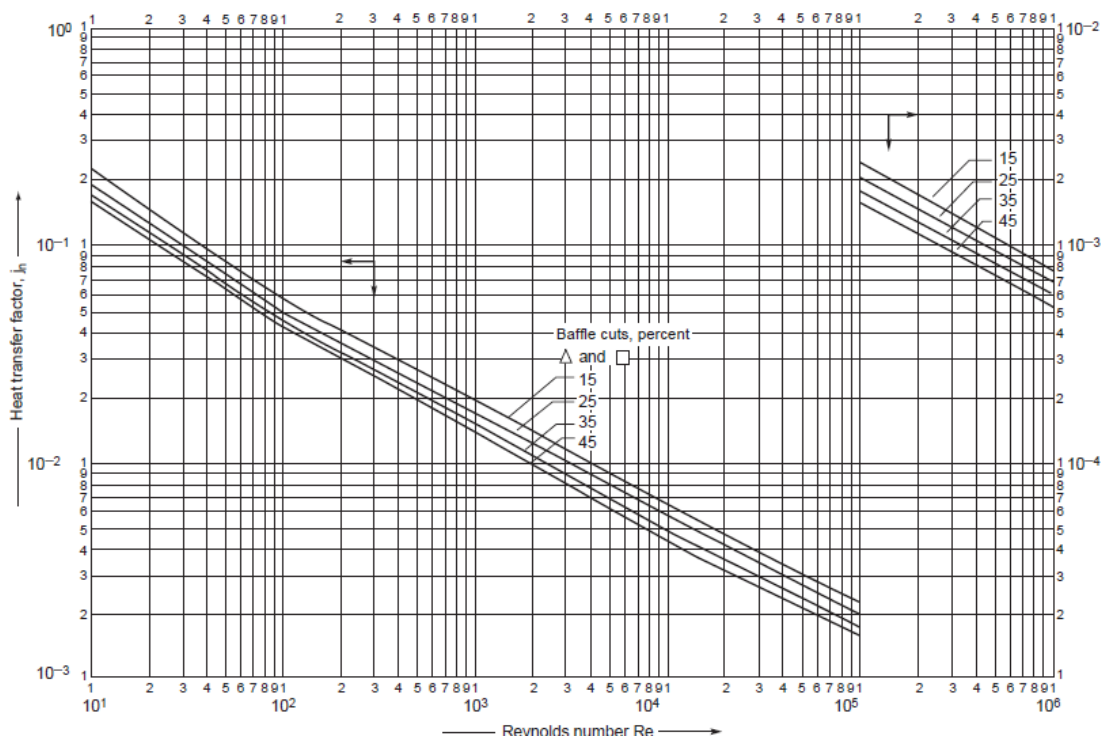
$$Re = \frac{u_s \cdot d_e \cdot \rho}{\mu} \quad [2.37]$$

Donde

- u_s la velocidad lineal del lado de carcasa calculado anteriormente
- d_e el diámetro equivalente
- μ y ρ la viscosidad y la densidad de la mezcla de gases respectivamente

El valor del Prandtl responde a la Ecuación 2.34, pero siendo los parámetros los correspondientes al fluido del lado de carcasa.

El factor j_h al igual que para el caso del lado de tubos, depende del Reynolds, pero en este caso depende de otro término, que hace referencia al corte del deflector, que se toma como 45%. En la Gráfica 2.4 se puede comprobar el valor.



Gráfica 2.4. Valor de j_h (Fuente: Sinnot.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Se obtiene un valor de 0,002, conociendo la conductividad térmica de la mezcla gaseosa obtenido a través de Hysys (0,0254 W/m·°C) se puede sustituir en la Ecuación 2.35 y se obtiene el valor de h_e .

$$h_e = \frac{5,61 \times 10^4 \cdot 0,002 \cdot 1,09^{0,59} \times 0,0331}{0,0122} = 287,79 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Una vez obtenido los valores de los coeficientes individuales de calor, tanto externo como interno, se continúa con el cálculo de U (coeficiente integral de transmisión de calor). Este valor ha de ser comparado con el supuesto al inicio del diseño, y comprobar si éste es válido o se debe volver a comenzar el diseño con el nuevo valor de U obtenido.

Este coeficiente global es la recíproca de la resistencia global a la transferencia de calor, que es la suma de las diversas resistencias individuales. En el intercambio de calor

a través de un tubo de intercambiador de calor típico, la relación entre el coeficiente global y los individuales viene dada por:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_{ed}} + \frac{d_e \cdot \ln\left(\frac{d_e}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_e}{d_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_e}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} \quad [2.38]$$

Donde:

- U es el coeficiente global de transferencia de calor basado en el área externa del tubo
- h_e coeficiente individual exterior
- h_i coeficiente individual interior
- h_{ed} coeficiente de suciedad exterior (factor de ensuciamiento)
- h_{id} coeficiente de suciedad interior (factor de ensuciamiento)
- k_w conductividad térmica del material de la pared de los tubos
- d_i diámetro interno del tubo
- d_e diámetro externo del tubo

Para el caso que se está tratando, se obtiene un valor de coeficiente global de transferencia de:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{241,12} + \frac{1}{5000} + \frac{1,715 \times 10^{-2} \cdot \ln\left(\frac{17,15}{9,15}\right)}{2 \cdot 19,74} + \frac{17,15}{9,15} \cdot \frac{1}{3000} + \frac{17,15}{9,15} \cdot \frac{1}{2063}$$

$$\frac{1}{U} = 0,00548$$

$$U = 182 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

El valor supuesto al comienzo del diseño, tomado por bibliografía fue de 175 W/m²·°C, por lo tanto se está cometiendo un error de tan solo el 4,26%. Por debajo del 30% de error se toma como válido, en este caso el error es mucho más pequeño, por lo que se puede concluir que el valor de obtenido de U es realmente satisfactorio.

Una vez obtenido el coeficiente global de transferencia, se debe calcular la caída de presión, tanto del lado de tubos como del lado de carcasa. Este cálculo no es muy exacto, pero sí da una aproximación bastante real que puede dar una idea de cómo se está comportando en cada una de la secciones la caída de presión. Evidentemente, existen unos valores recomendados y aproximados para la caída de presión, tanto para la zona de tubos como para la zona de carcasa.

Caída de presión en el lado de los tubos

Para el caso de circulación de líquido por la zona de tubos, que es lo que ocurre en este caso, (las sales fundidas se tratan de una mezcla de sales inorgánicas en fase líquida), la caída de presión permitida gira en torno a la viscosidad del fluido que circula.

- Para líquidos con viscosidad inferior a 1 mN·s/m² la caída de presión permitida es de hasta 35 kN/m², o lo que es lo mismo, 35 KPa.
- Para líquidos con viscosidad comprendida entre 1 mN·s/m² y 10 mN·s/m² la caída de presión permitida está entre 50 y 70 kN/m², lo que significa, una caída de presión permitida de hasta 50-70 KPa (0,4-0,6 atm).

En cuanto a las causas que producen la caída de presión en el lado de los tubos se encuentran la pérdida de fricción en los tubos y las pérdidas debido a la contracción y expansión repentina y los cambios de sentido de la circulación que experimenta el fluido en su circulación a través de la disposición de los tubos.

La ecuación básica para la caída de presión en una circulación isotérmica en tuberías es:

$$\Delta P = 8 \cdot j_f \cdot \frac{L}{d_i} \cdot \frac{\rho \cdot u_{tubos}^2}{2} \quad [2.39]$$

Donde:

- j_f es el factor de fricción adimensional.
- L es la longitud efectiva de la tubería.
- ρ la densidad de las sales.
- u la velocidad del fluido a través de los tubos.

Como por tubos no se experimenta una circulación isotérmica, ya que las sales fundidas descienden su temperatura para ceder calor a la reacción, se debe tener en cuenta el cambio en las propiedades físicas debido a ese cambio de temperatura, de manera que la ecuación anterior queda definida de la siguiente manera:

$$\Delta P = 8 \cdot j_f \cdot \frac{L}{d_i} \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} \cdot \frac{\mu^{-m}}{\mu_w} \quad [2.40]$$

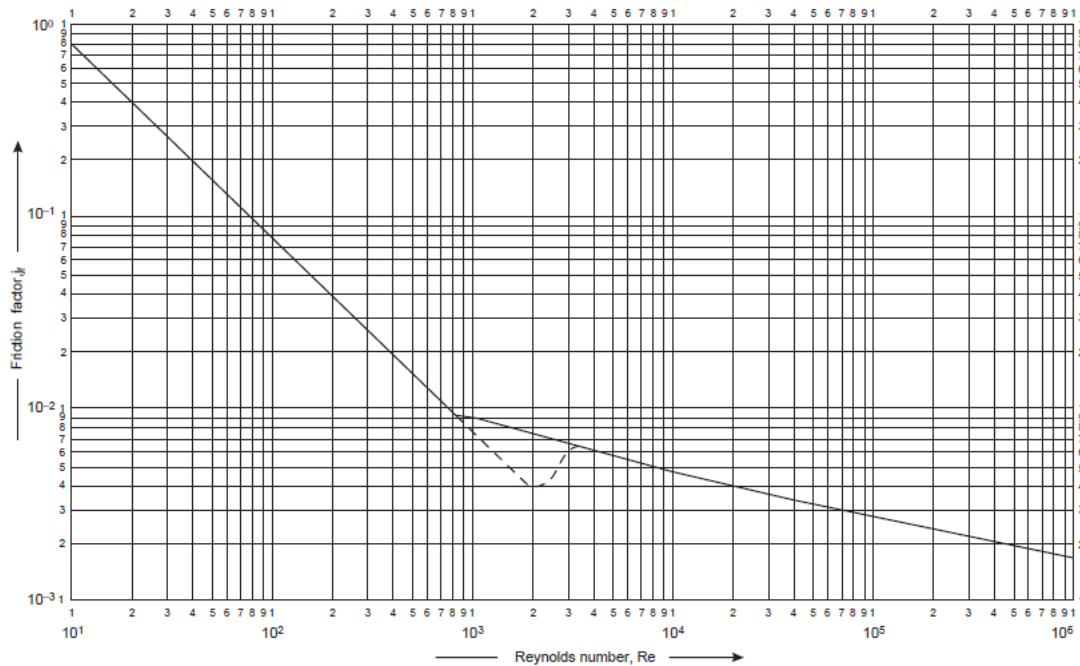
Donde m varía en función del tipo de circulación que exista, ya sea turbulenta o laminar. De todos modos, ya que la variación de temperatura que experimentan las sales es suficientemente baja, la variación de la viscosidad se puede considerar despreciable, por lo que a la Ecuación 2.40 tan solo hay que añadirle un factor que tenga en cuenta las pérdidas de presión debido a la contracción en las entradas del tubo, la expansión en la salida y la circulación inversa en los cabezales. No existe un método completamente satisfactorio para esta estimación, pero Frank en 1978 recomienda 2,5 cargas de velocidad por paso, de manera que añadiendo este término a la ecuación, la caída de presión del lado de los tubos quedará definida finalmente de la siguiente manera:

$$\Delta P = N_p \cdot \left(8 \cdot j_f \cdot \frac{L}{d_i} \cdot \frac{\mu^{-m}}{\mu_w} + 2,5 \right) \cdot \frac{\rho \cdot u_{tubos}^2}{2} \quad [2.41]$$

Donde

- ΔP es la caída de presión de lado de los tubos en Pascales
- N_p el número de pasos del lado de los tubos
- u la velocidad del lado de los tubos en m/s
- L la longitud de un tubo

A partir de la Gráfica 2.5 se obtiene el valor del coeficiente j_f en función del Reynolds.



Gráfica 2.7. Valor de j_f (Fuente: Sinnott,R, Towler.G. “Chemical Engineering Design”. 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Por lo tanto la caída de presión que se produce en el lado de tubo es:

$$\Delta P = 4 \cdot \left(8 \cdot 5,8 \times 10^{-3} \cdot \frac{6,10}{9,15 \times 10^{-3}} + 2,5 \right) \cdot \frac{1980 \cdot 0,57^2}{2}$$

$$\Delta P = 43372 \text{ Pa} = 43,37 \text{ KPa} = 0,4 \text{ atm}$$

El valor obtenido es de 0,4 atmósferas, por lo que se encuentra dentro del intervalo permitido de 0,4 – 0,6 atmósferas. A continuación se calcula la caída de presión del lado de carcasa con el fin de comprobar si ésta también se encuentra dentro del intervalo permitido, y por lo tanto definir el diseño como satisfactorio.

Caída de presión de la carcasa

Para gases y vapores en la zona de carcasa la caída de presión permitida se obtiene multiplicando por 0,5 la presión manométrica. La presión de operación es de 125 kPa, por lo que restándole la presión atmosférica y aplicándole el 50%, se obtiene un caída de presión permitida de 11,85 KPa, es decir, 0,12 atmósferas.

La caída de presión en el lado de carcasa solo suele ser significativa en el caso de trabajar con gases.

Para el caso de la zona de carcasa, la pérdida de presión se calcula mediante la siguiente ecuación:

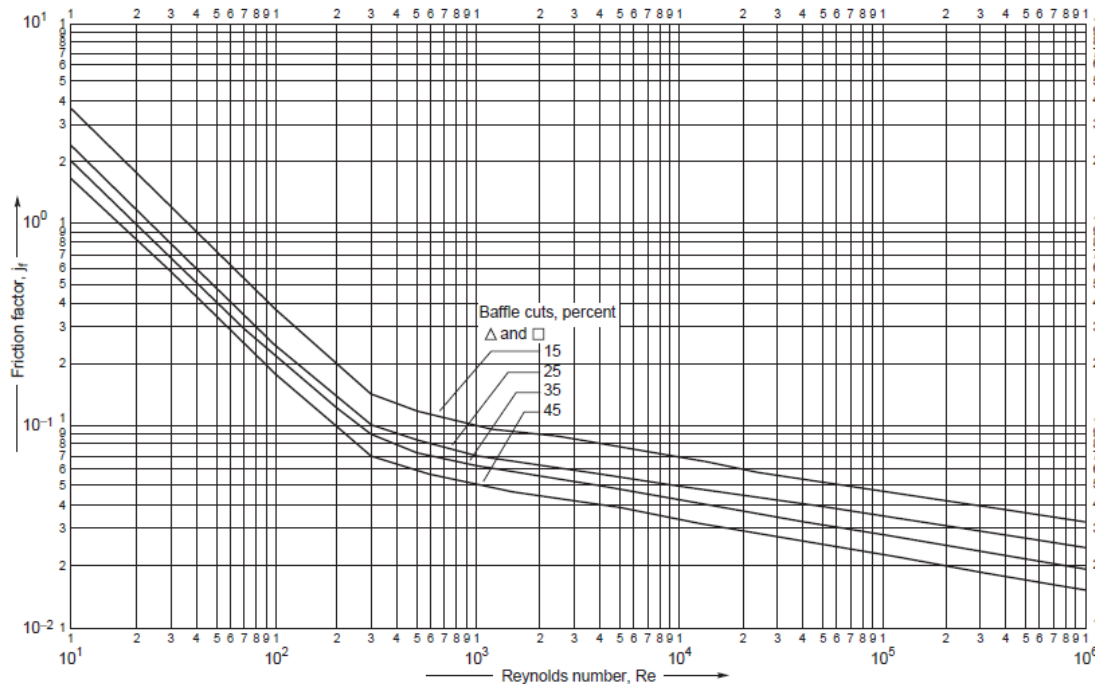
$$\Delta P = 8 \cdot j_f \cdot \frac{D_s}{d_e} \cdot \frac{L}{l_B} \cdot \frac{\rho \cdot u_{carcasa}^2}{2} \cdot \frac{\mu}{\mu_w}^{-0.14} \quad [2.42]$$

Donde

- D_s es el diámetro interno de la carcasa
- l_B es el espaciado del deflector
- (L/l_B) es el número de veces que el flujo cruza el haz de tubos

Al igual que para el caso de los tubos, el factor que se incluye como corrector del cambio de la viscosidad debido al cambio de temperatura, se desprecia, considerando que ambas viscosidades son iguales y por lo tanto dicho término es igual a uno.

El factor j_f hace referencia a la pérdida por fricción y se obtiene leyendo de la gráfica 2.6, en base al valor del Reynolds ($7,93 \cdot 10^4$) y un corte de deflector del 45%.



Gráfica 2.6. Valor de j_h para carcasa (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Por lo tanto, sustituyendo los valores en la Ecuación 2.42, se obtiene una caída de presión del lado de carcasa:

$$\Delta P = 8 \cdot 0,028 \cdot \frac{0,357}{1,22 \times 10^{-2}} \cdot \frac{6,1}{0,357} \cdot \frac{3,08 \cdot 7,88^2}{2}$$

$$\Delta P = 10718,45 \text{ Pa} = 10,72 \text{ KPa} = 0,11 \text{ atm}$$

Resulta importante, aclarar que los cálculos de las caídas de presión, tanto para carcasa como para tubos, no gozan de una alta exactitud, proporcionan una aproximación acerca de lo que se puede llegar a experimentar realmente en el interior del reactor. Por lo tanto, en este caso, una caída de presión de 0,11 atmósferas puede tomarse como correcta ya que se encuentra por debajo del límite impuesto por recomendaciones.

2.7. Diseño mecánico

2.7.1. Elección del material de construcción

Una vez se ha realizado el diseño térmico del intercambiador-reactor, el siguiente paso consiste en estudiar y analizar su diseño mecánico.

En primer lugar, para comenzar con el diseño mecánico se debe elegir el material del que será fabricado el equipo. Para ello se deben tener en cuenta tres factores principalmente: la corrosión, la temperatura y la presión.

El material elegido para el diseño del reactor debe soportar la posible corrosividad de los fluidos con los que vaya a trabajar. En este caso, éstos son:

- Ácido palmítico: no corrosivo
- Ácido acético: muy corrosivo
- Drying oil: No corrosivo a acero ni aluminio
- Goma: No corrosiva
- Sales fundidas: Corrosivas

Por lo tanto, tanto para la carcasa, por donde circulará el ácido acético formado en la reacción, como para los tubos, por donde se transportan las sales fundidas, deberá elegirse un material, no solo resistente a la corrosión, sino también resistente a los correspondientes fluidos; ácido acético y sales fundidas respectivamente.

Generalmente siempre se empieza considerando la elección de acero al carbono, pero en este caso, conociendo la alta corrosividad que experimentará el proceso en este equipo, no se planteará. Por lo tanto, se debe buscar un material resistente a la corrosión, que a su vez lo sea al ácido acético a altas temperaturas para el material de la carcasa, y para sales fundidas a altas temperaturas para los tubos.

El acero inoxidable es resistente a la corrosión, pero dentro de los aceros inoxidables existen muchos tipos, por lo que es importante escoger el que mejor se adapte a la situación.

En cuanto a la temperatura, se debe calcular la temperatura de diseño que se calcula sumándole 50°F a la temperatura de operación. Para este caso, la temperatura a la que se lleva la reacción es de 370°C, por lo que pasado a grados Fahrenheit y sumándole los 50°F correspondientes se obtiene una temperatura de diseño de 748°F (398°C). Ésta será la temperatura que deberá resistir el material escogido para el diseño.

La temperatura de esta operación no se encuentra en intervalos excesivamente altos, por lo que la elección del material no se verá restringida por este aspecto.

Para la presión de diseño se debe tomar un 10% más de la manométrica. Como la operación tiene lugar a 1,2 atmósferas, se considerará que calcular la presión de diseño en función de la presión manométrica no sería muy exacto, por lo que se calculará como si de una operación a presión atmosférica se tratase. De esta manera, la presión de diseño es igual a 137,5 kPa. Al trabajar a presión prácticamente atmosférica, el material tampoco se verá afectado por la presión; ya que la decisión de materiales especiales debido a la presión aparecen cuando las operaciones se encuentran en torno a los 10 bar (1000 kPa).

Por lo tanto, para la selección del material, se deberá tener en cuenta principalmente el término de corrosión, y posteriormente comprobar que cumplen con los requisitos de temperatura y presión mínima requerida.

Por lo tanto se escoge acero inoxidable, éste se utiliza en la industria química como material resistente a la corrosión. Para ello su contenido en cromo ha de ser mayor del 12% y cuanto más lo sea, más resistente será la aleación a la corrosión en condiciones oxidantes. Según su microestructura se dividen en tres categorías:

- Ferrítico: 13-20% de cromo, menos del 0,1 % de carbono y sin ningún contenido en níquel.
- Austenítico: 18-20 % de cromo, más del 7% de níquel.
- Martensítico: 12-14% de cromo, 0,2-0,4 % de carbono y hasta el 2% de níquel.

Para la industria química se prefiere la estructura uniforme de la austenítica por alta resistencia a la corrosión.

A continuación se presenta en la Tabla 2.7, los diferentes tipos de aceros inoxidables austeníticos con sus respectivas composiciones, procedente del American and Iron Steel Institute (AISI).

Tabla 2.7. Composición de los aceros inoxidables austeníticos

AISI Número	C	Mn Max	P Max	Cr	Ni	Otros	
Aceros Austeníticos							
201	0.15 max.	5.5/7.5	0.060	16.00/18.00	3.50/5.50	N	0.25 max.
202	0.15 max.	7.5/10.0	0.060	17.00/19.00	4.00/6.00	N	0.25 max.
301	0.15 max.	2.00	0.045	16.00/18.00	6.00/8.00		
302	0.15 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	8.00/10.00		
302 B	0.15 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	8.00/10.00	Si	2.00-3.00
303	0.15 max.	2.00	0.200	17.00/19.00	8.00/10.00	Mo, Zr	0.60 max.
303 Se	0.15 max.	2.00	0.200	17.00/19.00	8.00/10.00	Se	0.15 min.
304	0.08 max.	2.00	0.045	18.00/20.00	8.00/12.00		
304 L	0.03 max.	2.00	0.045	38.00/20.00	8.00/12.00		
305	0.12 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	10.00/13.00		
308	0.08 max.	2.00	0.045	19.00/21.00	10.00/12.00		
309	0.20 max.	2.00	0.045	22.00/24.00	12.00/15.00		
309 S	0.08 max.	2.00	0.045	22.00/24.00	12.00/15.00	Si	1.50 max.
310	0.25 max.	2.00	0.045	24.00/26.00	19.00/22.00	Si	1.50 max.
310 S	0.08 max.	2.00	0.045	24.00/26.00	19.00/22.00	Si	1.50-3.00
314	0.25 max.	2.00	0.045	23.00/26.00	19.00/22.00	Mo	2.00-3.00
316	0.08 max.	2.00	0.045	16.00/18.00	10.00/14.00	Mo	2.00-3.00
316 L	0.03 max.	2.00	0.045	16.00/18.00	10.00/14.00	Mo	3.00-4.00
317	0.08 max.	2.00	0.045	18.00/20.00	11.00/15.00	Ti	5 x C min.
321	0.08 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	9.00/12.00	Cb-Ta	10 x C min.
347	0.08 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	9.00/13.00	Ta	0.10 max.
348	0.08 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	9.00/13.00	Cb-Ta	10 x C min.

Como el único fluido que presenta posible corrosión sobre el material de carcasa es el ácido acético, se analiza cómo responden los diferentes aceros inoxidables auteníticos frente a ese ácido tan corrosivo. En la Tabla 2.8, se muestran las diferentes posibilidades:

Tabla 2.8. Tolerancia al ácido acético

Soluciones de		Condiciones de Servicios	SUS 304	SUS 316	SUS 410	SUS 430
Ácido Nítrico	5%	Temp. Ambiente	A	A	B	-----
Ácido Nítrico	40%	Temp. Ambiente	A	A	B	-----
Ácido Nítrico	40%	Hirviendo	A	A	D	-----
Ácido Sulfúrico	5%	Temp. Ambiente	C	B	D	E
Ácido Sulfúrico	5%	Hirviendo	E	C	E	E
Ácido Hidroclórico		Temp. Ambiente	E	E	E	-----
Ácido Fósforico	30%	Hirviendo	A	A	-----	-----
Ácido Fósforico	85%	Hirviendo	B	B	-----	-----
Ácido Fósforico	85%	Hirviendo	E	E	-----	-----
Ácido Acético	50%	Temp. Ambiente	A	A	-----	A
Ácido Acético	50%	Hirviendo	C	B	E	E
Ácido Acético	100%	Temp. Ambiente	A	A	-----	-----
Ácido Acético	100%	Hirviendo	C	B	E	-----
Hidrogeno Sulfúrico			B	A	-----	-----
Cloruro Ferroso	1%	70°C	B*	A*	C*	-----
Cloruro Ferroso	1%	Hirviendo	D*	C*	-----	-----
Cloruro de Calcio		70°C	B*	A*	-----	-----
Cloruro de Amonio	1%	70°C	A	A	A	-----
Cloruro de Amonio	20%	Hirviendo	A	A	-----	-----
Soluciones		Cond. de Serv.				
Nitrato de Amonio		Hirviendo	A	A	A	A
Saturado			A	A	B	B
Nitrato de Amonio	10%	21°C	A	A	A	A
Nafta		21°C	A	A	B	A
Petróleo		21°C	A	A	A	A
Gasolina		21°C	A	A	A	A
Benzol		Tibio	A	A	B	A
Acetona		21°C	A	A	-----	A
Cloro Benzol		21°C	A	A	-----	-----
Creosota - Alquitrán		Tibio	A	A	B	A
Glicol Etilico		21°C	B	A	C	
Tricloruro Etilico		21°C	B	B	-----	C
Ácido Digestor		21°C	A	A	A	A

A = excelente

B = muy bueno

C = bueno

D = malo

E = no recomendado

Como se puede observar en la Tabla 2.8, frente a ácido acético puro a temperaturas elevadas (hirviendo) el acero inoxidable austenítico 316 presenta un comportamiento B (muy bueno). Por lo tanto, éste será el material seleccionado para el diseño del reactor.

Los esfuerzos máximos permisibles de diferentes aceros se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Máximos esfuerzos permisibles (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Material	Grade	Min Tensile Strength (ksi)	Min Yield Strength (ksi)	Maximum Temperature (°F)	Maximum Allowable Stress at Temperature °F (ksi = 1000 psi)				
					100	300	500	700	900
Carbon steel	A285	45	24	900	12.9	12.9	12.9	11.5	5.9
	Gr A								
Killed carbon steel	A515	60	32	1000	17.1	17.1	17.1	14.3	5.9
	Gr 60								
Low alloy steel	A387	60	30	1200	17.1	16.6	16.6	16.6	13.6
1¼ Cr, ½ Mo, Si	Gr 22								
Stainless steel	410	65	30	1200	18.6	17.8	17.2	16.2	12.3
13 Cr									
Stainless steel	304	75	30	1500	20.0	15.0	12.9	11.7	10.8
18 Cr, 8 Ni									
Stainless steel	347	75	30	1500	20.0	17.1	15.0	13.8	13.4
18 Cr, 10 Ni, Cb									
Stainless steel	321	75	30	1500	20.0	16.5	14.3	13.0	12.3
18 Cr, 10 Ni, Ti									
Stainless steel	316	75	30	1500	20.0	15.6	13.3	12.1	11.5
16 Cr, 12 Ni, 2 Mo									

La máxima temperatura que soporta el acero inoxidable 316 es de 1500°F, por lo que cumple el requisito de temperatura. La presión no supone ningún tipo de problema para trabajar con este acero inoxidable y la máxima tensión admisible a 748°F (temperatura de diseño) hay que calcularla mediante una interpolación que se muestra en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Características para el caso específico

Temperatura (°F)	500	700	900	748
Máxima tensión admisible (kpsi)	13,3	12,1	11,5	11,956

2.7.2. Diseño del espesor de la carcasa

El diseño mecánico que se llevará a cabo para el reactor R-201, será tratado como un recipiente a presión de pared fina, por lo tanto se empleará el estándar ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Exactamente se aplicará la sección VIII que contiene 3 subdivisiones, de las cuales tan solo se empleará la primera, que contiene normas generales para recipientes de baja presión como es este caso.

El código ASME proporciona dos ecuaciones para el cálculo del espesor del recipiente, la primera correspondiente a un espesor bajo tensión *hoop*, y la otra bajo esfuerzo longitudinal. Se debe escoger el mayor espesor obtenido de ambas.

-Para tensión *hoop*.

$$t = \frac{P_i \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot E - 1,2 \cdot P_i} \quad [2.43]$$

- Para esfuerzo longitudinal

$$t = \frac{P_i \cdot D_i}{4 \cdot S \cdot E - 0,8 \cdot P_i} \quad [2.44]$$

Donde t es el espesor mínimo requerido:

- P_i la presión interna
- D_i el diámetro interno
- S es el máximo esfuerzo permisible
- E es la eficacia de la unión soldada
- Los valores de la eficacia de la unión soldada se muestran en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Eficacia de la unión soldada (Fuente: Sinnott,R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Joint Description	Joint Category	Degree of Radiographic Examination		
		Full	Spot	None
Double-welded butt joint or equivalent	A, B, C, D	1.0	0.85	0.70
Single-welded butt joint with backing strip	A, B, C, D	0.9	0.8	0.65
Single-welded butt joint without backing strip	A, B, C	NA	NA	0.60
Double full fillet lap joint	A, B, C	NA	NA	0.55
Single full fillet lap joint with plug welds	B, C	NA	NA	0.50
Single full fillet lap joint without plug welds	A, B	NA	NA	0.45

$$t = \frac{1,4 \cdot 35,67}{2 \cdot 840,59 \cdot 1 - 1,2 \cdot 1,4} = 0,030 \text{ cm} = 0,3 \text{ mm}$$

$$t = \frac{1,4 \cdot 35,67}{4 \cdot 840,59 \cdot 1 - 0,8 \cdot 1,4} = 0,015 \text{ cm} = 0,15 \text{ mm}$$

El mayor espesor obtenido ha sido el sometido a tensión *hoop*, pero el código ASME indica que el mínimo espesor de pared, sin incluir la corrosión debe ser de 1,5 milímetros. Por lo que es el valor de espesor de pared que se tomará, ya que ninguno de los calculados alcanza dicho valor.

Además, por tratarse de elementos corrosivos, se le debe añadir una tolerancia a la corrosión que tiene un valor de 4 milímetros, quedando finalmente un espesor de pared de carcasa del reactor de 5,5 milímetros.

De esta manera, el diámetro externo de la carcasa (sin añadir el aislante) es de:

$$D_{ext.carcasa} = D_{int.carcasa} + t_{pared} \quad [2.45]$$

$$D_{ext.carcasa} = 356,7 + 5,5 = 362,22 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el espesor de la pared, puede clasificarse el equipo como recipiente de pared fina o gruesa. Existen dos subdivisiones para los recipientes a presión, por un lado los recipientes de pared fina, y por otro lado los recipientes de pared gruesa. El término que determina dicha clasificación es la relación $e/D_{carcasa}$, de manera que si este factor tiene un valor inferior a 1:10, se considerará un recipiente de pared fina, mientras que si la relación es mayor, el recipiente se considerará de pared gruesa.

$$\frac{e}{D_{carcasa}} = \frac{5,5}{362,22} = 0,0152 < 1:10$$

Por lo tanto, el reactor R-201 se trata de un recipiente de pared fina sometido a presión interna.

Para el cálculo del espesor de los tubos, se emplea la misma ecuación que para el espesor de la pared.

$$t = \frac{P_i \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot E - 1,2 \cdot P_i} = \frac{1,4 \cdot 0,915}{2 \cdot 840,59 \cdot 1 - 1,2 \cdot 1,4} = 0,00038 \text{ cm}$$

El valor obtenido como espesor mínimo es de 0,0038 milímetros y añadiéndole la tolerancia por corrosión, que al igual que por carcasa, es de 4 milímetros, por trabajar con fluido corrosivo (sales fundidas), el espesor de los tubos queda:

$$t_{tubos} = 0,0038 + 4 = 4,0038 \text{ mm}$$

De esta manera se debe comprobar que el tamaño de los tubos que se escogió para realizar el diseño es menor o igual al obtenido. Ése valor fue de 4 milímetros, ya que ya se había tenido en cuenta que se trabajaría con fluido corrosivo por tubos.

2.7.3. Determinación de los cabezales y su espesor

Se eligen cubiertas tipo BES con cabezales elípticos o torisféricos, ya que los hemisféricos no resultan muy recomendados para este diseño, porque principalmente se emplean para operaciones que se llevan a cabo a altas presiones.

Para el cálculo del espesor mínimo de los cabezales se hará una comparación entre el espesor mínimo necesario para los cabezales torisféricos y los elípticos. De entre ambos, se escogerá el menor. El código ASME BPV (Sec. VIII D.1) incluye las ecuaciones características para cada uno de los cabezales.

- Cabezal elíptico:

$$t = \frac{P_i \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_i} = 0,029 \text{ cm} = 0,29 \text{ mm} \quad [2.46]$$

- Cabezal torisférico: Donde R_c es el radio de la corono que se corresponde con el diámetro interno de la carcasa.

$$t = \frac{0,885 \cdot P_i \cdot R_c}{S \cdot E - 0,1 \cdot P_i} = 0,053 \text{ cm} = 0,53 \text{ mm} \quad [2.47]$$

En ambos casos, se obtienen espesores inferiores a 1,5 milímetros, exigidos por la normativa. Por lo tanto en ambos casos, se toma como espesor mínimo 1,5 milímetros y añadiéndole la tolerancia por corrosión de 4 milímetros, se obtiene un espesor de cabezales definitivo de 5,5 milímetros.

A pesar de que ninguno alcance el espesor mínimo exigido, el tipo de cabezal escogido debe ser el que aporte el menor valor teórico, por lo tanto, los cabezales del reactor R-201 serán elípticos, tanto el cabezal frontal como el cabezal posterior, ya que los valores obtenidos para cada uno de los casos son idénticos.

La Figura 2.3, muestra un esquema simple del tipo de cabezales elípticos que tendrá el reactor.

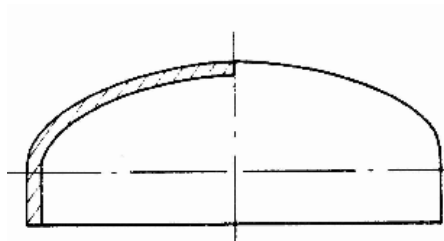


Figura 4.3 Cabezal elíptico. Fuente: Sinnot.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

2.7.4. Aislante

Se hace imprescindible colocar un material aislante que recubra la carcasa del reactor, ya que éste opera a una temperatura muy elevada, y es necesario mantener la superficie del equipo a una temperatura a la cual los operarios puedan acceder a ella con las respectivas medidas de seguridad y no quemarse ni sufrir daños físicos. Este aislamiento proporcionará un ahorro de energía al conservarse mejor el calor interior y además reducirá el ruido y la vibración.

El cálculo del espesor del aislante necesario se basa en la convección y la conducción de transferencia de calor. La figura 2.4, ilustra un esquema de las temperaturas y los radios de la carcasa del reactor y el ya nombrado aislante.

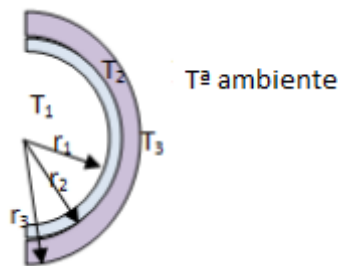


Figura 2.5. Esquema aislante térmico

Donde:

- T_1 es la temperatura en el interior de la carcasa
- T_2 es la temperatura del interfaz entre la carcasa y el aislante
- T_3 es la temperatura externa del reactor que se encuentra en contacto con el aire
- T^a ambiente hace referencia a la temperatura del exterior
- r_1 es el radio interno de la carcasa
- r_2 es el radio externo de la carcasa
- r_3 es radio externo del aislante

Los valores de r_1 y r_2 son conocidos ya que se calcularon anteriormente. La temperatura en el interior de la carcasa (T_1) es la de operación (370°C) y T_3 se decide que sea 40°C , una temperatura con la que se pueda trabajar directamente sobre el reactor. La temperatura ambiente se toma como 25°C .

El método de resolución consistirá en una iteración, en la que se comenzará suponiendo un valor del espesor, que se tomará 10 centímetros, y de esta manera, poder conocer el valor de T_2 desconocido hasta el momento y aplicar la herramienta *SOLVER* de Excel para calcular el valor del espesor que iguala T_3 a los 40°C que se desea obtener en el exterior de la carcasa.

En primer lugar se deberán analizar las ecuaciones que rigen la convección natural sobre superficies. La transferencia de calor por convección natural sobre una superficie depende de la configuración geométrica de ésta así como de su orientación. También depende de la variación de la temperatura sobre la superficie y de las propiedades termofísicas del fluido que interviene.

Las correlaciones empíricas sencillas para el número promedio de Nusselt en la convección natural son de la forma:

$$Nu = \frac{h \cdot L_c}{k} \quad [2.48]$$

Donde :

- k es la conductividad del fluido
- L_c la longitud característica que dependerá de la geometría de la superficie
- h el coeficiente de transferencia de calor

Cuando se conoce el número promedio de Nusselt y, por consiguiente, el coeficiente promedio de convección (h), la velocidad de la transferencia de calor por convección natural de una superficie sólida que está a una temperatura T_s hacia el fluido circundante se expresa por la ley de Newton del enfriamiento:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_3 - T_{ambiente}) \quad [2.49]$$

Pero en primer lugar hay que obtener el valor del número de Nusselt, que dependerá de la configuración geométrica de la superficie. El reactor R-201 se trata de

un cilindro vertical, para la cual su L_c (longitud característica) es la longitud propia del cilindro (altura). Para este caso, existe una condición que dice así:

$$Si D \geq \frac{35 \cdot L}{Gr^{\frac{1}{4}}} \text{ el cilindro vertical se puede tratar como una placa vertical}$$

Por lo tanto, lo que se debe comprobar es si esta condición se puede aplicar para el caso que se está analizando.

El número adimensional Grashof responde a la siguiente ecuación:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L_c^3}{\mu^2} \quad [2.50]$$

Donde :

- g es la aceleración de la gravedad
- β la inversa de la temperatura media entre T_s y T_∞ .
- ν es la viscosidad cinemática del aire

$$Gr = \frac{9,8 \cdot 0,0033 \cdot (313,15 - 298,15) \cdot 6,3^3}{1,56 \times 10^{-5}^2} = 4,93 \times 10^{11}$$

De esta manera:

$$\frac{35 \cdot 6,3}{4,93 \times 10^{11}^{\frac{1}{4}}} = 0,263 \text{ m}$$

Sabiendo el volumen del reactor y la altura de éste, el diámetro del equipo es 1,14 metros.

Por lo tanto, sí se cumple la condición y por consiguiente se puede tratar el cilindro vertical como si de una placa vertical se tratara.

El valor del número promedio de Nusselt para una placa vertical viene definido de la siguiente manera:

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad [2.51]$$

El número de Rayleigh se define como:

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad [2.52]$$

El número de Prandtl responde a la siguiente ecuación:

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} = 0,7296 \quad [2.53]$$

Todas las propiedades físicas del aire se obtienen a través de Hsysys.

$$Ra = 4,93 \times 10^{11} \cdot 0,7296 = 3,60 \times 10^{11}$$

Una vez calculados el Prandtl y el Rayleigh se puede obtener el número promedio de Nusselt.

$$Nu = 797,40$$

Despejando de la Ecuación 2.48, se obtiene el coeficiente de convección.

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L_c} = \frac{797,40 \cdot 0,025}{6,30} = 3,164 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad [2.54]$$

El valor del área donde se produce el intercambio de calor con el ambiente se calcula como el área superficial de un cilindro, considerando el diámetro externo del aislante (r_3) y la longitud del reactor, obteniéndose un valor de 12,46 metros cuadrados.

Sustituyendo en la Ecuación 2.54, se obtiene un calor de convección de 591,19 W.

Con el flujo de calor calculado, ya se puede obtener la temperatura de la interfaz T_2 .

$$T_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot T_1 - Q \cdot \ln(r_2/r_1)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \quad [2.55]$$

$$T_2 = 643,15 \text{ } ^\circ K$$

De la misma manera se obtiene el valor de T_3 , con el espesor supuesto inicial:

$$T_3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot T_2 - Q \cdot \ln(r_3/r_2)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \quad [2.56]$$

$$T_3 = 408,51 \text{ } ^\circ K$$

Como se puede observar, el valor de T_3 , no es $40^\circ C$ ($313,15 \text{ } ^\circ K$), por lo que el espesor supuesto de 10 centímetros no es válido, por lo tanto, empleando la herramienta *SOLVER* de Excel, se obtiene un espesor que proporciona un valor de T_3 de $40^\circ C$.

$$\text{espesor del aislante} = 12,48 \text{ cm}$$

El material aislante que se ha empleado es el poliuretano expandido, ya que era el que aportaba un espesor más bajo, aportando mejor valor que otros aislante comunes como lana mineral.

Las propiedades de este aislante se muestran en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Características del aislante

Poliuretano expandido	
$k(W/m^2 \cdot ^\circ C)$	Densidad (kg/m^3)
0,023	24

El diámetro del reactor finalmente añadiéndole el espesor de la aislante resulta ser de 629,3 milímetros.

2.7.5. Cálculo del peso

El siguiente paso en el diseño mecánico consiste en calcular el peso total del recipiente, así como el de sus accesorios, el peso de los fluidos del proceso y el aislante empleado. Para el cálculo del peso de un recipiente que no es de acero comercial se emplea la siguiente ecuación:

$$W_v = C_w \cdot \pi \cdot \rho_m \cdot D_m \cdot g \cdot (H_v + 0,8 \cdot D_m) \cdot t \times 10^{-3} \quad [2.57]$$

Donde:

- C_w es un factor que depende de la cantidad de accesorios internos que tenga en el interior, valiendo 1,08 cuando el número es reducido
- ρ_m es la densidad del material de construcción
- D_m es el diámetro medio
- H_v es la altura del reactor
- t es el espesor de la pared

$$W_v = 1,08 \cdot \pi \cdot 7960 \cdot 1,14 \cdot 9,8 \cdot (6,3 + 0,8 \cdot 1,14) \cdot 5,5 \times 10^{-3}$$

$$W_v = 11962,06 \text{ N} = 1220,62 \text{ Kg}$$

El peso de los tubos se obtiene multiplicando el volumen que ocupan por la densidad del material del que están contruidos.

$$V_{tubos} = [\pi \cdot L \cdot (r_e^2 - r_i^2)] \cdot N_{tubos} \quad [2.58]$$

$$V_{tubos} = 0,141 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso Tubos} = V_{tubos} \cdot \rho_s = 1123,33 \text{ Kg} \quad [2.59]$$

El peso de las sales fundidas que circulan por tubos se obtiene multiplicando el volumen interno de los tubos, que será la máxima capacidad que pueda llegar a existir en el interior y se multiplica por la densidad de las sales fundidas.

$$V_i = \pi \cdot L \cdot r_i^2 \quad [2.60]$$

$$Peso\ sales = V_i \cdot \rho_m = 0,056 \cdot 1980 = 111,19\ Kg$$

El peso de la mezcla de gases que circula por carcasa se obtiene multiplicando el volumen interno de la carcasa por la densidad de la mezcla de gases.

$$V_{int-carcasa} = (\pi \cdot r_{int-carcasa}^2 \cdot L) - V_{ext-tubos} \quad [2.61]$$

$$V_{int-carcasa} = (\pi \cdot 0,178^2 \cdot 6,3) - 0,197 = 0,43\ m^3$$

$$Peso\ gases = V_{int-carcasa} \cdot \rho_g = 0,43 \cdot 3,08 = 1,33\ Kg$$

Por último, el peso del aislante se obtiene de igual manera, multiplicando el volumen del aislante por su densidad.

$$V_{aislante} = \pi \cdot r_3^2 \cdot L - \pi \cdot 2 \cdot L = 1,31\ m^3$$

$$Peso\ aislante = V_{aislante} \cdot \rho_{aislante} = 1,31 \cdot 24 = 31,45\ Kg$$

El peso total del recipiente será la suma del recipiente con sus accesorios internos, el peso de los tubos, las sales, los gases y el aislante.

$$Peso\ total = 1220,62 + 1123,33 + 111,19 + 1,33 + 28,78$$

$$Peso\ total = 2485,66\ Kg$$

2.7.6. Deflectores

Los deflectores se colocan en la carcasa para direccionar la corriente del fluido a través de los tubos, aumentando de esta manera la velocidad del fluido y, por tanto mejorando la velocidad de transferencia. El tipo de deflector más comúnmente usado es el deflector de segmentación, y es el tipo que se empleará en este equipo. El corte de deflector se corresponde a la altura del segmento eliminado para formar el deflector, expresado como un porcentaje del diámetro del disco deflector. Estos valores varían desde el 15% hasta el 45%. Para este diseño se ha elegido un corte del 45%, ya que era el que aportaba la menor caída de presión.

El espaciado entre deflectores necesario dependerá del diámetro de la carcasa. En la tabla 2.13, se indica el diámetro de los deflectores en función del diámetro de carcasa.

Tabla 2.13: Diámetro de los deflectores (Fuente: TEMA 9th Edition 2007)
Standard Cross Baffle and Support Plate Clearances
Dimensions In Inches (mm)

Nominal Shell ID	Design ID of Shell Minus Baffle OD
6-17 (152-432)	1/8 (3.2)
18-39 (457-991)	3/16 (4.8)
40-54 (1016-1372)	1/4 (6.4)
55-69 (1397-1753)	5/16 (7.9)
70-84 (1778-2134)	3/8 (9.5)
85-100 (2159-2540)	7/16 (11.1)

Por lo tanto, el diámetro del deflector es de 3,2 milímetros, la distancia entre ellos, ya estimada en el cálculo de la velocidad de carcasa (l_B), se toma igual al diámetro de la carcasa interna. De esta manera, sabiendo que la longitud del reactor es de 6,3 metros, el número de deflectores necesarios para redireccionar el flujo es de 18.

2.7.7. Soporte

El método usado para soportar un recipiente dependerá del tamaño, forma y peso del recipiente, la temperatura y la presión de diseño; la ubicación y la disposición del recipiente; y los accesorios internos y externos. Los recipientes horizontales, se

montan normalmente en soportes de silla. En cambio, para recipientes verticales y altas se emplean los soportes tipo falda. Los soportes se deben diseñar para soportar el peso del recipiente y sus contenidos, y a cualquier carga añadida, como son las cargas por viento (en caso de que el recipiente se coloque de forma vertical). Los soportes impondrán cargas localizadas en la pared del recipiente, y se deberá comprobar el diseño para garantizar que las concentraciones de esfuerzo resultantes están por debajo del esfuerzo máximo de diseño permisible. Además, se debe tener en cuenta a la hora de diseñar un recipiente que su acceso debe permitir un acceso fácil para su inspección y mantenimiento.

Por lo tanto, en primer lugar se debe decidir cuál es la posición preferible para el reactor. Los reactores que trabajan con reacciones en fase gas tienen predisposición a ser colocados de forma vertical, además los recipientes colocados en posición vertical necesitan menor área en la planta, de manera que se ahorra espacio, son más fáciles de limpiar, y son preferibles frente a los horizontales para el trabajo con sólidos.

Sabiendo que la colocación del reactor será vertical, se puede tomar la decisión de que el soporte elegido será uno tipo falda.

2.7.7.1. Cargas por viento

Este tipo de cargas solo resultan importantes en recipientes (columnas) elevadas e instaladas al aire libre. En este caso, el reactor se trata de un recipiente con una altura considerable e instalado al aire libre, además se encontrará soportada por un soporte tipo falda. Bajo estas condiciones, un recipiente sometido a cargas por viento actúa como una viga voladiza, ilustrada en la Figura 2.6. El momento de flexión para una viga voladiza viene definido por la ecuación 2.62

$$M_x = \frac{W \cdot x^2}{2} \quad [2.62]$$

Donde x es la distancia medida desde la terminación libre, en el caso del reactor, la altura de éste y W la carga por unidad de longitud (N/m).

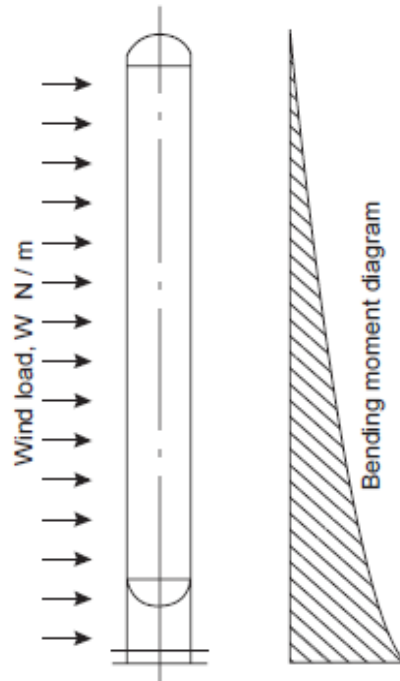


Figura 2.6: Fuerzas ejercidas por el viento en un recipiente vertical. Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Por ello, el momento de flexión, como se puede observar en la Figura 2.6, variará de forma parabólica desde cero en la parte superior de la columna hasta un valor máximo en la base.

La presión dinámica del viento es la carga impuesta en cualquier estructura por la acción del viento, y ésta dependerá de la forma de la estructura y de la velocidad del viento.

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot C_d \rho_a u_w^2 \quad [2.63]$$

Donde:

- P_w es la presión del viento (carga por unidad de área)
- C_d es un coeficiente de obstrucción (factor de forma)
- ρ_a es la densidad del aire
- U_w la velocidad del viento

Para un recipiente cilíndrico lisa, como es el caso del reactor, se puede simplificar la ecuación anterior a:

$$P_w = 0,05 \cdot u_w^2 \quad [2.64]$$

Donde:

- P_w es la presión del viento en N/m^2 .
- u_w es la velocidad del viento en km/h .

Para estudios preliminares de diseño de suele emplear un valor de velocidad de viento de 160 km/h , un valor lo suficientemente alto como para poder tomarlo como el peor caso que puede ocurrir en Galicia, lugar de implantación de la planta, región donde en el invierno de 2014 se ha recogido como velocidad más alta 130 km/h .

Con esta consideración se obtiene la presión dinámica del viento:

$$P_w = 0,05 \cdot 160^2 = 1280 \text{ } N/m^2$$

Multiplicando la presión ejercida por parte del viento por el diámetro del reactor (incluyendo el aislante) se obtiene la carga (por metro lineal).

$$W = 1280 \cdot 0,617 = 790,15 \text{ } N/m$$

Finalmente el momento de flexión se obtiene aplicando la Ecuación 2.62:

$$M_x = \frac{790,15 \cdot 6,3^2}{2} = 15680,51 \text{ } N \cdot m$$

2.7.7.2. Análisis de los esfuerzos

Se analizarán los esfuerzos de presión, del peso propio del recipiente y los de flexión.

- Esfuerzos de presión:

$$\sigma_L = \frac{P_i \cdot D_S}{4 \cdot t} \quad [2.65]$$

$$\sigma_L = \frac{0,137 \cdot 356,7}{4 \cdot 5,5} = 2,22 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_h = \frac{P_i \cdot D_S}{2 \cdot t} \quad [2.66]$$

$$\sigma_h = \frac{0,137 \cdot 356,7}{2 \cdot 5,5} = 4,45 \text{ N/mm}^2$$

- Esfuerzo del peso propio:

$$\sigma_w = \frac{W_V}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad [2.67]$$

$$\sigma_w = \frac{24355,45}{\pi \cdot (356,7 + 5,5) \cdot 5,5} = 3,89 \text{ N/mm}^2$$

- Esfuerzos de flexión:

$$D_o = D_i + 2 \cdot t \quad [2.68]$$

$$D_o = 356,7 + 2 \cdot 5,5 = 367,7 \text{ mm}$$

$$I_v = \frac{\pi}{64} \cdot (367,7^4 - 356,7^4) = 1,03 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_b = \frac{M_x}{I_v} \cdot \left(\frac{D_i}{2} + t \right) = \frac{15680,51 \cdot 1000}{1,03 \times 10^8} \cdot \left(\frac{356,7}{2} + 5,5 \right) = 28,08 \text{ N/mm}^2$$

- El esfuerzo longitudinal resultante es:

$$\sigma_z = \sigma_L + \sigma_w \pm \sigma_b$$

σ_w es compresivo y por lo tanto negativo

$$\sigma_z \text{ (contra el viento)} = 2,22 - 3,89 + 28,08 = 26,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z \text{ (a favor del viento)} = 2,22 - 3,89 - 28,08 = -29,75 \text{ N/mm}^2$$

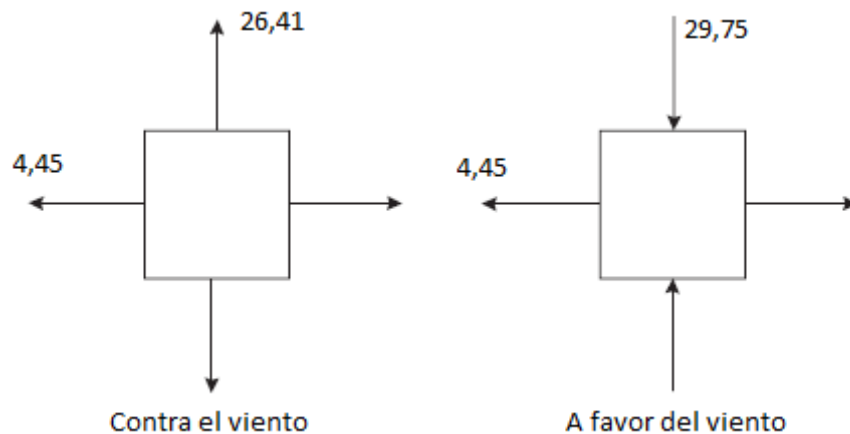


Figura 2.7: Diagrama de fuerzas ejercidas en el reactor (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

La mayor diferencia entre los esfuerzos principales será en el lado a favor del viento:

$$4,45 - (-29,75) = 34,20 \text{ N/mm}^2$$

Por otro lado, el esfuerzo máximo compresivo se producirá cuando el recipiente no está bajo presión = $3,89 + 28,08 = 31,97 \text{ N/mm}^2$.

Finalmente para verificar si el diseño es satisfactorio deben cumplirse dos condiciones:

$$\text{Esfuerzo max. compresión} < \text{Esfuerzo de pandeo crítico}$$

Máxima diferencia de esfuerzos < Máximo esfuerzo permisible

$$\sigma_c = 2 \times 10^4 \cdot \left(\frac{t}{D_o} \right) = 299,14 = N/mm^2$$

$$31,97 < 299,14$$

$$34,198 < 82,38$$

Se cumplen ambas condiciones, por lo que se puede concluir que el diseño es satisfactorio y admisible.

2.7.7.3. Espesor de la falda

El espesor de la falda debe ser suficiente para resistir las cargas por peso propio y los momentos de flexión impuestos por el recipiente.

Los esfuerzos resultantes en la falda serán:

$$\begin{aligned}\sigma_s &= (\text{tensión}) = \sigma_{bs} - \sigma_{ws} \\ \sigma_s &= (\text{compresivo}) = \sigma_{bs} + \sigma_{ws}\end{aligned}$$

Donde σ_{bs} es el esfuerzo de flexión de la falda y se calcula mediante la ecuación 2.69.

$$\sigma_{bs} = \frac{4 \cdot M_s}{\pi \cdot (D_s - t_{sk}) \cdot t_{sk} \cdot D_s} \quad [2.69]$$

Y σ_{ws} es el esfuerzo por el peso propio en la falda, que se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma_{ws} = \frac{W}{\pi \cdot (D_s + t_{sk}) \cdot t_{sk}} \quad [2.69]$$

Donde:

- M_s es el momento máximo de flexión, evaluado en la base de la falda (debido a las cargas por viento)
- W_v el peso total del recipiente y su contenido
- D_s el diámetro interno de la falda, en la base
- t_{sk} el espesor de la falda

El espesor de la falda debería ser tal que bajo la peor combinación de cargas por viento y peso propio no exceda los siguientes criterios de diseño:

$$\sigma_s(tensión) < S_s \cdot E \cdot \text{sen}(\vartheta_s)$$

$$\sigma_s(compresivo) < 0,125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_{sk}}{D_s}\right) \text{sen}(\vartheta_s)$$

Donde:

- S_s es el esfuerzo de diseño máximo permisible para el material de la falda, normalmente tomado a temperatura ambiente, 20°C.
- E la eficiencia de la unión soldada.
- ϑ_s el ángulo base de una falda cónica, normalmente 80° a 90°.
- El espesor mínimo no debería ser menor que 6 milímetros.

La Figura 2.8 muestra un esquema del soporte tipo falda empleado para el soporte del reactor.

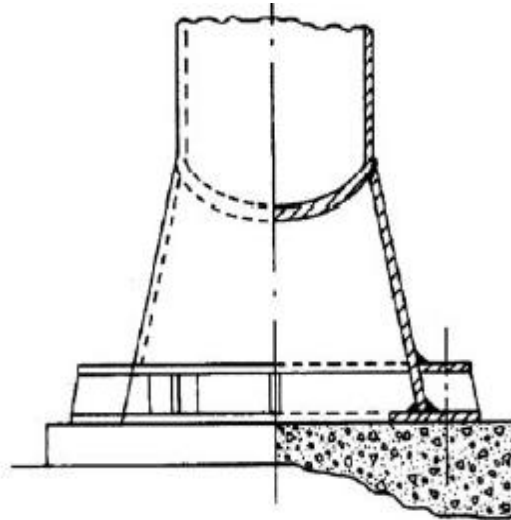


Figura 2.8. Soporte tipo falda. Fuente: Sinnott,R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Para el cálculo del espesor de la falda, se tomará un soporte de acero al carbono para una falda cilíndrica ($\theta_s=90^\circ$). El acero al carbono a temperatura ambiente soporta un esfuerzo máximo permisible de 89 N/mm^2 y el valor de su módulo de Young es de 200000 N/mm^2 .

La carga máxima por el peso propio en la falda se producirá cuando el recipiente esté lleno de agua.

$$\text{Peso aproximado} = \left(\frac{\pi}{4} \cdot D_s^2 \cdot H_v\right) \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot g \quad [2.70]$$

$$\text{Peso aproximado} = \left(\frac{\pi}{4} \cdot 0,356^2 \cdot 6,3\right) \cdot 1000 \cdot 9,8 = 6170,2 \text{ N}$$

El peso total del lleno de agua se le sumará al peso aproximado calculado anteriormente el peso del recipiente (carcasa) calculado mediante la ecuación 2.70.

$$\text{Peso total} = 6170,2 + 2485,25 \cdot 9,8 = 30529,67 \text{ N}$$

A continuación, se debe calcular el momento de flexión en la base de la falda, por lo que hay que suponer una altura de dicho soporte, que se tomará como 0,4 metros, modificando de esta manera la altura total desde la base del reactor.

$$M_x = \frac{790,15/1000 \cdot \left(6,7/1000^2\right)}{2} = 1,77 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

El primer espesor que se suele tomar para comenzar su cálculo y ver si cumple las condiciones es el obtenido anteriormente, en este caso, el de la carcasa. Por ser éste menor al mínimo exigido, se tomará el mínimo recomendado que es de 6 milímetros.

$$\sigma_{bs} = \frac{4 \cdot 1,77 \times 10^7}{\pi \cdot (356,7 - 6) \cdot 6 \cdot 356,7} = 29,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{ws}(\text{lleno de agua}) = \frac{30529,67}{\pi \cdot (356,7 + 6) \cdot 6} = 4,47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{ws}(\text{peso normal del recipiente}) = \frac{24359,47}{\pi \cdot (356,7 + 6) \cdot 6} = 3,56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_s \text{ máximo (compresivo)} = 29,09 + 4,47 = 33,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_s \text{ máximo (tracción)} = 29,09 - 3,56 = 25,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S \cdot E \cdot \text{seno}(90) = 88,87 \cdot 1 \cdot 1 = 88,87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$0,125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_{sk}}{D_s}\right) \cdot \text{seno}(90) = 0,125 \cdot 200000 \cdot \left(\frac{6}{356,7}\right) \cdot 1 = 420,50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_s(\text{tensión}) < S_s \cdot E \cdot \text{sen}(\vartheta_s)$$

$$25,52 < 88,87$$

$$\sigma_s(\text{compresivo}) < 0,125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_{sk}}{D_s}\right) \text{sen}(\vartheta_s)$$
$$33,55 < 420,50$$

Las dos condiciones se cumplen, por lo que con el espesor mínimo requerido de 6 milímetros de espesor de falda se obtiene un soporte adecuado para el reactor R-201.

3. Diseño del condensador E-201

Para el diseño del condensador E-201 se seguirán una serie de pasos, igual que se han tratado los otros intercambiadores de calor del proceso.

3.1. Diseño térmico

3.1.1. Etapa 1: Especificación

El objetivo del condensador E-201 es el de enfriar la corriente de productos del reactor desde 370°C hasta la temperatura de rocío de la mezcla, 154°C, para que se produzca la condensación de todos los compuestos. Posteriormente se enviará a un recipiente para que la goma solidifique y poder filtrarla.

La corriente tiene un caudal másico de 3530,89 kg/h, pero para el diseño se tomará un sobredimensionamiento del 25%, por lo que el caudal de diseño será de 4413,6 kg/h. La composición de la corriente de entrada se observa en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1: Composición de la corriente de entrada al E-201

Componente	Fracción
Ácido palmítico	0,2303
Ácido acético	0,3845
Ácido oleico	Trazas
Ácido esteárico	Trazas
DO	0,3654
Goma	0,0095

La corriente se encuentra en fase vapor, por lo que se deberá retirar el calor suficiente para que toda la mezcla condense.

Aunque la temperatura de rocío de la mezcla no es exactamente 370°C, sino un poco inferior (365°C), al ser tan próximas, se considera que únicamente tiene lugar la condensación, y por lo tanto el intercambiador únicamente contará con una zona de intercambio (zona de condensación). Además el calor retirado para enfriar la corriente

5°C grados es muy inferior al necesario para llevar a cabo su condensación, lo que justifica esta suposición.

Para el cálculo del calor se ha utilizado el Simulador de Procesos Químico HYSYS. Simulando las condiciones del condensador se ha obtenido el calor que es necesario eliminar:

$$\text{Calor a retirar} = 952,22 \text{ kW}$$

HYSYS no diferencia entre la calor retirada en el enfriamiento y la retirada en la condensación, sino que da la suma de las dos.

Como fluido de refrigeración se utilizará el agua de río, principalmente por su bajo coste. A continuación se comprobará si utilizando este fluido refrigerante se cumplen las diferencias de temperaturas mínima exigidas por las heurísticas.

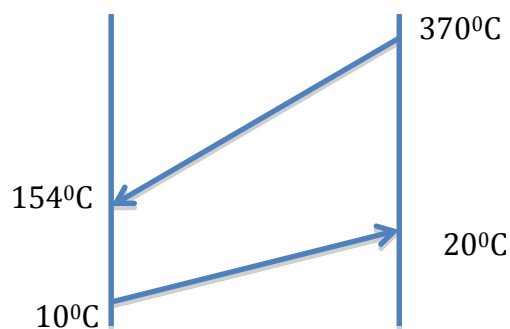


Figura 3.1: Perfil de temperaturas del condensador E-202

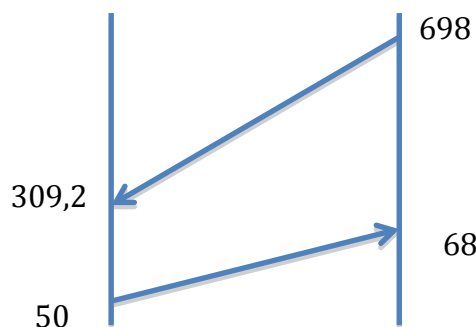


Figura 3.2. Perfil de temperatura en Fahrenheit del condensador E-202

En la Figura 3.2 se puede observar que se cumple la diferencia de temperaturas mínima recomendada de 20°F, estipulada para procesos que operan con temperaturas por encima del ambiente hasta aproximadamente 300°F, como en este caso.

Suponiendo que no hay pérdidas de energía:

$$Q_{absorbido} = Q_{cedido} \quad [3.1]$$

El calor absorbido por el agua de refrigeración viene dado por la Ecuación 3.2:

$$Q_{absorbido} = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [3.2]$$

El calor específico del agua de refrigeración a la temperatura media es de 4,32 kJ/kg°C. A partir de la Ecuación 3.2 se obtiene el caudal másico de agua necesario:

$$m_{vapor} = \frac{952,2 \text{ kW}}{4,32 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (20 - 10)^\circ\text{C}} = 22,04 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

3.1.2. Etapa 2: Propiedades físicas

Las propiedades físicas se obtienen de HYSYS.

3.1.3. Etapa 3: Coeficiente global

El coeficiente global de intercambio de calor seleccionado está indicado en la Tabla 3.2, y es de 500 W/m² °C, ya que la corriente a enfriar está considerada como una mezcla de vapores orgánicos y el fluido refrigerante es agua de río.

Shell and Tube Exchangers		
Hot Fluid	Cold Fluid	U (W/m²°C)
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800–1500
Organic solvents	Organic solvents	100–300
Light oils	Light oils	100–400
Heavy oils	Heavy oils	50–300
Gases	Gases	10–50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250–750
Light oils	Water	350–900
Heavy oils	Water	60–300
Gases	Water	20–300
Organic solvents	Brine	150–500
Water	Brine	600–1200
Gases	Brine	15–250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500–4000
Steam	Organic solvents	500–1000
Steam	Light oils	300–900
Steam	Heavy oils	60–450
Steam	Gases	30–300
Dowtherm	Heavy oils	50–300
Dowtherm	Gases	20–200
Flue gases	Steam	30–100
Flue	Hydrocarbon vapors	30–100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapors	Water	1000–1500
Organic vapors	Water	700–1000
Organics (some noncondensables)	Water	500–700
Vacuum condensers	Water	200–500
<i>Vaporizers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000–1500
Steam	Light organics	900–1200
Steam	Heavy organics	600–900
Air-cooled Exchangers		
Process Fluid		U (W/m²°C)
Water		300–450
Light organics		300–700
Heavy organics		50–150
Gases, 5–10 bar		50–100
10–30 bar		100–300
Condensing hydrocarbons		300–600

Tabla 3.2. Valores del coeficiente global de transmisión de calor (Fuente: Sinnott.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

3.1.4. Etapa 4: Tipo y dimensiones del condensador

Se toma un paso por carcasa y dos por tubos. Se calcula la diferencia de temperatura medida logarítmica mediante la Ecuación 3.3:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad [3.3]$$

$$\Delta T_{ml} = 191,44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El factor de corrección de temperatura (F_t) es 1 cuando tiene lugar un cambio de estado, como ocurre en la condensación del vapor.

3.1.5. Etapa 5: Área de transferencia de calor

$$Q = UA\Delta T_{ml} \Rightarrow A = \frac{Q}{U\Delta T_{ml}} \quad [3.4]$$

$$A_{intercambio} = 9,95 \text{ m}^2$$

3.1.6. Etapa 6: Distribución y tamaño de los tubos

El tipo de intercambiador de carcasa y tubos más sencillo y económico es el BEM, diseño de placa de tubos fijados. Como principales desventajas se encuentran que no se puede desmontar el haz de tubos para su limpieza y que cuando trabaja a diferencias de temperaturas mayores de 80°C , como en este diseño, es necesario incluir un bucle de carcasa, por lo que este tipo de intercambiador se descarta. Se usará un intercambiador del tipo BES, ya que soporta mejor las diferencias de temperatura y se puede desmontar el haz de tubos para su limpieza.

Se utiliza un condensador horizontal con condensación en el lado de la carcasa. En los condensadores horizontales no se suele utilizar una condensación en el lado de los tubos, es más común en evaporadores que utilizan vapor de agua que condensa. Por tanto, el fluido que circulará por la carcasa es el fluido de proceso a condensar mientras que por el interior de los tubos circulará el agua.

El material seleccionado para la carcasa es el acero inoxidable, ya que trabaja a altas temperaturas y trabaja con fluidos corrosivos (como el ácido acético). El material de los tubos será acero al carbono, ya que trabaja con agua de río que al pasar por la planta de tratamiento de aguas se supone que no contiene componentes corrosivos.

La disposición de los tubos en el condensador más común es la de triángulo equilátero, PITCH triangular. Las disposiciones de cuadrado o cuadrado rotado se utilizan en casos de que haya incrustaciones y sea necesaria la limpieza, como no es el caso se utilizará un PITCH triangular.

Las dimensiones de los tubos se seleccionarán en el siguiente apartado, ya que es necesario tener una velocidad en los tubos dentro de unos determinados valores y una caída de presión determinada.

3.1.7. Etapa 7: Número de tubos

Según los estándares de diseño TEMA los diámetros de tubo menores, entre 16 y 25 mm, son los que permiten un intercambiador más compacto y por tanto más económico. Los tubos de mayor diámetro se utilizan cuando los fluidos producen incrustaciones. Por tanto se seleccionará un tubo de diámetro pequeño, entre 16 y 25 mm.

Los espesores de la pared para los tubos de acero tienen unos valores estándar que se reflejan en la Tabla 3.3. Este espesor debe ser mayor al calculado en el diseño mecánico.

Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)				
16	1.2	1.6	2.0	—	—
20	—	1.6	2.0	2.6	—
25	—	1.6	2.0	2.6	3.2
30	—	1.6	2.0	2.6	3.2
38	—	—	2.0	2.6	3.2
50	—	—	2.0	2.6	3.2

Tabla 3.3. Estándares para acero al carbono (Fuente: Sinnott.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

A partir de un espesor determinado se calcula el diámetro interno del tubo:

$$d_{int} = d_{ext} - 2e \quad [3.5]$$

Una vez seleccionado el diámetro es necesario seleccionar una longitud de los tubos. Los valores más utilizados están entre 1,83 y 7,32 m. Los tubos de mayor longitud permiten reducir el diámetro de la carcasa para una misma superficie, que normalmente supone unos menores costes, pero provoca un aumento de la caída de presión.

Es necesario seleccionar un diámetro, un espesor y una longitud de los tubos que cumplan con los requisitos de velocidades y caídas de presión. Para el cálculo del número de tubos y la velocidad en los tubos:

$$\text{Área}_{tubo} = \pi d_{ext} L \quad [3.6]$$

$$N_{tubos} = \frac{A_{total}}{A_{tubo}} \quad [3.7]$$

Al seleccionar dos pasos por tubos, el número de tubos dividido entre dos debe ser un número par. A continuación se calcula la velocidad en los tubos que debe estar entre 1 y 2 m/s, ya que circula un fluido en fase líquida.

$$A_{transversal} = \frac{\pi d_{int}^2}{4} \quad [3.8]$$

$$A_{paso} = \frac{tubos}{paso} \cdot A_{trans} \quad [3.9]$$

$$u_{tubos} = \frac{Caudal}{A_{paso}} = \frac{m/\rho}{A_{paso}} \quad [3.10]$$

Tras varias iteraciones se llegó a los siguientes resultados que muestra la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Resumen de las características de los tubos

Diámetro externo	25	mm
Espesor	2,1	mm
Diámetro interno	20,8	mm
Longitud	1,83	m
Pitch	31,25	mm

El número de pasos por tubos es de 2, para poder conseguir la velocidad mínima en los tubos. A partir de las características de los tubos de la Tabla 3.4, se obtienen los siguientes resultados resumidos en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Datos obtenidos con la iteración final

Área de un tubo	0,1437	m ²
Nº de tubos	69,21	tubos
	72	tubos
Tubos por paso	36	Tubos/paso
Área transversal	0,0003	m ²
Área por paso	0,0122	m ²
Caudal agua	0,022	m ³ /s
Velocidad	1,78	m/s

La velocidad en los tubos se encuentra dentro de los valores aconsejados por lo que se puede continuar con el diseño.

3.1.8. Etapa 8: Diámetro de la carcasa y el haz

Primero se calculará el diámetro del haz:

$$D_{haz} = d_{ext} \left(\frac{N_{tubos}}{k} \right)^{1/n} \quad [3.11]$$

Los valores de n y k se obtienen de la Tabla 3.6, con el número de pasos y el PITCH seleccionados.

Tabla 3.6. Valores de K y n en función del Pitch (Fuente: Sinnott,R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Triangular Pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
$>n_1$	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square Pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
n_1	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

$$K=0,249$$

$$n=2,207$$

$$D_{haz} = 0,326 \text{ m}$$

Para el cálculo del diámetro de la carcasa es necesario conocer la holgura, espacio entre el haz y la carcasa, este depende del tipo de condensador seleccionado y del diámetro del haz. Se obtiene mediante la Figura 3.3.

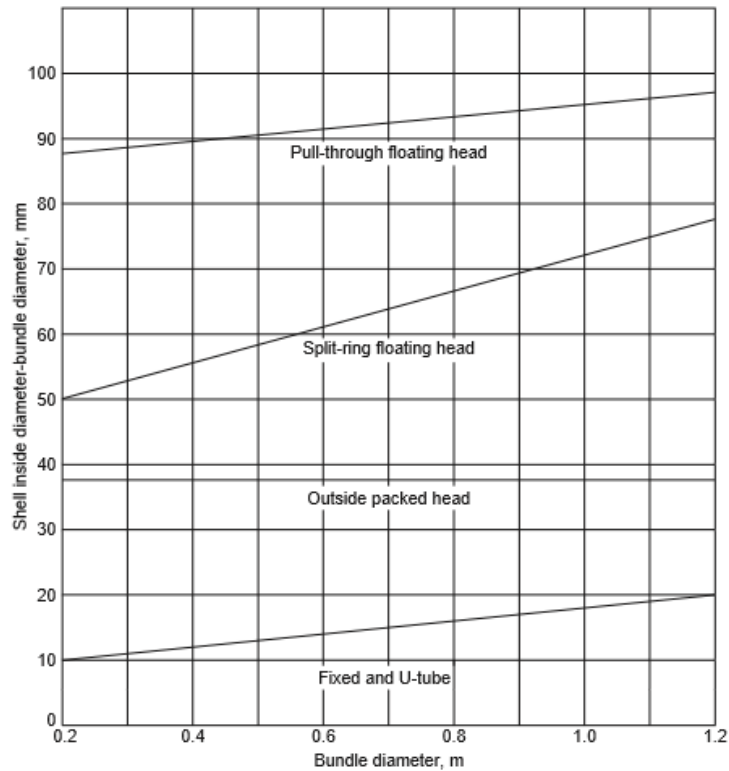


Figura 3.3. Holgura en función del diámetro del haz (Fuente: Sinnott.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Holgura= 13 mm

$$D_{carcasa} = D_{haz} + holgura = 0,339 \text{ m}$$

La relación entre el diámetro de la carcasa y la longitud es recomendable que este entre 5 y 10. La relación es de 5,40, por lo que los valores seleccionados anteriormente son correctos.

3.1.9. Etapa 9: Coeficiente de transferencia de calor del lado de los tubos

Para la circulación de agua en tubos Tagle y Ferguson desarrollaron la Ecuación 3.12, específica para las propiedades del agua:

$$h_i = \frac{4200 \cdot (1,35 + 0,02 \cdot \bar{t}) u_{tubos}^{0,8}}{d_{int}^{0,2}} \quad [3.12]$$

Primero se calcula la temperatura media del agua:

$$\bar{t} = \frac{10 + 20}{2} = 15^\circ\text{C}$$

Sustituyendo en la Ecuación 3.12:

$$h_i = 5978,04 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

3.1.10. Etapa 10: Coeficiente de transferencia de calor del lado de la carcasa

Para su cálculo es necesario hacer una estimación de la temperatura de la pared del tubo y así calcular la temperatura media del condensado y tomar las propiedades de la mezcla a esa temperatura. Para estos cálculos es necesario iterar suponiendo un coeficiente de condensación inicial.

Suponiendo un coeficiente de condensación inicial de $700 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$:

$$(T_{media\text{ carcasa}} - T_w)h_c = (T_{media\text{ carcasa}} - T_{media\text{ tubos}})U_{global}$$

$$T_w = 77,86\text{ }^\circ\text{C}$$

Se miran las propiedades de la mezcla a la temperatura media del condensado, que es la media de T_w y la temperatura media de la carcasa. Esta temperatura es de $156,430^\circ\text{C}$:

$$\mu_L = 0,00053 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

$$k_L = 0,095 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$\rho_L = 675,6 \text{ kg/m}^3$$

También es necesario conocer la densidad del vapor a la temperatura del vapor media.

$$\rho_v = 3,84 \text{ kg/m}^3$$

Se calculan el caudal de condensado por unidad de parámetro del tubo y el coeficiente de condensación mediante las Ecuaciones 3.13 y 3.14:

$$\Gamma_h = \frac{W_c}{L N_t} \quad [3.13]$$

$$h_c = 0,95 k_L \left[\frac{\rho_L (\rho_L - \rho_v) g}{\mu_L \Gamma} \right]^{1/3} N_r^{-1/6} \quad [3.14]$$

En donde N_r es dos tercios del tubo de la fila central.

$$h_c = 629,41 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Su valor es similar al supuesto por lo que se considera correcto.

3.1.11. Etapa 11: Coeficiente global

El valor calculado debe corresponderse, aproximadamente, al valor supuesto. En caso contrario deberá volverse al apartado 5 y repetir los cálculos. Para recalcular el valor del coeficiente global se emplea la Ecuación 3.15.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_{incr}} + \frac{d_{ext} \ln \left(\frac{d_{ext}}{d_{int}} \right)}{2 k_w} + \frac{d_{ext}}{d_{int}} \frac{1}{h_{incr}} + \frac{d_{ext}}{d_{int}} \frac{1}{h_i} \quad [3.15]$$

El valor de h_{incr} se saca de la Tabla 3.7. Mientras que el valor de k_w se obtiene de la Tabla 3.8.

Tabla 3.7. Coeficientes de ensuciamiento (Fuente: Sinnot.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Fluid	Coefficient (W/m² °C)	Factor (resistance) (m² °C/W)
River water	3000–12,000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Towns' water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Towns' water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	2000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapors	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002

Tabla 3.8. Valor del coeficiente k_w (Fuente: Sinnot.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Metal	Temperature (°C)	k_w(W/m²°C)
Aluminum	0	202
	100	206
Brass (70 Cu, 30 Zn)	0	97
	100	104
	400	116
Copper	0	388
	100	378
Nickel	0	62
	212	59
Cupro-nickel (10% Ni)	0–100	45
Monel	0–100	30
Stainless steel (18/8)	0–100	16
Steel	0	45
	100	45
	600	36
Titanium	0–100	16

Sustituyendo en la Ecuación 3.15:

$$U=433,46 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El error cometido es menor del 30% por lo que el diseño se considera válido y finalmente se comprobará la caída de presión.

3.1.12. Etapa 12: Caída de presión

Caída de presión del lado de los tubos

Se calcula el número de Reynolds y con su valor se obtiene el factor de fricción en la Figura 3.4.

$$Re = \frac{u_t \rho d_i}{\mu} \quad [3.16]$$

$$Re = 3,73 \times 10^4$$

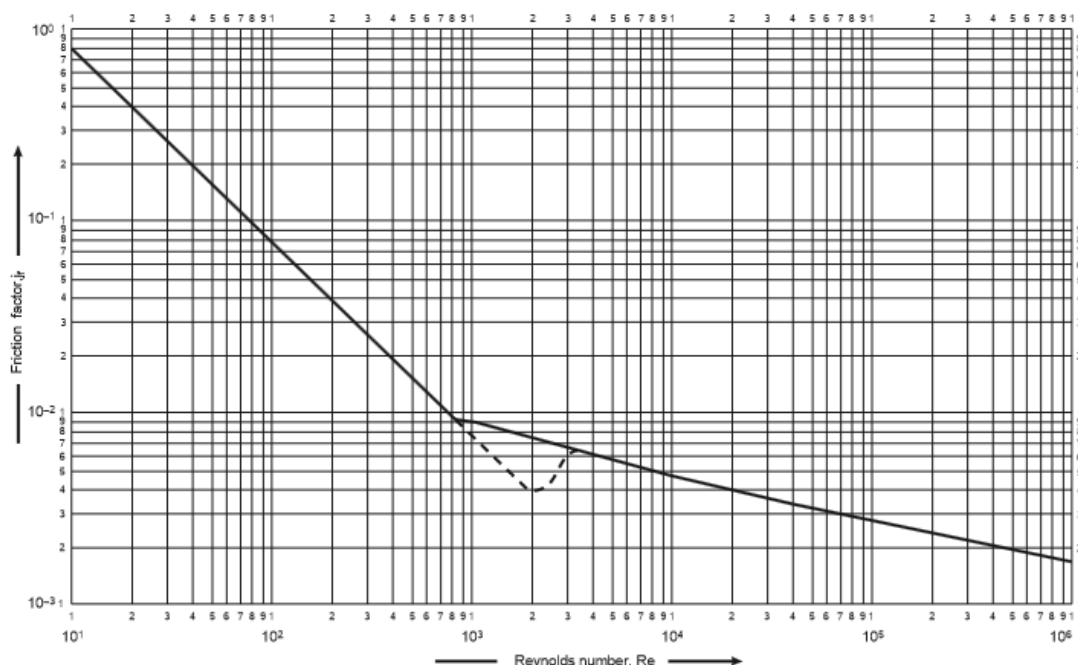


Figura 3.4. Factor de fricción para los tubos (Fuente: Sinnot.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

$$j_f = 0,0035$$

$$\Delta P_{tubos} = N_p \left[8j_f \left(\frac{L}{d_i} \right) \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \frac{\rho u_t^2}{2} \quad [3.17]$$

$$\Delta P_{tubos} = 15817,64 \text{ Pa} = 0,16 \text{ atm}$$

Es menor que el máximo permitido por lo que se toma como correcto.

Caída de presión del lado de la carcasa

La distancia entre deflectores se toma igual al diámetro de la carcasa ya que se está diseñando un condensador. Se utiliza el método de Kern para hacer una estimación.

El primer paso es el cálculo de A_s :

$$A_s = \frac{(p_t - d_0) D_s l_B}{p_t} \quad [3.18]$$

$$A_s = 0,023 \text{ m}^2$$

Se calcula el flujo másico basado en las condiciones de entrada del condensador:

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} \quad [3.19]$$

$$G_s = 53,87 \text{ kg/sm}^2$$

A continuación se calcula la velocidad en el lado de la carcasa para saber si se encuentra entre 10-30 m/s:

$$u_s = \frac{G_s}{\rho} \quad [3.20]$$

$$u_s = 14,01 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se encuentra dentro del intervalo(entre 10 y 30 m/s) por lo que se continua con el diseño.

Cálculo del diámetro equivalente:

$$d_e = \frac{1,10}{d_0} (p_t^2 - 0,917 d_0^2) \quad [3.21]$$

$$d_e = 0,018 \text{ m}$$

Se calcula el número de Reynolds y con él se obtiene el factor de fricción del lado de la carcasa de la Figura 3.5:

$$Re = \frac{G_s d_e}{\mu} \quad [3.22]$$

$$Re = 1,80 \cdot 10^3$$

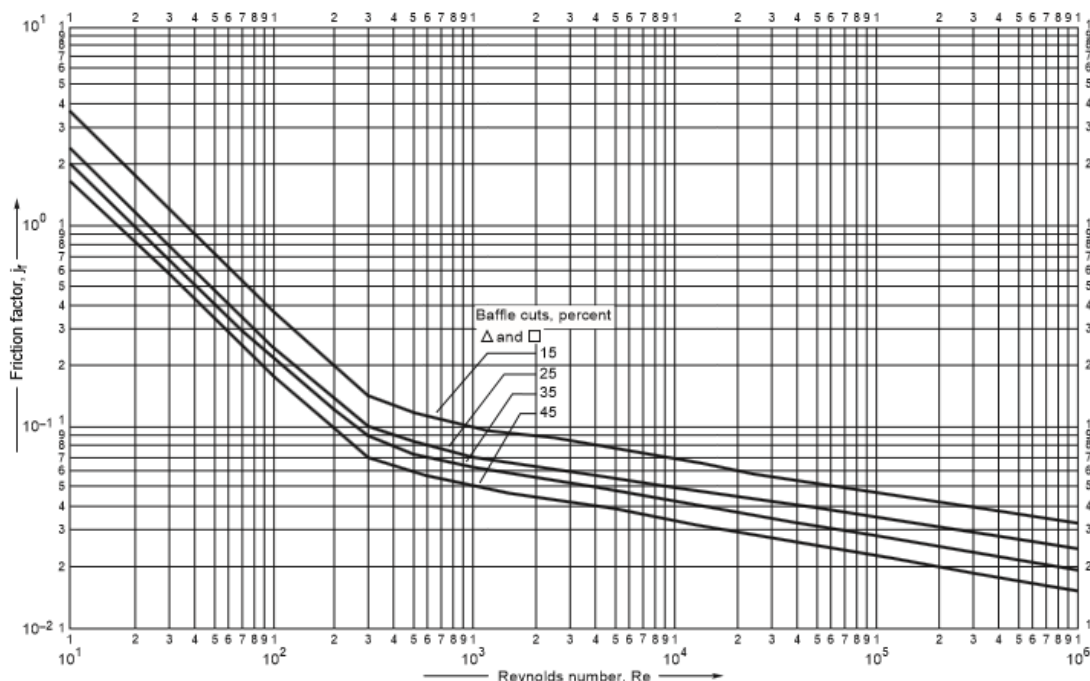


Figura 3.5. Facto de fricción para la carcasa (Fuente: Sinnot.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

$$j_f = 0,05$$

Se desprecia el factor de corrección de la viscosidad y se toma como el 50% ya que se calcula con las condiciones de entrada:

$$\Delta P_s = 0,5 \times 8j_f \left(\frac{D_s}{d_e}\right) \left(\frac{L}{l_B}\right) \frac{\rho u_s^2}{2} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-0,14} \quad [3.23]$$

$$\Delta P_s = 11053,13 \text{ Pa} = 0,11 \text{ atm}$$

Este valor se encuentra dentro de lo permitido, por tanto el diseño del condensador es válido.

Factor de corrección de la viscosidad

Durante los cálculos de los coeficientes de transferencia de calor y las caídas de presión se ha despreciado el término de corrección de la viscosidad. Para confirmar el diseño es necesario comprobar que este término está próximo a la unidad.

$$\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \cong 1$$

μ_w : Es la viscosidad del fluido que circula por los tubos a la temperatura media de la pared.

μ : Viscosidad del fluido que circula por los tubos a la temperatura media que circula el fluido.

$$\left(\frac{0,6867}{0,400}\right)^{0,14} = 1,05 \cong 1$$

Por tanto la decisión de despreciarlo está justificada

3.2. Diseño mecánico

Para el diseño mecánico de un condensador, se toman como referencia los códigos y estándares de los recipientes a presión. Como es necesario fijar un único código en el que se base el diseño, pues no se permite mezclar normas o tolerancias de

distintos códigos, se elegirá como referencia el ASME Boiler and Pressure Vessel Code (el código ASME BPV). Este código es el mismo que para los otros intercambiadores de calor, por tanto se resumirán los aspectos más importantes.

3.2.1. Condiciones de diseño

- Presión de diseño: se fija una presión un 10 % superior a la presión normal de trabajo, por lo que la presión de diseño será de 137,5 kPa.
- Temperatura de diseño: se toma como la mayor a la que se encuentra el fluido de proceso más 50°F, para así hacer un diseño conservador, por tanto la temperatura de diseño es 748°F.

3.2.2. Materiales elegidos

Se elige acero al carbono de grado A285 (Gr A) para los tubos, dado que es el material más ampliamente usado y más económico. Para la carcasa se selecciona acero inoxidable, ya que va a trabajar a altas temperaturas y con fluidos corrosivos.

3.2.3. Corrosión permisible

Debido a la posible corrosión se establece un margen de 4 mm para el fluido corrosivo que circula por carcasa, según el código ASME BPV Sec. VIII D.1. Este código, además, establece un espesor mínimo de pared de 1,5 mm sin incluir la corrosión permisible e independientemente de las dimensiones del recipiente y del material de construcción, que deberá tenerse en cuenta cuando se calculen los espesores de la carcasa y de los tubos.

3.2.4. Elección del tipo de cubiertas terminales

Se eligen cubiertas tipo BES, ya que así se facilita su limpieza, con cabezales elípticos o torisféricos, dos de los tipos más utilizados para intercambiadores horizontales.

3.2.5. Determinación del espesor mínimo de la pared para la carcasa, cabezales y tubos

Para calcular el espesor mínimo de la carcasa de pared fina se utiliza la siguiente expresión, especificada en el código ASME BPV (Sec. VIII D.1 Parte UG-27):

$$e = \frac{P_i D_i}{2SE - 1,2P_i} \quad [3.24]$$

$$e = 0,23 \text{ mm}$$

Donde P_i es la presión interna, D_i el diámetro interno, S el esfuerzo máximo permisible (12,9 lb/pulg², tabulado para el tipo de material y la temperatura a la que trabajamos) y E la eficiencia de la unión soldada tomada de la Tabla 3.10, que tiene valor 1 suponiendo que se trata de uniones a tope doblemente soldadas sometidas a examen radiográfico completo.

Tabla 3.10. Valores de la eficiencia de la unión soldada (Fuente: Sinnot.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Material	Grade	Min Tensile Strength (ksi)	Min Yield Strength (ksi)	Maximum Temperature (°F)	Maximum Allowable Stress at Temperature °F (ksi = 1000 psi)				
					100	300	500	700	900
Carbon steel	A285	45	24	900	12.9	12.9	12.9	11.5	5.9
	Gr A								
Killed carbon steel	A515	60	32	1000	17.1	17.1	17.1	14.3	5.9
	Gr 60								
Low alloy steel	A387	60	30	1200	17.1	16.6	16.6	16.6	13.6
1½ Cr, ½ Mo, Si	Gr 22								
Stainless steel	410	65	30	1200	18.6	17.8	17.2	16.2	12.3
13 Cr									
Stainless steel	304	75	30	1500	20.0	15.0	12.9	11.7	10.8
18 Cr, 8 Ni									
Stainless steel	347	75	30	1500	20.0	17.1	15.0	13.8	13.4
18 Cr, 10 Ni, Cb									
Stainless steel	321	75	30	1500	20.0	16.5	14.3	13.0	12.3
18 Cr, 10 Ni, Ti									
Stainless steel	316	75	30	1500	20.0	15.6	13.3	12.1	11.5
16 Cr, 12 Ni, 2 Mo									

Como este valor es menor al mínimo especificado de 1,5 mm, se aumenta hasta este valor y se le suman los 4 mm de tolerancia a la corrosión. De esta manera se obtiene un valor de 5,5 mm para el espesor de la carcasa.

Siendo el diámetro de la carcasa de 338,90 mm, la razón entre espesor y diámetro de carcasa resulta ser menor que 1:10, por lo que se verifica que se trata de un recipiente de pared fina.

Se calcula de la misma manera el espesor de los tubos, para el que obtenemos un valor de 0,010 mm. Sumándole los 2 mm de corrosión el valor mínimo obtenido es de 2,010 mm, inferior a los 2,8 mm utilizados en el diseño térmico, con lo que se comprueba que el diseño es seguro y que las paredes soportarán las tensiones y presiones internas en los tubos.

Para el cálculo del espesor mínimo de los cabezales se hará una comparación entre el espesor mínimo necesario para los cabezales torisféricos y los elípticos. De entre ambos se escogerá el menor. Para el cálculo de los cabezales torisféricos se emplea la ecuación recogida en el código ASME BPV (SEC. VIII D.1 Parte UG-32)

$$e = \frac{0,885P_i R_c}{SE - 0,1P_i} \quad [3.25]$$

$$e = 0,407 \text{ mm}$$

Donde R_c es el radio de la corona, una longitud necesaria para el diseño de los cabezales torisféricos y que se toma igual al diámetro interno de la carcasa. El valor de espesor obtenido será igual para el cabezal frontal, y el posterior, dado que todos los términos de la ecuación tienen el mismo valor. Se obtiene un espesor de 0,407 mm. Menor también que el mínimo de 1,5 mm, por lo que se aumenta y se suman los 4 mm de tolerancia a la corrosión y se obtiene también un espesor de 5,5 mm.

Para el cabezal de tipo elíptico se empleará la ecuación recogida también en el código ASME BPV (SEC. VIII D.1 Parte UG-32):

$$e = \frac{P_i D_i}{2SE - 0,2P_i} \quad [3.26]$$

$$e = 0,220 \text{ mm}$$

El valor obtenido es de 0,220 mm. Menor también que el mínimo de 1,5 mm, por lo que se aumenta y se suman los 4 mm de tolerancia a la corrosión y se obtiene también un espesor de 5,5 mm.

Debido a que ambos cabezales necesitan un espesor menor al mínimo se utilizarán los de tipo torisférico, ya que son los de menor coste. Estos cálculos y los valores obtenidos son válidos tanto para el cabezal frontal como para el cabezal posterior.

3.2.6. Aislamiento

Se realiza el mismo método que en el caso del reactor, utilizando un aislante con una conductividad térmica de $0,08 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3.11. Valores obtenidos en el cálculo del espesor del aislante

r_1	0,169	m
r_2	0,175	m
r_3	0,284	m
T_{amb}	298,150	K
T_3	313,150	K
T_1	508,150	K
Pr	0,730	
Ra	$6,160 \times 10^7$	
β	0,003	
L	0,587	m
Nusselt	20,530	
k	0,113	$\text{W/m}^0\text{K}$
h	1,456	$\text{W/m}^2\text{ } ^0\text{K}$
A	1,950	m^2

Q	42,870	W
T₂	508,148	K
T₃	324,800	K
	51,650	°C
Espesor	0,109	m

El espesor obtenido es muy próximo a los 10 cm recomendados para condensadores, por tanto se considera como correcto el cálculo realizado.

3.2.7. Cálculo del peso

El procedimiento seguido es el mismo que en el empleado en el Reactor. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.12. Valores obtenidos en el cálculo del peso del recipiente

C _w	1,08	
D _m	0,34	m
H _v	1,83	m
t	5,50	m
W _v	1015,14	N
	103,59	kg

Tabla 3.13. Valores obtenidos en el cálculo del peso de los tubos

Densidad acero	7850	kg/m ³
d _e	0,025	m
d _i	0,021	m
L	1,83	m
V _{tubo}	1x10 ⁻⁴	m ³ /tubo
V _{total}	0,0073	m ³
Peso	57,32	kg

Tabla 3.14. Valores obtenidos en el cálculo del peso de los agua por los tubos

Densidad liquido	1011,00	kg/m ³
V _{tubos}	0,0025	m ³
Peso	2,51	kg

Tabla 3.15. Valores obtenidos en el cálculo del peso del fluido de carcasa

V_{carcasa}	0,660	m^3
$V_{\text{libre carcasa}}$	0,658	m^3
Densidad	675,60	kg/m^3
Peso	444,43	kg

$$\text{Peso total} = 609,48$$

4. Diseño de las columnas de destilación T-201 y T-202

4.1. Justificación del empleo de las columnas

La corriente líquida procedente del filtro F-201 es mandada a la unidad de separación con el fin de obtener ácido acético, ácido palmítico y drying oil por separados. Antes de entrar a la unidad de separación esta corriente es acondicionada por medio de un intercambiador (E-202) y de dos bombas (P-203 y P-204) para llevarla a las condiciones óptimas de operación. Para la selección de los equipos que deben realizar esta acción se recurre a las heurísticas.

El desarrollo de un proceso de separación requiere la selección de:

1. Método de separación.
2. Elección de los agentes de separación: ESAs y/o MSAs.
3. Equipo de separación.
4. Secuencia óptima de los equipos de separación.
5. Condiciones óptimas de operación de los equipos: T y P.

4.1.1. Método de separación

En primer lugar, las heurísticas, indican que la separación de mezclas líquidas debe ser realizada por: torres de destilación, torres de agotamiento (stripping), torres mixtas de destilación reactiva, azeotrópica o extractiva, torres de extracción líquido-líquido, torres de adsorción, y/o cristalización.

El sistema más económico de separación de una mezcla multicomponente estará formada por una secuencia de columnas de destilación ordinaria siempre que se cumplen una serie de condiciones:

- La volatilidad relativa en cada columna es mayor de 1,05.
- El gasto energético de la caldera no es excesivo.
- La presión de operación de la columna no se acerque a la Temperatura crítica de los componentes de la mezcla.

- Las caídas de presión a lo largo de las columnas sean tolerables.
- El gasto energético del condensador de cabezas para proporcionar el reflujo de la columna no requiera un gran gasto energético.
- La temperatura de las colas de la columna (caldera) no produzca la descomposición de los compuestos.
- No existan azeótropos que limiten la separación deseada.

Tabla 4.1. Temperaturas de ebullición (°C) a distintas presiones

Compuesto	125 kPa	300 kPa	500 kPa	800 kPa	1000 kPa
A.Acético	124,7	156,8	178,2	199,9	211,0
Drying Oil	260,6	305,3	335,7	366,8	382,5
A.Palmítico	360,7	404,5	433,2	461,9	476,4

La diferencia de temperaturas de ebullición entre los compuestos para poder llevar a cabo la destilación es buena como se puede observar en la Tabla 4.1. A continuación, se comprueba la posible existencia de azeótropos.

Presión=125 kPa

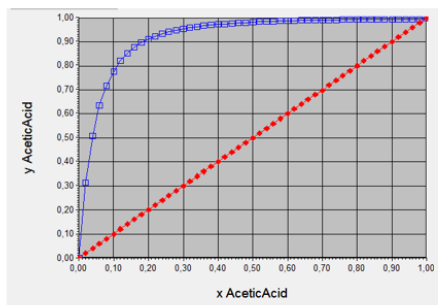


Figura 4.9. Diagrama xy, Ácido Acético-Drying oil

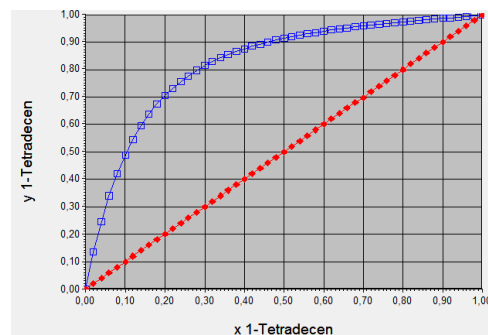


Figura 4.10. Diagrama xy, Drying oil- Palmítico

Presión=1000 kPa

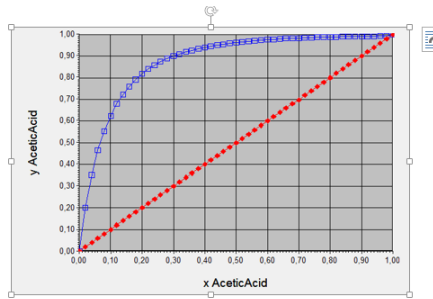


Figura 4.12. Diagrama xy, Ácido Acético-Drying oil

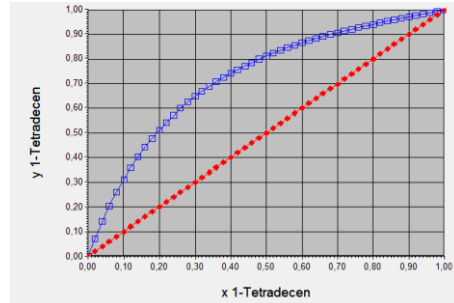


Figura 11.4. Diagrama xy, Drying oil-Ácido Palmítico

A la presión de 125 y 1000 kPa no hay azeótropos tal y como se observa en las Figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4. Además, a partir de las figuras anteriores se puede concluir que la volatilidad relativa tanto para el sistema ácido acético-drying oil como para el sistema drying oil-ácido palmítico es superior a 1,05, ya que se trata de diagramas de equilibrio que demuestran que se puede llevar a cabo una fácil separación.

Para comprobar que esto último es cierto, se generaron datos de equilibrio en HYSSES para los dos sistemas binarios (ácido acético-drying oil, drying oil-ácido palmítico) por medio de un programa llamado EQPlot. A partir de estos datos, y calculando los coeficientes de distribución por medio del cociente y/x , se obtuvieron las siguientes volatilidades relativas:

$$\alpha_{\text{acetico-drying oil}} \approx 56,58$$

$$\alpha_{\text{drying oil-palmitico}} \approx 10$$

En resumen, el método de separación escogido es la destilación ordinaria.

4.1.2. Elección de los agentes de separación

En el caso de la destilación el factor de separación es la volatilidad relativa y se basa en el principio de la ESA- Energy Separation Agent, que consiste en la creación mediante calor o reducción de presión de una segunda fase que es inmisible con la fase de alimentación.

4.1.3. Equipo de separación

Para conseguir la separación deseada, la destilación puede ser llevada a cabo empleando relleno o platos. La elección será explicada en el apartado de diseño.

4.1.4. Secuencia óptima de los equipos de separación

Para el cálculo del número de secuencias de destilación simple empleamos la siguiente fórmula:

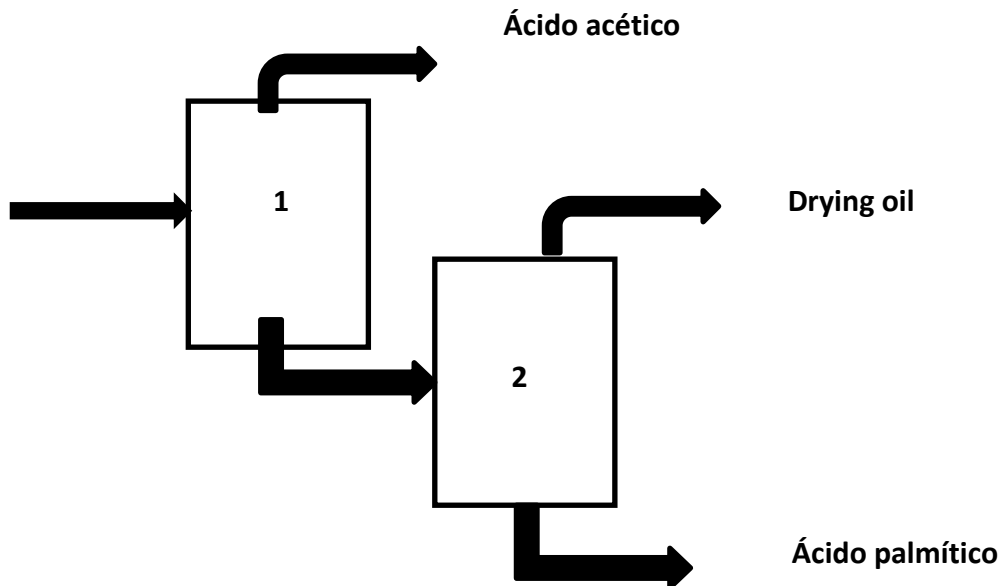
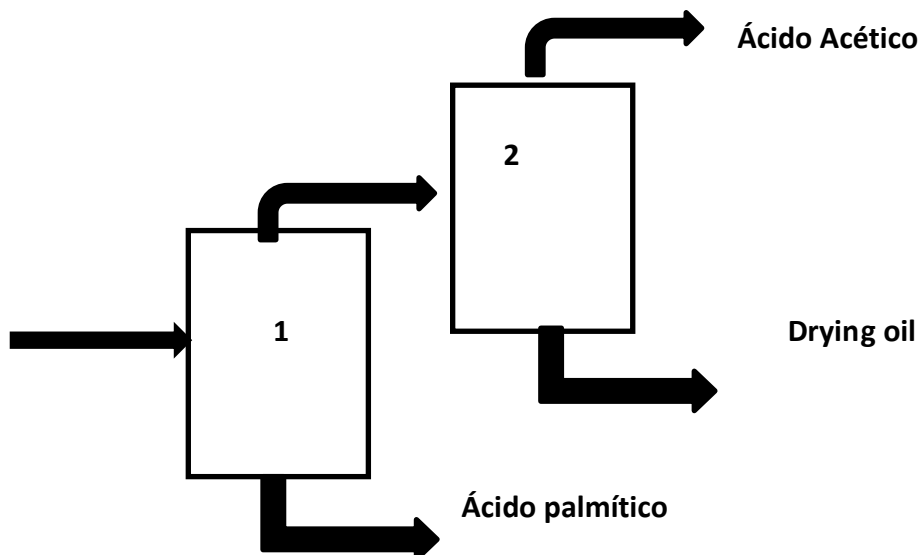
$$\frac{[2(P - 1)!]}{P! (P - 1)!} = N_s$$

Donde:

- N_s = Número de secuencias
- P = número de productos obtenidos en destilación
- $(P-1)$ =número de columnas de destilación simples

Se obtienen dos secuencias: secuencia directa y secuencia indirecta, para la separación de los tres componentes: ácido palmítico, ácido acético y drying oil, empleando dos columnas de destilación simples.

A continuación, se explican los diferentes métodos empleados para la selección de la mejor secuencia.

4.1.4.1. Heurísticas*Secuencia directa**Secuencia indirecta*

La secuencia directa se vería respaldada por las siguientes heurísticas:

- Elimínense uno a uno los productos finales como destilados. En nuestro caso los productos finales son el ácido acético y el drying oil.
- Elimínense al principio de la secuencia de destilación los componentes de mayor porcentaje molar en la alimentación. Los componentes en mayor porcentaje en la alimentación son el ácido acético y el drying oil.
- Secuencias de separación por orden decreciente de volatilidad relativa, así quedarán para el final aquellos procesos de separación más complejos y se realizarán libres de otros componentes. La mayor volatilidad relativa la tiene el sistema ácido acético-drying oil.
- Secuencias de separación que favorezcan la separación en cantidades aproximadamente equimolares de destilado y colas en la columna. Sin que el gasto energético del reboiler sea excesivo.

Mientras que la secuencia inversa se apoya en la siguiente heurística:

- Secuencias de separación que dejen para el final las separaciones de los productos que requieren mayor pureza. En este caso los productos que requieren de mayor pureza son el drying oil y el ácido acético ya serán destinados a la venta, mientras que el palmítico es recirculado.

Por lo tanto, según las heurísticas la mejor secuencia es la secuencia directa.

4.1.4.2. Cálculo del flujo de vapor mínimo

La siguiente ecuación nos proporciona una manera simplificada de calcular el flujo de vapor en una columna.

$$V = D \left[1 + \frac{R_F}{(\alpha - 1)} \frac{F}{D} \right] = D + F \frac{R_F}{\alpha - 1}$$

Donde:

- D es el flujo molar de destilado
- F es el flujo molar de alimentación a la columna
- R_F es la relación de reflujo
- α es la volatilidad relativa

Secuencia directa

$$V_1 = 8,455 + 21,556 \frac{1,5}{56,58-1} = 9,28 \text{ kmol/h}$$

$$V_2 = 8,036 + 13,101 \frac{1,5}{10-1} = 10,22 \text{ kmol/h}$$

$$\mathbf{VTOTAL=19,25 \text{ kmol/h}}$$

Secuencia inversa

$$V_1 = 16,491 + 21,556 \frac{1,5}{10-1} = 20,08 \text{ kmol/h}$$

$$V_2 = 8,455 + 16,491 \frac{1,5}{56,58-1} = 9,09 \text{ kmol/h}$$

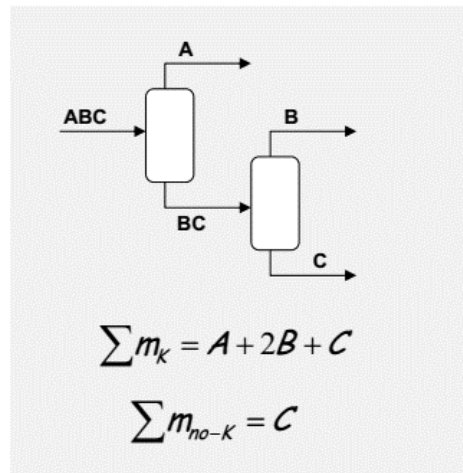
$$\mathbf{VTOTAL=29,17 \text{ kmol/h}}$$

De nuevo, la mejor secuencia es la secuencia directa ya que da una menor cantidad de vapor y por lo tanto reduce el consumo tanto del condensador como de la caldera.

4.1.4.3. Componente no clave

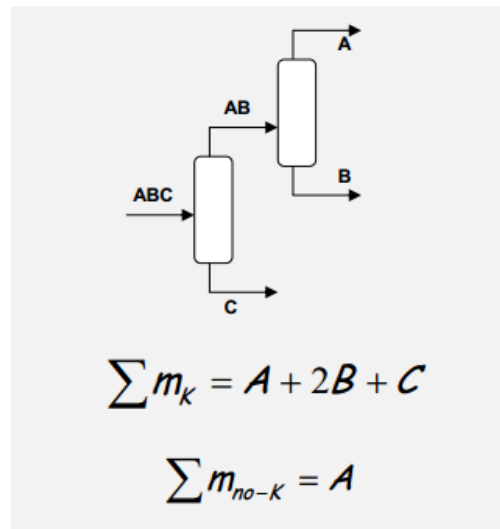
La mejor secuencia es aquella que tiene la menor cantidad de compuestos no-claves circulando por la columna ya que estos provocan:

- Mayores flujos de vapor y líquido.
- Disminución de la temperatura del condensador.
- Aumento de la temperatura de la caldera.

Secuencia directa

$$\sum m_k = 8,455 + 2 \times 8,036 + 5,065 = 29,592 \text{ kmol/h}$$

$$\sum m_{no-} = 5,065 \text{ kmol/h}$$

Secuencia indirecta

$$\sum m_k = 8,455 + 2 \times 8,036 + 5,065 = 29,592 \text{ kmol/h}$$

$$\sum m_{no-} = 8,455 \text{ kmol/h}$$

De nuevo, la secuencia directa es la mejor ya que tiene la menor cantidad de compuestos no-claves circulando por la columna.

En conclusión, la secuencia escogida para realizar la separación de los tres componentes es la secuencia directa.

4.1.5. Condiciones óptimas de operación de los equipos

A la salida de la bomba P-204 la corriente se encuentra a 154⁰C y 125 kPa, formada por ácido acético, drying oil y ácido palmítico, todos ellos en estado líquido.

Como se observa en la Tabla 4.1 a medida que aumenta la presión aumentan las temperaturas de ebullición de los compuestos y por lo tanto la separación se vuelve más complicada. Además para trabajar a más presión sería necesario utilizar un equipo que realizara esta labor. Por estos motivos, la presión de operación utilizada para la primera columna es de 125 kPa.

Trabajar a menos presión no se contempla, puesto que se trabajaría por debajo de la atmosférica lo que supondría un coste especial.

La segunda columna también trabaja a la presión de 125 kPa. En su diseño se explicará el motivo por el que se elige esta presión.

4.2. Diseño de la torre de destilación T-202

4.2.1. Introducción

La destilación es probablemente el proceso de separación más ampliamente usado en las industrias químicas. Sus aplicaciones van desde la rectificación de alcohol, que se ha practicado desde la antigüedad, hasta el fraccionamiento del petróleo.

La separación de mezclas por destilación depende de las diferencias en la volatilidad entre los compuestos. Cuanto mayor sea la volatilidad relativa, más fácil es la separación.

En dichas columnas el vapor circula hacia arriba en la columna y el líquido en contracorriente hacia abajo en la columna. El vapor y el líquido se ponen en contacto en los platos o en el relleno.

El vapor procedente del plato superior de la columna va a un condensador, donde parte del condensado se devuelve a la cabeza de la columna para proporcionar la circulación de líquido por encima del punto de alimentación (reflujo) mientras que el resto se retira como producto de cabezas (destilado). Por otro lado, parte del líquido de la base de la columna se evapora en la caldera y se devuelve para proporcionar la circulación de vapor.

En la sección por debajo de la alimentación, los compuestos más volátiles se eliminan del líquido y esto se conoce como la sección de agotamiento. Por encima de la alimentación, la concentración de compuestos más volátiles aumenta y esto se llama sección de rectificación.

El diseño de una columna de destilación se puede dividir en los siguientes pasos:

1. Especificar el grado de separación requerido: determinar las especificaciones del producto.
2. Seleccionar las condiciones de operación: discontinuo o continuo; presión de operación.
3. Seleccionar el tipo de dispositivo de contacto: platos o relleno.
4. Determinar los requerimientos de etapas y reflujo: el número de etapas de equilibrio.
5. Dimensionar la columna: diámetro, número de etapas reales, diseño del interior de la columna, diseño mecánico.

4.2.2. Especificaciones del grado de separación requerido

La torre T-202 recibe el producto de colas de la torre T-201. Los flujos molares en la alimentación así como en destilado y en colas de esta última torre se pueden observar en la Tabla 4.2. Se observa además que a la alimentación calculada por medio de los balances de materia (1ª columna de la Tabla 4.2) se le aplica un 25% de sobredimensionamiento (2ª columna de la Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Flujos molares a la entrada y salida de la T-201

	Alimentación (kmol/h)		Destilado	Colas
	sin 25%	con 25%	(kmol/h)	(kmol/h)
Ácido Acético	8,455	10,569	10,463	0,106
Drying Oil	8,036	10,045	0,100	9,945
Ácido Palmítico	5,065	6,331	0,000	6,331
TOTAL	21,556	26,945	10,564	16,381

Como ambas columnas, T-201 y T-202, se diseñan aplicándoles un 25% de sobredimensionamiento por motivos de seguridad, los cálculos se hacen en función del flujo de alimentación al que se le aplica el sobredimensionamiento.

En este caso en lugar de establecer las especificaciones para las columnas en términos de pureza se hace en base a la recuperación de los compuestos claves ya que no existen especificaciones de pureza de los productos requeridas para su venta.

La recuperación de un componente en una corriente de producto se define como la fracción del caudal molar del alimento del componente que se recupera en esa corriente de producto.

Considerando que normalmente la recuperación del producto deseado se establece en el 99% o mayor, se supone una recuperación para el drying oil del 99% en el residuo de la T-201. La recuperación de ácido acético en el destilado de la T-201 se establece también en el 99% puesto que interesa que se pierda la mínima cantidad.

Hay que aclarar que la alimentación a la torre T-201 también contiene trazas de ácido oleico y esteárico pero que al ser tan pequeñas estas cantidades se desprecian a la hora de realizar el diseño de ambas columnas.

Una vez determinado el producto de colas de la T-201, se pueden calcular los flujos molares en el destilado y en colas de la T-202. Como la cantidad de ácido acético que sale por colas de la T-201 es tan pequeña, se desprecia a la hora de realizar el diseño de la segunda torre.

Para el cálculo de los flujos molares de la T-202 que muestra la Tabla 4,3, se supone una recuperación para el drying oil del 99% en el destilado. La recuperación de palmítico en el residuo se establece también en el 99% puesto que al recircularse interesa que se pierda la mínima cantidad.

Tabla 4.3. Flujo molares a la entrada y salida de la T-202

	Alimentación (kmol/h)	Destilado (kmol/h)	Colas (kmol/h)
Drying Oil	9,945	9,845	0,099
Ácido Palmítico	6,331	0,063	6,268
TOTAL	16,276	9,908	6,367

Los flujos molares de drying oil en destilado y de ácido palmítico en colas se calculan multiplicando sus flujos molares en la alimentación por la fracción de recuperación.

4.2.3. Condiciones de operación

En el diseño de las columnas de destilación se debe fijar en primer lugar la presión de operación.

A la hora de elegir la presión de operación se tienen en cuenta las temperaturas de ebullición a distintas presiones. En la Tabla 4.4 se muestran las temperaturas de ebullición de los dos compuestos que se pretenden separar a diferentes presiones.

Tabla 4.4. Temperaturas de ebullición a distintas presiones (Datos obtenidos de HYSSES)

Presión(kPa)	125	190	250	300	500	800	900
Temperatura ebullición	260,6	280,9	295,2	305,3	335,7	366,8	375
Drying oil (°C)							
Temperatura ebullición	360,7	380,9	394,9	404,5	433,2	461,9	469,5
Palmítico(°C)							

Al aumentar la presión aumenta la temperatura de ebullición de ambos compuestos y por lo tanto la separación se vuelve más complicada. Además no interesa trabajar por debajo de 125 kPa puesto que se trabajaría a presiones por debajo de la atmosférica, lo que dificultaría el diseño al ser necesario realizar un vacío y aumentaría el coste de la unidad. Por estos motivos la presión de operación para la T-202 es de 125 kPa.

4.2.4. Dispositivo de contacto

Como la elección entre una columna de platos o de relleno para una aplicación particular sólo se puede realizar con completa seguridad calculando el coste en cada diseño, la elección generalmente se puede realizar en base a la experiencia considerando las ventajas y desventajas principales de cada tipo.

En este caso la elección tomada de diseñar una columna de platos está apoyada en las siguientes consideraciones:

- Las columnas de relleno no son adecuadas para caudales de líquido muy bajos. En este caso se manejan caudales de líquido muy pequeños.

- La eficacia de un plato se puede predecir con mayor certeza que el término equivalente para el relleno (HETP o HTU).
- Se pueden diseñar columnas de platos con mayor seguridad que las columnas de relleno. Siempre queda alguna duda si se podrá lograr una buena distribución del líquido a través de la columna de relleno bajo todas las condiciones de operación.
- Para líquidos corrosivos generalmente una columna de relleno será más económica que el equivalente en columna de platos. En este caso no se manejan líquidos corrosivos.

Bien es cierto, como se calculará más adelante, que el diámetro de columna obtenido es bastante pequeño por lo que se debería considerar como una buena posibilidad el relleno para esta columna de destilación. A pesar de esto, se realizó una simulación en HYSYS para saber si la columna de platos convergía con los datos de diseño. El resultado fue satisfactorio ya que no presentó ningún problema.

En los siguientes apartados se explicará en profundidad el tipo de plato escogido.

4.2.5. Requerimientos de etapas y reflujo

El objetivo de la T-202 es separar el drying oil del ácido palmítico. Esta es la etapa final del proceso ya que tanto el drying oil como el ácido palmítico, que se obtienen prácticamente puros, están aptos para su posterior almacenamiento y distribución. La representación de la unidad, tomada del plano 02, se muestra en la Figura 4.5.

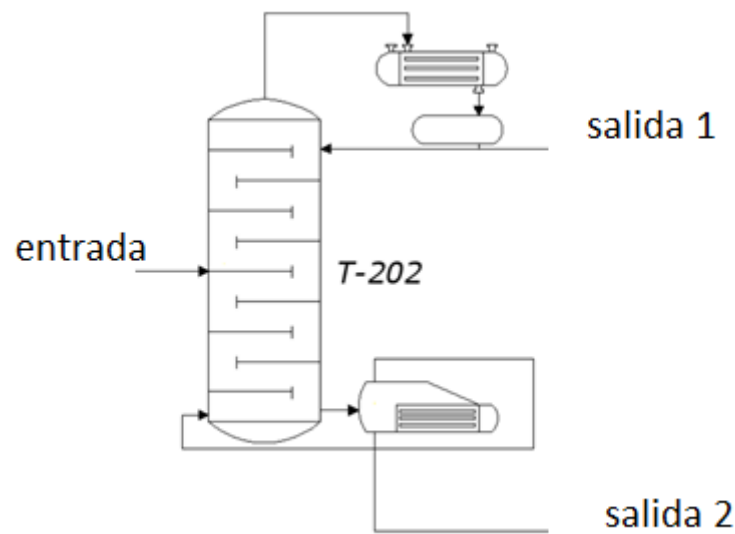


Figura 4.5. Columna de destilación T-202

La entrada representa la alimentación a la torre, la salida 1 representa el destilado y la salida 2 es el producto de colas.

El siguiente paso es comprobar que los balances de materia convergen correctamente. El balance de materia global a la columna es:

$$F = D + B \quad [4.1]$$

Donde:

- F es el flujo molar de la alimentación, kmol/h
- D es el flujo molar del destilado, kmol/h
- B es el flujo molar de colas, kmol/h

Si el balance de materia se aplica a un componente en concreto, la Ecuación 1 quedaría:

$$F \cdot Z_F = D \cdot Z_D + B \cdot X_B \quad [4.2]$$

Donde:

- Z_F es la fracción molar del componente i en la alimentación
- Z_D es la fracción molar del componente i en destilado
- X_B es la fracción molar del componente i en colas

En la Tabla 4.5 se recogen las fracciones molares de cada componente necesarias para el cálculo de los balances de materia.

Tabla 4.5. Composiciones de Drying Oil y Ácido Palmítico a la entrada y salida de la columna

	Fracción molar Drying Oil	Fracción molar Ácido Palmítico
Alimentación	0,611	0,389
Destilado	0,994	0,006
Colas	0,016	0,984

Cabe destacar que en este diseño las fracciones molares del componente más volátil en el destilado y en colas no son variables especificadas, sino que se obtienen a partir del dato de recuperación de los compuestos claves.

Se calculan los flujos molares de destilado y colas mediante las Ecuaciones 4.3 y 4.4, deducidas a partir de las Ecuaciones 4.1 y 4.2, para comprobar que los balances de materia convergen correctamente.

$$D = \frac{(Z_F - X_B)}{(Z_D - X_B)} \cdot F \quad [4.3]$$

$$B = F - D \quad [4.4]$$

En la Tabla 4.6 se observa que los balances de materia convergen correctamente ya que los flujos de destilado y colas obtenidos coinciden con los mostrados en la Tabla 4.3.

Tabla 4.6. Resultado de la comprobación de convergencia de los balances

	Flujo de destilado, D (kmol/h)	Flujo de colas, B (kmol/h)
Balance al Drying oil	9,908	6,367
Balance al Ácido Palmítico	9,908	6,367

Para destilación binaria los requerimientos de la etapa y reflujo se pueden determinar usando métodos gráficos sencillos, y no se requiere iterar en los cálculos. En este caso, se utilizó el método gráfico de McCabe-Thiele para el cálculo del número de etapas de equilibrio y del reflujo mínimo.

Otro de los métodos simples empleados en el diseño será el Método de Lewis, que a diferencia del de McCabe-Thiele, no es un método gráfico. Para ambos métodos, antes de hacer el cálculo, es necesario realizar una suposición simplificativa que evita tener que resolver las ecuaciones de balance de energía de las etapas. Los caudales molares del vapor y el líquido se toman como constantes en las secciones de rectificación y agotamiento. Esta condición se conoce como caudal molar constante o equimolar: los caudales molares del líquido y el vapor son constantes para todas las etapas. Esto solo será verdad cuando:

- Los calores latentes de vaporización molares de los compuestos son muy parecidos.
- Calores de vaporización y los calores específicos son constantes para todo el rango de temperaturas de la columna; esto es, no dependen de la concentración.
- La columna es adiabática; pérdidas de calor son despreciables.
- Los cambios de calor específico son pequeños en comparación con los cambios de calor latente.
- El calor de mezcla es insignificante.

Aunque en este caso no se cumplan estrictamente todas estas condiciones se puede tomar el caudal molar constante ya que el error cometido al hacer esta suposición es muy pequeño.

El siguiente paso es realizar los balances de materia tanto en la sección de rectificación como en la sección de agotamiento para el cálculo de los flujos molares en ambas secciones y así obtener las líneas de operación necesarias en el método de McCabe-Thiele.

Los balances de materia a la sección de rectificación, tomando los límites del sistema de forma que incluyan la etapa n (situada por encima de la alimentación) y el condensador, son los siguientes:

$$V_{n+1} = L_n + D \quad [4.5]$$

$$V_{n+1} \cdot y_{n+1} = L_n \cdot x_n + D \cdot z_D \quad [4.6]$$

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{D}{V_{n+1}} z_D \quad [4.7]$$

Se pueden escribir ecuaciones análogas para la sección de agotamiento, tomando los límites del sistema de forma que incluyan la etapa m (situada por debajo de la alimentación) y la caldera:

$$V'_{m+1} = L'_m - B \quad [4.8]$$

$$V'_{m+1} \cdot y_{m+1} = L'_m \cdot x_m - B \cdot x_B \quad [4.9]$$

$$y_{m+1} = \frac{L'_m}{V'_{m+1}} x_m - \frac{B}{V'_{m+1}} x_B \quad [4.10]$$

Con caudal equimolar las anteriores ecuaciones se pueden escribir sin los subíndices en los flujos molares que indican el número de etapas. De tal manera que, las Ecuaciones 4.5, 4.6 y 4.7 para la sección de rectificación quedan de la siguiente forma:

$$V = D + L \quad [4.11]$$

$$V \cdot y_{n+1} = L \cdot x_n + D \cdot z_D \quad [4.12]$$

$$y_{n+1} = \frac{L}{V} x_n + \frac{D}{V} z_D \quad [4.13]$$

Mientras que para la sección de agotamiento las Ecuaciones 4.8, 4.9 y 4.10 se transforman en:

$$V' = L' - B \quad [4.14]$$

$$V' \cdot y_{m+1} = L' \cdot x_m - B \cdot x_B \quad [4.15]$$

$$y_{m+1} = \frac{L'}{V'} x_m - \frac{B}{V'} x_B \quad [4.16]$$

Las Ecuaciones 4.13 y 4.16 son lineales y se conocen como líneas de operación. Además, dan la razón entre las composiciones del vapor y el líquido entre las etapas. Para una etapa de equilibrio, las composiciones de la corriente de líquido que sale de la etapa vienen dadas por las relaciones de equilibrio.

La relación entre los flujos molares de ambas secciones viene dado por el balance de materia al plato de alimentación. Como en este caso la alimentación entra completamente como líquido saturado, este balance de materia se simplifica:

$$V' = V \quad [4.17]$$

$$L' = L + F \quad [4.18]$$

Antes de proceder al cálculo de los flujos molares en cada sección se calcula la relación de reflujo mínima, para obtener una primera aproximación al valor de operación real. En primer lugar se necesitan los datos del equilibrio líquido-vapor entre el drying oil y el ácido palmítico.

Para poder emplear la Ley de Raoult en la obtención de los datos de equilibrio es preciso que se cumplan dos condiciones esenciales:

- Fase vapor sea un gas ideal. Esto sólo se aplica de presiones bajas a moderadas.
- Fase líquida sea una solución ideal. Esto tiene validez aproximada siempre y cuando las especies que constituyen el sistema sean químicamente semejantes.

En este caso, a pesar de cumplirse la primera condición, el comportamiento no ideal en la fase líquida impide que se pueda emplear la ley de Raoult. La no idealidad en la fase líquida se debe a que el drying oil y el ácido palmítico no tienen la misma naturaleza química.

Este comportamiento no ideal puede tenerse en cuenta con un coeficiente de actividad en la fase líquida. De tal manera que el comportamiento del equilibrio líquido-vapor estará determinado por la ley de Raoult modificada. En esta ley se abandona la segunda suposición de la Ley de Raoult y se toman las desviaciones de la idealidad de las soluciones en la fase líquida.

Para el diseño de la columna, los datos de equilibrio fueron obtenidos mediante la base de datos del programa HYSSES ya que este simulador cuenta con paquetes termodinámicos que tienen en cuenta estas desviaciones de la idealidad. Debido a que se separan hidrocarburos de bajo peso molecular, el mejor paquete termodinámico es Wilson. En la Tabla 4.7 se recogen dichos datos

Tabla 4.7. Fracciones molares de drying oil en el líquido y en el vapor (Datos obtenidos de HYSSES)

x	y
0	0
0,04	0,25
0,08	0,43
0,12	0,55
0,16	0,64
0,2	0,71
0,24	0,76
0,28	0,80
0,32	0,83
0,36	0,86
0,4	0,88
0,44	0,89
0,48	0,91
0,52	0,92
0,56	0,93
0,6	0,94

0,64	0,95
0,68	0,96
0,72	0,96
0,76	0,97
0,8	0,98
0,84	0,98
0,88	0,99
0,92	0,99
0,96	1,00
1	1

Con estos datos se puede construir el diagrama de equilibrio líquido-vapor, que se utilizará para calcular la relación de reflujo mínima y el número de etapas de equilibrio. La Figura 4.6 muestra este diagrama.

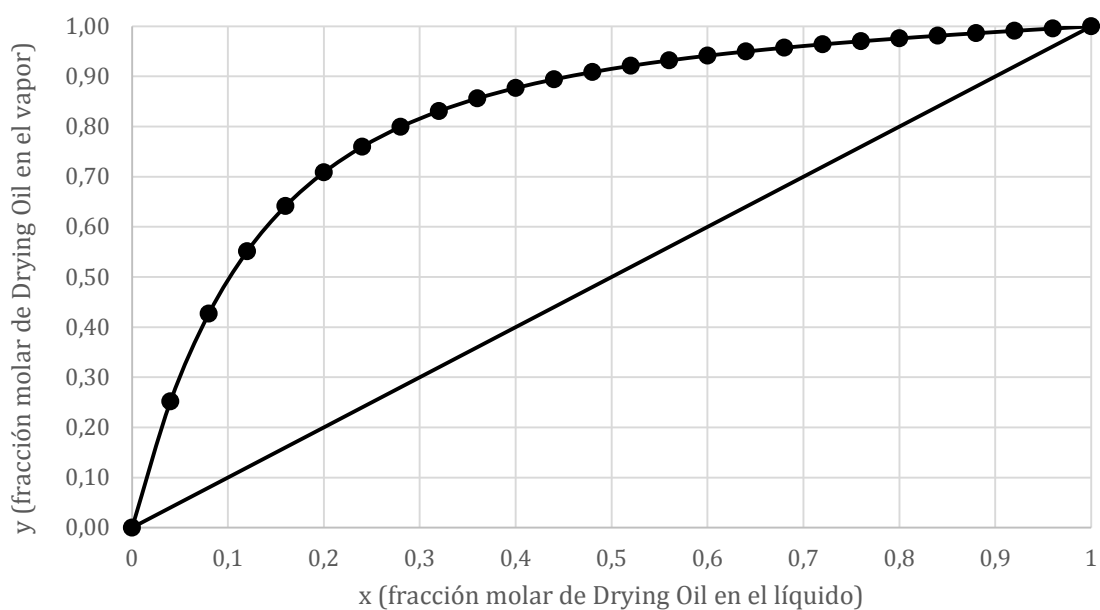


Figura 4.6. Curva de equilibrio

La relación de reflujo mínima se define como la relación de reflujo externa, $\left(\frac{L}{D}\right)_{min}$, con la que apenas se puede obtener la separación que se desea con una cantidad infinita de etapas. Es obvio que no es una condición real, pero es un concepto hipotético útil. Para tener una cantidad infinita de etapas, las líneas de operación y de equilibrio se deben tocar. En general, eso puede suceder en la alimentación o en un punto tangente a

la curva de equilibrio. El punto donde la línea de operación toca la curva de equilibrio se llama punto de estrangulación (*pinch point*). En el punto de estrangulación no cambian las concentraciones de líquido y vapor de una etapa a otra.

Esta relación se usa normalmente para especificar las condiciones de operación. Se puede especificar que la relación de reflujo sea $\left(\frac{L}{D}\right) = 1.2 \left(\frac{L}{D}\right)_{min}$. El reflujo mínimo usaría la cantidad mínima de líquido reflujo, y por tanto, la cantidad mínima de calor en el vaporizador, pero, también la cantidad máxima (infinita) de etapas, y un diámetro máximo (infinito) para determinada separación. Es obvio que las mejores condiciones de operación están entre el reflujo mínimo y el reflujo total. Como regla aproximada, la relación óptima de reflujo externo está entre 1,05 y 1,25 por $\left(\frac{L}{D}\right)_{min}$.

Antes de calcular la relación de reflujo mínima (externa) es preciso calcular la relación de reflujo interna mínima.

Para el cálculo de la relación de reflujo interna mínima a través del diagrama, primero es necesario dibujar la línea de alimentación. Toda recta de alimentación pasa por el (Z_F, Z_F) y como en este caso la alimentación es líquido saturado, se tratará de una recta vertical paralela al eje y . De tal modo que otro posible punto es $(Z_F, 1)$. La línea de operación superior parte del punto (z_D, z_D) . El siguiente paso es buscar el punto donde la línea de operación superior se cruza con la recta de alimentación en la curva de equilibrio. Esto se puede observar en las Figuras 4.7 y 4.8. La pendiente de esta línea de operación establece la relación de reflujo interna mínima, $\left(\frac{L}{V}\right)_{min}$.

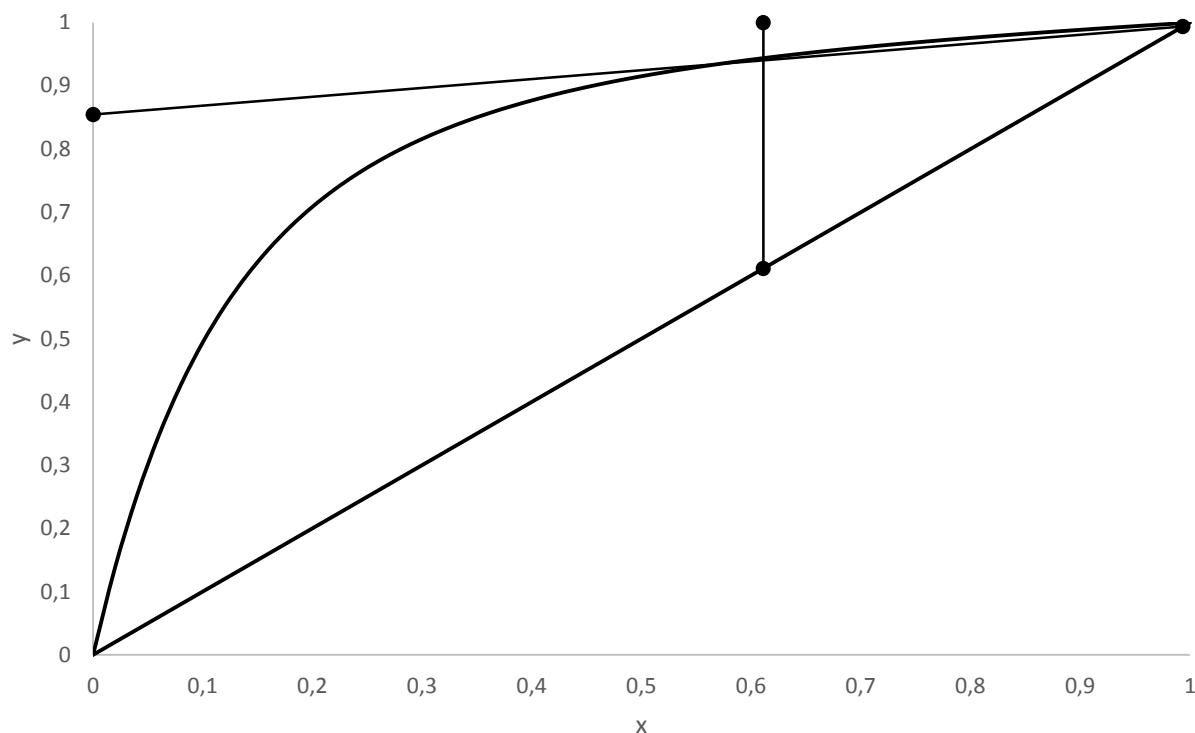


Figura 4.7. Representación del corte de la recta de operación superior con la alimentación(I)

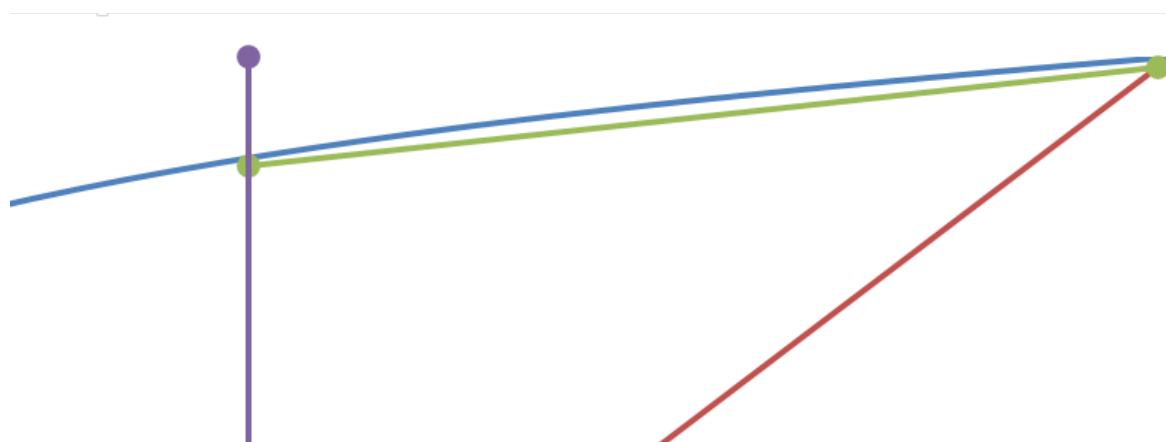


Figura 13. Representación del corte de la recta de operación superior con la alimentación (II)

La Figura 4.8 es una ampliación de la Figura 4.7 para demostrar que la recta de operación superior y la curva de equilibrio sólo se tocan en la alimentación y no en un punto tangente a la curva de equilibrio.

La pendiente de la recta de operación superior es:

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{min} = \frac{Z_{D-pin\,ch\,point}}{Z_D - Z_F} \quad [4.19]$$

La relación de reflujo interna mínima obtenida por la Ecuación 4.19 es la siguiente:

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{min} = \frac{0,994 - 0,94}{0,994 - 0,611} = 0,14$$

A partir de la anterior relación se obtiene la relación de reflujo externa mínima por medio de la Ecuación 4.20:

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{min} = \frac{\left(\frac{L}{V}\right)_{min}}{1 - \left(\frac{L}{V}\right)_{min}} \quad [4.20]$$

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{min} = 0,16$$

Para el cálculo del número de etapas de equilibrio ideales, se tomará como referencia la relación de reflujo mínima.

La relación de reflujo óptima es:

$$\left(\frac{L}{D}\right) = 1,2 \cdot \left(\frac{L}{D}\right)_{min} \quad [4.21]$$

Se obtiene el siguiente valor para la relación de reflujo óptima:

$$(L/D)_{optima} = 0,20$$

Para el cálculo del número de etapas de equilibrio ideales se empleará una relación de reflujo bastante mayor a la relación óptima.

El motivo de emplear un valor tan alto se debe a que con la relación de reflujo óptima se tenían los siguientes problemas:

Diseñando la sección superior con el mismo diámetro que en la base de la columna,

- Se tendría que usar un plato de circulación inversa en la sección superior, lo que encarecería el diseño ya que se diseñan dos secciones de la torre de distinta forma. Como se verá más adelante en la base de la columna se emplea un plato de paso único (el más sencillo de todos).
- La caída de presión en la parte superior es muy baja, así como el porcentaje de inundación.
- El tiempo de residencia es muy elevado.

Diseñando la sección superior con el diámetro que le corresponde a esta sección

- De nuevo la parte superior se diseñaría con un plato de circulación inversa.
- El tiempo de residencia muy elevado.

Por estos motivos, se buscó una relación de reflujo mayor para que de esta forma aumentara el caudal de líquido en la sección superior y se pueda usar un plato de circulación cruzada de paso único, igual al que se utiliza en el diseño de la sección inferior. El elevado coste de diseñar de distinta forma las dos secciones de la columna así como las dificultades técnicas de diseño justifica el empleo de una elevada relación de reflujo a pesar de aumentar el coste de la columna.

Este elevado reflujo provocará que aumenten los costes de la caldera y del condensador ya que aumenta el calor intercambiado en ambos y por lo tanto se necesita mayor área de intercambio (mayor coste).

La relación de reflujo empleada es la siguiente:

$$\left(\frac{L}{D}\right) = 1,29$$

Con este dato, y empleando las Ecuaciones 4.11 y 4.22 se pueden calcular los caudales de líquido y vapor en cada sección. En la Tabla 4.8 se muestran estos valores:

$$\left(\frac{L}{D}\right) \cdot D = L \quad [4.22]$$

Tabla 4.8. Caudales de líquido y vapor en la sección de rectificación y agotamiento

L	12,782	kmol/h
V	22,690	kmol/h
L'	29,058	kmol/h
V'	22,690	kmol/h

A partir de los datos de la Tabla 4.5 y los datos de la Tabla 4.8 se pueden calcular los valores de las líneas de operación superior e inferior empleando las Ecuaciones 4.13 y 4.16.

Línea de operación superior

$$Pendiente = \frac{L}{V} = 0,563$$

$$Ordenada = \frac{D}{V} \cdot Z_D = 0,434$$

$$y = 0,563x + 0,434$$

Tabla 4.9 Puntos de la línea de operación superior

x	y
0,994	0,994
0	0,434

Línea de operación inferior

$$\text{Pendiente} = \frac{L'}{V'} = 1,281$$

$$\text{Ordenada} = \frac{B}{V'} \cdot X_B = -0,004$$

$$y = 1,281x - 0,004$$

Tabla 4.10. Puntos de línea de operación inferior

x	y
0,016	0,016
1	1,276

*Recta de alimentación***Tabla 4.11. Puntos de recta de alimentación**

x	y
0,611	0,611
0,611	1

Con los valores mostrados en la Tablas 4.9, 4.10 y 4.11 se dibujan las rectas de operación superior, inferior y de alimentación sobre el diagrama de equilibrio como se puede observar en la Figura 4.9.

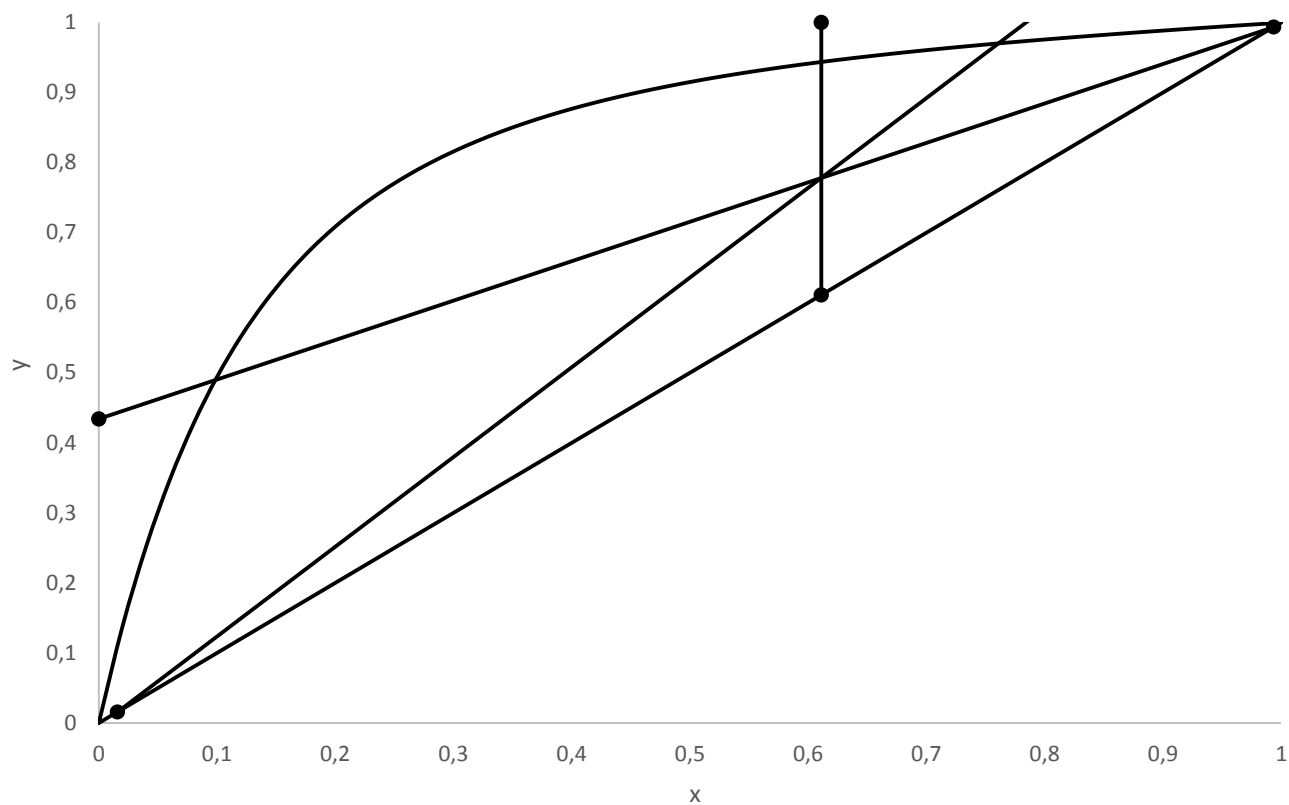


Figura 4.9. Representación de las recta de operación y de alimentación en el diagrama de equilibrio

En la Figura 4.10 se muestra el cálculo gráfico del número de etapas.

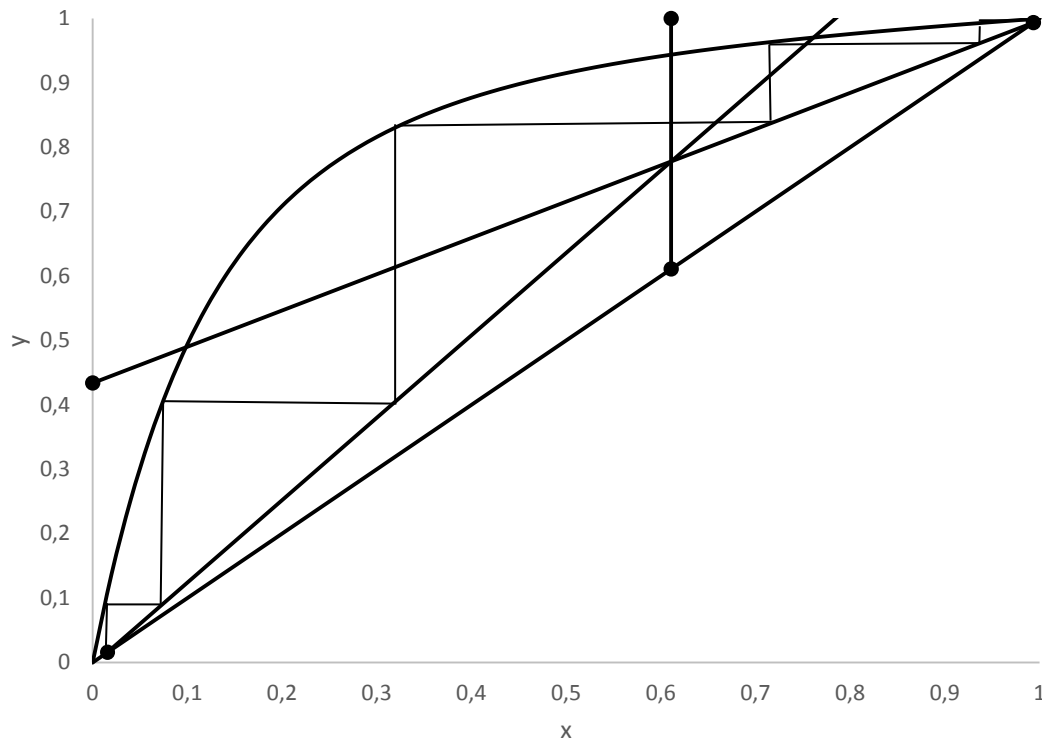


Figura 4.10. Cálculo del número de etapas teóricas utilizando el diagrama de equilibrio

Por lo tanto, según el método de McCabe-Thiele el número de etapas teóricas son cuatro.

El cálculo del número de etapas de equilibrio también se puede llevar a cabo sin el empleo de diagramas, es decir, de forma analítica empleando el Método de Lewis.

Al tratarse de un condensador total el vapor que sale del primer plato tendrá la misma composición que la corriente de destilado y que el reflujo. De tal forma que:

$$y_1 = X_D = X_O = 0,994$$

Para calcular la composición del líquido que está en equilibrio con el vapor en el primer plato, se realiza en primer lugar un ajuste polinómico de grado 6 de los datos del equilibrio líquido-vapor. De esta forma, se obtiene una ecuación de la forma:

$$x = A \cdot y^6 + B \cdot y^5 + C \cdot y^4 + D \cdot y^3 + E \cdot y^2 + F \cdot y + G \quad [4.23]$$

Los valores de los coeficientes obtenidos se muestran en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12. Valores de ajuste

Coeficiente	Valor
A	50,562
B	-138,11
C	143,93
D	-69,908
E	15,599
F	-1,0816
G	0,0015

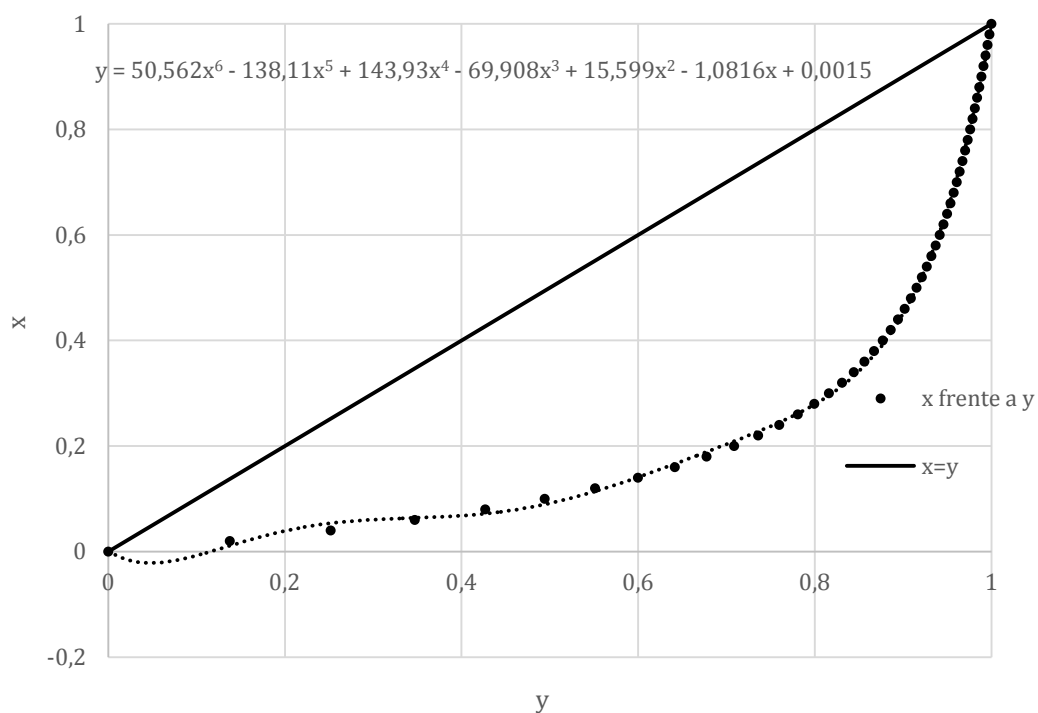


Figura 4.11. Ajuste de los datos de equilibrio (I)

En la Figura 4.11 se puede observar que el ajuste de los datos de equilibrio no es muy bueno para valores de composición en el vapor por debajo de 0,45 ($y < 0,45$). Por este motivo se realiza un nuevo ajuste para los datos por debajo de este valor que se muestra en la Figura 4.12.

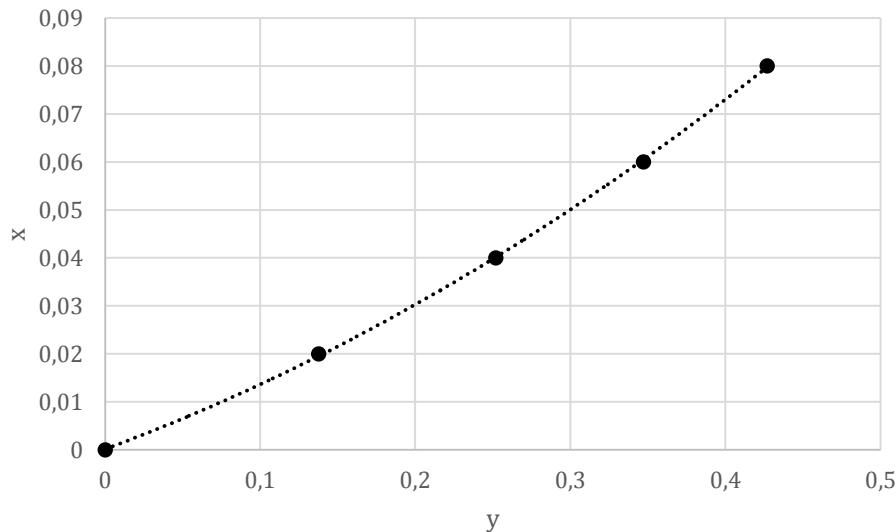


Figura 4.12. Ajuste de los datos de equilibrio (II)

La ecuación de ajuste obtenida a partir de la Figura 4.12 es la siguiente:

$$x = 0,158 \cdot y^2 + 0,1189 \cdot y^2 + 0,0002 \quad [4.24]$$

Para valores de y comprendidos entre $[0; 0,43]$.

De esta forma, con la Ecuación 4.23 y los valores de los coeficientes de la Tabla 4.12 se calcula la composición del líquido que está en equilibrio con el vapor en el primer plato. Para el cálculo de la composición del vapor que abandona el segundo plato se utiliza la Ecuación 4.13 (línea de operación superior) y de nuevo con la ecuación de ajuste se calcula la composición del líquido que está en equilibrio. Esto se repite hasta que la composición de líquido calculada sea inferior a la composición en la alimentación. En este diseño esto ocurre en el plato 3, por lo que se considera como el plato óptimo de alimentación. Para calcular la composición del vapor del plato que está por debajo del

plato de alimentación se emplea la Ecuación 4.16 (línea de operación inferior) y la composición del líquido se calcula de igual forma que antes por medio de la ecuación de ajuste que sea más adecuada. Los cálculos terminan cuando la composición del líquido obtenida es inferior o igual a la composición que se desea obtener en fondos.

A continuación se adjunta la Tabla 4.13 que detalla las composiciones de líquido y vapor referidas al drying oil en cada plato.

Tabla 4.13. Fracciones molares de Drying Oil en el líquido y el vapor de cada plato

Platos	x-DO	y-DO
1	0,938	0,994
2	0,715	0,962
3	0,321	0,836
4	0,075	0,407
5	0,012	0,091

En los dos últimos platos como la composición del vapor es inferior a 0,43, el valor de la composición del líquido se obtiene por medio de la Ecuación 24.

Con esto se puede concluir que el número de etapas de separación ideales son cuatro más el vaporizador parcial.

$$x_B = x_{N+1} = x_5$$

Por lo tanto, el número de etapas teóricas obtenidas es el mismo por los dos métodos.

En la Figura 4.13 se muestran los perfiles tanto para el drying oil como para el ácido palmítico.

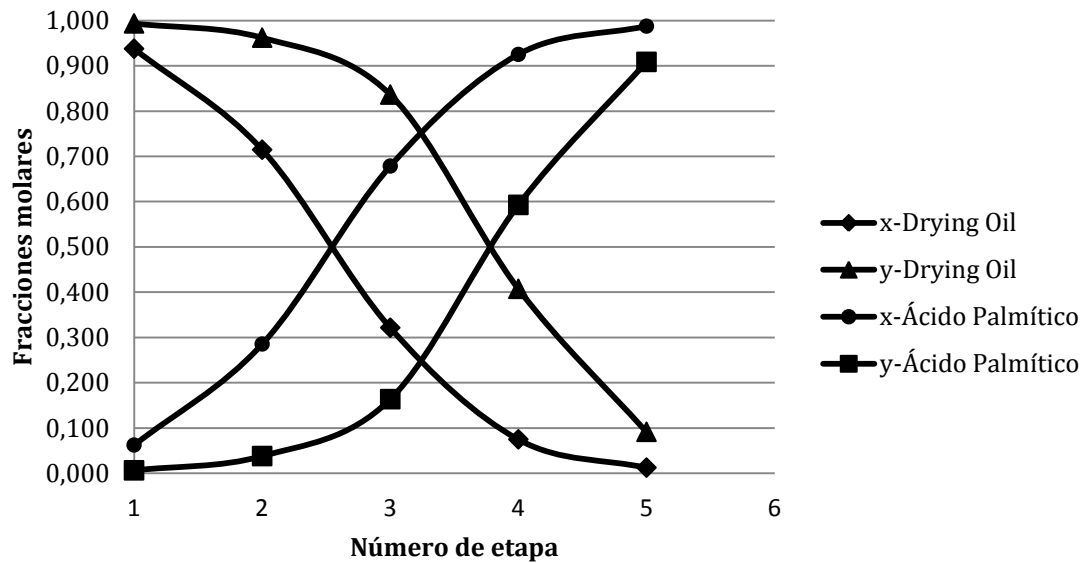


Figura 4.13. Evolución de las fracciones molares con las distintas etapas

Como se observa en la Figura 4.13 a medida que se desciende en la columna aumenta la concentración en ácido palmítico y disminuye la concentración en drying oil. Ocurre lo contrario a medida que nos acercamos a la parte superior de la columna.

El siguiente paso es calcular el número de etapas de contacto reales ya que rara vez se alcanzará el equilibrio en una etapa real. Para su cálculo se emplea el concepto de eficacia global de la columna, que se define de la siguiente forma:

$$E_o = \frac{\text{número de etapas ideales}}{\text{número de etapas reales}} \quad [4.25]$$

La estimación del valor de la eficacia global de la columna se obtiene a partir de la correlación de O'Connell. Esta correlación viene dada por la expresión:

$$E_o = 51 - 32,5 \log (\mu_a \cdot \alpha_a) \quad [4.26]$$

Donde:

- μ_a es la viscosidad molar promedio del alimento, estimada a la temperatura promedio de la columna, mNs/m²

- α_a es la volatilidad relativa promedio del componente clave ligero (relativo al componente clave pesado)

Se utiliza esta correlación porque ofrece estimaciones fiables de la eficacia global de la columna para sistemas de hidrocarburos como en este caso.

En la Tabla 4.14 se muestra el número de etapas reales calculadas empleando las Ecuaciones 4.25 y 4.26.

Tabla 4.14. Cálculo del número de etapas reales

Temperatura en cabeza	262,15	°C
Temperatura en colas	360,60	°C
Temperatura promedio	314,38	°C
α_a	10	
Viscosidades a temperatura promedio columna	7,39x10 ⁻³	Cp
Drying Oil	0,56	Cp
Palmítico		
μ_a	0,22	Cp
E_o	39,64	
Número de etapas ideales	4	
Número de etapas reales	10,19	

El número de etapas reales se redondea finalmente a 11 etapas.

Para el cálculo de la volatilidad relativa (α_a) es necesario conocer los coeficientes de distribución del drying oil y del ácido palmítico ya que:

$$\alpha_a = \frac{K_{Drying\ oil}}{K_{acido\ palmitico}}$$

Al no haber datos de la ecuación de Antoine, el coeficiente de distribución de ambos compuestos no se pudo calcular por medio de las presiones de vapor. De tal modo, que para el cálculo de estos coeficientes se emplean los datos de equilibrio del sistema binario drying oil- ácido palmítico recogidos en la Tabla 4.7.

4.2.6. Dimensionamiento de la columna

Para el dimensionamiento de la columna se seguirá un procedimiento que cuenta con los siguientes pasos:

4.2.6.1. Resumen de los datos necesarios para realizar el diseño

Los datos mostrados en la Tabla 4.15 son los obtenidos en los apartados anteriores.

Tabla 4.15. Datos calculados de la columna

x_D	0,994	
x_B	0,016	
(L/D)	1,290	
Z_F	0,611	
F	16,276	kmol/h
V	22,690	kmol/h
L	12,782	kmol/h
L'	29,058	kmol/h

Antes de empezar a diseñar la torre de destilación es necesario especificar una serie de variables (en total 8 variables):

- Presión de la columna, que determina los datos de equilibrio; $P = 125 \text{ KPa}$
- Composición de la alimentación; $Z_F = 0,611$
- Tasa de flujo de la alimentación; $F = 16,276 \text{ Kmol/h}$
- El reflujo es un líquido saturado.
- Recuperación fraccionaria de drying oil en destilado, 99%.
- Recuperación de ácido palmítico en colas, 99%.
- Relación de reflujo externo; $\frac{L_0}{D} = 1,290$

- Usar el plato óptimo para la alimentación; es decir, el lugar de la alimentación que tenga como resultado la cantidad mínima total de etapas.

4.2.6.2. *Propiedades físicas del sistema*

Para estimar la presión en la base se asume que la caída de presión por plato es 100 mm de agua.

Es conveniente expresar las caídas de presión en términos de milímetros de líquido. En unidades de presión:

$$\Delta P_t = 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot h_t \cdot \rho_L \quad [4.27]$$

Donde:

- ΔP_t = caída total de presión en el plato, Pa(N/m²)
- h_t = caída total de presión en el plato, mm de líquido
- ρ_L = densidad del líquido, (kg/m³)

La densidad del líquido, ρ_L , se toma como la densidad del palmítico como líquido ideal.

Resultados

- ✓ Caída de presión de la columna = $100 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 11 \cdot 882 = 9,52 \text{ kPa}$
- ✓ Presión en la cabeza = $125 \times 10^3 \text{ Pa} = 125 \text{ kPa}$
- ✓ Presión estimada en el pie de la columna = $9,52 + 125 = 134,52 \text{ kPa}$

Las propiedades físicas tanto para cabezas como para la base se obtienen a partir de Hyses y se recogen en las Tablas 4.16 y 4.17.

Tabla 4.16. Propiedades en cabezas

Temperatura en destilado	261,84	⁰ C
Densidad de vapor, ρ_v	5,52	kg/m ³
Densidad del líquido, ρ_l	576,76	kg/m ³
Peso molecular, PM	196,39	
Tensión superficial, σ_L	7,80	dinas/cm

Estas propiedades se toman a la presión de cabezas y con la composición de destilado. La temperatura es una media entre la temperatura de burbuja y la de rocío.

Tabla 4.17. Propiedades en la base

Temperatura en la base	361,51	⁰ C
Densidad de vapor, ρ_v'	6,49	kg/m ³
Densidad del líquido, ρ_l'	579,05	kg/m ³
Peso molecular, PM'	255,46	
Tensión superficial, σ_L'	4,16	dinas/cm

Estas propiedades se toman a la presión estimada en el pie de la columna y con la composición de colas. La temperatura es una media entre la temperatura de burbuja y la de rocío.

4.2.6.3. Cálculo del diámetro

Para el cálculo del diámetro se sigue el procedimiento de *Fair* que consiste en determinar primero la velocidad de vapor que causará inundación debida al arrastre excesivo y a continuación una regla empírica para determinar la velocidad de operación. De esta forma, se calcula el diámetro de la columna que evita la inundación.

Para el cálculo del diámetro de la columna, lo primero será obtener el factor de circulación líquido-vapor:

$$F_{LV} = \frac{L_w}{V_w} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_l}} \quad [4.28]$$

Donde:

- L_w es el caudal másico del líquido, kg/s
- V_w es el caudal másico del vapor, kg/s

Despreciando las diferencias en los pesos moleculares entre el vapor y el líquido:

$$F_{LV, base} = \frac{L'}{V'} \sqrt{\frac{\rho_v'}{\rho_l'}} = 0,136$$

$$F_{LV, cabeza} = \frac{L}{V} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_l}} = 0,055$$

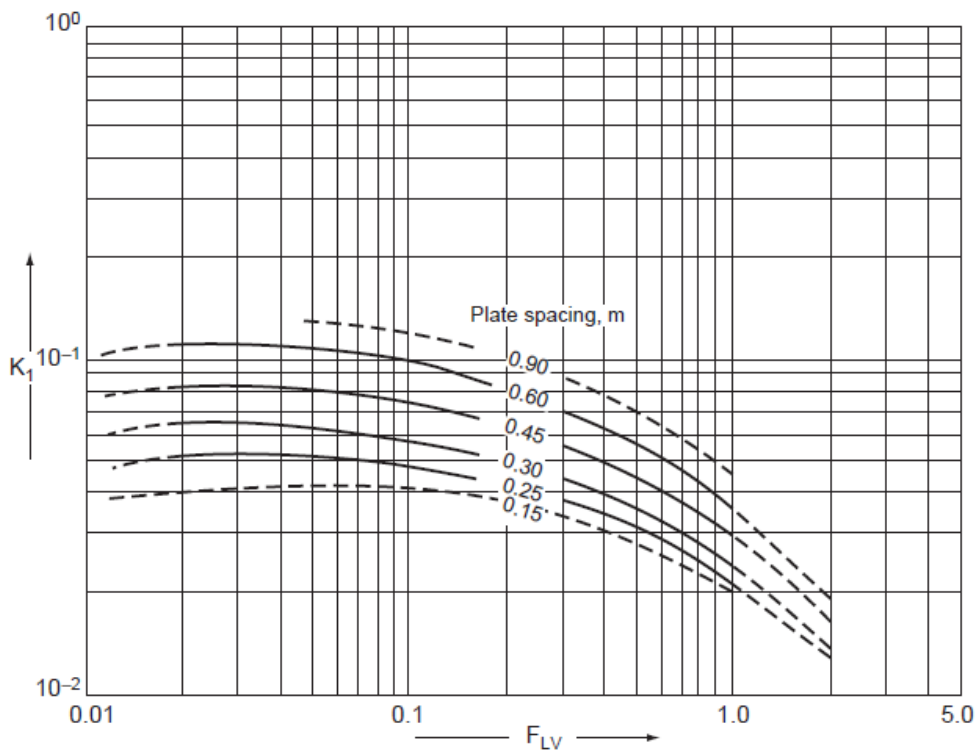


Figura 4.14. Velocidad de inundación, platos de tamiz o perforados (Fuente: Sinnott.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Una vez conocidos estos datos y estableciendo un espaciado entre platos- en nuestro caso será de 0,457 m-, se puede leer en la Figura 10 el valor de K_1 :

$$K_{1, base} = 7,1 \times 10^{-2}$$

$$K_{1, cabeza} = 8,7 \times 10^{-2}$$

A este valor obtenido directamente de la Figura 10 es necesario aplicarle un factor de corrección si la tensión superficial del líquido difiere de 0,02 N/m. El nuevo valor de K_1 se calcula como:

$$K_{1, corregido} = K_1 \cdot \left(\frac{\sigma_L}{20}\right)^{0,2} \quad [4.29]$$

$$K_{1, base} = \left(\frac{4,16}{20}\right)^{0,2} \cdot 7,1 \times 10^{-2} = 5,3 \times 10^{-2}$$

$$K_{1, cabeza} = \left(\frac{7,80}{20}\right)^{0,2} \cdot 8,7 \times 10^{-2} = 7,2 \times 10^{-2}$$

Una vez conocido el valor de K_1 y con los valores de las densidades del líquido y vapor se puede estimar la velocidad de inundación a partir de la correlación dada por Fair:

$$u_f = K_1 \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v}} \quad [4.30]$$

Donde:

- u_f =velocidad de inundación del vapor, m/s, basada en el área neta transversal de la columna A_n
- K_1 es una constante que se determina a partir de la Figura 4.14 y se corrige, si es necesario, con la Ecuación 4.29

$$u_{f, base} = K_{1, base} \cdot \sqrt{\frac{\rho_l' - \rho_v'}{\rho_v'}} = 0,49 \text{ m/s}$$

$$u_{f, cabeza} = K_{1, cabeza} \cdot \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v}} = 0,73 \text{ m/s}$$

Estas condiciones de inundación fijan el límite superior de la velocidad de vapor. Se necesita una velocidad de vapor elevada para eficacias elevadas de plato, y la velocidad normalmente estará entre el 70 y el 90% de la que puede provocar la inundación. Para el diseño, se puede usar un valor del 80 al 85 % de la velocidad de inundación.

Aplicando un 85 % de inundación, las velocidades de operación son las siguientes:

$$u_{n, base} = 0,42 \text{ m/s}$$

$$u_{n, cabeza} = 0,62 \text{ m/s}$$

Caudal volumétrico máximo de vapor:

$$Base = \frac{V' \cdot PM'}{\rho_v' \cdot 3600} = 0,248 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Tope = \frac{V \cdot PM}{\rho_v \cdot 3600} = 0,224 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con los datos anteriores, se puede determinar el área neta disponible para el contacto líquido-vapor:

$$A_{n, base} = \frac{\text{Caudal volumétrico máximo, base}}{u_{n, base}} = 0,590 \text{ m}^2$$

$$A_{n, tope} = \frac{\text{Caudal volumétrico máximo, tope}}{u_{n, cabeza}} = 0,360 \text{ m}^2$$

Una vez determinada el área neta se puede determinar el área total (área transversal de la columna).

$$\text{Área transversal columna} = \text{Área neta } (A_n) + \text{Área bajante } (A_d) \quad [4.31]$$

Como inicialización se toma el área del bajante como el 20% del total. Por lo tanto, el área neta representa el 80% del área total.

$$A_{t,base} = \frac{A_{n,base}}{0,8} = 0,738 \text{ m}^2$$

$$A_{t,tope} = \frac{A_{n,tope}}{0,8} = 0,451 \text{ m}^2$$

Una vez conocida el área total, ya se puede calcular el diámetro de la columna:

$$D_C = \sqrt{\frac{4 \cdot A_t}{\pi}} \quad [4.32]$$

Donde:

- D_C es el diámetro de la columna de destilación

$$D_{C,base} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{t,base}}{\pi}} = 0,97 \text{ m}^2$$

$$D_{C,tope} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{t,tope}}{\pi}} = 0,76 \text{ m}^2$$

Debido a que no existe gran diferencia entre los diámetros de la sección de enriquecimiento y de la sección de empobrecimiento, se toma un único diámetro para

toda la columna, que será el mayor de ambos. En este caso el mayor es el de la sección de empobrecimiento, el cual se redondea al alza hasta el tamaño de carga estándar más cercano.

De tal forma que el diámetro de la columna es:

$$D_C = 1047,74 \text{ mm} = 1,048 \text{ m}$$

4.2.6.4. Altura de la columna

Una vez que se han determinado el número de platos reales y el espaciado entre platos se puede calcular la altura de la columna. Hay que tener en cuenta que se debe añadir un espacio en cabezas para la salida del vapor, que suele ser de 1,2 m y el que se deja en el fondo de la columna para la entrada del vapor procedente del reboiler, que suele ser de 1,8 m. De esta manera se puede calcular la altura total del siguiente modo:

$$H = L_t \cdot (N - 1) + (1,2 + 1,8) \quad [4.33]$$

Donde:

- H es la altura de la columna de destilación
- L_t es el espacio entre platos
- N es el número de etapas de equilibrio reales

$$H = 0,457 \cdot (11 - 1) + (1,2 + 1,8) = 7,57 \text{ m}$$

4.2.6.5. Diseño de la base

Disposición de la circulación del líquido

La elección del tipo de plato dependerá del caudal del líquido y del diámetro de la columna. Se puede realizar una primera selección usando la Figura 4.15.

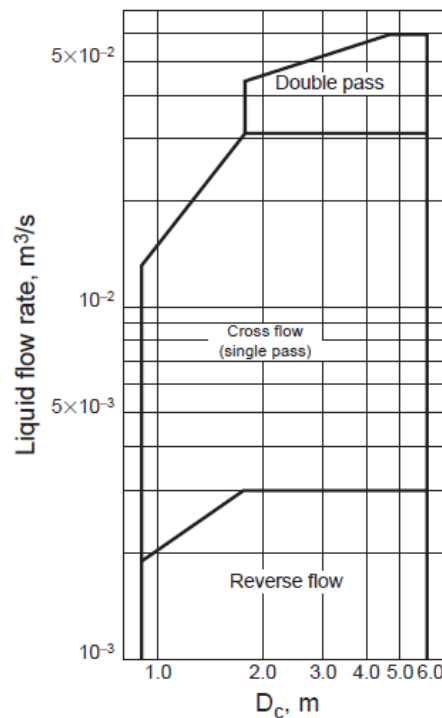


Figura 4.15. Selección de la disposición de la circulación del líquido (Fuente: Sinnott.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

La velocidad volumétrica máxima del líquido es la siguiente:

$$velocidad\ volumétrica\ máxima\ de\ liquido = \frac{L' \cdot PM'}{3600 \cdot \rho_l'} = 3,56 \times 10^{-3} m^3/s$$

El diámetro de la columna está fuera del rango de la Figura 4.15 pero según la tendencia que sigue se entiende que se puede usar un plato de circulación cruzada de paso único.

En un plato de circulación cruzada el líquido circula o a lo largo del plato y el vapor asciende a través del plato. El líquido circulante se transfiere de un plato al inferior a través de canales verticales llamados bajantes. Mediante un rebosadero de salida se retiene una cierta cantidad del líquido encharcado en el plato.

Existen varios tipos de platos de circulación cruzada, clasificados según el método usado para hacer entrar en contacto el vapor y el líquido (borboteo, perforado o válvulas) o también se clasifican de acuerdo con el número de pasadas del líquido en el plato (paso único, circulación inversa o paso doble).

Por lo tanto, una vez establecido que será un plato de circulación cruzada de paso único, sólo queda determinar si el plato será de borboteo, perforado o de válvula. Los platos empleados en la columna son platos perforados por los siguientes motivos:

- Es el tipo de plato de circulación cruzada más sencillo.
- Son los más baratos.
- Son menos propensos a incrustaciones.
- Son satisfactorios para la mayoría de las aplicaciones.

Distribución de los platos de inicialización

Con el diámetro estándar de la columna calculado anteriormente se calcula el área transversal de la columna (A_c):

$$A_c = 0,862 \text{ m}^2$$

Considerando el área de la bajante (A_d) como un 20 % del total, se puede calcular el área neta y el área activa (A_a).

$$A_d = 0,2 \cdot A_c = 0,172 \text{ m}^2$$

$$A_n = A_c - A_d = 0,690 \text{ m}^2$$

$$A_a = A_c - 2 \cdot A_d = 0,517 \text{ m}^2$$

Se supone el área total de todos los orificios (A_h) como el 7 % de A_a :

$$A_h = 0,07 \cdot A_a = 0,036 \text{ m}^2$$

Para el cálculo del área perforada (A_p) es necesario suponer un diámetro de los agujeros (d_h) que toman un valor de 2,5 mm y una distancia entre los centros de los agujeros (l_p), que toma un valor entre 2 o 4,5 veces el diámetro de los agujeros, se escogió el valor de tres veces d_h , por lo que se obtiene un valor de 7,5 mm. Con estas suposiciones el valor del área perforada es el siguiente:

$$A_p = \frac{A_h}{0,9} \left(\frac{l_p}{d_h} \right)^2 = 0,362 \text{ m}^2$$

La longitud del rebosadero (l_w) se encuentra entre el 60 y el 85 % del diámetro de la columna. De manera más concreta, se puede calcular con el porcentaje entre el área de la bajante y el área total, que en nuestro caso la relación es del 20 %. Con estas consideraciones se halla la longitud del rebosadero con ayuda de la Figura 4.16.

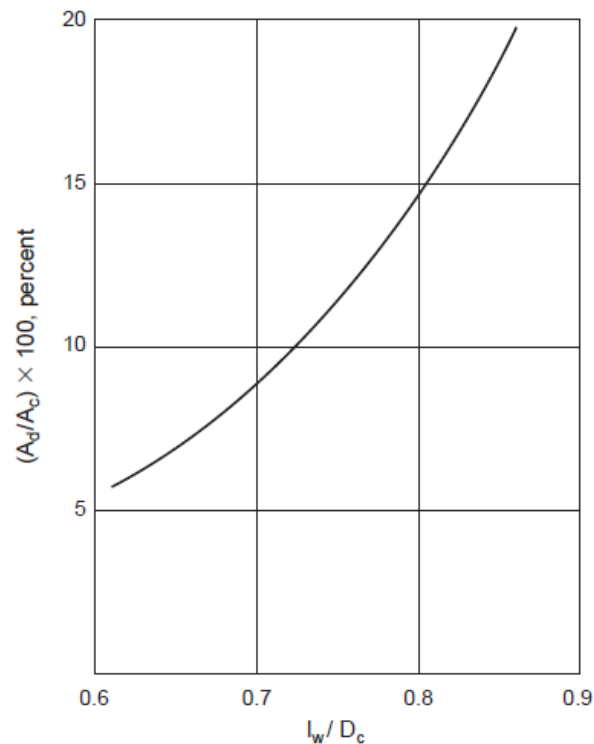


Figura 4.16. Razón entre el área del bajante y la longitud de los rebosaderos (Fuente: Sinnot.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Para obtener la longitud del rebosadero solo es necesario multiplicar el dato obtenido en la gráfica por el diámetro. Los resultados de esta operación son los siguientes:

$$A_d/A_c = 0.2$$

$$l_w/D_c = 0.85$$

$$l_w = 0,807 \text{ m}$$

Además se hacen las siguientes suposiciones:

$$\text{Altura del rebosadero} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Grosor del plato} = 5 \text{ mm}$$

El espesor de los platos depende del material. Lo más habitual es que los platos de acero al carbono tengan un espesor de 5 mm y los de acero inoxidable 3 mm. En esta columna los platos serán de acero al carbono, por lo que su espesor será de 5 mm.

Por lo tanto los resultados obtenidos se resumen en la siguiente Tabla 4.18.

Tabla 4.18. Resultados obtenidos para la distribución de los platos

Área total (A_c)	0,862	m^2
Área neta (A_n)	0,690	m^2
Área de la bajante (A_d)	0,172	m^2
Área activa (A_a)	0,517	m^2
Área de los agujeros (A_h)	0,036	m^2
Área perforada (A_p)	0,362	m^2
Diámetro orificios (d_h)	2,5	mm
Distancia entre orificios (l_p)	7,5	mm
Espesor del plato (t_p)	5	mm
Altura del rebosadero (h_w)	50	mm
Longitud del rebosadero (l_w)	0,807	m

Comprobación del caudal de lloriqueo

Se debe comprobar que a la velocidad de operación más baja la velocidad de circulación del vapor aún esté por encima del punto de lloriqueo (fenómeno de caída de pequeñas cantidades de líquido a través de dichos orificios). De no cumplirse esta condición, se debería modificar el área del agujero.

La velocidad mínima del vapor a través de los orificios se calcula de la siguiente forma:

$$u_{h,min} = \frac{K_2 - 0,90(25,4 - d_h)}{(\rho_v')^{1/2}} \quad [4.34]$$

Para el cálculo de $u_{h,min}$ es necesario determinar la constante K_2 , que depende de la profundidad del líquido en el plato y se obtienen a partir de la Figura 4.17.

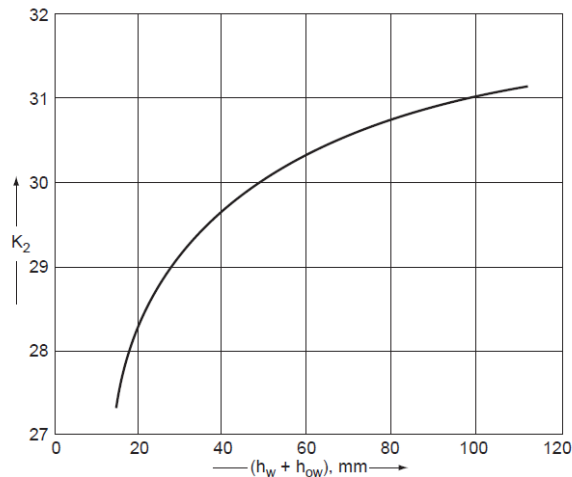


Figura 4.17. Correlación del punto de lloriqueo (Eduljee, 1959) (Fuente: Sinnott.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

La profundidad del líquido suspendido es igual a la altura del rebosadero h_w más la profundidad de la cresta del líquido sobre el rebosadero (h_{ow}).

Se calcula la altura del líquido por encima del rebosadero, tanto para caudal mínimo de líquido como para caudal máximo:

$$\text{Caudal máximo de líquido}(L_w, \text{máx}) = \frac{L' \cdot PM'}{3600} = 2,062 \text{ kg/s}$$

Considerando un 70 % de rendimiento de retorno:

$$\text{Caudal mínimo de líquido}(L_w, \text{min}) = 0,7 \cdot L_w, \text{máx} = 1,443 \text{ kg/s}$$

Conocidos los caudales máximos y mínimos de líquido así como la longitud del rebosadero, la altura de la cresta de líquido sobre el rebosadero se calcula de la siguiente forma:

$$h_{ow} = 1000 \left(\frac{L_w}{\rho_l' l_w} \right)^{2/3} \quad [4.35]$$

$$\text{Máximo } h_{ow} = 1000 \left(\frac{L_w, \text{máx}}{\rho_l' l_w} \right)^{2/3} = 26,9 \text{ mm líquido}$$

$$\text{Mínimo } h_{ow} = 1000 \left(\frac{L_w, \text{min}}{\rho_l' l_w} \right)^{2/3} = 21,2 \text{ mm líquido}$$

En este diseño a caudal mínimo:

$$h_{ow} + h_w = 71,2 \text{ mm}$$

A partir de la Figura 4.17 y con la Ecuación 4.34 se obtiene:

$$K_2 = 30,6$$

$$u_{h, \text{min}} = 3,92 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{veloc. del vapor mínima real} &= \frac{0,7 \cdot \text{caudal volumétrico máximo de vapor}}{A_h} \\ &= 4,79 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Se puede observar que la velocidad está por encima del punto de lloriqueo.

Comprobación de la caída de presión

Para obtener la caída de presión en cada plato, lo primero será calcular la caída de presión a través del plato seco (h_d), que se puede estimar:

$$h_d = 51 \left(\frac{u_h}{C_o} \right)^2 \frac{\rho_v'}{\rho_l'} \quad [4.36]$$

Por lo tanto, para el cálculo de h_d se necesita la velocidad del vapor (máxima) a través de los agujeros (u_h), que se determina de la siguiente forma:

$$u_h = \frac{\text{caudal volumétrico máximo vapor}}{A_h} \quad [4.37]$$

Para la determinación de h_d también es necesario el cálculo del coeficiente del orificio (C_o) que es función del grosor del plato, del diámetro del orificio, y de la razón entre el área de agujero y la perforada. Este coeficiente se puede obtener a partir de la Figura 4.18.

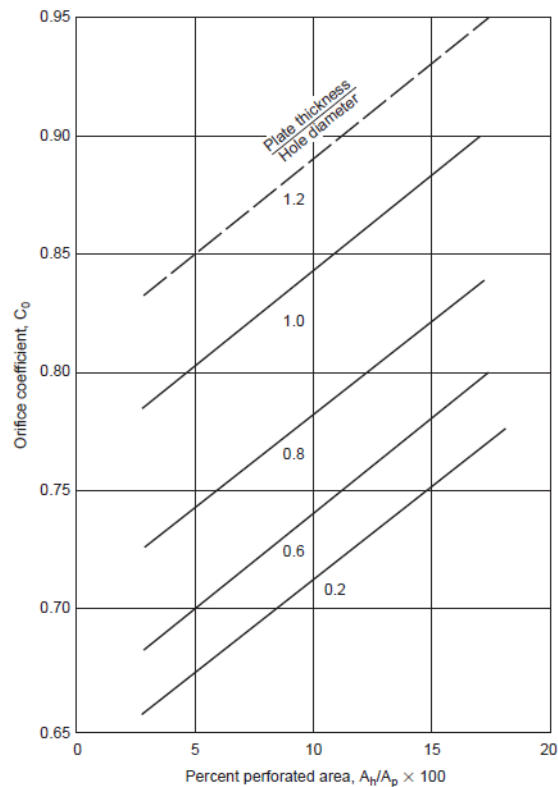


Figura 4.18. Coeficiente de descarga, platos de tamiz (Liebson et al., 1957) (Fuente: Sinnott,R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Para determinar el valor de la carga residual (h_r) se emplea la ecuación propuesta por Hunt:

$$h_r = \frac{12,5 \times 10^3}{\rho_l'} \quad [4.38]$$

Con estos datos, ya se puede determinar la caída de presión total en cada plato. Este parámetro se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$h_t = \Delta P_{plato} = h_d + h_r + h_{ow} + h_w \quad [4.39]$$

Una vez conocida la caída de presión total del plato y el número de platos reales que le corresponden a cada sección, se puede determinar la caída de presión de la columna con la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{total} = N_{sección} \cdot \Delta P_{plato} \quad [4.40]$$

Donde:

- $N_{sección}$ son el número de platos tiene la sección considerada

En la Tabla 4.19 se muestran todos los resultados obtenidos a partir de las Ecuaciones 4.36, 4.37, 4.38 y 4.39 y mediante la Figura 4.18.

Tabla 4.19. Resultados obtenidos para la caída de presión

Velocidad del vapor (u_h)	6,85	m/s
A_h/A_p	0,1	
t_p/d_h	2	
C_o	1	
Caída de presión plato seco (h_d)	26,82	mm líquido
Caída de presión residual del plato (h_r)	21,59	mm líquido
ΔP_{plato}	711,9	Pa
ΔP_{total}	3,56	kPa

Se considera que la entrada a la columna está en el sexto plato, por lo que la parte de debajo de la columna cuenta con cinco platos, resultando que $N_{sección} = 5$.

Al principio del diseño se asumió que la caída de presión por plato era de 100 mm líquido para calcular la presión en la base y sin embargo el valor obtenido difiere un poco (125,32 mm líquido) por lo que el cálculo se podría repetir con una estimación revisada pero el pequeño cambio en las propiedades físicas tendrá un efecto pequeño en el diseño del plato. Además la caída de presión es aceptable.

Retroceso ascendente de los bajantes del líquido

Para conocer la pérdida de carga producida en cada bajante (h_{dc}) se emplea la siguiente ecuación:

$$h_{dc} = 166 \left(\frac{L_{wd}}{\rho_l' A_m} \right)^2 \quad [4.41]$$

Donde:

- L_{wd} = caudal de líquido en el bajante, kg/s, igual al caudal máximo de líquido
- A_m = o bien el área del bajante A_d o bien el área de calma bajo el bajante, A_{ap} ; la que sea menor, m^2

El área de calma bajo la bajante viene dado por:

$$A_{ap} = h_{ap} l_w \quad [4.42]$$

Donde h_{ap} es la altura del borde inferior del delantal por encima del plato. Esta altura normalmente se establece desde 5 a 10 mm por debajo de la altura del rebosadero de salida:

$$h_{ap} = h_w - 10 \text{ mm} \quad [4.43]$$

En la Tabla 4.20 se muestran los resultados obtenidos mediante las Ecuaciones 4.41, 4.42 y 4.43.

Tabla 4.20. Resultados obtenidos para el retroceso ascendente de los bajantes del líquido

h_{ap}	40	mm
A_{ap}	0,032	m^2
A_d	0,172	m^2
A_m	0,032	m^2
h_{dc}	2,021	mm

La altura del líquido retenido en la bajante (h_b) se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$h_b = h_w + h_{ow, max} + h_t + h_{dc} \quad [4.44]$$

El valor de h_{dc} se redondea a 3 mm y así se obtiene el siguiente retroceso ascendente en el bajante:

$$h_b = 205,22 \text{ mm} = 0,21 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2}(h_w + l_t) = 0,25 \text{ m}$$

Como $h_b < \frac{1}{2}$ (espaciado entre platos + altura del rebosadero), por ello el espaciado entre platos es aceptable.

En el diseño también es necesario comprobar el tiempo de residencia en el bajante, que se calcula:

$$t_r = \frac{A_d \cdot h_b \cdot \rho_l'}{L_{wd}} = 9,94 \text{ s}$$

Se debe permitir un tiempo de residencia suficiente en el bajante para que el vapor arrastrado se separe de la corriente de líquido, para prevenir en gran medida que el líquido muy “aireado” se vaya por el bajante. Se recomienda un tiempo de por lo menos 3 s.

Comprobación del arrastre

$$u_v = \frac{\text{caudal volumétrico max. vapor. base}}{A_n} = 0,36 \text{ m/s}$$

$$\text{Porcentaje inundación} = \frac{u_v}{u_{n, \text{base}}} = 0,728 = 72,8\%$$

Este porcentaje se asemeja al supuesto inicialmente. Con este nuevo porcentaje de inundación y el con el factor F_{LV} , *abajo* se comprueba en la Figura 4.19 que el factor de arrastre sea inferior a 0,1.

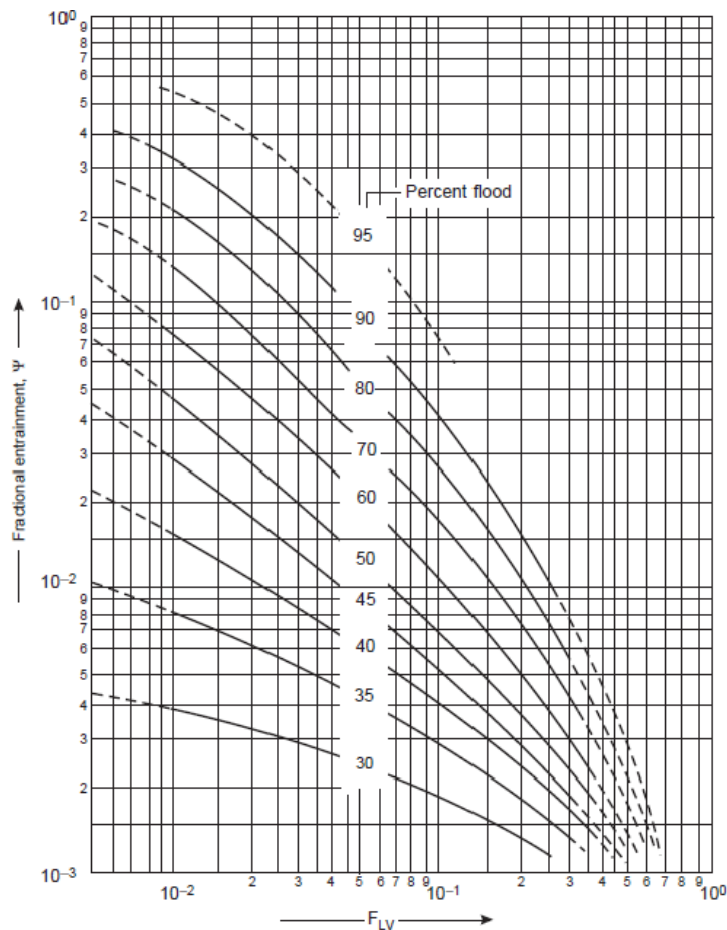


Figura 4.19. Correlación de arrastre para platos de tamiz o perforados (Fair, 1961) (Fuente: Sinnott.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Como se puede observar en la Figura 4.19 el factor de arrastre es inferior a 0,1 para los datos tomados.

Distribución de los platos: zonas de templamiento, áreas sin perforar

A partir de la Figura 4.20 y con un valor de $l_w/D_c = 0,85$, se obtiene un valor de $\theta_c = 120^\circ$.

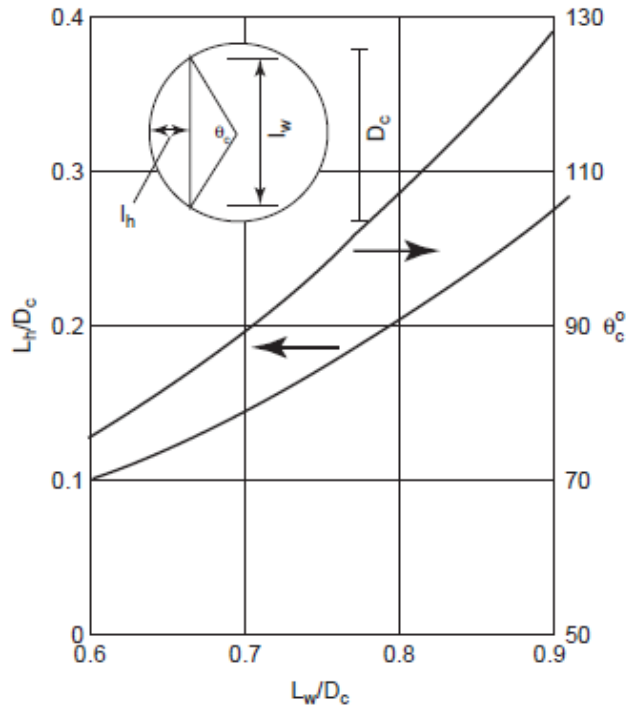


Figura 4.20. Razón entre el ángulo subtendido por la cuerda, la altura de la cuerda y la longitud de la cuerda (Fuente: Sinnott,R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Resultados obtenidos:

- Ángulo subtendido por el borde del plato= $180 - \theta_c = 60^\circ$.
- Franja circular de 50 mm.
- Longitud promedio, franjas del borde no perforadas= $(D_c - \text{franja circular}) \cdot \pi \cdot 60/180 = 1,045 \text{ m}$
- Área de franjas del borde no perforadas= $\text{franja circular} \cdot 0,1045 = 0,052 \text{ m}^2$
- Longitud promedio de la zona de calma, aprox.= $l_w + \text{franja circular} = 0,857 \text{ m}^2$
- Área de las zonas de calma= $2 \cdot (0,857 \cdot \text{franja circular}) = 0,086 \text{ m}^2$
- Área total apta para la perforación= $A_a - 0,086 - 0,0522 = 0,379 \text{ m}^2$
- $A_h/A_p = 0,036/0,379 = 0,0954$

A partir de la Figura 4.21 se comprueba que el diseño es satisfactorio puesto que el valor de l_p/d_h obtenido se encuentra dentro de 2,5 a 4,0.

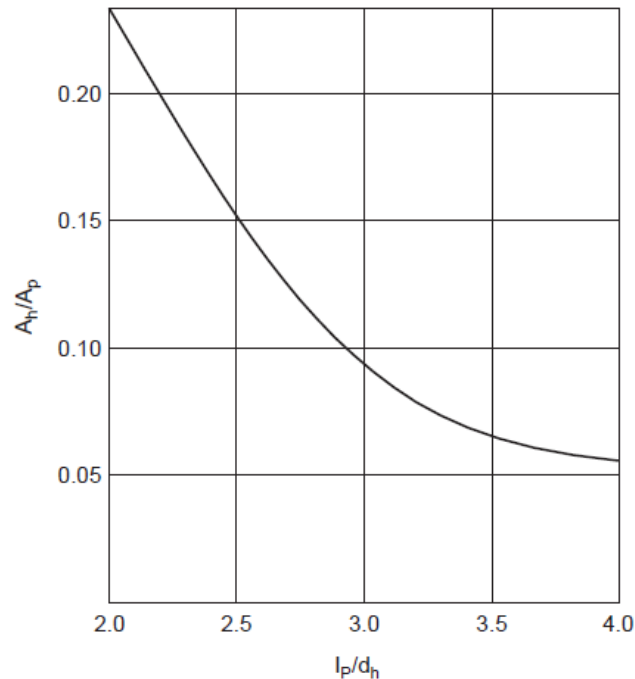


Figura 21. Razón entre el área del orificio y el paso o distribución (Fuente: Sinnott.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

4.2.6.6. Diseño mecánico

A la hora del diseño mecánico se considera la columna como un recipiente a presión.

Al ser necesario fijar un único código en el que se base el diseño ya que no se permite mezclar normas o tolerancias de distintos códigos, se elige como referencia el ASME Boiler and Pressure Vessel Code (el código ASME BPV), que es el estándar más ampliamente usado para el diseño de los recipientes a presión.

Condiciones de operación

La presión de diseño de los recipientes a presión es un 10% superior a la presión de operación. Como presión de trabajo se toma la máxima posible para asegurar la seguridad en el diseño. De tal modo, que se considera la presión en la base de la columna como la presión de operación.

Hay que aclarar que normalmente el 10% se aplica sobre la presión manométrica y no sobre la absoluta como en este caso. Como se trabaja con presiones muy cercanas a la atmosférica se consideró que por razones de seguridad es mejor aplicarle el porcentaje a la presión absoluta para que la presión de diseño fuera mayor.

La temperatura máxima de diseño a la que se evalúa el esfuerzo permisible máximo se debe tomar como la temperatura máxima de trabajo del material, a la que se suman 50°F para asegurarse que no será sobrepasada bajo ninguna circunstancia. La temperatura máxima en la operación de una columna se encuentra, al igual que en el caso de la presión, en la parte inferior de esta. Por lo tanto, se considera la temperatura en la base como la máxima temperatura de trabajo.

En la Tabla 4.21 se recogen las condiciones de operación y las de diseño.

Tabla 4.21. Condiciones de operación y de diseño

	Presión(absoluta)(kP		Temperatura(°	
	a)	Presión(psi)	C)	F)
Operación	134,52	19,51	361,51	682,72
Diseño	147,97	21,46	389,29	732,72

Materiales elegidos

Se elige acero al carbono de grado A285 (Gr A) debido a que es el material más comúnmente utilizado, es barato y está disponible en una amplia gama de formas y tamaños. Además las fichas de seguridad de los fluidos con los que se trabaja indican que no son corrosivos, por lo que no es necesario el empleo de un material resistente a

la corrosión y que podría suponer un mayor coste. La compatibilidad del material con el ambiente del proceso también justifica la elección de este material (no hay reacción entre el material y los fluidos de proceso).

Para comprobar si el material soporta las condiciones de diseño que se han establecido se emplea la Figura 4.22. A partir de esta figura se puede conocer la temperatura máxima que soporta el material así como el esfuerzo máximo permisible al que estaría sometida la columna a la temperatura de diseño.

Material	Grade	Min Tensile Strength (ksi)	Min Yield Strength (ksi)	Maximum Temperature (°F)	Maximum Allowable Stress at Temperature °F (ksi = 1000 psi)				
					100	300	500	700	900
Carbon steel	A285 Gr A	45	24	900	12.9	12.9	12.9	11.5	5.9
Killed carbon steel	A515 Gr 60	60	32	1000	17.1	17.1	17.1	14.3	5.9
Low alloy steel	A387 Gr 22	60	30	1200	17.1	16.6	16.6	16.6	13.6
1¼ Cr, ½ Mo, Si									
Stainless steel	410	65	30	1200	18.6	17.8	17.2	16.2	12.3
13 Cr									
Stainless steel	304	75	30	1500	20.0	15.0	12.9	11.7	10.8
18 Cr, 8 Ni									
Stainless steel	347	75	30	1500	20.0	17.1	15.0	13.8	13.4
18 Cr, 10 Ni, Cb									
Stainless steel	321	75	30	1500	20.0	16.5	14.3	13.0	12.3
18 Cr, 10 Ni, Ti									
Stainless steel	316	75	30	1500	20.0	15.6	13.3	12.1	11.5
16 Cr, 12 Ni, 2 Mo									

Figura 4.22. Esfuerzos máximos permisibles típicos para placas bajo el Código ASME BPV Sec. VIII D.1 (Fuente: Sinnott,R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

En la Tabla 4.22 se muestran las principales propiedades del material escogido.

Tabla 4.22. Propiedades del Acero al carbono A285

Temperatura máxima permisible	900	°F
Esfuerzo máximo permisible	5900 (40,7)	psi (N/mm ²)
Densidad	7900	kg/m ³
Conductividad térmica	53	W/mK

Al comparar las Tablas 4.21 y 4.22, se observa que la temperatura de diseño es inferior a la temperatura máxima que soporta el material y que la presión de diseño es

menor que el esfuerzo máximo permisible por el material. Por lo tanto, la elección del acero al carbono es satisfactorio.

Corrosión permitida

El código ASME BPV Sec. VIII D.1 establece que se debe añadir un espesor adicional de metal de 2 mm al no esperarse una corrosión severa. Además, este código establece un espesor mínimo de pared de 1,5 mm sin incluir la corrosión permisible e independientemente de las dimensiones del recipiente y del material de construcción.

Elección del tipo de cubiertas terminales

Tanto el superior como el inferior son cabezales semiesféricos.

Espesor de la carcasa

Se considera una carcasa cilíndrica de pared fina. El espesor mínimo para este tipo de carcasa para resistir la presión interna se calcula por medio de la Ecuación 45, especificada por el código ASME BPV (Sec. VIII D.1 Parte UG-27).

$$t = \frac{P_i D_i}{2SE - 1,2P_i} \quad [4.45]$$

Donde:

- P_i es la presión interna (Presión de diseño)
- D_i es el diámetro interno de la columna
- S es el esfuerzo máximo permisible
- E es la eficiencia de la unión soldada

El valor del esfuerzo máximo se obtiene de la Figura 4.22, en la que es necesario introducir la temperatura de diseño para así obtener el valor de S . Este valor se muestra en la Tabla 4.22.

El valor de la eficiencia de la unión soldada se toma de la Figura 4.23. En este caso toma un valor de 1 suponiendo que se trata de uniones a tope doblemente soldadas sometidas a un examen radiográfico completo.

Joint Description	Joint Category	Degree of Radiographic Examination		
		Full	Spot	None
Double-welded butt joint or equivalent	A, B, C, D	1.0	0.85	0.70
Single-welded butt joint with backing strip	A, B, C, D	0.9	0.8	0.65
Single-welded butt joint without backing strip	A, B, C	NA	NA	0.60
Double full fillet lap joint	A, B, C	NA	NA	0.55
Single full fillet lap joint with plug welds	B, C	NA	NA	0.50
Single full fillet lap joint without plug welds	A, B	NA	NA	0.45

Figura 4.23. Eficiencia máxima permisible de la unión (Fuente: Sinnot.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

La Tabla 4.23 recoge los valores empleados para el cálculo del espesor así como el valor del mismo.

Tabla 4.23. Resultados del cálculo del espesor de la carcasa

P_i	0,148	N/mm ²
D_i	1047,740	mm
S	40,679	N/mm ²
E	1	
t	1,910	mm

A este espesor mínimo requerido se le suman 2 mm de tolerancia a la corrosión. De esta manera se obtiene un valor de 3,910 mm de espesor real.

A través de la Tabla 4.24 se puede verificar que se trata de un recipiente de pared fina ya que la razón del espesor de la pared con respecto al diámetro del recipiente es menor de 1:10.

Tabla 4.24. Comprobación del recipiente de pared fina

Espesor(mm)	Di(mm)	Espesor/Di
3,910	1047,740	0,004

Se necesitará mucho más espesor en la base de la columna para resistir las cargas por el viento y por el propio peso.

Como primer ensayo, dividir la columna en cinco secciones (tramos), con el espesor aumentando 0,3 mm.

Los espesores de la columna a las distintas alturas de la columna se muestran en la Tabla 4.25.

Tabla 4.25. Espesores de la carcasa a diferentes alturas

Altura (m)	Espesor (mm)
7,60	4,0
6,08	4,3
4,56	4,6
3,04	4,9
1,52	5,2
0	5,5

El espesor promedio de la columna es de 4,75 mm.

Espesor de los cabezales

Tal y como se apuntó antes, los cabezales son semiesféricos y dependen de la presión de diseño. El espesor mínimo de este tipo de cabezales se consigue:

$$t = \frac{P_i D_i}{4SE - 0,4P_i} = \frac{0,148 \cdot 1047,740}{4 \cdot 40,679 \cdot 1 - 0,4 \cdot 0,148} = 0,953 \text{ mm}$$

Como es inferior a 1,5 mm se eleva el espesor hasta este valor y se le suman los 2 mm de corrosión. Por lo tanto el espesor para los dos cabezales es de 3,5 mm.

Aislamiento

Para el cálculo del espesor de aislante se aplican los conceptos de transferencia de calor por conducción y convección. En la Figura 4.24 se esquematizan las temperaturas y los radios de la carcasa recubierta por el aislante.

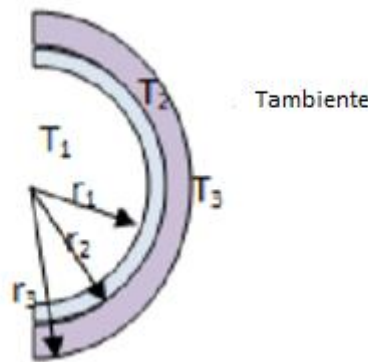


Figura 4.24. Perfil de temperaturas a distintos radios (Fuente: Elaboración propia)

En la figura anterior T_1 es la temperatura de la cara interna de la carcasa, T_2 es la temperatura de la interfaz entre la carcasa y el aislante, T_3 es la temperatura de la superficie externa del aislante y T_{ambiente} es la temperatura del exterior. Por otra parte, r_1 es el radio interno de la carcasa, r_2 es el radio externo de la carcasa y r_3 es el externo del aislante.

Los radios son los calculados anteriormente para la carcasa pero teniendo en cuenta el espesor medio en el cálculo de r_2 . La temperatura ambiente se toma como 20 °C mientras que la T_1 se toma como el valor medio entre la temperatura de la parte de arriba y la parte de debajo de la columna. T_3 se toma como 40 °C, evitando quemaduras al contacto pero sin rebajar excesivamente la temperatura.

En la Tabla 4.26 se recogen los valores de los radios y temperaturas mostrados en la Figura 4.24.

Tabla 4.26. Valores de los radios y temperaturas conocidos

r_1	0,524	m
r_2	0,529	m
Tambiente	293,15	K
T_3	313,15	K
T_1	583,15	K

Para el cálculo del espesor del aislante se considera en primer lugar la transferencia de calor por convección natural desde la superficie externa de la columna hacia el ambiente. Al tratarse de un cilindro en posición vertical, el número de *Nusselt* viene dado por la siguiente ecuación:

$$Nu = \left(0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.429/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right)^2 \quad [4.46]$$

Donde:

- Pr es el número de *Prandtl*
- Ra_L es el número de *Rayleigh*

El número de Rayleigh se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_C^3}{\mu^2} Pr \quad [4.47]$$

Donde:

- g es la aceleración de la gravedad, m/s^2
- β es el coeficiente de expansión volumétrica, se calcula como la inversa de la temperatura media entre T_3 y $T_{ambiente}$
- L_C es la longitud característica de la configuración geométrica; en este caso es la longitud del cilindro, m
- μ es la viscosidad cinemática del fluido (del aire a $T_{ambiente}$)

Tanto para el cálculo del número de Rayleigh como para el cálculo del Nusselt se emplea el valor del número de Prandtl tomado para el aire a temperatura ambiente (0.7309).

El coeficiente de transferencia de calor se calcula:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L_C} \quad [4.48]$$

Donde:

- k es la conductividad térmica del fluido; del aire

El área de la columna donde se produce el intercambio con el ambiente se calcula como el área superficial de un cilindro, considerando el diámetro externo del aislante y la longitud de la carcasa. Esto implica que sea necesario suponer de inicio un espesor de aislante.

A partir del área calculada y del coeficiente de transferencia de calor se obtiene el flujo de calor que se intercambia con el exterior por medio de la Ecuación 4.49. Hay que aclarar que este flujo de calor será igual al que circula a través de las paredes de la carcasa.

$$Q = h \cdot A \cdot (T_3 - T_{ambiente}) \quad [4.49]$$

El flujo total de calor calculado nos permite determinar la temperatura de la interfaz, T_2 . La ecuación empleada para ello es la siguiente:

$$Q = \frac{2\pi Lk(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad [4.50]$$

Donde:

- k es la conductividad del material conductor (acero al carbono)
- L es la longitud de la columna ($=L_c$)

Al calcular T_2 se comprueba que esta temperatura es aproximadamente igual a la temperatura de la cara interna de la pared debido a la alta conductividad del acero al carbono y al bajo espesor de la carcasa.

Para el cálculo de T_3 se emplea la siguiente Ecuación:

$$Q = \frac{2\pi Lk(T_2 - T_3)}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} \quad [4.51]$$

Donde:

- k es la conductividad del aislante

Se escoge como aislante poliuretano expandido, ya que se trata de los aislantes con menor conductividad térmica y por lo tanto esto facilita que la temperatura de la superficie exterior sea baja

Tabla 4.27. Valores obtenidos para el cálculo del aislante.

Pr	0,731	
β	0,003	K
L_c	7,572	m
μ	$1,825 \times 10^5$	kg/(m·s)
Ra	$4,160 \times 10^{11}$	
Nu	949,548	

k	0,0251	W/(m·k)
h	3,153	W/(m ² ·k)
Espesor aislante supuesto	5	cm
A	27,515	m ²
Q	1734,864	W
$k_{\text{acero al carbono}}$	53	W/(m·k)
T_2	583,143	K
k_{aislante}	0,023	W/(m·k)
T_3	439,79	K

El espesor óptimo (nuevo espesor) del aislante se obtiene implementando la función Solver en una hoja de cálculo, de tal forma que el espesor calculado proporciona que la temperatura en la superficie externa de la columna sea igual a 313,15 K.

En la Tabla 4.28 se muestran los valores de las variables que dependen del tamaño del espesor del aislante y por lo tanto cambian cuando se escoge el espesor óptimo.

Tabla 4.28. Nuevos valores obtenidos con el espesor óptimo.

A	29,467	m ²
Q	1857,971	W
T_2	583,143	K
T_3	313,149	K
Espesor aislante	9,106	cm

Ahora el espesor es mayor que el supuesto inicialmente, lo que supone que la temperatura de la pared externa sea menor al haber menos conducción de calor.

Cargas por peso

A continuación se calcularán las siguientes fuentes de las cargas de peso muerto:

- La carcasa del recipiente y accesorios del recipiente tales como agujeros y boquillas.

- Accesorios internos: platos (más el fluido sobre los platos).
- Aislamiento.
- El peso del líquido para rellenar el recipiente. El recipiente se llenará con agua para el ensayo de presión hidráulica, y se puede llenar con líquido del proceso debido a un mal funcionamiento.

1. Peso de la carcasa

El peso aproximado de un recipiente de acero cilíndrico con terminaciones abombadas y espesor de pared uniforme se puede estimar a partir de la siguiente ecuación:

$$W_v = 240C_w D_m (H_v + 0,8D_m)t \quad [4.52]$$

Donde:

- W_v es el peso total de la carcasa, excluyendo los accesorios internos, tales como los platos, N
- C_w es un factor a tener en cuenta para el peso de las boquillas, agujeros, etc.
- H_v es la longitud entre líneas tangentes (la longitud de la sección cilíndrica), m
- t es el espesor de la carcasa, mm
- D_m es el diámetro medio del recipiente = $(D_i + t \cdot 10^{-3})$

Aunque la Ecuación 4.52 sólo se aplica estrictamente a recipientes con un espesor uniforme, se puede usar para obtener una estimación aproximada del peso de este recipiente usando el espesor promedio.

Para el caso de una columna de destilación, el factor C_w toma un valor de 1,15.

En la Tabla 4.29 se muestran los resultados del cálculo del peso de la carcasa.

Tabla 4.29. Valores obtenidos para el cálculo del peso de la carcasa.

C_w	1,15	
H_v	7,57	m
D_m	1,05	m
t	4,75	mm
W_v	1183,46	kg
	11,61	kN

II. Peso de los platos

Los platos también se construyen de acero al carbono.

$$\text{Área del plato} = \pi/4 \times 1,048^2 = 0,862 \text{ m}^2$$

Se considera que el peso de los platos de contacto de acero incluyendo una carga líquida es de 1,2 kN/m² de área de plato.

$$\text{Peso de un plato incluyendo el líquido en el mismo} \approx 1,2 \times 0,862 = 1,035 \text{ kN}$$

$$\text{Peso total de los platos} = 11 \times 1,035 = 11,381 \text{ kN} = 1160,117 \text{ kg}$$

III. Peso del aislamiento

Como ya se comentó anteriormente el material escogido como aislante es el poliuretano expandido.

El volumen del aislante se calcula:

$$V_{\text{aislante}} = \pi L r_3^2 - \pi L r_2^2 \quad [4.53]$$

Mientras que el peso del aislante se calcula:

$$\text{Peso aislante} = V_{\text{aislante}} \cdot \rho_{\text{aislante}} \quad [4.54]$$

En la Tabla 4.30 se muestran los resultados del peso del aislamiento empleando las Ecuaciones 4.53 y 4.54.

Tabla 4.30. Valores obtenidos para el cálculo del peso del aislamiento.

$V_{aislante}$	2,49	m ³
$\rho_{aislante}$	24	kg/m ³
$Peso\ aislante$	59,70	kg
	585,03	N

IV. *Peso total*

Hay que tener en cuenta que el peso del contenido de la columna sería sustancialmente mayor si la columna se inundara o se llenara de líquido. Este es el caso durante el ensayo hidráulico, que se debería examinar como un escenario de carga diferente.

Tabla 4.31. Valores del peso en kg.

Peso carcasa	1183,46	kg
Peso platos y contenido	1160,12	kg
Peso del aislamiento	59,70	kg
Peso total	2403,28	kg

Tabla 4.32. Valores del peso en kN.

Peso carcasa	11,61	kN
Peso platos y contenido	11,38	kN
Peso del aislamiento	0,59	kN
Peso total	23,58	kN

Cargas por viento

Se calcularán las cargas por viento al ser importantes en columnas elevadas instaladas al aire libre.

La columna está colocada libre, montada sobre un soporte de falda, que será explicado en los apartados posteriores, y no asociada al trabajo estructural del acero. Bajo estas condiciones, se puede considerar que actúa como una viga voladiza cuyo momento de flexión en cualquier plano viene dado por la siguiente Ecuación:

$$M_x = \frac{Wx^2}{2} \quad [4.55]$$

Donde:

- x es la distancia medida desde la terminación libre
- W es la carga por unidad de longitud

Por lo tanto, el momento de flexión, e incluso el esfuerzo de flexión, será máximo en la base de la columna.

La carga por unidad de longitud (W) se puede obtener a partir de la presión del viento (P_W) multiplicada por el diámetro efectivo (D_{eff}) de la columna: el diámetro externo más un incremento para el aislamiento térmico y los accesorios, tales como tuberías y escaleras.

$$W = P_W \cdot D_{eff} \quad [4.56]$$

En este caso, en lugar de utilizar el diámetro efectivo se empleó una aproximación, el diámetro medio, que se calcula:

$$D_{medio} = D_{interno carcasa} + 2 \cdot (espesor_{medio carcasa} + espesor_{aislante}) \quad [4.57]$$

Por otro lado, la columna se diseñará para soportar la velocidad más elevada del viento que es probable que se produzca en el lugar durante la vida de la planta.

Se toma la presión dinámica del viento (P_W) como 1280 N/m², correspondiendo a una velocidad del viento de 160 kph (100mph), que es el dato utilizado para estudios preliminares.

Tabla 4.33. Valores obtenidos para las cargas por viento.

P_W	1280	N/m ²
D_{medio}	1,06	m
W	1353,50	N/m
x	7,57	m
M_x	38801,59	N·m

Análisis de esfuerzos

Se realizará el estudio de los esfuerzos en la línea tangente del fondo.

I. Esfuerzos de presión

Los esfuerzos longitudinales y circunferenciales debido a la presión interna vienen dado por las Ecuaciones 4.58 y 4.59.

$$\sigma_h = \frac{PD_i}{2t} \quad [4.58]$$

$$\sigma_L = \frac{PD_i}{4t} \quad [4.59]$$

Donde:

- P es la presión de diseño , N/mm²
- D_i es el diámetro interno de carcasa, mm
- t es el espesor de la pared en la base, mm
- σ_h es el esfuerzo circunferencial, N/mm²
- σ_L es el esfuerzo longitudinal, N/mm²

II. Esfuerzos debido al peso propio del recipiente y su contenido

El esfuerzo directo (σ_w) debido al peso del recipiente, su contenido y cualquier equipo asociado se calcula:

$$\sigma_w = \frac{W_z}{\pi(D_i+t)t} \quad [4.60]$$

Donde:

- W_z es el peso total que soporta la pared del recipiente en el plano considerado

En este caso, el esfuerzo será de compresión (negativo) ya que se calcula en la base de la columna y por lo tanto está por encima del plano de los soportes de la columna.

El esfuerzo por el peso propio normalmente sólo es significativo, comparado con la magnitud de otros esfuerzos, en recipientes altos.

III. Esfuerzos de flexión

Los esfuerzos de flexión resultan de los momentos de flexión a los que el recipiente está sujeto.

Los esfuerzos de pandeo vienen dado por la Ecuación 4.61 y serán compresivos o extensivos dependiendo de la localización.

$$\sigma_b = \pm \frac{M}{I_v} \left(\frac{D_i}{2} + t \right) \quad [4.61]$$

Donde:

- M es el momento total de flexión al plano a considerar
- I_v es el momento segundo del área del recipiente alrededor del plano de flexión, se calcula con la Ecuación 4.62

$$I_v = \frac{\pi}{64} (D_o^4 - D_i^4) \quad [4.62]$$

Donde:

- D_o es el diámetro externo de carcasa, considerando el espesor en la base de la columna

IV. Esfuerzos principales

Mediante las Ecuaciones 63 y 64 se calcula el esfuerzo total longitudinal.

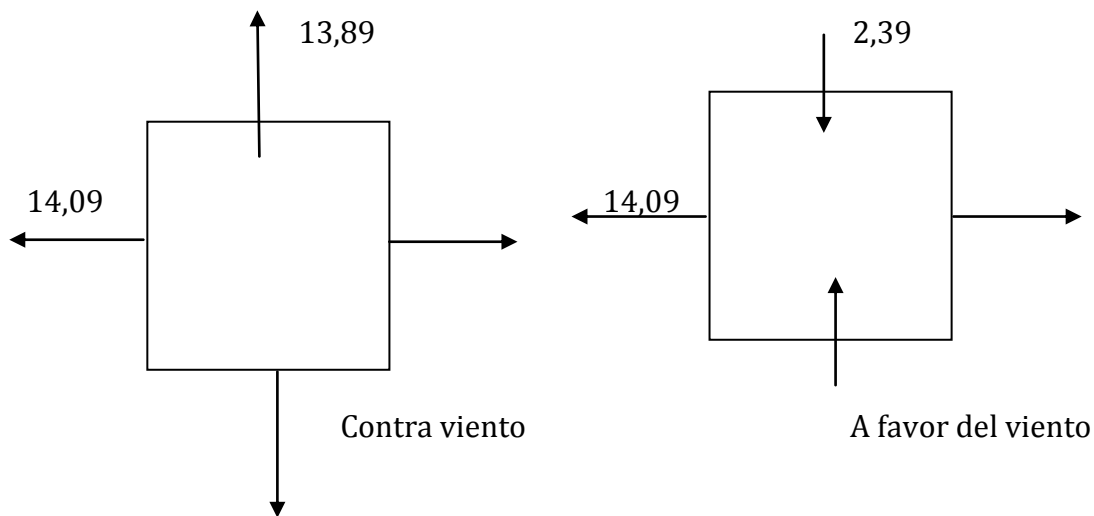
$$\sigma_z = \sigma_L + \sigma_w + \sigma_b(\text{contra el viento}) \quad [4.63]$$

$$\sigma_z = \sigma_L + \sigma_w - \sigma_b(\text{a favor del viento}) \quad [4.64]$$

Tabla 4.34. Resultados de los análisis de esfuerzos

σ_h	14,09	N/mm ²
σ_L	7,05	N/mm ²
σ_w	-1,30	N/mm ²
D_o	1058,74	mm
I_v	2,52x10 ⁹	mm ⁴
σ_b	8,14	N/mm ²
σ_z (contra el viento)	13,89	N/mm ²
σ_z (a favor del viento)	-2,39	N/mm ²

Como no existe esfuerzo de corte de torsión, los esfuerzos principales serán σ_z y σ_h . El esfuerzo radial es despreciable.



La mayor diferencia entre los esfuerzos principales será en el lado a favor del viento:

$$(14,09 - (-2,39)) = 16,48 \text{ N/mm}^2$$

Bien por debajo del esfuerzo de diseño máximo permisible.

En la Tabla 4.34 se puede observar que el esfuerzo de flexión debido a la carga por viento es mayor que el esfuerzo por el peso propio.

El caso de ensayo hidráulico tendrá un peso propio mayor cuando el recipiente se llene con agua, pero un cálculo sencillo demuestra que el peso máximo del agua en el recipiente (despreciando el volumen de los elementos internos del recipiente) es:

$$\pi/12 \cdot \rho \cdot g(3D_i^2 L + 2D_i^3) = 69,88 \text{ kN}$$

Si esto se añade al peso total calculado anteriormente entonces el esfuerzo por el peso propio aumentará como se observa en la Tabla 4.35.

Tabla 4.35. Resultado del esfuerzo por el peso propio

W_z	93456,37	N
σ_w	5,14	N/mm ²

Este esfuerzo aún es mucho menos que el esfuerzo de flexión debido a la carga por viento, por ello el caso de carga por viento es el caso gobernante. El ensayo hidráulico, obviamente, no se programará para un día donde se puedan producir vientos de 100 mph.

Diseño del soporte del recipiente

Se escoge un soporte de falda ya que es el más usado para recipientes verticales al no imponer cargas concentradas en la carcasa del recipiente y es adecuado para su uso con columnas altas sometidas a cargas por vientos.

El soporte de falda consiste en una carcasa cilíndrica soldada a la base del recipiente (de la columna). Una brida en el fondo de la falda transmite la carga a los cimientos. Se deben proporcionar aberturas en la falda para el acceso y para cualquier tubería de conexión.

En este caso la falda está soldada a ras de la carcasa ya que es la disposición preferida en este tipo de soportes.

El espesor de la falda debe ser suficiente para resistir las cargas por peso propio (peso del recipiente y sus contenidos) y los momentos de flexión impuestos por el recipiente (cargas por viento), no estará bajo la presión del recipiente.

Los esfuerzos resultantes en la falda serán:

$$\sigma_s(tensión) = \sigma_{bs} - \sigma_{ws} \quad [4.65]$$

$$\sigma_s(compresión) = \sigma_{bs} + \sigma_{ws} \quad [4.66]$$

$$\sigma_{bs} = \frac{4M_s}{\pi(D_s + t_{sk})t_{sk}D_s} \quad [4.67]$$

Donde:

- M_s es el momento máximo de flexión, evaluado en la base de la falda
- t_{sk} es el espesor de la falda
- D_s es el diámetro interno de la falda, en la base

Para calcular el momento de flexión (M_s) en la base de la falda se utiliza de nuevo la Ecuación 4.55 con el mismo valor de la carga por viento que el obtenido en la Tabla 4.33 pero ahora con una distancia distinta.

Los esfuerzos por el peso propio en la falda (σ_{ws}) se calculan por medio de las Ecuaciones 4.68 y 4.71.

$$\sigma_{ws}(\text{ensayo}) = \frac{W_v}{\pi(D_s + t_{sk})t_{sk}} \quad [4.68]$$

Donde:

- W_v es el peso del recipiente y su contenido.

La carga máxima por el peso propio en la falda se producirá cuando el recipiente esté lleno de agua.

$$\text{Peso contenido} = (\pi/4 \cdot D_i^2 \cdot \text{altura}) \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot g \quad [4.69]$$

$$\text{Peso total}, W_v = \text{Peso contenido} + \text{Peso recipiente} \quad [4.70]$$

La condición de “ensayo” es con el recipiente lleno de agua para el ensayo hidráulico. En la estimación del peso total, el peso del líquido en los platos se ha contado dos veces. El peso no se ha ajustado para permitir esto ya que el error es pequeño, y del “lado seguro”.

$$\sigma_{ws}(\text{operación}) = \frac{\text{Peso recipiente}}{\pi(D_s + t_{sk})t_{sk}} \quad [4.71]$$

Se escoge en primer lugar una falda cilíndrica recta de acero al carbono.

Como un primer ensayo, tomar el espesor de la falda igual a aquel de la sección del fondo de la columna y se toma el diámetro interno de la falda en la base igual al diámetro interno de la columna de destilación. Además es necesario hacer una suposición de la altura del soporte.

Tabla 4.36. Resultado obtenidos para el cálculo del soporte.

Altura supuesta	soporte	2	m
Peso contenido		64,04	kN
Peso recipiente		23,58	kN
W_v		87,62	kN
W		1,35	kN/m
M_s		62,01	kNm
t_{sk}		5,5	mm
D_s		1047,74	mm
σ_{bs}		13,01	N/mm ²
σ_{ws} (ensayo)		4,81	N/mm ²
σ_{ws} (operación)		1,30	N/mm ²

El espesor de la falda debería ser tal que bajo la peor combinación de cargas por viento y peso propio no exceda los siguientes criterios de diseño:

$$\sigma_s(\text{tracción}) < S_s E \text{ sen } \theta_s \quad [4.72]$$

$$\sigma_s(\text{compresión}) < 0,125 E_Y \left(\frac{t_{sk}}{D_s} \right) \text{ sen } \theta_s \quad [4.73]$$

Donde:

- S_s es el esfuerzo de diseño máximo permisible para el material de la falda, normalmente tomado a temperatura ambiente, 20 °C.
- E es la eficiencia de la unión soldada, si es aplicable.
- θ_s es el ángulo base de una falda cónica.
- E_Y es el módulo de Young para el material de la falda, normalmente tomado a temperatura ambiente, 20 °C.

En la Tabla 4.37 se muestran las características del soporte.

Tabla 36. Características del soporte.

θ_s	90	grados
Módulo de Young	200.000	N/mm ²
Esfuerzo máximo permisible	89	N/mm ²
E	0,85	

Los esfuerzos obtenidos son los siguientes:

$$\sigma_s \text{ máximo}(tracción) = 13,01 - 1,30 = 11,71 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s \text{ máximo}(compresión) = 13,01 + 4,81 = 17,82 \text{ N/mm}^2$$

Tabla 4.38. Resultados obtenidos a partir de las características del soporte.

$S_s E \text{ sen } \theta_s$	67,59
$0,125 E_Y \left(\frac{t_{sk}}{D_s} \right) \text{ sen } \theta_s$	117,32

Al comparar los valores de la Tabla 4.38 con los esfuerzos obtenidos anteriormente se puede observar que se satisfacen las Ecuaciones 4.72 y 4.73.

Finalmente, al espesor calculado se le añaden 2 mm debido a la corrosión, obteniendo un espesor de diseño de 7,5 mm.

4.2.6.7. Diseño de la parte superior de la columna

Disposición de la circulación del líquido

La parte superior de la columna se diseña con el mismo diámetro que la parte inferior.

$$D_C = 1047,74 \text{ mm} = 1,048 \text{ m}$$

Con este diámetro y con la velocidad volumétrica máxima de líquido se determina por medio de la Figura 11 el tipo de plato que se debe utilizar.

$$velocidad\ volumétrica\ máxima\ de\ líquido = \frac{L \cdot PM}{3600 \cdot \rho_l} = 1,21 \times 10^{-3} m^3/s$$

De nuevo, a partir de la tendencia que sigue la Figura 4.15 se entiende que se puede usar un plato de circulación cruzada de paso único. Para facilitar el diseño se escogen platos perforadora al igual que en la sección inferior.

Se utilizará el mismo método para diseñar la zona superior que el empleado en la zona inferior. Por lo tanto, únicamente se mostrarán los resultados ya que la explicación con las distintas ecuaciones y figuras ya se comentó en apartados anteriores.

Distribución de los platos de inicialización

Tabla 4.39. Resultados obtenidos para la distribución de los platos en la sección superior

Área total (A_c)	0,862	m^2
Área neta (A_n)	0,690	m^2
Área de la bajante (A_d)	0,172	m^2
Área activa (A_a)	0,517	m^2
Área de los agujeros (A_h)	0,036	m^2
Área perforada (A_p)	0,362	m^2
Diámetro orificios (d_h)	2,5	mm
Distancia entre orificios (l_p)	7,5	mm
Espesor del plato (t_p)	5	mm
Altura del rebosadero (h_w)	40	mm
Longitud del rebosadero (l_w)	0,807	m

Comprobación del caudal de lloriqueo

$$\text{Caudal máximo de líquido}(L_w, \text{máx}) = \frac{L \cdot PM}{3600} = 0,697 \text{ kg/s}$$

$$\text{Caudal mínimo de líquido}(L_w, \text{min}) = 0,7 \cdot L_w, \text{máx} = 0,488 \text{ kg/s}$$

$$\text{Máximo } h_{ow} = 1000 \left(\frac{L_w, \text{máx}}{\rho_l l_w} \right)^{2/3} = 12,3 \text{ mm líquido}$$

$$\text{Mínimo } h_{ow} = 1000 \left(\frac{L_w, \text{min}}{\rho_l l_w} \right)^{2/3} = 9,7 \text{ mm líquido}$$

$$h_{ow} + h_w = 49,7 \text{ mm}$$

En la Figura 4.17 se puede leer el siguiente valor:

$$K_2 = 30$$

$$u_h, \text{min} = 3,69 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{veloc. del vapor mínima real} &= \frac{0,7 \cdot \text{caudal volumétrico máximo de vapor}}{A_h} \\ &= 4,34 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Se puede observar que la velocidad está por encima del punto de lloriqueo.

Comprobación de la caída de presión

Tabla 4.40. Resultados obtenidos para la caída de presión en la sección superior.

Velocidad del vapor (u_h)	6,19	m/s
A_h/A_p	0,1	
t_p/d_h	2	
C_o	1	
Caída de presión plato seco (h_d)	18,72	mm liquido
Caída de presión residual del plato (h_r)	21,67	mm liquido
ΔP_{plato}	524,2	Pa
ΔP_{total}	3,15	kPa

El cálculo se podría repetir con una estimación revisada ya que el valor obtenido de la caída de presión por plato (92,65 mm líquido) difiere del valor asumido de 100 mm para calcular la presión en la base. Pero el pequeño cambio en las propiedades físicas tendrá un efecto despreciable en el diseño del plato. Además la caída de presión es aceptable.

Retroceso ascendente de los bajantes del líquido

Tabla 4.41. Resultados obtenidos para el retroceso ascendente de los bajantes del líquido en la parte superior.

h_{ap}	30	mm
A_{ap}	0,027	m^2
A_d	0,172	m^2
A_m	0,027	m^2
h_{dc}	0,340	mm

El valor de h_{dc} se redondea a 1 mm y así se obtiene el siguiente retroceso ascendente en el bajante:

$$h_b = 145,91 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2}(h_w + l_t) = 0,25 \text{ m}$$

Como $h_b < \frac{1}{2}$ (espaciado entre platos + altura del rebosadero), por ello el espaciado entre platos es aceptable.

En el diseño también es necesario comprobar el tiempo de residencia en el bajante, que se calcula:

$$t_r = \frac{A_d \cdot h_b \cdot \rho_l'}{L_{wd}} = 20,81 \text{ s}$$

Comprobación del arrastre

$$u_v = \frac{\text{caudal volumétrico max. vapor. base}}{A_n} = 0,33 \text{ m/s}$$

$$\text{Porcentaje inundación} = \frac{u_v}{u_{n, \text{base}}} = 0,444 = 44,4\%$$

El motivo de que este porcentaje sea tan bajo se debe a que esta sección superior se diseña con el diámetro de la zona inferior y por lo tanto es un diámetro bastante mayor al calculado para esta sección. Sin embargo cuando se comprueba en la Figura 4.19 el factor de arrastre este todavía es inferior a 0,1, por lo que el diseño es satisfactorio.

Distribución de los platos: zonas de templamiento, áreas sin perforar

En este apartado los resultados son los mismos que para el diseño de la zona inferior.

4.3. Diseño de la torre de destilación T-201.

4.3.1. Especificaciones del grado de separación requerido

A la torre T-201 llega la corriente de salida del intercambiador E-202. Esta corriente entra a la torre a una temperatura de 154°C y una presión de 125 kPa, impulsada por la bomba P-204, tratándose de un líquido saturado en estas condiciones de operación. Los flujos molares de entrada y salida se pueden observar en la Tabla 4.42.

Tabla 4.42. Flujos molares de entrada y salida a la T-201

	Alimentación (kmol/h)		Destilado (kmol/h)	Colas (kmol/h)
	sin 25%	con 25%		
Ácido Acético	8,455	10,569	10,463	0,106
Drying Oil	8,036	10,045	0,100	9,945
Ácido Palmítico	5,065	6,331	0,000	6,331
TOTAL	21,556	26,945	10,564	16,381

Al diseño se le aplica un 25% de sobredimensionamiento para asegurar la seguridad de la unidad, por lo que los cálculos se hacen en base al flujo de alimentación al que se le aplica el sobredimensionamiento.

La corriente de entrada a la columna también contiene trazas de oleico y esteárico pero no se tienen en cuenta para realizar el diseño.

Como ya se explicó en el diseño de la columna T-202, las especificaciones para la primera columna se hace en base a la recuperación de los compuestos claves. Se supone una recuperación para el drying oil del 99% en colas y la misma recuperación para el ácido acético en el destilado. En un principio se supone que todo el ácido palmítico sale por colas, cosa que se comprobará al final del diseño.

4.3.2. Condiciones de operación

Como ya se explicó en el apartado de justificación del empleo de las columnas, la presión fijada para esta columna es de 125 kPa. Hay que aclarar que la presión en una columna de destilación no es la misma en la parte superior que en la parte inferior. En el apartado de diseño se indicará la caída de presión que se produce.

4.3.3. Dispositivos de contacto

Se elige una columna de platos, al igual que en la columna T-202, apoyándose en las mismas consideraciones que las expuestas en esa columna. Hay que aclarar que ahora el caudal de líquido es superior al de la T-202, sin embargo, todavía sigue siendo bastante bajo. La presencia de un líquido corrosivo como el ácido acético o el pequeño diámetro obtenido (aunque mayor que el obtenido en la T-202) también hacen que el relleno sea una buena posibilidad a considerar. Por este motivo, se realizó una simulación en HYSSES y se comprobó que la columna de platos convergía perfectamente con los datos de diseño.

En los siguientes apartados se especificará el tipo de plato escogido.

4.3.4 Requerimientos de etapas y reflujo

Para estimar los requerimientos de etapas y reflujo se utilizaron en primer lugar diversos métodos rápidos. Bien es cierto que la mayoría de los métodos rápidos se desarrollaron para el diseño de columnas de separación para sistemas de hidrocarburos de las industrias del petróleo y de sistemas petroquímico, y se debe tener precaución cuando se aplican en otros sistemas. Además dependen de la suposición de la volatilidad relativa constante, y no se deberían usar para sistemas severamente no ideales. Una vez aplicados estos métodos rápidos, los datos obtenidos se trasladaron al simulador HYSSES en lugar de realizar un modelo riguroso manualmente, ya que HYSSES permite realizar una simulación rigurosa de la columna.

4.3.4.1. Métodos rápidos

Los dos métodos empíricos más frecuentemente usados para la estimación de los requerimientos de las etapas para destilaciones multicomponentes son las correlaciones publicadas por Gilliland (1949) y por Ebar y Maddox (1961). Estos indican el número de etapas ideales para una separación dada, a una razón de reflujo dada, para un número de etapas a reflujo total (mínimo posible) y la razón de reflujo mínima (número infinito de etapas). En utiliza la correlación de Ebar-Maddox, ya que actualmente se considera que generalmente da predicciones más fiables que la correlación de Gilliland.

Distribución de los componentes no claves

En primer lugar se utiliza el método de Geddes-Hengstebeck para comprobar la distribución del ácido palmítico ya que para los otros dos componentes ya se han especificado sus cantidades en colas y destilado por medio de las fracciones de recuperación ya comentadas.

La ecuación formulada por Hengstebeck y Geddes es la siguiente:

$$\log \left(\frac{d_i}{b_i} \right) = A + C \log \alpha_i \quad [4.74]$$

Donde:

- d_i es el flujo molar del componente i en destilado
- b_i es el flujo molar del componente i en colas
- A y C son los coeficientes de la ecuación
- α_i es la volatilidad relativa de un componente con respecto al componente clave pesado

Tabla 4.43. Valores obtenidos para los componentes claves

	$\frac{d_i}{b_i}$	$\log\left(\frac{d_i}{b_i}\right)$	α_i	$\log\alpha_i$
Componente				
clave ligero- ácido acético	99,00	2,00	56,58	1,75
Componente				
clave pesado- drying oil	0,01	-2,00	1,00	0

La relación entre los flujos molares que se muestra en la Tabla 4.43 es obtenida a partir de los datos de la Tabla 4.42. Mientras que para el cálculo de la volatilidad relativa se generaron datos de datos de equilibrio en HYSSES para el sistema binario (ácido acético-drying oil) por medio de un programa llamado EQPlot. A partir de estos estos se obtuvo la volatilidad relativa de la siguiente forma:

$$\alpha = \frac{\left(\frac{y}{x}\right)_{\text{ÁCIDO ACÉTICO}}}{\left(\frac{y}{x}\right)_{\text{DRYING OIL}}} \quad [4.75]$$

Donde:

- y e x son los datos obtenidos del equilibrio (fracciones molares de los dos componentes)

El valor obtenido empleando la Ecuación 4.75 y con los datos de equilibrio recogidos a 125 kPa es el siguiente:

$$\alpha_{\text{ACETICO-DRYING OIL}} = 56,58$$

También se generaron datos de equilibrio para el sistema binario- drying oil- ácido palmítico- obteniéndose la siguiente volatilidad relativa:

$$\alpha_{\text{DRYING OIL-PALMITICO}} = 10$$

Más adelante se explicará otra forma de calcular las volatilidades relativas.

Los valores de la Tabla 4.43 son representados en la Figura 4.25 para obtener los coeficientes de la Ecuación 4.74.

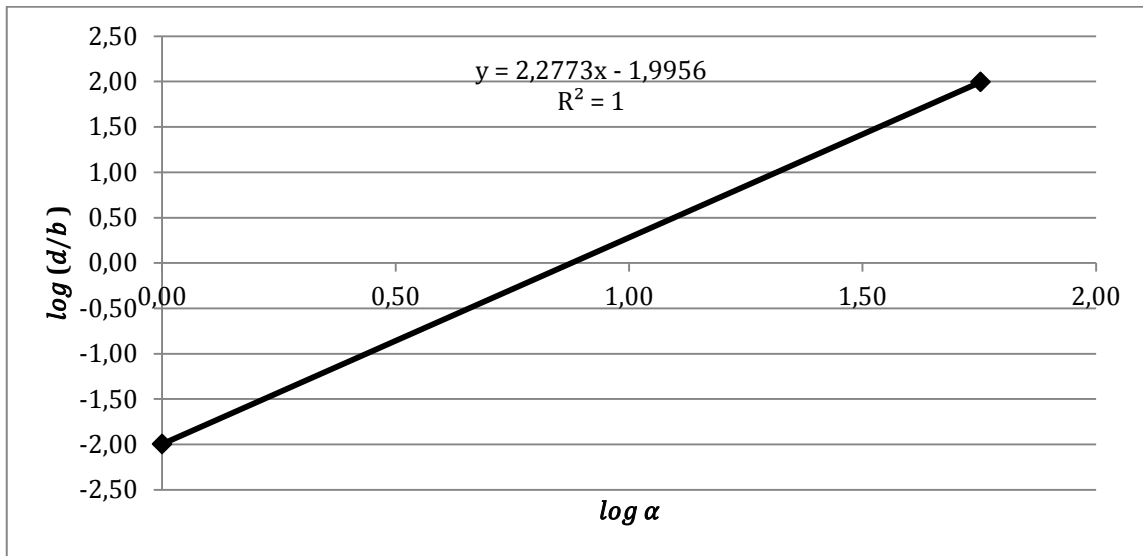


Figura 4.25. Distribución de los componentes

Con el valor de la volatilidad relativa para el palmítico se puede conocer la relación entre los flujos molares en destilado y colas utilizando los coeficientes obtenidos en la Figura 4.25.

Una vez conocida esta relación se aplica un balance general de materia para este componente:

$$f_i = d_i + b_i \quad [4.76]$$

Donde:

- f_i es el flujo molar del componente i en la alimentación

De la Ecuación 4.76 se despejan las siguientes ecuaciones:

$$d_i = \frac{f_i}{\left(\frac{b_i}{d_i} + 1\right)} \quad [4.77]$$

$$b_i = \frac{f_i}{\left(\frac{d_i}{b_i} + 1\right)} \quad [4.78]$$

Como se conocen tanto el flujo de alimentación para el palmítico como la relación entre los flujos en destilado y colas se calculan dichos flujos por medio de las Ecuaciones 4.77 y 4.78. En la Tabla 4.44 se muestran los resultados.

Tabla 4.44. Valores obtenidos para el cálculo del flujo molar de palmítico en destilado y colas

A	-1,996
C	2,277
$\frac{d_i}{b_i}$	$5,335 \times 10^{-5}$
$d_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right)$	$3,377 \times 10^{-4}$
$b_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right)$	6,331

De este modo, los flujos molares que se utilizarán para calcular los requerimientos de etapas y reflujo se recogen en la Tabla 4.45.

Tabla 5.45. Flujos molares a la columna T-201

	Alimentación (kmol/h)		Destilado	Colas
	sin 25%	con 25%	(kmol/h)	(kmol/h)
Ácido Acético	8,455	10,569	10,463	0,106
Drying Oil	8,036	10,045	0,100	9,945
Ácido Palmítico	5,065	6,331	$3,337 \times 10^{-4}$	6,331
TOTAL	21,556	26,945	10,564	16,381

Los flujos totales no cambian con respecto a los calculados al principio. La cantidad de ácido palmítico en el destilado es tan pequeña que se podría despreciar.

Cálculo de número de etapas ideales

En la Figura 4.26 se muestra la correlación de Erbar-Maddox, que ofrece una razón del número de etapas requerido con el número de etapas a reflujo total, como una función de la razón de reflujo, con la razón de reflujo mínima como parámetro. Para usar dicha figura se necesitan las estimaciones del número de etapas a reflujo total y la razón de reflujo mínima.

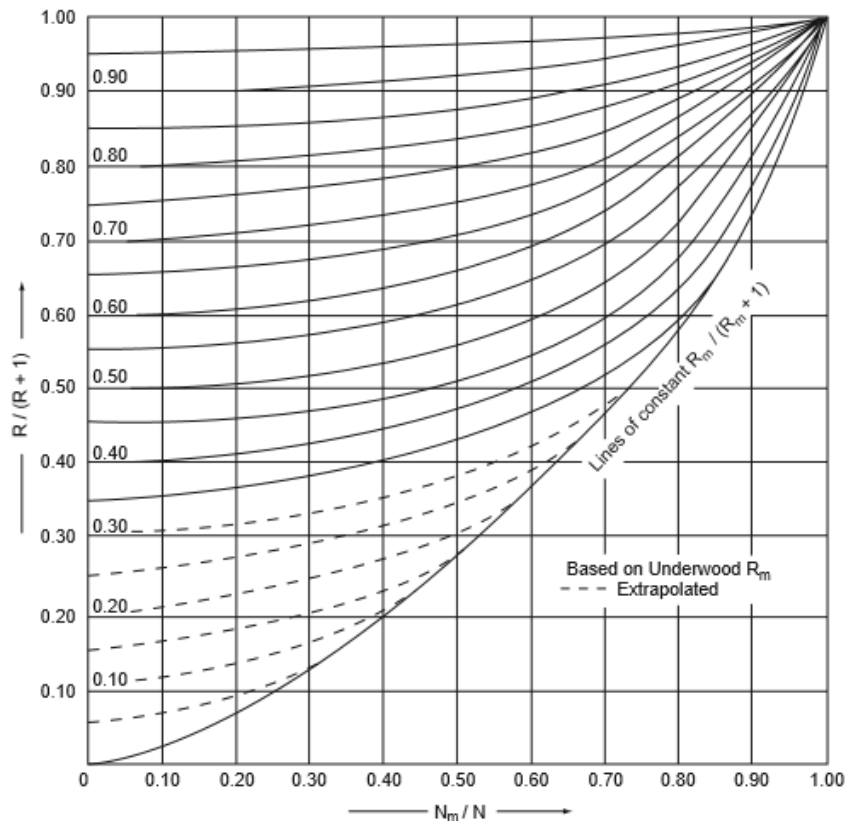


Figura 4.146. Correlación de Erbar-Maddox (Fuente: Sinnott.R, Towler.G."Chemical Engineering Design".4ªEd. Elsevier. 2008. Londres)

Por lo tanto, para estimar el número de etapas ideales es necesario calcular antes el número mínimo de etapas ideales necesarias para la separación.

1. Número mínimo de etapas ideales

Para estimar las etapas mínimas requeridas a reflujo total se emplea la ecuación de Fenske:

$$N_{min} = \frac{\log \left[\frac{x_{LK}}{x_{HK}} \right]_d \left[\frac{x_{HK}}{x_{LK}} \right]_b}{\log \alpha_{LK}} \quad [4.79]$$

Donde:

- α_{LK} es la volatilidad relativa promedio del componente clave ligero con respecto al componente clave pesado
- x_{HK} concentración del compuesto clave pesado
- x_{LK} concentración del compuesto clave ligero

La otra forma de calcular la volatilidad relativa es por medio de los coeficientes de distribución, siendo necesario un cálculo previo de la temperatura de destilado y colas.

Las temperaturas en la cabeza y el pie (puntos de rocío y puntos de burbuja respectivamente) se calcularán por medio de HYSSES. Para calcularlas se introducen las composiciones molares, que se muestran en la Tabla 4.46 y que se obtienen a partir de la Tabla 4.45. Además para el cálculo de las temperaturas es necesario indicar la presión en cabezas y en el pie de la columna. En una primera suposición, se supone que la presión en ambas es la misma, a pesar de conocer que esto no es cierto. Aun así el error cometido en el cálculo de las temperaturas es muy pequeño.

Tabla 4.46. Composiciones molares en el destilado y colas

	Destilado	Colas
Ácido acético	0,990	0,006
Drying Oil	0,010	0,607
Ácido Palmítico	$3,197 \times 10^{-5}$	0,386
TOTAL	1,000	1,000

La volatilidad relativa de dos componentes se puede expresar como la relación entre sus coeficientes de distribución:

$$\alpha_{ij} = \frac{K_i}{K_j} \quad [4.80]$$

Donde:

- α_{ij} es la volatilidad relativa de dos componentes
- K_i es el coeficiente de distribución de un componente
- K_j es el coeficiente de distribución del otro componente

Los coeficientes de distribución de los compuestos se determinan por medio de *HYSYS* tanto en la base como en cabezas. Sus valores junto con las temperaturas obtenidas se muestran en la Tabla 4.47.

Tabla 4.47. Coeficientes de distribución a la temperatura de cabezas y colas

	Cabeza	Pie
Temperatura(°C)	126,4	270,0
Ácido Acético	1,321	28,246
Drying oil	0,040	1,297
Ácido palmítico		0,111

Como prácticamente no hay ácido palmítico en cabezas, el único coeficiente de distribución calculado para este componente es el que se ha determinado en el pie de la columna.

Para el cálculo de la volatilidad relativa de estos componentes se emplea:

$$\alpha_i = \frac{K}{K_{HK}} \quad [4.81]$$

Donde:

- K es el coeficiente de distribución de un determinado componente
- K_{HK} es el coeficiente de distribución del componente clave pesado

Las volatilidades relativas obtenidas con los coeficientes de distribución de la Tabla 6 se muestran en la Tabla 4.48.

Tabla 4.48. Volatilidades relativas

	Cabeza	Pie	Promedio
(LK) Ácido Acético	33,147	21,779	27,463
(HK) Drying oil	1	1	1
Ácido palmítico		0,086	0,086

Como existe bastante diferencia entre las volatilidades relativas en cabezas y el pie de la columna el uso del valor promedio en la ecuación de Fenske subestimaré el número de etapas. Por este motivo se utiliza la volatilidad relativa calculada por medio de los datos de equilibrio.

El valor obtenido empleando la Ecuación 4.79 es:

$$N_{min} = \frac{\log (104,16 \cdot 94,09)}{\log 56,58} = 2,28$$

II. Razón de reflujo mínima

El siguiente paso es calcular la razón de reflujo mínima, para lo cual se emplearán las ecuaciones de Underwood:

$$\sum \frac{\alpha_i x_{i,d}}{\alpha_i - \theta} = R_{min} + 1 \quad [4.82]$$

Donde:

- R_{min} es la razón de reflujo mínima
- $x_{i,d}$ es la concentración del componente i en el destilado a reflujo mínimo
- θ es la raíz de la siguiente ecuación:

$$\sum \frac{\alpha_i x_{i,f}}{\alpha_i - \theta} = 1 - q \quad [4.83]$$

Donde:

- $x_{i,f}$ es la concentración del componente i en la alimentación
- q depende de la condición de la alimentación

El valor de θ debe estar entre los valores de la volatilidad relativa de los compuestos clave pesado y ligero, y se encuentra por ensayo y error.

Como la alimentación está en su punto de ebullición ($q=1$), entonces la Ecuación 4.83 se reduce a:

$$\sum \frac{\alpha_i x_{i,f}}{\alpha_i - \theta} = 0 \quad [4.84]$$

El cálculo del coeficiente θ se recoge en la Tabla 4.49.

Tabla 4.49. Cálculo del coeficiente θ

	$x_{i,f}$	α_i	$\alpha_i x_{i,f}$	$\theta = 1,5$	$\theta = 1,95$	$\theta = 1,9$
Ácido Acético	0,392	56,580	22,193	0,403	0,406	0,406
Drying oil	0,373	1	0,373	-0,746	-0,392	-0,414
Ácido palmítico	0,235	0,1	0,023	-0,017	-0,013	-0,013
$\Sigma = -0,359$				0,001	-0,021	

Se escoge el valor de $\theta=1,95$ ya que el sumatorio se considera lo suficiente cerca. Hay que aclarar que se emplearon las volatilidades relativas obtenidas por medio de los datos de equilibrio.

El resultado de la Ecuación 4.82 se tabula en la Tabla 4.50.

Tabla 4.50.

	$x_{i,d}$	α_i	$\alpha_i x_{i,d}$	$(\alpha_i x_{i,d}) / (\alpha_i - \theta)$
Ácido Acético	0,990	56,58	56,040	1,026
Drying oil	0,010	1	0,010	-0,010
acido palmítico	$3,197 \times 10^{-5}$	0,1	$3,197 \times 10^{-6}$	$-1,728 \times 10^{-6}$
				$\Sigma = 1,016$

Por lo tanto,

$$R_{min} + 1 = 1,016$$

$$R_{min} = 0,016$$

III. Número de etapas ideales

$$\frac{R_{min}}{(R_{min} + 1)} = 0,016$$

Cálculo de muestra, para $R = 1,15 \cdot R_{min}$

$$R = 0,018$$

$$\frac{R}{(R + 1)} = 0,018$$

A partir de la Figura 4.26:

$$\frac{N_{min}}{N} = 0,04$$

$$N = 56,932 \approx 57$$

Tabla 4.51. Número de etapas ideales a distintos razones de reflujo.

R/R_{min}	1,15	1,2	1,25	2	4
R	0,018	0,019	0,020	0,032	0,063
$R/(R + 1)$	0,018	0,019	0,019	0,031	0,059
N_{min}/N	0,04	0,05	0,06	0,100	0,160
N	56,932	45,545	37,954	22,773	14,233
$N \text{ aprox.}$	57	46	38	23	14

El número de etapas se redondea a la alza al número entero más cercano. Se considera que la mejor opción para esta columna es la de 23 etapas. Si se escogieran una opción de más etapas quizás la caída de presión fuera muy elevada, y si por el contrario se eligiera una opción con menos etapas el reflujo aumenta, y aumentando considerablemente los costes.

Cálculo del punto de alimentación

Para estimar la posición del punto de alimentación para la separación considerada se usa la ecuación de Kirkbride:

$$\log \left(\frac{N_r}{N_s} \right) = 0,206 \log \left[\left(\frac{B}{D} \right) \left(\frac{x_{f,HK}}{x_{f,LK}} \right) \left(\frac{x_{b,LK}}{x_{d,HK}} \right)^2 \right] \quad [4.85]$$

Donde:

- N_r es el número de etapas por encima de la alimentación, incluyendo cualquier condensador parcial
- N_s es el número de etapas por debajo de la alimentación, incluyendo la caldera
- $x_{f,HK}$ es la concentración del componente clave pesado en la alimentación
- $x_{f,LK}$ es la concentración del componente clave ligero en la alimentación
- $x_{d,HK}$ es la concentración del componente clave pesado en el producto de cabeza
- $x_{b,LK}$ es la concentración del componente clave ligero en el producto de pie

$$\log\left(\frac{N_r}{N_s}\right) = 0,206 \log\left[\left(\frac{16,381}{10,534}\right)\left(\frac{0,373}{0,392}\right)\left(\frac{0,006}{0,010}\right)^2\right] = -0,035$$

$$\left(\frac{N_r}{N_s}\right) = 0,92$$

$$N_r + N_s = 22,773 \approx 23$$

$$N_s = 11,959 \approx 12$$

4.3.4.2 Simulación en HYSYS

Se comprobó cómo se comportaba HYSYS con los datos obtenidos con los métodos rápidos. Debido a que la columna no convergía con 23 platos y la alimentación en el plato 12, se probó a cambiar la alimentación, encontrándose que metiendo la alimentación en el plato 6 la columna convergía perfectamente, tal y como se puede ver en la Figura 4.27.

En la Figura 4.28 se observa que las variables que se especificaron a la columna son las fracciones de recuperación para el drying oil en destilado (99%) y para el ácido palmítico en colas (99%), obteniéndose unos flujos que se asemejan mucho a los que recoge el balance de materia.

Sin embargo, el gran inconveniente de esta columna es su elevado reflujo si lo comparamos con el obtenido por los métodos rápidos. Hay que aclarar que en este caso debido a la naturaleza de los compuestos a separar los métodos rápidos son muy eficaces, de ahí que se decidiera realizar la simulación en HYSYS para un comportamiento más real de la columna.

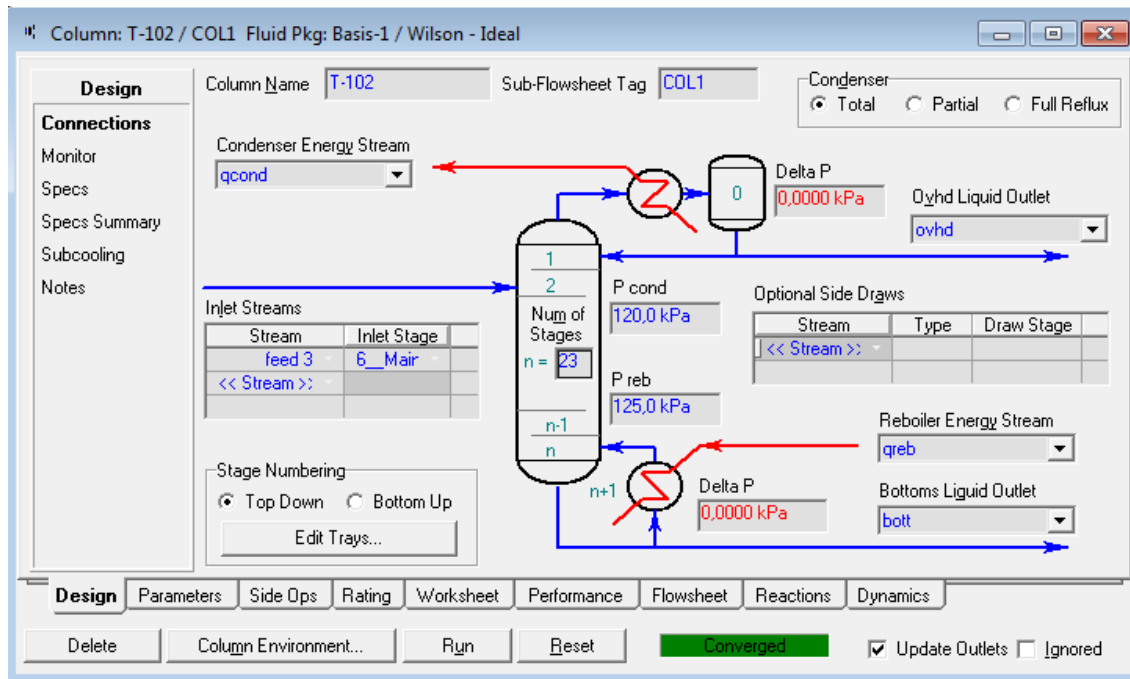


Figura 4.27. Captura de pantalla de HYSYS (I)

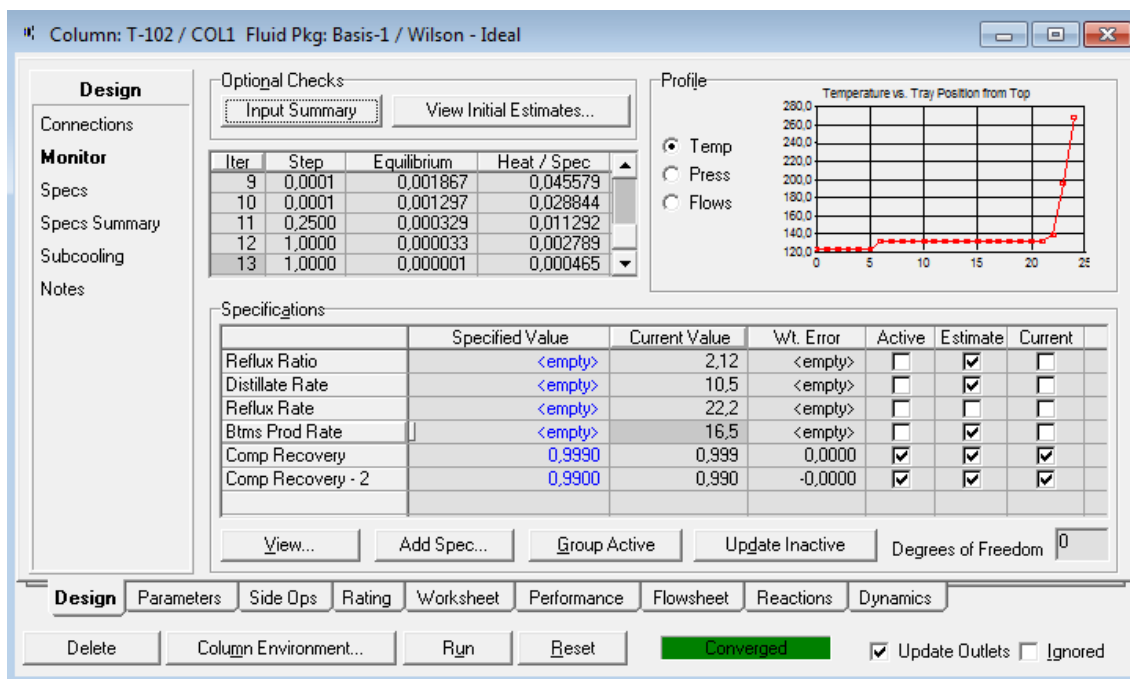


Figura 4.28. Captura de pantalla de HYSYS (II)

4.3.5. Dimensionamiento de la columna

Para el dimensionamiento de la columna se sigue el mismo procedimiento que se aplica al diseño de la columna T-202.

4.3.5.1 Resumen de los datos necesarios para realizar el diseño

Los datos mostrados en la Tabla 4.52 son los obtenidos en los apartados anteriores.

Tabla 4.52. Datos calculados de la columna

x_D	0,990	
x_B	0,006	
(L/D)	2,11	
Z_F	0,392	
F	26,945	kmol/h
V	32,854	kmol/h
L	22,290	kmol/h
L'	49,235	kmol/h

4.3.5.2 Propiedades físicas del sistema

Para estimar la presión en la base se asume que la caída de presión por plato es 100 mm de agua.

Para el cálculo de las caídas de presión se emplea la Ecuación 4.27 donde la densidad del líquido, ρ_L , se toma como la densidad promedio del palmítico y del drying oil, ambos como líquidos ideales.

Resultados

- ✓ Caída de presión de la columna = $100 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 23 \cdot 828 = 18,68 \text{ kPa}$
- ✓ Presión en la cabeza = $125 \times 10^3 \text{ Pa} = 125 \text{ kPa}$
- ✓ Presión estimada en el pie de la columna = $9,52 + 125 = 143,68 \text{ kPa}$

Las propiedades físicas tanto para cabezas como para la base se obtienen a partir de Hyses y se recogen en las Tablas 4.53 y 4.54.

Tabla 4.53. Propiedades en cabezas

Temperatura en destilado	127,71	$^{\circ}\text{C}$
Densidad de vapor, ρ_v	2,28	kg/m^3
Densidad del líquido, ρ_l	928,20	kg/m^3
Peso molecular, PM	61,30	
Tensión superficial, σ_L	19,44	
	dinas/cm	

Estas propiedades se toman a la presión de cabezas y con la composición de destilado. La temperatura es una media entre la temperatura de burbuja y la de rocío.

Tabla 4.54. Propiedades en la base

Temperatura en la base	340,16	$^{\circ}\text{C}$
Densidad de vapor, ρ_v'	6,25	kg/m^3
Densidad del líquido, ρ_l'	601,69	kg/m^3
Peso molecular, PM'	218,5	
Tensión superficial, σ_L'	7,01	dinas/cm

Estas propiedades se toman a la presión estimada en el pie de la columna y con la composición de colas. La temperatura es una media entre la temperatura de burbuja y la de rocío.

4.3.5.3. Cálculo del diámetro

Empleando la Ecuación 4.28 y despreciando las diferencias en los pesos moleculares entre el vapor y el líquido:

$$F_{LV, base} = \frac{L'}{V'} \sqrt{\frac{\rho_v'}{\rho_l'}} = 0,153$$

$$F_{LV, cabeza} = \frac{L}{V} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_l}} = 0,034$$

Una vez conocidos estos datos y estableciendo un espaciado entre platos- en nuestro caso será de 0,457 m-, se puede leer en la Figura 4.14 el valor de K_1 :

$$K_{1, base} = 0,06$$

$$K_{1, cabeza} = 0,07$$

A este valor obtenido directamente de la Figura 4.14 es necesario aplicarle un factor de corrección si la tensión superficial del líquido difiere de 0,02 N/m. El nuevo valor de K_1 se calcula con la Ecuación 4.29.

$$K_{1, base} = \left(\frac{7,01}{20}\right)^{0,2} \cdot 0,06 = 0,05$$

$$K_{1, cabeza} = \left(\frac{19,44}{20}\right)^{0,2} \cdot 0,07 = 0,07$$

Una vez conocido el valor de K_1 y con los valores de las densidades del líquido y vapor se puede estimar la velocidad de inundación a partir de la Ecuación 4.30.

$$u_{f, base} = K_{1, base} \cdot \sqrt{\frac{\rho_l' - \rho_v'}{\rho_v'}} = 0,47 \text{ m/s}$$

$$u_{f, cabeza} = K_{1, cabeza} \cdot \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v}} = 1,40 \text{ m/s}$$

Estas condiciones de inundación fijan el límite superior de la velocidad de vapor. Se necesita una velocidad de vapor elevada para eficacias elevadas de plato, y la velocidad normalmente estará entre el 70 y el 90% de la que puede provocar la inundación. Para el diseño, se puede usar un valor del 80 al 85 % de la velocidad de inundación.

Aplicando un 85 % de inundación, las velocidades de operación son las siguientes:

$$u_{n,base} = 0,47 \text{ m/s}$$

$$u_{n,cabeza} = 1,54 \text{ m/s}$$

Caudal volumétrico máximo de vapor:

$$Base = \frac{V' \cdot PM'}{\rho_v' \cdot 3600} = 0,319 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Tope = \frac{V \cdot PM}{\rho_v \cdot 3600} = 0,245 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con los datos anteriores, se puede determinar el área neta disponible para el contacto líquido-vapor:

$$A_{n,base} = \frac{\text{Caudal volumétrico máximo, base}}{u_{n,base}} = 0,682 \text{ m}^2$$

$$A_{n,tope} = \frac{\text{Caudal volumétrico máximo, tope}}{u_{n,cabeza}} = 0,159 \text{ m}^2$$

Una vez determinada el área neta se puede determinar el área total (área transversal de la columna).

Como inicialización se toma el área del bajante como el 20% del total. Por lo tanto, el área neta representa el 80% del área total.

$$A_{t,base} = \frac{A_{n,base}}{0,8} = 0,852 \text{ m}^2$$

$$A_{t,tope} = \frac{A_{n,tope}}{0,8} = 0,199 \text{ m}^2$$

Una vez conocida el área total, ya se puede calcular el diámetro de la columna con la Ecuación 4.32.

$$D_{C,base} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{t,base}}{\pi}} = 1,04 \text{ m}$$

$$D_{C,tope} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{t,tope}}{\pi}} = 0,50 \text{ m}$$

Dedido a que existe bastante diferencia entre los diámetros de las dos secciones, se decide diseñar con diámetros distintos. En cada sección el diámetro se redondea al alza hasta el tamaño de carga estándar más cercano.

De tal forma que los diámetros de la columna son:

$$D_{C,base} = 1066,8 \text{ mm} = 1,067 \text{ m}$$

$$D_{C,destilado} = 609,6 \text{ mm} = 0,610 \text{ m}$$

4.3.5.4. Altura de la columna

La altura total se calcula por medio de la Ecuación 4.33.

$$H = 0,457 \cdot (11 - 1) + (1,2 + 1,8) = 13,06 \text{ m}$$

4.3.5.5. Diseño de la base

Disposición de la circulación del líquido

La elección del tipo de plato dependerá del caudal del líquido y del diámetro de la columna. Se puede realizar una primera selección usando la Figura 4.15.

La velocidad volumétrica máxima del líquido es la siguiente:

$$\text{velocidad volumétrica máxima de liquido} = \frac{L' \cdot PM'}{3600 \cdot \rho_l'} = 4,97 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

La Figura 4.15 nos indica que se puede usar un plato de circulación cruzada de paso único. Además se escogen platos perforados.

Distribución de los platos de inicialización

Con el diámetro estándar de la columna calculado anteriormente se calcula el área transversal de la columna (A_c):

$$A_c = 0,894 \text{ m}^2$$

Considerando el área de la bajante (A_d) como un 20 % del total, se puede calcular el área neta y el área activa (A_a).

$$A_d = 0,2 \cdot A_c = 0,179 \text{ m}^2$$

$$A_n = A_c - A_d = 0,715 \text{ m}^2$$

$$A_a = A_c - 2 \cdot A_d = 0,536 \text{ m}^2$$

Se supone el área total de todos los orificios (A_h) como el 10 % de A_a :

$$A_h = 0,1 \cdot A_a = 0,054 \text{ m}^2$$

Para el cálculo del área perforada (A_p) es necesario suponer un diámetro de los agujeros (d_h) que toman un valor de 2,5 mm y una distancia entre los centros de los agujeros (l_p), que toma un valor entre 2 o 4,5 veces el diámetro de los agujeros, se escogió el valor de tres veces d_h , por lo que se obtiene un valor de 7,5 mm. Con estas suposiciones el valor del área perforada es el siguiente:

$$A_p = \frac{A_h}{0,9} \left(\frac{l_p}{d_h} \right)^2 = 0,536 \text{ m}^2$$

La longitud del rebosadero (l_w) se encuentra entre el 60 y el 85 % del diámetro de la columna. De manera más concreta, se puede calcular con el porcentaje entre el área de la bajante y el área total, que en nuestro caso la relación es del 20 %. Con estas consideraciones se halla la longitud del rebosadero con ayuda de la Figura 4.16.

Para obtener la longitud del rebosadero solo es necesario multiplicar el dato obtenido en la gráfica por el diámetro. Los resultados de esta operación son los siguientes:

$$A_d/A_c = 0.2$$

$$l_w/D_c = 0.85$$

$$l_w = 0,907m$$

Además se hacen las siguientes suposiciones:

$$\text{Altura del rebosadero} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Grosor del plato} = 3 \text{ mm}$$

El espesor de los platos depende del material. Lo más habitual es que los platos de acero al carbono tengan un espesor de 5 mm y los de acero inoxidable 3 mm. En esta columna los platos serán de acero inoxidable ya que el ácido acético es corrosivo, por lo que su espesor será de 3 mm.

Por lo tanto los resultados obtenidos se resumen en la siguiente Tabla 4.55.

Tabla 4.55. Resultado obtenidos para la distribución de los platos.

Área total (A_c)	0,894	m^2
Área neta (A_n)	0,715	m^2
Área de la bajante (A_d)	0,179	m^2
Área activa (A_a)	0,536	m^2
Área de los agujeros (A_h)	0,054	m^2
Área perforada (A_p)	0,536	m^2
Diámetro orificios (d_h)	2,5	mm
Distancia entre orificios (l_p)	7,5	mm
Espesor del plato (t_p)	3	mm
Altura del rebosadero (h_w)	50	mm
Longitud del rebosadero (l_w)	0,907	m

Comprobación del caudal de lloriqueo

La velocidad mínima del vapor a través de los orificios se calcula empleando la Ecuación 4.34.

Para el cálculo de $u_{h,min}$ es necesario determinar la constante K_2 , que depende de la profundidad del líquido en el plato y se obtienen a partir de la Figura 4.17.

La profundidad del líquido suspendido es igual a la altura del rebosadero h_w más la profundidad de la cresta del líquido sobre el rebosadero (h_{ow}).

Se calcula la altura del líquido por encima del rebosadero, tanto para caudal mínimo de líquido como para caudal máximo:

$$\text{Caudal máximo de líquido}(L_w, \text{máx}) = \frac{L' \cdot PM'}{3600} = 2,988 \text{ kg/s}$$

Considerando un 70 % de rendimiento de retorno:

$$\text{Caudal mínimo de líquido}(L_w, \text{mín}) = 0,7 \cdot L_w, \text{máx} = 2,091 \text{ kg/s}$$

Conocidos los caudales máximos y mínimos de líquido así como la longitud del rebosadero, la altura de la cresta de líquido sobre el rebosadero se calcula con la Ecuación 4.35.

$$\text{Máximo } h_{ow} = 1000 \left(\frac{L_w, \text{máx}}{\rho_l' l_w} \right)^{2/3} = 31,1 \text{ mm líquido}$$

$$\text{Mínimo } h_{ow} = 1000 \left(\frac{L_w, \text{mín}}{\rho_l' l_w} \right)^{2/3} = 24,5 \text{ mm líquido}$$

En este diseño a caudal mínimo:

$$h_{ow} + h_w = 74,5 \text{ mm}$$

A partir de la Figura 4.17 y con la Ecuación 4.35 se obtiene:

$$K_2 = 30,4$$

$$u_{h,min} = 3,92 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{veloc. del vapor mínima real} &= \frac{0,7 \cdot \text{caudal volumétrico máximo de vapor}}{A_h} \\ &= 4,17 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Se puede observar que la velocidad está por encima del punto de lloriqueo.

Comprobación de la caída de presión

Empleando las Ecuaciones 4.36, 4.37, 4.38, 4.39 y 4.40 y la Figura 4.18 se obtienen los valores que se muestran en la Tabla 4.56

Tabla 4.56. Resultados obtenidos para la caída de presión

Velocidad del vapor (u_h)	5,95	m/s
A_h/A_p	0,1	
t_p/d_h	1,2	
C_o	0,88	
Caída de presión plato seco (h_d)	24,21	mm líquido
Caída de presión residual del plato (h_r)	20,77	mm líquido
ΔP_{plato}	744,1	Pa
ΔP_{total}	12,65	kPa

Como ya se indicó antes, la alimentación entra en el sexto plato, por lo tanto, la sección inferior tiene 17 platos.

Al principio del diseño se asumió que la caída de presión por plato era de 100 mm líquido para calcular la presión en la base y sin embargo el valor obtenido difiere un poco (126,06 mm líquido) por lo que el cálculo se podría repetir con una estimación revisada pero el pequeño cambio en las propiedades físicas tendrá un efecto pequeño en el diseño del plato. Además la caída de presión es aceptable.

Retroceso ascendente de los bajantes del líquido

En la Tabla 4.57 se muestran los resultados obtenidos mediante las Ecuaciones 4.41, 4.42 y 4.43.

Tabla 4.57. Resultados obtenidos para el retroceso ascendente de los bajantes del líquido.

h_{ap}	40	mm
A_{ap}	0,036	m^2
A_d	0,179	m^2
A_m	0,036	m^2
h_{dc}	3,11	mm

El valor de h_{dc} se redondea a 4 mm y así se obtiene el siguiente retroceso ascendente en el bajante con la Ecuación 4.44.

$$h_b = 211,13 \text{ mm} = 0,21 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2}(h_w + l_t) = 0,25 \text{ m}$$

Como $h_b < \frac{1}{2}(h_w + l_t)$ (espaciado entre platos + altura del rebosadero), por ello el espaciado entre platos es aceptable.

En el diseño también es necesario comprobar el tiempo de residencia en el bajante, que se calcula:

$$t_r = \frac{A_d \cdot h_b \cdot \rho_l'}{L_{wd}} = 7,60 \text{ s}$$

Comprobación del arrastre

$$u_v = \frac{\text{caudal volumétrico max. vapor. base}}{A_n} = 0,45 \text{ m/s}$$

$$\text{Porcentaje inundación} = \frac{u_v}{u_{n, \text{base}}} = 0,811 = 81,1\%$$

Este porcentaje se asemeja al supuesto inicialmente. Con este nuevo porcentaje de inundación y el con el factor F_{LV} , *abajo* se comprueba en la Figura 4.19 que el factor de arrastre sea inferior a 0,1.

Como se puede observar en la Figura 4.19 el factor de arrastre es inferior a 0,1 para los datos tomados.

Distribución de los platos: zonas de templamiento, áreas sin perforar

A partir de la Figura 4.20 y con un valor de $l_w/D_c = 0,85$, se obtiene un valor de $\theta_c = 120^\circ$.

Resultados obtenidos:

- Ángulo subtendido por el borde del plato = $180 - \theta_c = 60^\circ$.
- Franja circular de 50 mm.
- Longitud promedio, franjas del borde no perforadas = $(D_c - \text{franja circular}) \cdot \pi \cdot 60/180 = 1,065 \text{ m}$
- Área de franjas del borde no perforadas = $\text{franja circular} \cdot 0,1065 = 0,053 \text{ m}^2$
- Longitud promedio de la zona de calma, aprox. = $l_w + \text{franja circular} = 0,957 \text{ m}^2$
- Área de las zonas de calma = $2 \cdot (0,957 \cdot \text{franja circular}) = 0,096 \text{ m}^2$
- Área total apta para la perforación = $A_a - 0,096 - 0,053 = 0,387 \text{ m}^2$
- $A_h/A_p = 0,054/0,387 = 0,138$

A partir de la Figura 4.21 se comprueba que el diseño es satisfactorio puesto que el valor de l_p/d_h obtenido se encuentra dentro de 2,5 a 4,0.

4.3.5.6. Diseño de la parte superior de la columna

Disposición de la circulación del líquido

La parte superior de la columna se diseña con un diámetro distinto a la parte inferior.

$$D_c = 609,6 \text{ mm} = 0,610 \text{ m}$$

Con este diámetro y con la velocidad volumétrica máxima de líquido se determina por medio de la Figura 4.15 el tipo de plato que se debe utilizar.

$$\text{velocidad volumétrica máxima de liquido} = \frac{L \cdot PM}{3600 \cdot \rho_l} = 4,09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

De nuevo, a partir de la tendencia que sigue la Figura 4.15 se entiende que se puede usar un plato de circulación cruzada de paso único. Para facilitar el diseño se escogen platos perforadora al igual que en la sección inferior.

Se utilizará el mismo método para diseñar la zona superior que el empleado en la zona inferior. Por lo tanto, únicamente se mostrarán los resultados ya que la explicación con las distintas ecuaciones y figuras ya se comentó en apartados anteriores.

Distribución de los platos de inicialización

Tabla 4.58. Resultados obtenidos para la distribución de los platos en la sección superior

Área total (A_c)	0,292	m^2
Área neta (A_n)	0,233	m^2
Área de la bajante (A_d)	0,058	m^2
Área activa (A_a)	0,175	m^2
Área de los agujeros (A_h)	0,018	m^2

Área perforada (A_p)	0,175	m^2
Diámetro orificios (d_h)	2,5	mm
Distancia entre orificios(l_p)	7,5	mm
Espesor del plato (t_p)	3	mm
Altura del rebosadero (h_w)	50	mm
Longitud del rebosadero (l_w)	0,518	m

Comprobación del caudal de lloriqueo

$$\text{Caudal máximo de líquido}(L_w, \text{máx}) = \frac{L \cdot PM}{3600} = 0,380 \text{ kg/s}$$

$$\text{Caudal mínimo de líquido}(L_w, \text{min}) = 0,7 \cdot L_w, \text{máx} = 0,266 \text{ kg/s}$$

$$\text{Máximo } h_{ow} = 1000 \left(\frac{L_w, \text{máx}}{\rho_l l_w} \right)^{2/3} = 8,5 \text{ mm líquido}$$

$$\text{Mínimo } h_{ow} = 1000 \left(\frac{L_w, \text{min}}{\rho_l l_w} \right)^{2/3} = 6,7 \text{ mm líquido}$$

$$h_{ow} + h_w = 56,7 \text{ mm}$$

En la Figura 4.17 se puede leer el siguiente valor:

$$K_2 = 30$$

$$u_h, \text{min} = 3,76 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{veloc. del vapor mínima real} &= \frac{0,7 \cdot \text{caudal volumétrico máximo de vapor}}{A_h} \\ &= 9,79 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Se puede observar que la velocidad está por encima del punto de lloriqueo.

Comprobación de la caída de presión

Tabla 4.59. Resultados obtenidos para la caída de presión en la sección superior

Velocidad del vapor (u_h)	13,98	m/s
A_h/A_p	0,1	
t_p/d_h	1,2	
C_o	0,84	
Caída de presión plato seco (h_d)	34,78	mm líquido
Caída de presión residual del plato (h_r)	13,47	mm líquido
ΔP_{plato}	972,4	Pa
ΔP_{total}	5,83	kPa

El cálculo se podría repetir con una estimación revisada ya que el valor obtenido de la caída de presión por plato (106,79 mm líquido) difiere del valor asumido de 100 mm para calcular la presión en la base. Pero el pequeño cambio en las propiedades físicas tendrá un efecto despreciable en el diseño del plato. Además la caída de presión es aceptable.

Retroceso ascendente de los bajantes del líquido

Tabla 4.60. Resultados obtenidos para el retroceso ascendente de los bajantes del líquido en la parte superior.

h_{ap}	40	mm
A_{ap}	0,021	m^2
A_d	0,058	m^2

A_m	0,021	m^2
h_{dc}	0,065	mm

El valor de h_{dc} se redondea a 0,1 mm y así se obtiene el siguiente retroceso ascendente en el bajante:

$$h_b = 165,43 \text{ mm} = 0,17 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2}(h_w + l_t) = 0,25 \text{ m}$$

Como $h_b < \frac{1}{2}$ (espaciado entre platos + altura del rebosadero), por ello el espaciado entre platos es aceptable.

En el diseño también es necesario comprobar el tiempo de residencia en el bajante, que se calcula:

$$t_r = \frac{A_d \cdot h_b \cdot \rho_l'}{L_{wd}} = 23,62 \text{ s}$$

Comprobación del arrastre

$$u_v = \frac{\text{caudal volumétrico max. vapor. base}}{A_n} = 1,05 \text{ m/s}$$

$$\text{Porcentaje inundación} = \frac{u_v}{u_{n, \text{base}}} = 0,578 = 57,8\%$$

El motivo de que este porcentaje sea tan bajo se debe a que el diámetro escogido es superior al realmente requerido en esta sección. Sin embargo cuando se comprueba en la Figura 4.19 el factor de arrastre este todavía es inferior a 0,1, por lo que el diseño es satisfactorio.

Distribución de los platos: zonas de templamiento, áreas sin perforar

A partir de la Figura 4.20 y con un valor de $l_w/D_c = 0,85$, se obtiene un valor de $\theta_c = 120^\circ \text{C}$.

Resultados obtenidos:

- Ángulo subtendido por el borde del plato= $180-\theta_c = 60^\circ$.
- Franja circular de 50 mm.
- Longitud promedio, franjas del borde no perforadas= $(D_c - \text{franja circular}) \cdot \pi \cdot 60/180 = 0,781 \text{ m}$
- Área de franjas del borde no perforadas= $\text{franja circular} \cdot 0,781 = 0,039 \text{ m}^2$
- Longitud promedio de la zona de calma, aprox.= $l_w + \text{franja circular} = 0,568 \text{ m}^2$
- Área de las zonas de calma= $2 \cdot (0,568 \cdot \text{franja circular}) = 0,057 \text{ m}^2$
- Área total apta para la perforación= $A_a - 0,057 - 0,039 = 0,079 \text{ m}^2$
- $A_h/A_p = 0,221$

A partir de la Figura 4.21 se comprueba que el diseño es satisfactorio puesto que el valor de l_p/d_h obtenido se encuentra dentro de 2,5 a 4,0.

4.4. Estudio impacto ambiental de la T-202

4.4.1. Impacto sobre el medio y biológico

El primer aspecto es prácticamente insignificante, ya que su efecto sobre el sistema local de los vientos es nulo y su efecto sobre el clima en general también. Por lo tanto, el impacto climático de la torre, tanto en la fase de construcción como en la fase de operación normal de la columna se puede considerar no significativo. El impacto sobre el medio biológico también se puede considerar como nulo, debido a que el sitio estará acondicionado previamente y carecerá de vegetación o fauna que pudiera ser perjudicada en la fase de construcción u operación de la columna.

4.4.2. Contaminación atmosférica

La calidad del aire durante la fase de construcción de la torre puede verse afectada debido a varios efectos. Entre ellos destacan los productos de la combustión de los combustibles fósiles empleados por la maquinaria necesaria para la construcción de la torre. El polvo y las partículas que se pueden desprender en el proceso de ensamblaje y elevación de la torre también puede resultar significativo. Durante la fase de operación

normal de la columna la calidad del aire no se verá afectada debido a que no se prevén fugas o emisiones de contaminantes al medio ambiente. A pesar de que la columna cuenta con un sistema de control destinado a evitar emisiones de compuestos indeseados, en caso de accidente o de funcionamiento anómalo de la columna, podrán producirse fugas de drying oil o ácido palmítico, aunque la probabilidad es baja. Por lo tanto, se puede concluir que, con respecto a la calidad del aire, el impacto ambiental de la torre T-202 durante su fase de construcción es leve; durante la fase de explotación regular es nula y que, en caso de producirse un accidente, el impacto ambiental será moderado debido a las características de peligrosidad que poseen estos compuestos y que están detalladas en las Fichas de Seguridad Química.

4.4.3. Contaminación de las aguas y del subsuelo

Con respecto al valor geológico del lugar de emplazamiento de la torre, el impacto ambiental sobre este aspecto es nulo, debido a que la torre se encontrará asentada sobre hormigón y no causará ningún efecto nocivo en los depósitos geológicos de la zona.

Durante la fase de construcción de la torre, es probable que se produzcan aguas residuales debido a las operaciones típicas llevadas a cabo en esta fase (acondicionamiento del terreno, lavado del equipo, aguas domésticas procedentes de los operarios encargados de realizar la obra...). Sin embargo, durante el funcionamiento de la columna, el impacto ambiental de la misma sobre la calidad de las aguas de proceso será nulo debido a que la columna no necesita este componente para su operación. Únicamente este efecto será notable en el condensador y el reboiler asociados a la torre.. En caso de vertido de alguno de los componentes empleados en la columna, esto podrá afectar a las aguas freáticas que discurren por debajo de la instalación, alterando su composición.

4.4.4. Contaminación acústica

Se ha de mantener un nivel acústico en todos los equipos de menos de 80 dB. En el caso de la columna, esta restricción se cumple correctamente debido a que no existen ruidos claramente nocivos. La única fuente de ruido estará asociada a la circulación del líquido y el vapor en el interior de la columna, y este se ve atenuado por las emisiones acústicas de otros equipos más ruidosos como pueden ser las bombas o el reboiler asociados a la torre.

4.4.5. Vibraciones

Debido a que la presión de operación de la columna es prácticamente la atmosférica, no se producirán vibraciones durante el funcionamiento regular de la misma. Sin embargo hay que tener en cuenta las vibraciones asociadas a otros equipos que se encuentran próximos a la torre, como pueden las bombas que impulsan los fluidos de colas y de destilado.

4.4.6. Impacto visual

El impacto visual de la torre T-202 es insignificante, en términos de impacto ambiental, debido a que la columna va a formar una parte de toda una planta de producción. En este caso el análisis del impacto visual deberá realizarse a la planta en conjunto y no a una unidad en particular.

4.5. Estudio de seguridad y salud de la columna T-202

4.5.1. Peligros asociados a los compuestos

Algunos de los peligros causados por los compuestos químicos son debidos a su toxicidad, inflamabilidad y reactividad. Muchos de los compuestos usados habitualmente en la industria química son tóxicos. El peligro dependerá sobre todo de la toxicidad propia del compuesto y la frecuencia y duración de la exposición. En principio los compuesto empleados en la columna de destilación T-202 (palmítico y drying oil) no son excesivamente tóxicos.

La inflamabilidad mide la facilidad con la cual los compuestos pueden arder. El peligro causado por los compuestos inflamables depende de diversos factores:

- Punto de inflamación del material.
- La temperatura de autoignición del material.
- Los límites de inflamabilidad del material.
- Energía liberada en la combustión.

En el caso de estudio, ambos compuestos no son muy inflamable, aun así es importante evitar las llamas.

Otro peligro importante es la reactividad de los compuestos, ya que algunos de ellos pueden descomponerse de manera natural y reaccionar con otros compuestos llegando a ser explosivos en determinadas condiciones. El ácido palmítico es un ácido débil que reacciona con las bases, oxidantes y agentes reductores. Mientras que el 1-tetradeceno reacciona principalmente con oxidantes fuertes y ataca al caucho.

4.5.2. Peligros asociados a las condiciones de operación

Además de los peligros asociados a las características de los compuestos, existen otros peligros importantes relativos a las condiciones de operación, como los asociados a la presión y a la temperatura.

Una presión que exceda la presión de diseño es uno de los peligros más serios en la operación de una planta química. Si esta presión supera la presión admisible del recipiente, incluso superando el margen de seguridad, es muy posible que ocurra un fallo en el recipiente y cedan las uniones y las bridas, provocando una posible reacción en cadena que acabaría en desastre. En principio, a pesar de que la columna de destilación trabaja a una presión cercana a la atmosférica, se requiere de empleo de controladores de presión.

Por otra parte, las desviaciones en la temperatura puede producir un aumento excesivo de la misma, provocando daños en el equipo. Las altas temperaturas pueden producir la pérdida del control en reactores o intercambiadores de calor. En la torre es importante controlar la temperatura de operación empleando lazos de control.

Otro factor derivado de las condiciones de operación es el ruido, ya que la larga exposición a altos niveles de ruido puede causar daños auditivos, además de distracción y fatiga. Aun así, como se explicó en el estudio de impacto ambiental, en la columna no existen ruidos claramente nocivos.

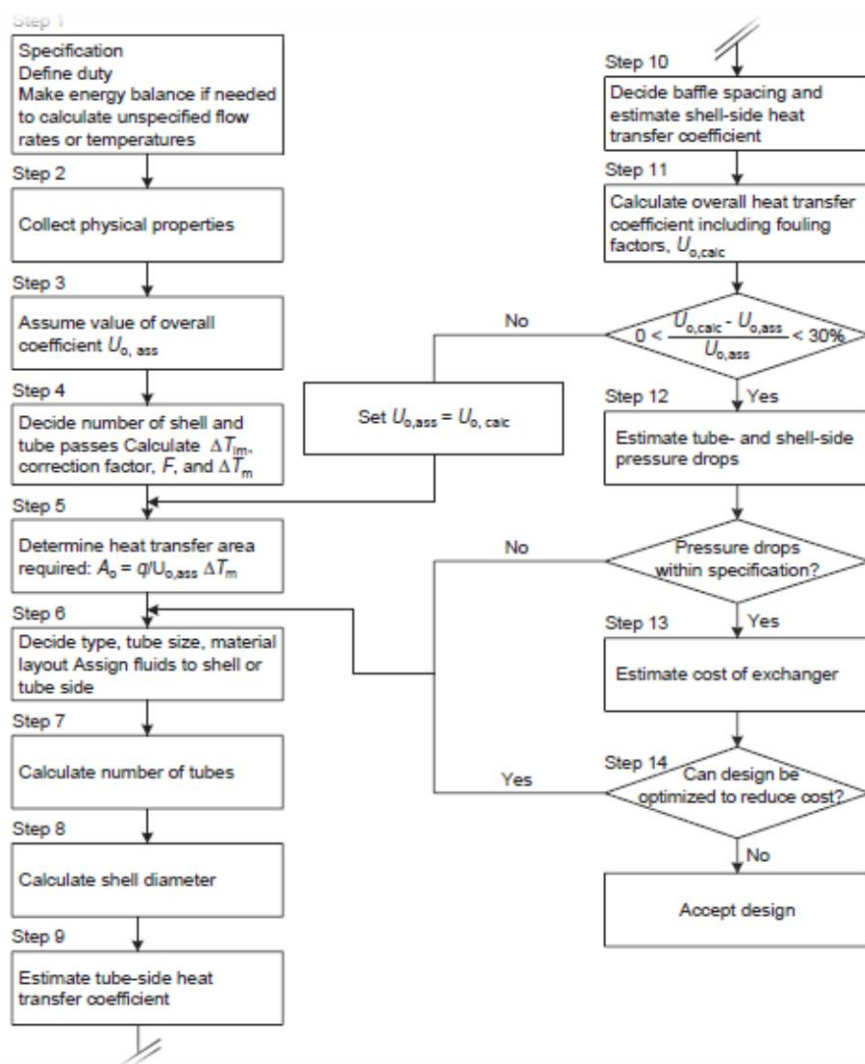
La pérdida del contenido en las unidades es otro factor derivado de las condiciones de operación, aunque está más relacionado con un pobre mantenimiento, y en muchas ocasiones puede servir de indicador para problemas mayores. El impacto de estas pérdidas es alto, por lo que se deben de tomar las medidas necesarias para su mitigación. Para este caso, no debería existir problemas de pérdidas de contenido, siempre y cuando el mantenimiento de la unidad sea el correcto.

5. Diseño intercambiadores E-202 E-203, E-204, E-205 y E-206

5.1. Introducción

Todos estos intercambiadores tienen en común que utilizan como fluido de servicio agua de río para enfriar una corriente de proceso, excepto el E-202 que utiliza vapor de media presión.

Para su diseño térmico todos siguen los pasos mostrados en el Esquema 5.1 y emplean las mismas ecuaciones. De tal forma que, se explica en profundidad el diseño del E-203 mientras que los resultados del resto de intercambiadores se esquematizan mediante tablas para no hacer demasiado repetitivo el procedimiento de cálculo.



Esquema 5.1: Etapas para el diseño de un intercambiador de calor (Fuente: Sinnot. R, Towler, G. "Chemical Engineering Design". Elsevier. 2008. Londres)

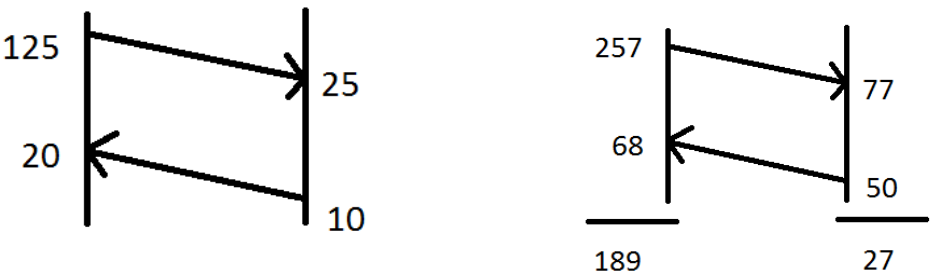
En la Tabla 5.1 se muestran los objetivos de los distintos intercambiadores.

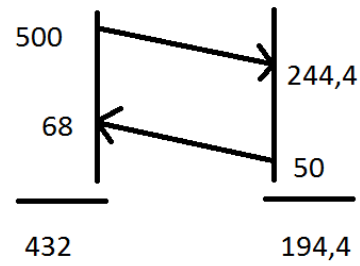
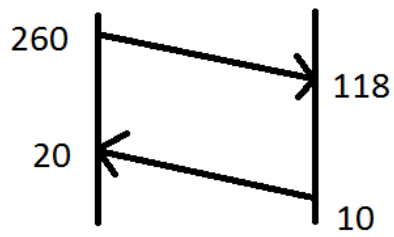
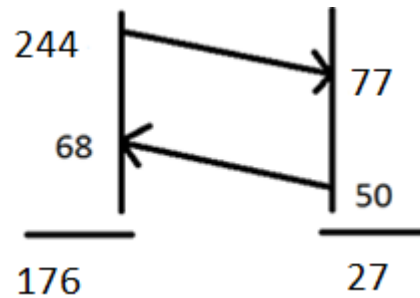
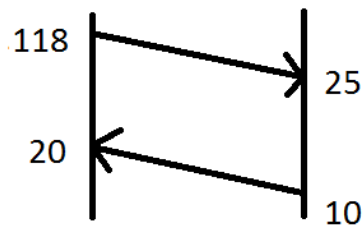
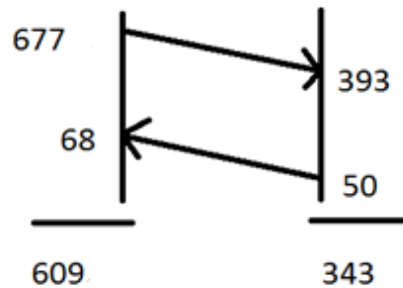
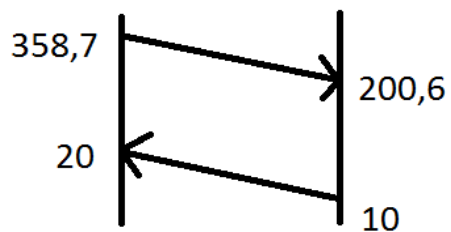
Tabla 5.1. Objetivos de los distintos intercambiadores de calor

Objetivos	
E-202	Calentar la alimentación a la T-201 hasta la temperatura de burbuja.
E-203	Enfriar la corriente de destilado de la T-201 hasta la temperatura de almacenamiento.
E-204	Enfriar la corriente de destilado de la T-202 hasta una temperatura de 118 °C.
E-205	Enfriar la corriente de salida del E-204 hasta la temperatura de almacenamiento.
E-206	Enfriar la corriente de colas de la T-202 hasta una temperatura óptima para su recirculación a la Sección I de la Planta.

A continuación se muestran los perfiles de temperatura de cada intercambiador, donde los perfiles de la izquierda están en grados centígrados mientras que los de la derecha están en grados Fahrenheit. En estos últimos se muestra además la diferencia de temperatura en los extremos.

E-203



E-204**E-205****E-206**

Los perfiles de temperatura permiten comprobar si los intercambiadores cumplen la heurística que determina que debe existir un ΔT_{min} de:

- 10°F o menos para temperaturas por debajo del ambiente.
- 20°F para temperaturas por encima del ambiente hasta 300°F.

- 50°F para temperaturas altas.

Como se puede observar en los perfiles establecidos, todos los intercambiadores cumplen la heurística.

En todos los diseños se aplica un sobredimensionamiento del 25 % sobre el caudal másico del fluido de proceso, menos en el diseño del E-202 ya que trabaja con caudales superiores al resto.

5.2. Diseño térmico de los intercambiadores

Se explicarán detalladamente los cálculos del E-203. El resto de intercambiadores se diseñaron con el mismo procedimiento y se resumirán los datos más importantes en tablas como se mencionó anteriormente.

5.2.1. Etapa 1 y 2: Recogida de propiedades y balance de energía

Las propiedades físicas se recogen del simulador de procesos HYSYS, tanto para la corriente de proceso como para la corriente del fluido de servicio. Estas se recogen en las condiciones de entrada (temperatura y presión) y en las condiciones de salida (suponiendo una cierta caída de presión). Además también se anotan las propiedades a la temperatura media entre la entrada y la salida. Las propiedades se pueden observar en las Tablas 5.2 y 5.3.

Tabla 5.2. Resumen de las propiedades físicas de la corriente de proceso

Propiedades	Temperatura		
	125°C	75°C	25°C
Densidad(kg/m ³)	935,2	997,6	1060
Cp (kJ/kmol·°C)	104,3	97,63	90,96
Viscosidad(centipoise)	0,350	0,737	1,124
Conductividad(W/m·K)	0,140	0,157	0,174

Tabla 5.3. Resumen de las propiedades físicas de la corriente de fluido de servicio

Propiedades	Temperatura		
	10°C	15°C	20°C
Densidad(kg/m ³)	1019	1015	1011
C _p (kJ/kmol·°C)	77,79	77,76	77,72
Viscosidad(centipoise)	1,300	1,151	1,002
Conductividad(W/m·K)	0,587	0,595	0,603

Una vez conocido el tipo de fluido de servicio que se emplea y de haber comprobado que el perfil de temperaturas cumple las heurísticas, se procede a calcular el caudal de fluido de servicio y el calor intercambiado.

Para el cálculo de la potencia calorífica necesaria para enfriar la corriente de proceso se emplea la Ecuación 5.1.

$$Q_{total} = m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T = Q_{cedido} \quad [5.1]$$

Donde :

- m es el flujo másico de la corriente de proceso
- C_p es la capacidad calorífica media entre la entrada y salida para la corriente de proceso
- ΔT es la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida de la corriente de proceso

La corriente de proceso tiene un caudal másico de 648,61 kg/h aplicando un sobredimensionamiento del 25%. La composición de dicha corriente se puede ver en la Tabla 5.4:

Tabla 5.4: Composición de la corriente de proceso

Componente	Fracción
Ácido acético	0,99
DO	0,01

Como se puede observar en la Tabla 5.4 el ácido acético forma aproximadamente el 99% de la mezcla, por lo que en el diseño se tendrá en cuenta tan solo la presencia de este compuesto.

Hay que aclarar que para el diseño de los intercambiadores E-204 y E-205 únicamente se tiene en cuenta el drying oil mientras que en el diseño del E-206 sólo se tiene en cuenta el ácido palmítico. El motivo de esto, es que son los componentes en mayor porcentaje, en todos los casos su porcentaje molar en ellos es próximo al 99%.

El caudal molar de la corriente de proceso con el sobredimensionamiento es de:

$$648,61 \frac{kg}{h} \times \frac{kmol}{60,05 kg} = 10,463 kmol/h$$

Sustituyendo en la Ecuación 5.1:

$$Q_{cedido} = 10,463 \frac{kmol}{h} \cdot \frac{97,63 kJ}{kmol \text{ } ^\circ C} \cdot (125 - 25)^\circ C = 28,38 kW$$

Se supone que no hay pérdidas de energía por lo que:

$$Q_{absorbido} = Q_{cedido} \quad [5.2]$$

Conocido el $Q_{absorbido}$ se puede calcular el caudal del fluido de servicio necesario por medio de la Ecuación 5.3.

$$Q_{absorbido} = m \cdot \overline{C_P} \cdot \Delta T \quad [5.3]$$

Donde:

- m es el flujo másico de agua de río

- C_p es la capacidad calorífica media entre la entrada y salida para el agua de río
- ΔT es la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida para el agua de río

Sustituyendo en la Ecuación 5.3:

$$\text{flujo de agua de río} = \frac{28,38 \text{ kW}}{77,76 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}^\circ\text{C}} \times (20 - 10)^\circ\text{C}} = 0,04 \text{ kmol/s}$$

$$\text{flujo de agua de río} = \frac{0,04 \text{ kmol}}{\text{s}} \times \frac{18 \text{ kg}}{\text{kmol}} = 0,66 \text{ kg/s}$$

5.2.2. Etapa 3: Coeficiente global de transmisión de calor

Tabla 5.5: Valores del coeficiente global de transmisión de calor (Fuente: Sinnot. R,Towler,G."Chemical Engineering Design". Elsevier. 2008. Londres)

Shell and Tube Exchangers		
Hot Fluid	Cold Fluid	U (W/m²°C)
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800–1500
Organic solvents	Organic solvents	100–300
Light oils	Light oils	100–400
Heavy oils	Heavy oils	50–300
Gases	Gases	10–50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250–750
Light oils	Water	350–900
Heavy oils	Water	60–300
Gases	Water	20–300
Organic solvents	Brine	150–500
Water	Brine	600–1200
Gases	Brine	15–250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500–4000
Steam	Organic solvents	500–1000
Steam	Light oils	300–900
Steam	Heavy oils	60–450
Steam	Gases	30–300
Dowtherm	Heavy oils	50–300
Dowtherm	Gases	20–200
Flue gases	Steam	30–100
Flue	Hydrocarbon vapors	30–100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapors	Water	1000–1500
Organic vapors	Water	700–1000
Organics (some noncondensables)	Water	500–700
Vacuum condensers	Water	200–500
<i>Vaporizers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000–1500
Steam	Light organics	900–1200
Steam	Heavy organics	600–900
Air-cooled Exchangers		
Process Fluid	U (W/m²°C)	
Water	300–450	
Light organics	300–700	
Heavy organics	50–150	
Gases, 5–10 bar	50–100	
10–30 bar	100–300	
Condensing hydrocarbons	300–600	

Como se enfría ácido acético con agua de río se escoge un coeficiente global de intercambio de calor entre los dos valores indicados en la Tabla 5.5 para la combinación disolvente orgánico-agua. En este caso, se seleccionó el valor medio de dicho intervalo, 500 W/m² °C.

$$U = 500 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

5.2.3. Etapa 4: Tipo y dimensiones del intercambiador

Se toma una disposición con un número de tubos par, ya que esto simplifica el sistema de tuberías debido a que las boquillas de entrada y de salida se sitúan en el mismo extremo del intercambiador. Se toma un paso por carcasa y dos por tubos.

Se calcula la diferencia de temperatura medida logarítmica mediante la Ecuación 5.4:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left(\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)} \right)} \quad [5.4]$$

Donde:

- T_1 es la temperatura del fluido caliente, entrada
- T_2 es la temperatura del fluido caliente, salida
- t_1 es la temperatura del fluido frío, entrada
- t_2 es la temperatura del fluido frío, salida

Sustituyendo en la Ecuación 5.4 se obtiene el siguiente valor:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(125 - 20) - (25 - 10)}{\ln \left(\frac{125 - 20}{25 - 10} \right)} = 46,25^\circ\text{C}$$

El factor de corrección de temperatura (F_t) normalmente se le correlaciona como función de dos relaciones adimensionales de temperaturas que vienen dadas por las Ecuaciones 5.5 y 5.6.

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad [5.5]$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad [5.6]$$

Sustituyendo en las Ecuaciones 5.5 y 5.6 se obtienen los siguientes resultados:

$$R = \frac{125 - 25}{20 - 10} = 10$$

$$S = \frac{20 - 10}{150 - 10} = 0,087$$

Con estas relaciones adimensionales y conociendo los pasos por carcasa y por tubos se puede obtener el valor de F_t a través de la Figura 5.1:

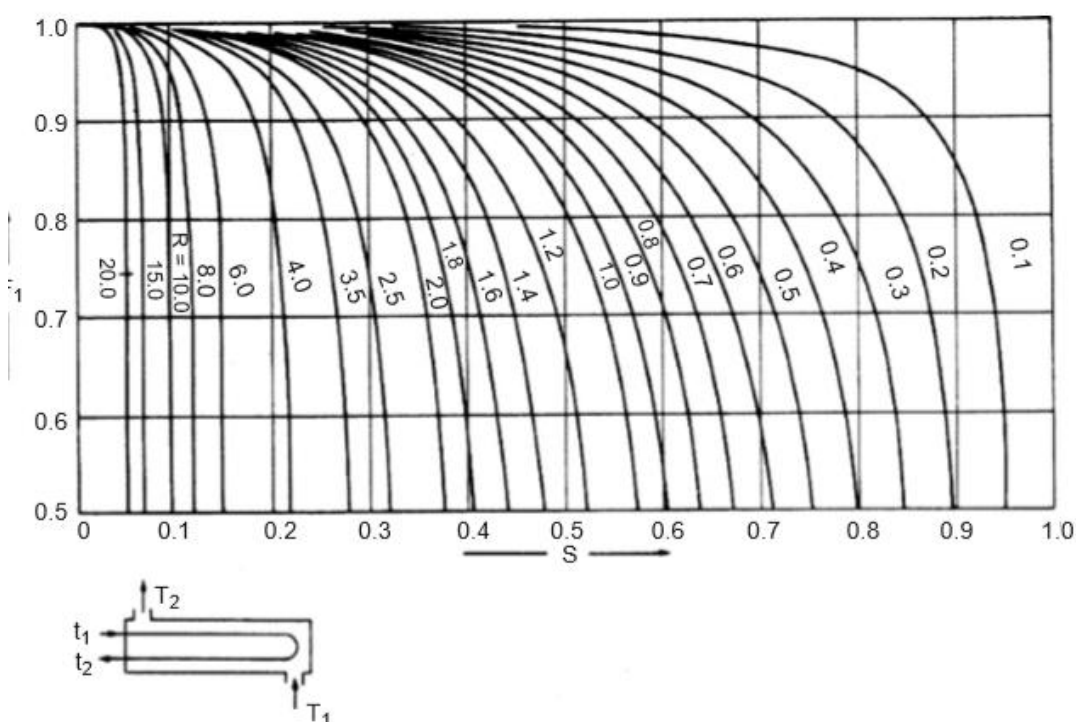


Figura 5.1: Factor de corrección de la temperatura: un paso de carcasa, dos o más pasos pares por tubo.
Fuente: Sinnot.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

$$F_t = 0,95$$

Por lo tanto:

$$\Delta T_m = 0,95 \times 46,25 = 43,94^\circ\text{C}$$

5.2.4. Etapa 5: Área de transferencia de calor

Para el cálculo del área de transferencia de calor se emplea la Ecuación 5.7.

$$Q_{total} = UA\Delta T_m \Rightarrow A = \frac{Q_{total}}{U\Delta T_m} \quad [5.7]$$

Sustituyendo en la anterior ecuación:

$$A_{intercambio} = \frac{28,38 \text{ kW}}{0,5 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{°C}} \times 43,94^\circ\text{C}} = 1,37 \text{ m}^2$$

5.2.5. Etapa 6: Distribución y tamaño de los tubos

El fluido de proceso contiene principalmente ácido acético, como ya se explicó anteriormente, es especialmente corrosivo. Esta característica debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar el tipo de intercambiador y otras decisiones en el diseño.

Los factores de ensuciamiento tanto para el fluido de proceso como para el fluido de servicio se obtienen a partir de la Tabla 5.6.

Fluid	Coefficient (W/m ² °C)	Factor (resistance) (m ² °C/W)
River water	3000–12,000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Towns' water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Towns' water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	2000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapors	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002

Tabla 5.6: Coeficientes de ensuciamiento para distintos fluidos (Fuente: *Sinnot, R, Towler, G. "Chemical Engineering Design". Elsevier. 2008. Londres*)

$$\text{Coeficiente}_{\text{fluido de servicio}} = h_{\text{incr, tubos}} = 3000 \frac{W}{m^2 \text{°C}}$$

$$\text{Coeficiente}_{\text{fluido de proceso}} = h_{\text{incr, carcasa}} = 5000 m^2 \frac{W}{m^2 \text{°C}}$$

La corriente de proceso no tiene un coeficiente de suciedad especialmente alto.

Para la selección del fluido a circular por carcasa y por tubos se utilizarán los siguientes criterios:

- **Corrosión:** el fluido de proceso contiene ácido acético que es corrosivo, por lo que debería asignarse esta corriente a los tubos, ya que esto reducirá el coste de aleaciones caras o componentes con revestimiento.
- **Ensuciamiento:** el agua de río es más sucio por lo que debería colocarse en los tubos. Esto se debe a que la velocidad en los tubos se controla mejor y utilizar una mayor velocidad reduce el ensuciamiento. Además es importante el hecho de que los tubos son más fáciles de limpiar que la carcasa.

- **Temperatura de los fluidos:** el fluido de proceso se encuentra a mayor temperatura y debería colocarse en los tubos para así evitar mayores temperaturas en la carcasa aumentando el coste del aislante. Con esto también se mejora la seguridad de la unidad.
- **Presión de operación:** el agua de río tiene una presión mayor por lo que debería ir por el lado de los tubos ya que los tubos para altas presiones son más baratos que una carcasa para alta presiones.
- **Caída de presión:** aún se desconoce por lo que no se considera un factor determinante para la asignación de los fluidos.
- **Caudales de las corrientes:** el caudal de agua de río es mayor, por lo que debería asignarse al lado de los tubos.

Teniendo en cuenta que no hay ningún factor más determinante que otro, se realiza una asignación para saber en qué disposición los fluidos satisfacen el mayor número de los criterios mencionados anteriormente. Esta asignación determina que el fluido de servicio circula por los tubos y el fluido de proceso por la carcasa.

El material seleccionado para la carcasa es acero inoxidable, ya que el fluido de proceso es corrosivo, mientras que el material para los tubos es acero al carbono.

Se escoge el tipo de intercambiador BEM, diseño de placa de tubos fijados, al ser el más sencillo y económico. Como principal desventaja se encuentra que no se puede desmontar el haz de tubos para su limpieza. En este caso no se considera un gran problema, ya que ninguno de los fluidos es especialmente sucio y las limpiezas periódicas durante la parada de la planta son suficientes. Como se trabaja a diferencias de temperaturas mayores de 80 °C es necesario incluir un bucle en la carcasa en este tipo de intercambiador para tener en cuenta la dilatación diferencial.

Para el resto de intercambiadores también se utilizará este tipo un bucle en carcasa, ya que en todos hay diferencias de temperatura mayores a 80 °C.

La disposición de los tubos más común es la de triángulo equilátero, PITCH triangular. Las disposiciones de cuadrado o cuadrado rotado se utilizan en casos de que haya incrustaciones y sea necesaria la limpieza, como no es el caso se utilizará un PITCH triangular.

Las dimensiones de los tubos se escogen teniendo en cuenta que la velocidad en los tubos y en la carcasa, así como las caídas de presión, tienen que estar dentro de unos determinados valores.

5.2.6. Etapa 7: Número de tubos

Para la selección del diámetro externo de los tubos así como de su espesor se recurre a los catálogos comerciales.

Hay que tener en cuenta que según los estándares de diseño TEMA los diámetros de tubo menores, entre 16 y 25 mm, son los que permiten un intercambiador más compacto y por tanto más económico. Los tubos de mayor diámetro se utilizan cuando los fluidos producen incrustaciones. Por tanto se seleccionarán tubos comerciales de diámetro pequeño, entre 16 y 25mm.

Conociendo el espesor y el diámetro externo se calcula el diámetro interno del tubo por medio de la Ecuación 5.8.

$$d_{int} = d_{ext} - 2e \quad [5.8]$$

Una vez determinado el diámetro es necesario seleccionar una longitud de los tubos. Los valores más utilizados están entre 1,83 y 7,32 m. Los tubos de mayor longitud permiten reducir el diámetro de la carcasa para una misma superficie, que normalmente supone unos menores costes, pero provoca un aumento de la caída de presión. La relación entre la longitud y el diámetro de la carcasa es recomendable que sea entre 5 y 10.

Es necesario seleccionar un diámetro externo, un espesor y una longitud de los tubos que cumplan con los requisitos de velocidades y caídas de presión.

Para el cálculo del número de tubos se emplean las Ecuaciones 5.9 y 5.10.

$$A_{tubo} = \pi d_{ext} L \quad [5.9]$$

$$N_{tubos} = \frac{A_{total}}{A_{tubo}} \quad [5.10]$$

Una vez conocido el número de tubos se puede calcular la velocidad en los tubos por medio de las Ecuaciones 11,12 y 13. Esta debe estar entre 1,5 y 2,5 m/s, ya que se considera que por los tubos está circulando un líquido.

$$A_{trans} = \frac{\pi d_{int}^2}{4} \quad [5.11]$$

$$A_{paso} = \frac{tubos}{paso} A_{trans} \quad [5.12]$$

$$u_{tubos} = \frac{Caudal\ volumétrico}{A_{paso}} \quad [5.13]$$

También es necesario calcular el PITCH, para el que se emplea la Ecuación 5.14.

$$p_t = 1,25 d_{ext} \quad [5.14]$$

Tras varias iteraciones se llegó a los siguientes resultados:

Tabla 5.7: Resumen de las características de los tubos

Diámetro externo	13,7	mm
Espesor	3	mm
Diámetro interno	7,70	mm
Longitud	1,83	m
Pitch	17,13	mm
Número de pasos por tubo	2	

A partir de las características de los tubos de la Tabla 5.7, se obtienen los siguientes resultados resumidos en la Tabla 5.8:

Tabla 5.8: Resumen de la iteración para los tubos

Área de un tubo	0,08	m ²
Nº de tubos	17,44	tubos
	18	tubos
Tubos por paso	9	Tubos/paso
Área transversal	5×10^{-5}	m ²
Área por paso	4×10^{-4}	m ²
Caudal vapor	6×10^{-4}	m ³ /s
Velocidad	1,54	m/s

La velocidad en los tubos se encuentra dentro de los valores aconsejados por lo que se puede continuar con el diseño.

5.2.7. Etapa 8: Diámetro de la carcasa y el haz

Primero se calculará el diámetro del haz por medio de la Ecuación 5.15.

$$D_{haz} = d_{ext} \left(\frac{N_{tubos}}{k} \right)^{1/n} \quad [5.15]$$

Los valores de n y k se obtienen de la Tabla 5.9, con el número de pasos por tubos y el PITCH seleccionados.

Tabla 5.9: Valores de K y n en función del Pitch. (Fuente: Sinnot, R, Towler, G. "Chemical Engineering Design". Elsevier. 2008. Londres)

Triangular Pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
$>n_1$	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square Pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
n_1	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Sustituyendo en la Ecuación 5.15:

$$D_{haz} = 13,7 \left(\frac{18}{0,249} \right)^{1/2,207} = 95,30 \text{ mm}$$

Para el cálculo del diámetro de la carcasa es necesario conocer la holgura, espacio entre el haz y la carcasa. La holgura se obtiene mediante la Figura 5.2 y depende del tipo de intercambiador seleccionado y del diámetro del haz.

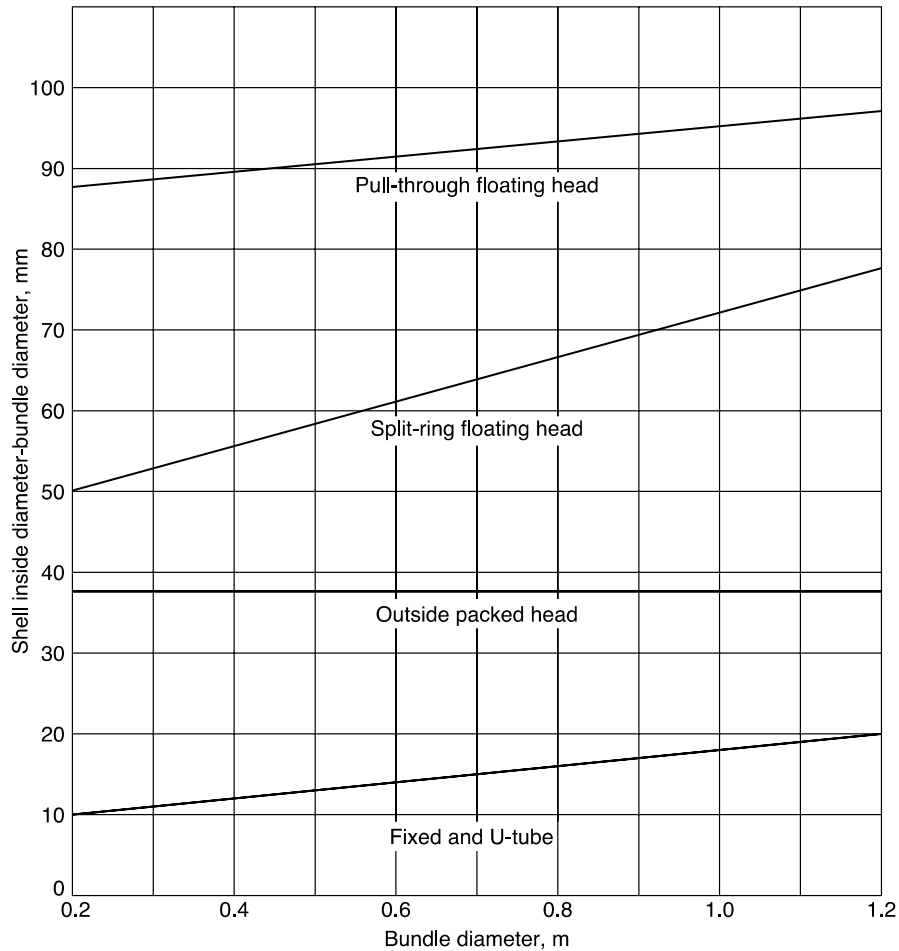


Figura 5.2: Holgura en función del diámetro del haz (Fuente: Sinnot. R, Towler, G. "Chemical Engineering Design". Elsevier. 2008. Londres)

El valor del diámetro del haz obtenido está fuera del intervalo de la Figura 5.2 pero al realizar una interpolación se obtiene el siguiente valor:

$$\text{Holgura} = 5 \text{ mm}$$

Para el cálculo del diámetro de carcasa (D_S) se emplea la Ecuación 5.16.:

$$D_S = D_{\text{haz}} + \text{holgura} \quad [5.16]$$

$$D_S = D_{\text{haz}} + \text{holgura} = 100,30 \text{ mm}$$

La relación entre la longitud y el diámetro de carcasa es recomendable que este entre 5 y 10. La relación obtenida es 18,25. Sin embargo este es un parámetro orientativo y aunque su valor se aleje un poco del rango óptimo no es necesario parar el diseño en esta etapa.

5.2.8. Etapa 9: Coeficiente de transferencia de calor del lado de los tubos

Como por el interior de los tubos circula agua se puede usar la Ecuación 5.17, que fue desarrollada específicamente para las propiedades del agua.

$$h_i = \frac{4200(1,35 + 0,02 \cdot \bar{t})u_{tubos}^{0,8}}{d_{int}^{0,2}} \quad [5.17]$$

Donde:

- $\bar{t}$ es la temperatura media del agua, °C
- h_i es el coeficiente interior para el agua, $W/m^2°C$
- d_{int} expresado en mm
- u_{tubos} expresada en m/s

Primero se calcula la temperatura media del agua:

$$\bar{t} = \frac{10 + 20}{2} = 15,00°C$$

Sustituyendo en la Ecuación 5.17:

$$h_i = \frac{4200(1,35 + 0,02 \cdot \bar{t})1,54^{0,8}}{7,7}$$

$$h_i = 4955,86 \text{ W/m}^2°C$$

5.2.9. Etapa 10: Coeficiente de transferencia de calor del lado de la carcasa

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor en el lado de la carcasa se utiliza el método de Kern.

Como primer valor de prueba se toma el espacio del deflector (l_B) como la quinta parte del diámetro de la carcasa.

Este espacio dará una buena transferencia de calor sin una caída de presión demasiado elevada.

A continuación se calcula A_s a partir de la Ecuación 5.18:

$$A_s = \frac{(p_t - d_{\text{externo}})D_S \cdot l_B}{p_t} \quad [5.18]$$

Antes de continuar con los cálculos se comprueba la velocidad lineal del fluido que circula por la carcasa con la Ecuación 20. Al tratarse de un fluido en estado líquido su velocidad debe encontrarse entre 0,3 y 1 m/s. Pero antes es preciso calcular la velocidad másica del lado de carcasa (G_s), para la cual se emplea la Ecuación 5.19.

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} \quad [5.19]$$

Donde

- W_s es el caudal másico del fluido en el lado de carcasa

$$u_s = \frac{G_s}{\rho} \quad [5.20]$$

Donde:

- ρ es la densidad media del fluido en el lado de carcasa

Al tener una disposición distancia entre centros en triángulo equilátero se emplea la Ecuación 5.21 para el cálculo del diámetro equivalente.

$$d_e = \frac{1,10}{d_{externo}} (p_t^2 - 0,917 \cdot d_{externo}^2) \quad [5.21]$$

Para el cálculo del factor j_h debe conocerse el número de Reynolds del lado de carcasa que se calcula por medio de la Ecuación 5.22.

$$Re = \frac{\rho \cdot \mu_s \cdot d_e}{\mu} \quad [5.22]$$

Donde:

- ρ es la densidad del fluido que circula por carcasa a la temperatura media entre la entrada y la salida
- μ es la viscosidad del fluido que circula por carcasa a la temperatura media entre la entrada y la salida

Conocido el número de Reynolds y tomando unos deflectores segmentados con un corte del 45% se puede leer en la Figura 5.3 el valor del factor j_h .

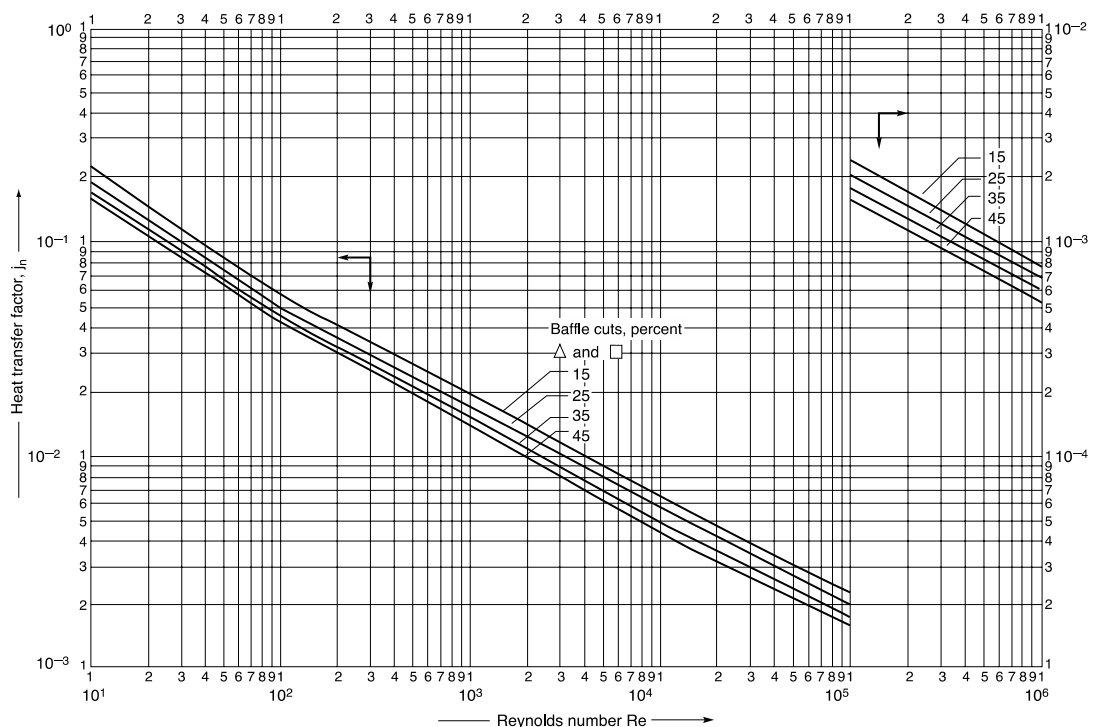


Figura 5.3: Factores de transferencia de calor del lado de la carcasa. Fuente: Sinnot.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor es necesario calcular antes el número de Prandtl por medio de la Ecuación 5.23.

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad [5.23]$$

Donde:

- C_p es la capacidad calorífica media para el fluido de carcasa
- k es la conductividad térmica media para el fluido de carcasa

Una vez conocidos todos los parámetros necesarios se sustituye en la Ecuación 5.24 y se obtiene el valor del coeficiente de transferencia de calor del lado de la carcasa, despreciando la corrección de viscosidad.

$$h_s = \left(\frac{k}{d_e} \right) \cdot j_h \cdot Re \cdot Pr^{0,33} \quad [5.24]$$

En la Tabla 5.10 se recogen los valores calculados y se observa como la velocidad lineal está dentro de los valores recomendados.

Tabla 5.10: Valores obtenidos para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor del lado de carcasa.

l_B	20,06	mm
A_s	0,0004	m ²
G_s	433,76	kg/(m ² s)
u_s	0,43	m/s
d_e	0,010	m
Re	$5,73 \cdot 10^3$	
j_h	0,0055	
Pr	6,74	
h_s	954,91	W/(m ² °C)

5.2.10. Etapa 11: Coeficiente global

El valor calculado del coeficiente global debe corresponderse, aproximadamente, al valor supuesto en el apartado 3. En caso contrario deberá volverse al apartado 5 y repetir los cálculos. Para recalcular el valor del coeficiente global se emplea la Ecuación 5.25.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_s} + \frac{1}{h_{incr, carcasa}} + \frac{d_{ext} \ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2 k_w} + \frac{d_{ext}}{d_{int}} \frac{1}{h_{incr, tubos}} + \frac{d_{ext}}{d_{int}} \frac{1}{h_i} \quad [5.25]$$

Donde:

- k_w es la conductividad térmica del material de la pared del tubo

La Ecuación 5.25 representa la resistencia a la transmisión de calor. El primer y último término representan la resistencia a la convección, los términos que contienen h_{incr} indican la resistencia debido al ensuciamiento que provocan los fluidos, y el término intermedio representa la resistencia a la conducción.

Tomando la k_w como 55 W/m² °C y sustituyendo en la Ecuación 5.25 se obtiene:

$$U=515,64 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El error cometido es menor del 30% por lo que el diseño se considera válido y finalmente se comprobará la caída de presión.

5.2.10. Etapa 12: Caída de presión

Para el cálculo de la caída de presión del lado de los tubos se emplea la Ecuación 5.26.

$$\Delta P_{tubos} = N_p \left[8j_f \left(\frac{L}{d_{int}} \right) \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \frac{\rho u_{tubos}^2}{2} \quad [5.26]$$

Donde:

- N_p es el número de pasos del lado de los tubos
- ρ es la densidad media del fluido que circula por tubos
- L es la longitud de un tubo
- j_f es el factor de fricción adimensional

Para poder leer el valor de j_f en la Figura 5.4 es necesario calcular antes el número de Reynolds del lado de tubos con la Ecuación 5.27.

$$Re = \frac{\rho \cdot u_{tubos} \cdot d_{int}}{\mu} \quad [5.27]$$

Donde:

- ρ es la densidad del fluido que circula por tubos a la temperatura media entre la entrada y la salida
- μ es la viscosidad del fluido que circula por tubos a la temperatura media entre la entrada y la salida

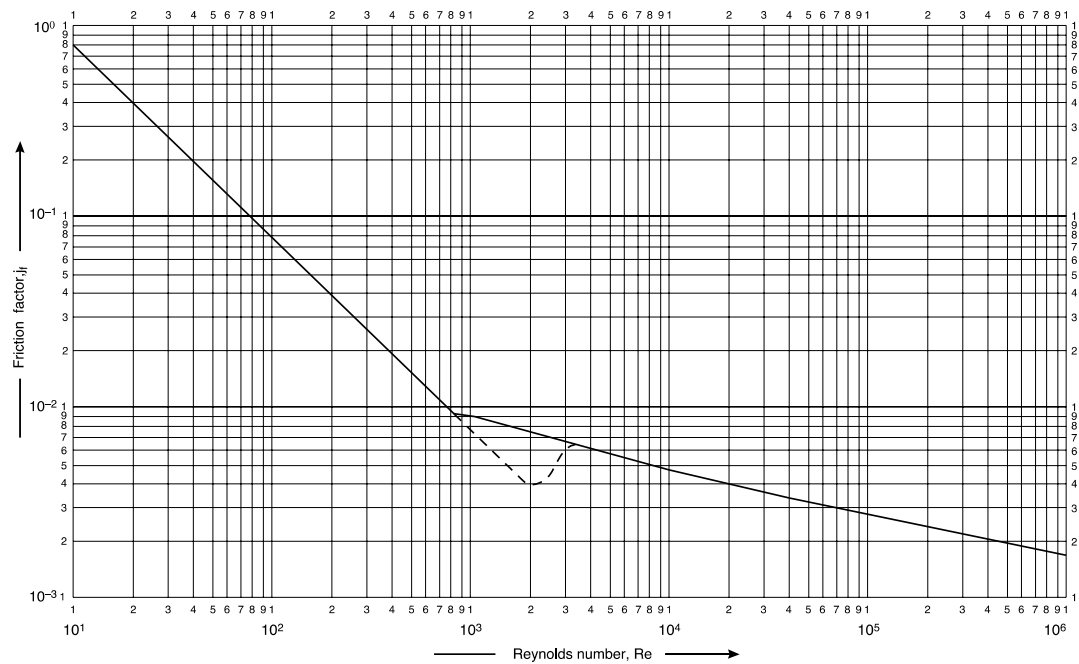


Figura 5.4: Factor de fricción para el lado de los tubos. Fuente: Sinnot.R, Towler.G. “Chemical Engineering Design”. 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Tabla 5.11. Valores obtenidos para el cálculo de la caída de presión en el lado de tubos

Re	$1,05 \cdot 10^4$	
j_f	0,0048	
ΔP_{tubos}	0,28	atm

Hay que aclarar que para el cálculo de la caída de presión en el lado de tubos se despreció el término $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-m}$ en la Ecuación 5.26 y se obtuvo un valor que es menor que el máximo permitido. Como se trata de un líquido cuya viscosidad es inferior a 1 mN s/m², la caída de presión permisible es de 0,35 atm.

Para el cálculo de la caída de presión del lado de la carcasa se emplea la Ecuación 5.28.

$$\Delta P_s = 8j_f \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \left(\frac{L}{l_B} \right) \frac{\rho u_s^2}{2} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0,14} \quad [5.28]$$

Donde:

- L es la longitud del tubo
- ρ es la densidad media para el fluido que circula por carcasa.

Para el cálculo de caída de presión se desprecia de nuevo el término de la viscosidad.

El valor de j_f se lee de la Figura 5.5 empleando el número de Reynolds por carcasa ya calculado anteriormente y considerando un corte del 45 % para los deflectores.

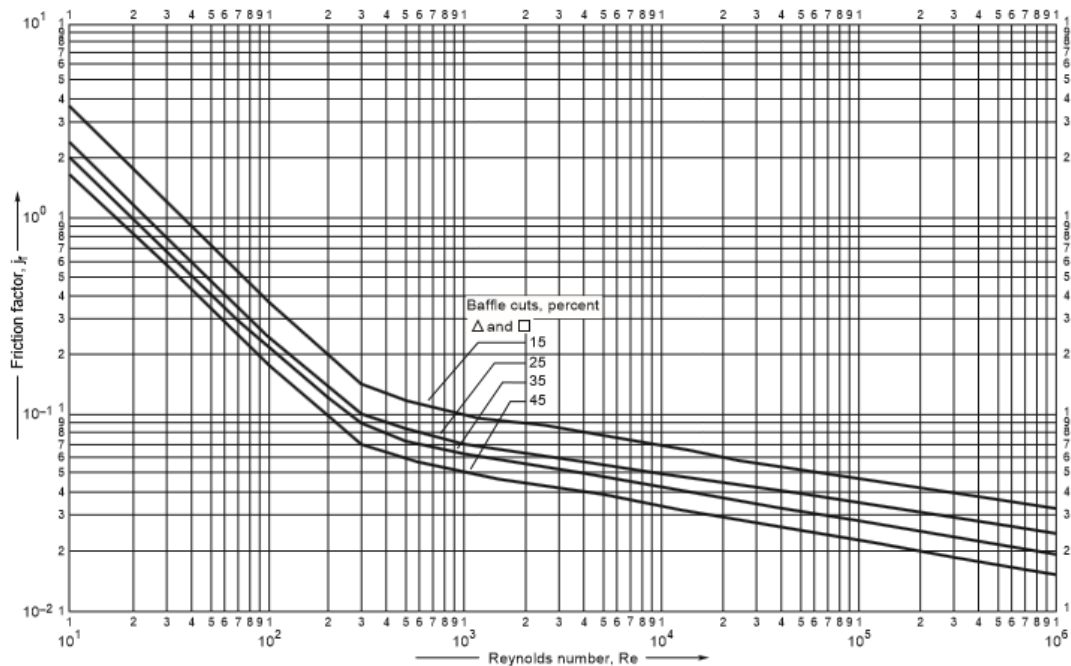


Figura 5.5:

$$j_f = 0,038$$

$$\Delta P_s = 0,19 \text{ atm}$$

Este valor se encuentra dentro de lo permitido, ya que por carcasa circulan líquidos de viscosidad inferior a 1 mN s/m^2 por lo que la caída de presión permisible al igual que por tubos de 0,35 atm.

5.3. Resumen de los intercambiadores de calor

		E-202	E-204	E-205	E-206
Flujo másico (kg/s)	Fluido de Servicio	0,08	4,97	2,68	4,82
	Fluido de Proceso	0,96	0,54	0,54	0,47
$Q_{total}(kW)$		154,84	214,77	115,83	208,33
Número de pasos	Por tubos	4	2	2	2
	Por carcasa	1	1	1	1
$U(W/m^2°C)$		400	530	856	300
$\Delta T_{ml}(°C)$		55,70	165,31	44,22	257,59
F_t		1	1	0,96	0,95
$A_{intercambio}(m^2)$		6,95	2,44	3,19	2,84
$h_{incr,tubos}(W/m^2°C)$		770	3000	3000	3000
$h_{incr,carcasa}(W/m^2°C)$		5000	5000	5000	5000
Disposición	Carcasa	Fluido de proceso	Drying Oil	Drying oil	Palmítico
	Tubos	Vapor de media presión	Agua de río	Agua de río	Agua de río
Tipo de intercambiador		BES	BEM	BEM	BEM

$d_{ext}(mm)$	19,0	25,0	17,1	33,4
$e(mm)$	2,10	2,10	3,20	3,91
$L(m)$	2,44	1,83	1,83	2,44
N_{tubos}	48	18	34	12
$p_t(mm)$	23,75	31,25	21,38	41,75
u_{tubos}	10,21	1,60	1,73	1,54
$D_{haz}(mm)$	254,11	173,90	158,67	193,34
$Holgura(mm)$	11	8	8	10

$D_s(mm)$	290,11	181,90	166,67	203,34
L/D	8,41	10,06	10,98	12
$h_i (W/m^2\text{°C})$	8000,00	4091,50	4744,94	3896,38
$l_B(mm)$	58,02	36,38	33,33	40,67
$A_s (m^2)$	0,0034	0,0013	0,0011	0,0017
$G_s (kg/m^2s)$	-	408,43	408,45	274,2
$u_s(m/s)$	0,47	0,64	0,66	0,42
$d_e(m)$	0,014	0,018	0,012	0,024
$Re(\text{por carcasa})$	$5,67 \times 10^3$	$2,38 \times 10^4$	$1,96 \times 10^4$	$6,96 \times 10^3$
j_h	0,0055	0,0030	0,0035	0,0058
Pr	16,24	8,17	0,79	28,77
$h_s(W/m^2\text{°C})$	723,74	839,13	4615,47	423,12
$Re(\text{por tubos})$	$4,64 \times 10^4$	$9,94 \times 10^4$	$1,63 \times 10^4$	$3,48 \times 10^4$
$j_f(\text{por tubos})$	0,0030	0,0038	0,0045	0,0035
$\Delta P_{tubos}(atm)$	0,07	0,13	0,26	0,12
$j_f(\text{por carcasa})$	0,050	0,028	0,030	0,035
$\Delta P_s(atm)$	0,02	0,11	0,20	0,06

Material	Tubos	Acero inoxidable	Acero Carbono	Acero Carbono	Acero Carbono
	Carcasa	Acero inoxidable	Acero Carbono	Acero Carbono	Acero Carbono

En todos los diseños se comprobó que el factor de corrección de la viscosidad es cercano a la unidad y, por lo tanto, despreciable.

Hay que aclarar que en el intercambiador 202 el fluido que circula por la carcasa es un vapor a diferencia de los otros intercambiadores tratados, donde es un líquido. Por este motivo, no es extraño que la velocidad en los tubos sea mayor que en resto de casos. Como se puede observar, se obtiene un valor de 10,21 m/s, la cual está dentro de los intervalos, ya que se considera que la velocidad para vapores debe rondar entre los 10-30 m/s cuando se trabaja a presión atmosférica.

El valor del coeficiente de transferencia en el lado de tubos, se tomó como 8000 W/m²°C ya que es el valor recomendado cuando condensa vapor libre de aire.

Para la caída de presión en tubos, al tener lugar la condensación del vapor, se emplean las ecuaciones propias de la condensación.

6. Selección del filtro F-201

La corriente que se quiere filtrar tiene un flujo másico de 3530,89 kg/h, a 100°C la densidad de la mezcla es de 797,2 kg/m³. A partir de estos datos se puede obtener el caudal volumétrico:

$$\text{Caudal volumétrico} = \frac{3530,89 \text{ kg/h}}{797,2 \text{ kg/m}^3} = 4,43 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal se sobredimensionará en un 25% para posibles variaciones en el flujo:

$$\text{Caudal de diseño} = 4,43 \times 1,250 = 5,54 \text{ m}^3/\text{h}$$

La corriente de entrada al filtro tiene la composición que se refleja en la Tabla 6.1:

Tabla 6.1.: Composición de la corriente de entrada al filtro

Compuesto	Fracción en masa
Ácido palmítico	0,2303
Ácido acético	0,3845
Drying oil	0,3654
Goma	0,0095
Ácido esteárico	Trazas
Ácido oleico	Trazas

Esta corriente se enfría anteriormente a 100°C para que la goma solidifique y así poder realizar su separación en un equipo de separación sólido-líquido. Destilar la mezcla una vez que se condensa en el intercambiador E-201 es una operación descartada debido a que sería imposible separar la goma, ya que está en cantidades muy pequeñas y la temperatura de ebullición de la goma es muy alta.

Por este motivo se decidió enfriar la corriente para solidificar la goma y posteriormente separarla de la corriente líquida.

La mezcla contiene una cantidad muy pequeña de sólidos, por tanto el filtro a utilizar será del tipo clarificador. El objetivo de este tipo de filtros es el de purificar líquidos que contienen pequeñas cantidades de sólidos. Los filtros clarificadores son usados en la purificación de aceites que sería una operación del tipo de la que se quiere llevar a cabo.

La función de filtro clarificador la pueden ejercer diversos tipos de filtros como el filtro de torta, prensas de disco y placas, filtros de presión de recubrimiento, clarificadores de cartucho o filtros de tambor.

Para seleccionar el filtro adecuado se aplica el diagrama de selección propuesto por Purchas. Este método de selección se basa en las especificaciones del proceso y en sencillas pruebas.

Las especificaciones del tipo de filtro deseado serían:

- Escala: Pequeña, de más de 2,00 m³/h, incluido el 25% de sobredimensionamiento.
- Operación: continua.
- Objetivo: clarificación.

Otras especificaciones del filtro como la velocidad, la calidad de la clarificación, la proporción del precipitado o la velocidad de crecimiento de la torta no se pueden cuantificar, ya que serían necesarios estudios de laboratorio u obtener datos de experimentos anteriores a los que no se ha tenido acceso.

A pesar de esto se puede seleccionar el filtro de tambor con alimentación en la parte inferior o el tambor de banda, ya que cumple las especificaciones conocidas y pueden ser utilizados en todos los casos posibles de las especificaciones desconocidas.

A partir de esto se busco en el mercado un filtro que cumpliera con estas especificaciones. El filtro seleccionado fue el de tipo tambor, las principales características y su caída de presión se pueden ver en las Figuras 6.1 y 6.2.

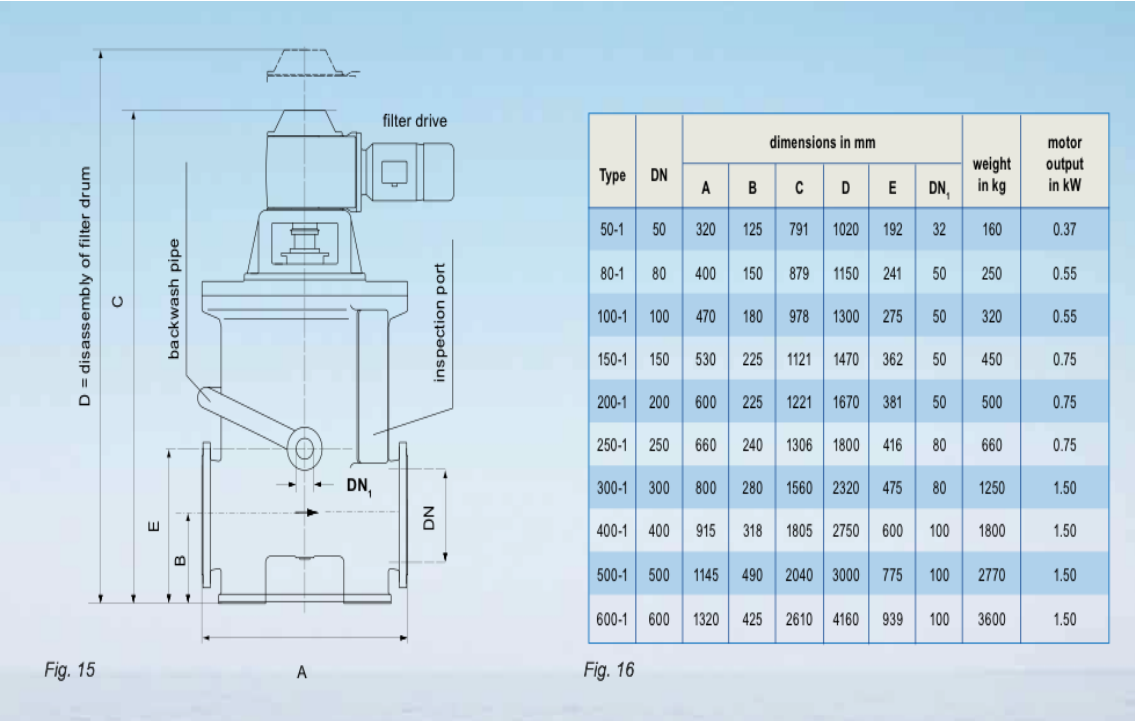


Figura 6.1: Dimensiones del filtro

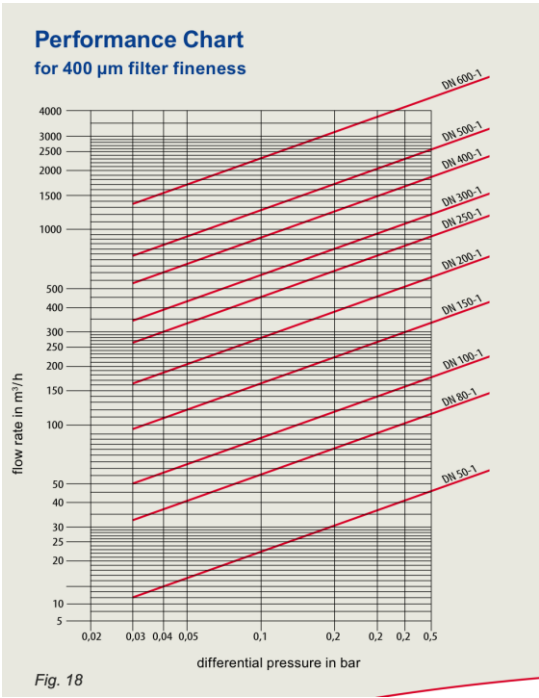


Figura 6.2: Caída de presión del filtro en función del caudal

7. Diseño de los tanques de almacenamiento TK-201 y TK-202

El proceso presentado, obtiene como producto principal *drying oil* y como subproducto con valor comercial el ácido acético. Por lo tanto, tanto uno como otro, tras su respectiva obtención deben ser almacenados correctamente.

7.1. Almacenamiento de ácido acético: TK-201

En primer lugar se debe decidir a qué temperatura se va a almacenar el producto. La ficha de seguridad indica que a temperaturas de almacenamiento por debajo de 16°C , el producto se solidifica, ya que ésta es su temperatura de fusión. Por lo tanto, se recomienda mantener por encima de la misma, a pesar de que esto no altere sus propiedades. De este modo, lo más cómodo y seguro será almacenar dicho ácido a 25°C , ya que esto facilita su almacenamiento, mantiene su estado líquido y facilita su transporte.

La primera suposición consiste en suponer el tiempo de almacenamiento del producto, es decir, cada cuanto tiempo se recogerá producto de la planta. Se ha estimado un tiempo de dos días. Conociendo el caudal molar de producción de ácido acético, (sometido a un 25% de sobredimensionamiento para cubrir posibles aumentos de caudal), su peso molecular y su densidad, se puede obtener fácilmente la masa de ácido que se va a almacenar.

Tabla 7.1. Información tanque de almacenamiento ácido acético

Tiempo de almacenamiento (horas)	48
Caudal de ácido acético (kmol/h)	8,45
Caudal sobredimensionado(kmol/h)	10,57
Densidad (kg/m ³)	1050
Peso molecular (kg/kmol)	60,05
Caudal másico (kg/h)	507,76
Masa de ácido acético a almacenar (kg)	24372,71
Volumen a almacenar (m ³)	23,21
Capacidad de almacenamiento (gal)	6131,94
Volumen total recipiente (m ³)	29,02
Volumen total recipiente (gal)	7664,93

El volumen total del recipiente es mayor al volumen de producto a almacenar, ya que los tanques de almacenamiento no deben estar ocupados hasta su límite, sino que deben alcanzar un volumen de ocupación como máximo del 80%.

La disposición del tanque del almacenamiento viene dada en función de su capacidad:

- Para menos de 1000 galones, tanques verticales montados sobre estructura metálica.
- Entre 1000 – 10000 galones, tanques horizontales montados sobre estructura de hormigón.
- Por encima de 10000 galones, tanques verticales montados sobre estructura de hormigón.

En función de esta consideración, el tanque de ácido acético será colocado de forma horizontal y montado sobre una estructura de hormigón.

El material de construcción del tanque debe ser tal de soportar la alta corrosividad del ácido acético, así que al igual que se hizo con el reactor R-201

para el material de carcasa, se tomará acero inoxidable 316, ya que es capaz de soportar altas corrosividades y en especial el ácido acético hasta temperaturas superior a la temperatura de ebullición. Además este material soporta hasta temperaturas de 1500°F (815,5°C), superior a la temperatura de almacenamiento, 77°F (25°C).

En la Tabla 7.2, se muestran los datos característicos de diferentes materiales, entre ellos el empleado, acero inoxidable 316.

Tabla 7.2. Máximos esfuerzos permisibles. Fuente: Sinnott.R, Towler.G. “Chemical Engineering Design”. 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Material	Grade	Min Tensile Strength (ksi)	Min Yield Strength (ksi)	Maximum Temperature (°F)	Maximum Allowable Stress at Temperature °F (ksi = 1000 psi)				
					100	300	500	700	900
Carbon steel	A285 Gr A	45	24	900	12.9	12.9	12.9	11.5	5.9
Killed carbon steel	A515 Gr 60	60	32	1000	17.1	17.1	17.1	14.3	5.9
Low alloy steel	A387 Gr 22	60	30	1200	17.1	16.6	16.6	16.6	13.6
1¼ Cr, ½ Mo, Si									
Stainless steel	410	65	30	1200	18.6	17.8	17.2	16.2	12.3
13 Cr									
Stainless steel	304	75	30	1500	20.0	15.0	12.9	11.7	10.8
18 Cr, 8 Ni									
Stainless steel	347	75	30	1500	20.0	17.1	15.0	13.8	13.4
18 Cr, 10 Ni, Cb									
Stainless steel	321	75	30	1500	20.0	16.5	14.3	13.0	12.3
18 Cr, 10 Ni, Ti									
Stainless steel	316	75	30	1500	20.0	15.6	13.3	12.1	11.5
16 Cr, 12 Ni, 2 Mo									

El diseño de los dos tanques de almacenamiento se desarrollará mediante el código ASME BPV, tratándolos como recipientes a presión, a pesar de que también se podrían diseñar a través del código API 650.

Conociendo el volumen del recipiente y tomando una altura de dos metros (valor supuesto), se obtiene el diámetro interno del tanque, siendo este de 4,30 metros.

Por lo que en primer lugar se calculará el espesor de recipiente, empleando las Ecuaciones 7.1 y 7.2, y tomando el espesor mayor obtenido a través de ellas.

$$t = \frac{P_i \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot E - 1,2 \cdot P_i} \quad [7.1]$$

$$t = \frac{P_i \cdot D_i}{4 \cdot S \cdot E - 0,8 \cdot P_i} \quad [7.2]$$

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Datos para cálculo del espesor

P_i (kg/cm ²)	1,357
D_i (cm)	430
S (kg/cm ²)	1406
E	1
t hoop (mm)	2,075
t longitudinal (mm)	1,037

Como se trata de un fluido corrosivo, se debe aumentar el espesor en 4 milímetros, tomando el espesor “hoop”, queda finalmente un espesor de pared de tanque y diámetro externo de:

$$t_{tanque} = 6,075 \text{ milímetros}$$

$$D_{ext} = 4,31 \text{ metros}$$

El siguiente paso consiste en calcular los cabezales que se van a colocar al recipiente. Para ello se emplean las ecuaciones del código ASME BPV Sección I, que definen los dos tipos de cabezales apropiados para el caso a estudiar, que se trata de presiones bajas: elípticos y torisféricos respectivamente.

$$t = \frac{P_i \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_i} \quad [7.3]$$

$$t = \frac{0,885 \cdot P_i \cdot D_i}{S \cdot E - 0,1 \cdot P_i} \quad [7.4]$$

Los espesores para los distintos cabezales se resumen en la Tabla 7.4

Tabla 7.4. Valores de espesores de los posibles cabezales

t elíptico (mm)	2,074
t torisférico (mm)	3,671

El valor de espesor más bajo se obtiene con el cabezal elíptico, por lo que será el elegido para cubrir y proteger el tanque de almacenamiento de ácido acético. Al igual que para el caso de la pared, se debe tener en cuenta la corrosividad del fluido, y por tanto aumentar en cuatro milímetros este valor, quedando finalmente el espesor del cabezal.

$$t_{\text{cabezal-elíptico}} = 6,074 \text{ milímetros}$$

Peso del recipiente

Para recipientes que no son de acero comercial, el código ASME BPV, presenta la siguiente ecuación para calcular el peso de la carcasa del equipo.

$$W_v = C_w \cdot \pi \cdot \rho_m \cdot D_m \cdot g \cdot (H_v + 0,8 \cdot D_m) \cdot t \cdot 10^{-3} \quad [7.5]$$

Donde:

- C_w es un factor que depende de la cantidad de accesorios internos que tenga en el interior, valiendo 1,08 cuando el número es reducido
- ρ_m es la densidad del material de construcción
- D_m es el diámetro medio
- H_v es la altura del reactor
- t es el espesor de la pared

$$W_v = 1,08 \cdot \pi \cdot 7960 \cdot 4,30 \cdot 9,8 \cdot (2,2 + 0,8 \cdot 4,30) \cdot 6,08 = 38965,11 \text{ N}$$

Por lo tanto queda el peso de la carcasa del recipiente de almacenamiento igual a 3976,03 kilogramos.

El siguiente paso consiste en calcular el peso del ácido acético, para poder obtener el peso total del tanque de almacenamiento.

El volumen almacenado cada dos días de ácido acético es de 23,21 metros cúbicos, conociendo su densidad, 1050 kilogramos/metros cúbicos.

$$\text{Peso ácido acético} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Densidad}} = 24372,7 \text{ kg}$$

Finalmente, el peso total del tanque de almacenamiento, se obtiene sumando los dos valores, el peso del fluido y el peso del recipiente.

$$\text{Peso total} = 3976,03 + 24372,7 = 28348,74 \text{ kg}$$

$$\text{Peso total} = 28,35 \text{ t}$$

Soporte

En primer lugar se debe indicar como se mencionó anteriormente, que el recipiente será colocado de forma horizontal, y por esta razón no sufrirá las cargas por viento que un recipiente en posición vertical son fundamentales.

El soporte del tanque de almacenamiento de ácido acético estará colocado sobre un soporte tipo silla. Este tipo de soportes se presenta en el esquema ilustrado en Figura 7.1.

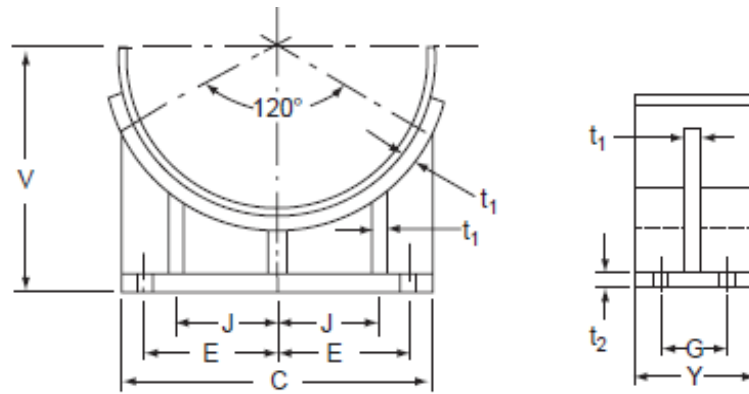


Figura 7.1. Esquema de las dimensiones de un soporte tipo silla. Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres. Pág: 934)

Todas las características que aparecen indicadas en la Figura 7.1, se encuentran estimadas para unas dimensiones determinadas de recipiente en función de la altura y del diámetro del recipiente.

Para el caso del ácido acético, no aparecen sus dimensiones comprendidas entre los valores existentes, por lo que para todas sus dimensiones se han realizado regresiones para poder obtener una estimación de las dimensiones del soporte de silla necesario.

En la Tabla 7.5, aparecen las dimensiones de las características del soporte para un diámetro indicado. En último lugar aparece el caso particular del ácido acético con sus correspondientes dimensiones interpoladas.

Tabla 7.5. Dimensiones del soporte tipo silla

DIMENSIONADO DEL SOPORTE TIPO SILLA (SADDLE SUPPORT)											
Diámetro(m)	Peso máximo (kN)	Dimensiones (m)								mm	
		V	Y	C	E	J	G	t1	t2	Diámetro Tornillo	Agujeros tornillos
1,40	230	0,88	0,2	1,24	0,53	0,305	0,14	12	10	24	30
1,6	330	0,98	0,2	1,41	0,62	0,350	0,14	12	10	24	30
1,8	380	1,08	0,2	1,59	0,71	0,405	0,14	12	10	24	30
2,00	460	1,18	0,2	1,77	0,8	0,450	0,14	12	10	24	30
2,2	750	1,28	0,225	1,95	0,89	0,520	0,15	16	12	24	30
2,4	900	1,38	0,225	2,13	0,98	0,565	0,15	16	12	27	33
2,60	1000	1,48	0,225	2,3	1,03	0,590	0,15	16	12	27	33
2,8	1350	1,58	0,25	2,5	1,1	0,625	0,15	16	12	27	33
3	1750	1,68	0,25	2,64	1,18	0,665	0,15	16	12	27	33
3,20	2000	1,78	0,25	2,82	1,26	0,730	0,15	16	12	27	33
3,6	2500	1,98	0,25	3,2	1,4	0,815	0,15	16	12	27	33
4,30	3049,9	2,33	0,28	3,81	1,69	0,977	0,15	17	13	27	33

7.2. Almacenamiento de drying oil: TK-202

Al igual que en el caso del ácido acético, en primer lugar se debe decidir a qué temperatura se realizará el almacenamiento del compuesto. Debe mencionarse que el drying oil (1-tetradeceno) debe ser almacenado bajo una manta o capa de nitrógeno. Éste debe mantenerse alejado del aire, el agua y el oxígeno ya que produciría reacciones de auto oxidación. Por lo tanto se decide almacenarlo a 25°C, lo que facilitará su transporte.

El tiempo de almacenamiento del producto, es decir, cada cuanto tiempo se recogerá producto de la planta será el mismo que para el caso anterior, ya que de esta manera será más cómodo el control de recogida y transporte de producto. Conociendo el caudal molar de producción de drying oil, (que al igual que para la mayoría del diseño llevado a cabo en los equipos de la planta se le aplica un 25% de sobredimensionamiento) su peso molecular y su densidad, se puede obtener fácilmente la masa de drying oil que se va a almacenar.

Tabla 7.6. Información tanque de almacenamiento drying oil

Tiempo de almacenamiento (horas)	48
Caudal de drying oil (kmol/h)	8,01
Caudal sobredimensionado(kmol/h)	10,01
Densidad (kg/m ³)	771
Peso molecular (kg/kmol)	196
Caudal másico (kg/h)	1575,07
Masa de ácido acético a almacenar (kg)	75603,28
Volumen a almacenar (m ³)	98,06
Capacidad de almacenamiento (gal)	25904,18
Volumen total recipiente (m ³)	122,57
Volumen total recipiente (gal)	32380,22

La disposición del tanque del almacenamiento viene dada en función de su capacidad bajo las mismas consideraciones que el caso anterior. En función de

éstas, el tanque de drying oil será colocado de forma vertical sobre estructura de hormigón.

El drying oil no es corrosivo ni al aluminio ni al acero, por lo que el material del tanque de almacenamiento será acero al carbono, suficiente para resistir la temperatura de trabajo (77°F) y la corrosión, que en este caso es inexistente. El tanque se trata de un recipiente a presión atmosférica, por lo que la presión tampoco presentará un impedimento para el diseño del recipiente en dicho material. En la Tabla 7.2, se muestran los datos característicos del acero al carbono.

Conociendo el volumen del recipiente y tomando una altura de cuatro metros (valor supuesto), se obtiene el diámetro interno del tanque, siendo éste de 6,25 metros.

El cálculo de los espesores tanto de la pared como de los cabezales responderá al mismo método explicado en el caso del ácido acético.

Tabla 7.7. Datos para cálculo del espesor

P_i (kg/cm ²)	1,357
D_i (cm)	625
S (kg/cm ²)	906,900
E	1
t_{hoop} (mm)	4,677
$t_{longitudinal}$ (mm)	2,337

Como no se trata de un fluido corrosivo, tan solo se debe aumentar el espesor en 2 milímetros, tomando el espesor “hoop”, queda finalmente un espesor de pared de tanque y diámetro externo de:

$$t_{tanque} = 6,677 \text{ milímetros}$$

$$D_{ext} = 6,253 \text{ metros}$$

Los cabezales se calculan igualmente mediante las Ecuaciones 7.3 y 7.4.

Tabla 7.8. Valores de espesores de los posibles cabezales

t elíptico (mm)	4,674
t torisférico (mm)	8,273

Los dos cabezales cubren las condiciones que se desean, por lo que se escoge el torisférico, ya que es más barato, y es el más común para presiones inferiores a 15 psi.

$$t_{\text{cabezal-elíptico}} = 8,273 \text{ milímetros}$$

Peso del recipiente

Para recipientes de acero comercial, el código ASME BPV, presenta la siguiente ecuación para calcular el peso de la carcasa.

$$W_v = 240 \cdot C_w \cdot D_m \cdot (H_v + 0,8 \cdot D_m) \cdot t \quad [7.6]$$

Donde:

- C_w es un factor que depende de la cantidad de accesorios internos que tenga en el interior, valiendo 1,08 cuando el número es reducido
- D_m es el diámetro medio
- H_v es la altura del reactor
- t es el espesor de la pared en milímetros

$$W_v = 99429,06 \text{ N}$$

Por lo tanto queda el peso de la carcasa del recipiente de almacenamiento igual a 10145,82 kilogramos.

El siguiente paso consiste en calcular el peso del interior del tanque de almacenamiento, es decir, el peso del drying oil almacenado.

$$\text{Peso drying oil} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Densidad}} = 75603,28 \text{ Kilogramos}$$

Finalmente, el peso total del tanque de almacenamiento, se obtiene sumando los dos valores, el peso del fluido y el peso del recipiente.

$$\text{Peso total} = 10145,82 + 75603,28 = 85749,11 \text{ Kilogramos}$$

$$\text{Peso total} = 85,75 \text{ toneladas}$$

Soporte

El soporte en este caso se trata de un soporte tipo falda, para el cual, lo primero que se debe obtener son los esfuerzos por viento:

Cargas por viento

Este tipo de cargas solo resultan importantes en recipientes elevados e instaladas al aire libre. Bajo estas condiciones, un recipiente sometido a cargas por viento actúa como una viga voladiza, ilustrada en la Figura 7.2. El momento de flexión para una viga voladiza viene definido por la Ecuación 7.7.

$$M_x = \frac{W \cdot x^2}{2} \quad [7.7]$$

Donde :

- x es la distancia medida desde la terminación libre, en el caso del tanque, la altura de éste
- W la carga por unidad de longitud (N/m)

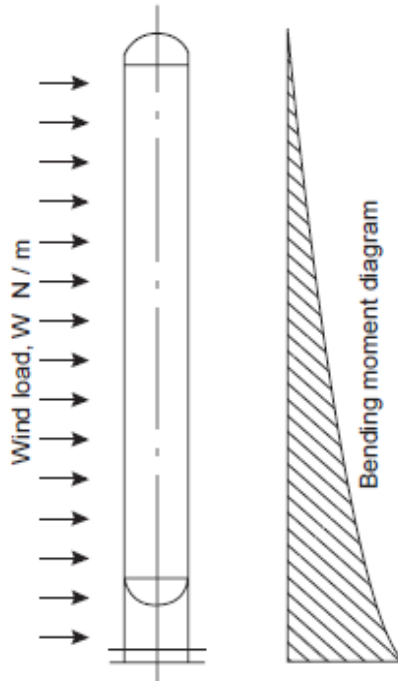


Figura 7.2. Viga voladiza. Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Por ello, el momento de flexión, como se puede observar en la Figura 7.2 variará de forma parabólica desde cero en la parte superior de la columna hasta un valor máximo en la base.

La presión dinámica del viento es la carga impuesta en cualquier estructura por la acción del viento, y ésta dependerá de la forma de la estructura y de la velocidad del viento.

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot C_d \rho_a u_w^2 \quad [7.8]$$

Donde:

- P_w es la presión del viento (carga por unidad de área)
- C_d es un coeficiente de obstrucción (factor de forma)

- ρ_a es la densidad del aire
- U_w la velocidad del viento

Para un recipiente cilíndrico lisa, como es el caso del tanque de almacenamiento, se puede simplificar la ecuación anterior a:

$$P_w = 0,05 \cdot u_w^2 \quad [7.9]$$

Donde:

- P_w es la presión del viento en N/m^2
- u_w es la velocidad del viento en km/h

Para estudios preliminares de diseño se suele emplear un valor de velocidad de viento de 160 km/h , un valor lo suficientemente alto como para poder tomarlo como el peor caso que puede ocurrir en Galicia, lugar de implantación de la planta, región donde en el invierno de 2014 se ha recogido como velocidad más alta 130 km/h .

Con esta consideración se obtiene la presión dinámica del viento:

$$P_w = 0,05 \cdot 160^2 = 1280 \text{ } N/m^2$$

Multiplicando la presión ejercida por parte del viento por el diámetro del recipiente se obtiene la carga (por metro lineal).

$$W = 1280 \cdot 6,25 = 8003,82 \text{ } N/m$$

Finalmente el momento de flexión se obtiene aplicando la Ecuación 7.7:

$$M_x = \frac{8003,82 \cdot 4,2^2}{2} = 70593,67 \text{ } N \cdot m$$

Análisis de los esfuerzos

Se analizarán los esfuerzos de presión, del peso propio del recipiente y los de flexión.

- Esfuerzos de presión:

$$\sigma_L = \frac{P_i \cdot D}{4 \cdot t} = 31,10 \text{ N/mm}^2 \quad [7.10]$$

$$\sigma_h = \frac{P_i \cdot D}{2 \cdot t} = 62,20 \text{ N/mm}^2 \quad [7.11]$$

- Esfuerzo del peso propio:

$$\sigma_w = \frac{W_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} = 6,41 \text{ N/mm}^2 \quad [7.12]$$

- Esfuerzos de flexión:

$$D_o = D_i + 2 \cdot t = 367,7 \text{ mm} \quad [7.13]$$

$$I_v = \frac{\pi}{64} \cdot (D_o^4 - D_i^4) = 6,41 \times 10^{11} \text{ mm}^4 \quad [7.14]$$

$$\sigma_b = \frac{M_x}{I_v} \cdot \left(\frac{D_i}{2} + t \right) = 0,345 \text{ N/mm}^2 \quad [7.15]$$

- El esfuerzo longitudinal resultante es:

$$\sigma_z = \sigma_L + \sigma_w \pm \sigma_b \quad [7.16]$$

σ_w es compresivo y por lo tanto negativo.

$$\sigma_z \text{ (contra el viento)} = 31,1 - 6,41 + 0,345 = 25,04 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z \text{ (a favor del viento)} = 31,1 - 6,41 - 0,345 = 24,35 \text{ N/mm}^2$$

La mayor diferencia entre los esfuerzos principales será en el lado contra el viento:

$$31,1 - 25,04 = 37,16 \text{ N/mm}^2$$

Por otro lado, el esfuerzo máximo compresivo se producirá cuando el recipiente no está bajo presión = $6,41 + 0,345 = 6,75 \text{ N/mm}^2$.

Finalmente para verificar si el diseño es satisfactorio deben cumplirse dos condiciones:

$$\text{Esfuerzo max. compresión} < \text{Esfuerzo de pandeo crítico}$$

$$\text{Máxima diferencia de esfuerzos} < \text{Máximo esfuerzo permisible}$$

$$\sigma_c = 2 \times 10^4 \cdot \left(\frac{t}{D_o} \right) = 21,33 \text{ N/mm}^2$$

$$21,33 < 6,75$$

$$37,16 < 88,87$$

Se cumplen ambas condiciones, por lo que se puede concluir que el diseño es satisfactorio y admisible.

Espesor de la falda

El espesor de la falda debe ser suficiente para resistir las cargas por peso propio y los momentos de flexión impuestos por el recipiente.

Los esfuerzos resultantes en la falda serán:

$$\sigma_s = (\text{tensión}) = \sigma_{bs} - \sigma_{ws} \quad [7.17]$$

$$\sigma_s = (\text{compresivo}) = \sigma_{bs} + \sigma_{ws} \quad [7.18]$$

Donde:

- σ_{bs} es el esfuerzo de flexión de la falda y se calcula mediante la Ecuación 7.18.

$$\sigma_{bs} = \frac{4 \cdot M_s}{\pi \cdot (D_s - t_{sk}) \cdot t_{sk} \cdot D_s} \quad [7.19]$$

- σ_{ws} es el esfuerzo por el peso propio en la falda, que se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma_{ws} = \frac{W}{\pi \cdot (D_s + t_{sk}) \cdot t_{sk}} \quad [7.20]$$

Donde:

- M_s es el momento máximo de flexión, evaluado en la base de la falda (debido a las cargas por viento)
- W_v el peso total del recipiente y su contenido
- D_s el diámetro interno de la falda, en la base
- t_{sk} el espesor de la falda

El espesor de la falda debería ser tal que bajo la peor combinación de cargas por viento y peso propio no exceda los siguientes criterios de diseño:

$$\sigma_s(\text{tensión}) < S_s \cdot E \cdot \text{sen}(\vartheta_s)$$

$$\sigma_s(\text{compresivo}) < 0,125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_{sk}}{D_s}\right) \text{sen}(\vartheta_s)$$

Donde:

- S_s es el esfuerzo de diseño máximo permisible para el material de la falda, normalmente tomado a temperatura ambiente, 20°C
- E la eficiencia de la unión soldada
- θ_s el ángulo base de una falda cónica, normalmente 80° a 90°

El espesor mínimo no debería ser menor que 6 milímetros.

La Figura 7.3 muestra un esquema del soporte tipo falda empleado para el soporte del tanque.

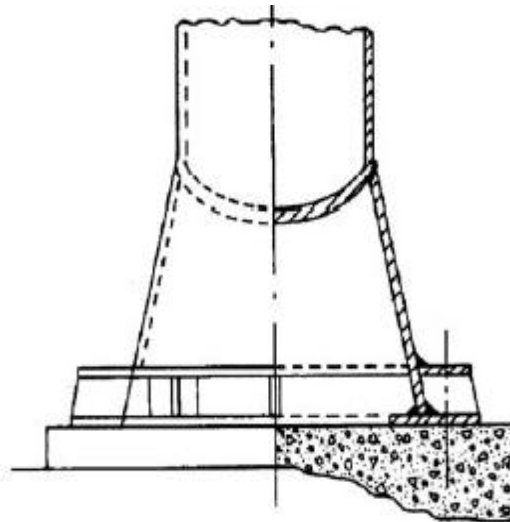


Figura 7.3. Esquema soporte tipo falda. Fuente: Sinnott.R, Towler.G. “Chemical Engineering Design”. 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Para el cálculo del espesor de la falda, se tomará un soporte de acero al carbono para una falda cilíndrica ($\theta_s=90^\circ$). El acero al carbono a temperatura ambiente soporta un esfuerzo máximo permisible de 89 N/mm² y el valor de su módulo de Young es de 200000 N/mm².

La carga máxima por el peso propio en la falda se producirá cuando el recipiente esté lleno de agua.

$$Peso\ aproximado = \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_v\right) \cdot \rho_{agua} \cdot g \quad [7.21]$$

$$Peso\ aproximado = 1265,27\ kN$$

El peso total del lleno de agua se le sumará al peso aproximado calculado anteriormente el peso del recipiente (carcasa) calculado mediante la ecuación 7.20.

$$Peso\ total = 1265,27 + 840,34 \cdot 9,8 = 2105,61\ kN$$

A continuación, se debe calcular el momento de flexión en la base de la falda, por lo que hay que suponer una altura de dicho soporte, que se tomará como 0,3 metros, modificando de esta manera la altura total desde la base del tanque.

$$M_x = 8,10 \times 10^7\ N \cdot mm$$

El primer espesor que se suele tomar para comenzar su cálculo y ver si cumple las condiciones es el obtenido anteriormente, en este caso, el de la carcasa. Por ser éste menor al mínimo exigido, se tomará el mínimo recomendado que es de 6 milímetros.

$$\sigma_{bs} = 0,406$$

$$\sigma_{ws}(\text{lleno de agua}) = 16,49 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{ws}(\text{peso normal del recipiente}) = 6,58 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_s \text{ máximo (compresivo)} = 16,90 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_s \text{ máximo (tracción)} = -6,175 \frac{N}{mm^2}$$

$$S \cdot E \cdot \text{seno}(90) = 88,87 \cdot 1 \cdot 1 = 88,87 \frac{N}{mm^2}$$

$$0,125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_{sk}}{D_s}\right) \cdot \text{seno}(90) = 0,125 \cdot 200000 \cdot \left(\frac{6,5}{6,25}\right) \cdot 1 = 23,26 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_s(\text{tensión}) < S_s \cdot E \cdot \text{sen}(\vartheta_s)$$

$$-6,175 < 88,87$$

$$\sigma_s(\text{compresivo}) < 0,125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_{sk}}{D_s}\right) \text{sen}(\vartheta_s)$$

$$16,90 < 23,26$$

Las dos condiciones se cumplen, por lo que con el espesor mínimo requerido de 6,5 milímetros de espesor de falda se obtiene un soporte adecuado para el tanque de almacenamiento de drying oil.

8. Diseño de las bombas

Todo proceso necesita de un sistema de tuberías y bombas para permitir la correcta circulación de todos los fluidos implicados en la planta. En algunos casos, será necesario el empleo de una bomba para elevar la presión de una corriente, en otros casos, simplemente para superar una altura determinada.

En esta planta se han diseñado ocho bombas, implicadas en las siguientes acciones:

Tabla 8.1. Objetivos de las bombas del proceso

P-201	Encargada de impulsar la corriente procedente de la última columna de destilación de la sección 100 hasta la entrada del horno.
P-202	Trasladar el flujo de salida del condensador E-201 hasta el recipiente enfriador encargado de solidificar la goma.
P-203	Encargada de hacer circular la corriente de procesos desde la salida del filtro F-201 hacia el intercambiador de calor E-202.
P-204	Superar la altura desde el intercambiador E-202 hasta la entrada a la columna T-201.
P-205	Envía la salida del intercambiador E-203, donde se enfría el ácido acético, hasta el tanque de almacenamiento correspondiente TK-201.
P-206	Impulsar la salida de la torre T-201 hasta la entrada por la zona superior de la torre T-202.
P-207	Al igual que la P-205, facilita al circulación del drying oil desde su enfriamiento en los intercambiadores E-20 ^a y E-205 hasta el tanque de almacenamiento TK-202.
P-208	Encargada de recircular el ácido palmítico extraído de la T-202 hasta la última torre de la sección anterior.

A continuación se desarrollará el método general del cálculo de bombas, realizando el ejemplo desarrollado de la bomba P-201; para finalizar con una tabla

resumen que recogerá las características necesarias de las bombas restantes necesarias.

Para caracterizar una bomba se debe conocer su carga, su potencia y el valor de su NPSH (carga neta positiva de aspiración).

Para ello se aplicará la ecuación de Bernoulli, representada en la Ecuación 8.1.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad [8.1]$$

Teniendo en cuenta las pérdidas por fricción y que el trabajo no será igual a cero, ya que el trabajo debe ser realizado por una bomba para aumentar la presión y/o elevar una altura determinada, la ecuación de Bernoulli, queda definida mediante la Ecuación 8.2.

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + (z_1 - z_2) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g} + h_f = \frac{W}{g} \quad [8.2]$$

Donde:

- P_1 y P_2 son las presiones en los puntos inicial y final, es decir, desde donde se desea bombear hasta su destino
- z_1 y z_2 la diferencia de altura que existe entre los dos puntos
- v_1 y v_2 la velocidad en cada uno de los tramos (anterior y posterior) de la bomba
- h_f las pérdidas por fricción
- W/g la carga de la bomba en metros

El término h_f se definió como la pérdida de energía en el sistema. Para el caso de flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente. Esto se expresa en forma matemática como la ecuación de Darcy.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad [8.3]$$

Donde:

- f es un factor adimensional de fricción que se obtiene a través del diagrama de Moody, en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa (ε/D).
- L la longitud de la tubería.
- D el diámetro de la tubería.
- V la velocidad del fluido a través del conducto.
- g la aceleración de la gravedad.

Por lo tanto, en primer lugar se deben conocer las presiones, tanto a la entrada a la bomba, como a la salida de la bomba, incluso en los casos mencionados antes en los que no es la presión la resistencia a vencer, sino la altura.

A continuación se deben recoger los valores del caudal que se va a tratar, así como la densidad, la viscosidad cinemática y la temperatura de dicha corriente. Todos estos datos se recogen en la Tabla 8.1, para el caso de la bomba P-201.

Tabla 8.1. Datos corriente entrada bomba P-201

Po (kPa)	101,325
Ps (kPa)	506,625
Q (kg/h)	3470
Q (kg/s)	0,96
Viscosidad (kg/m·s)	0,00171
Densidad (kg/m ³)	813,6
Q (m ³ /s)	0,00118
Temperatura (°C)	192

La elección del tamaño de la tubería se hace fundamental para el cálculo de los datos de la bomba. En primer lugar se debe calcular un diámetro óptimo, para

el cual, en función del material de construcción del que vaya a construirse la tubería tendrá una correlación u otra.

Por cuestiones de seguridad, todas las tuberías serán de acero inoxidable, ya que al tratar con ácido acético a lo largo de la planta, es posible la existencia de restos de este compuesto, lo que provocaría riesgo de corrosión en tuberías que no estuvieran diseñadas con el material adecuado.

Este diámetro económico se debe calcular, ya que existe la disyuntiva de que, el aumento del diámetro de tubería aumenta el coste de capital, mientras que dicho aumento también disminuye el coste de bombeo. De este modo, se obtiene un diámetro que contrarresta ambas condiciones.

La Ecuación 8.4 muestra la correlación para el acero inoxidable:

$$d_{opt} = 0,55 \cdot G^{0,49} \cdot \rho^{-0,35} \quad [8.4]$$

Donde:

- G es el caudal másico en kg/s
- ρ es la densidad de la corriente en kg/m³

Para este caso estudiado se obtiene un diámetro óptimo de:

$$d_{opt} = 0,55 \cdot 0,963^{0,49} \cdot 813,6^{-0,35} = 0,0559 \text{ metros}$$

Obteniéndose un valor de 55,7 milímetros se toma un dato de catálogo existente en el mercado, por lo que el diámetro de tubería para la bomba P-201 será de 57 milímetros.

Una vez calculado el diámetro, se debe comprobar la velocidad del fluido a través de la tubería, para ello se debe obtener en primer lugar el área de sección transversal, que responde a la Ecuación 8.5.

$$A_{sec-trans} = \frac{\pi \cdot d_{opt}^2}{4} \quad [8.5]$$

$$A_{sec-trans} = 2,55 \times 10^{-3} m^2$$

De esta manera se obtiene la velocidad del fluido dividiendo el caudal volumétrico (m^3/s) entre el área de sección transversal obtenida; Ecuación 8.6.

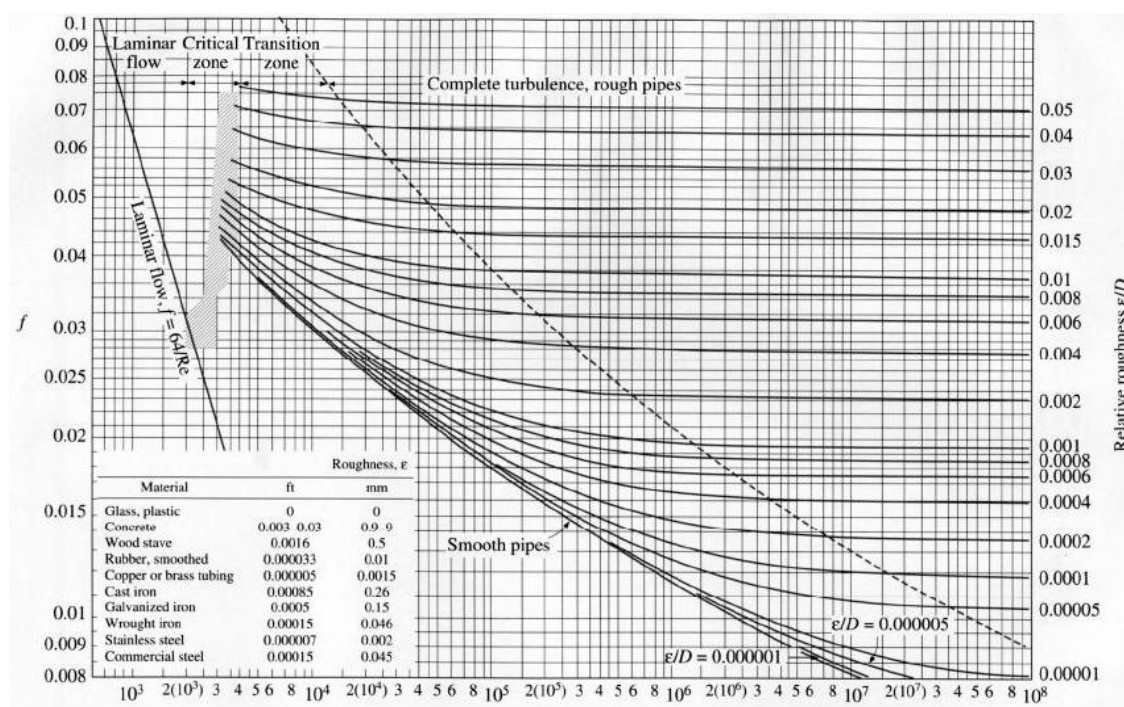
$$v = \frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{A_{sec-trans}(m^2)} = 0,54 \text{ m/s} \quad [8.6]$$

A continuación se debe calcular el número adimensional de Reynolds, mediante la Ecuación 8.7.

$$Re = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \mu \cdot d_{opt}} = 14758,17 \quad [8.7]$$

El siguiente término que se debe calcular es la rugosidad relativa, para ello se debe obtener en primer lugar de bibliografía el valor de rugosidad del acero inoxidable (0,002).

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa se lee en el diagrama de Moody.



Gráfica 8.1. Diagrama de Moody. Fuente: Sinnott, R, Towler, G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Leyendo en el diagrama se obtiene un valor de $f = 0,028$.

La longitud entre las dos unidades, se toma de 200 pies, ya que se corresponde a la máxima entre dos equipos de alta peligrosidad. Como realmente la disposición posterior de cada unidad en la planta varía, lo más recomendable es tomar la máxima distancia con el fin de trabajar con el diseño en el caso más desfavorable.

Ahora se puede calcular el coeficiente de pérdidas por fricción h_f conocidos el factor f y la velocidad, así como la longitud del tramo y el diámetro de tubería. Sustituyendo en la Ecuación 8.3:

$$h_f = 0,028 \cdot \frac{60,96}{0,057} \cdot \frac{0,54^2}{2 \cdot 9,8} = 0,45 \text{ metros}$$

Considerando que el valor de z_1 es igual a cero metros, debido a que la salida de la torre de destilación está en el suelo, y el valor de z_2 es de dos metros, ya que la corriente al horno debe entrar a esa altura aproximadamente. Se conocen

todos los términos de la Ecuación 8.2, por lo tanto ya se puede obtener la carga de la bomba.

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + (z_1 - z_2) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g} + h_f = \frac{W}{g}$$

El término cinéticos $\frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g}$ se considera cero, ya que la velocidad uno es igual que la velocidad dos, debido a que ambas secciones de la tubería, succión (antes de la bomba) y descarga (después de la bomba) poseen el mismo diámetro.

$$\frac{W}{g} = H = 49,28 \text{ metros}$$

La potencia que requiere la bomba se calcula mediante la Ecuación 8.8.

$$P = H \cdot \gamma \cdot Q \quad [8.8]$$

Donde:

- P es la potencia de la bomba
- H la carga de la bomba en metros
- γ el peso específico, resultado de multiplicar la densidad del fluido por la aceleración de la gravedad
- Q el caudal volumétrico en m³/s

$$P = 0,55 \text{ kW}$$

Por último solo queda calcular el valor del NPSH, la carga de succión neta positiva. El diseño de sistema de tubería de succión debe proporcionar una presión suficientemente alta para evitar que se desarrollen burbujas de vapor dentro del fluido en movimiento, condición que recibe el nombre de cavitación.

Este término se podría definir cuando la presión de succión en la entrada de la bomba es demasiado baja, se forman burbujas en el fluido, como si hirviera.

La propiedad del fluido que determina las condiciones en que se forman burbujas de vapor en un fluido es la presión de vapor.

Esta presión se obtiene mediante la ecuación de Antoine:

$$\ln(P_v) = A + \frac{B}{T + C} + D \cdot \ln(T) + E \cdot T^F \quad [8.9]$$

Donde:

- T es la temperatura en grados Kelvin
- A, B, C, D, E y F, constantes propias de cada compuesto obtenidas del simulador HYSYS

$$P_v = 4,672 \text{ Pa}$$

Por tanto, con el valor de presión de vapor, se puede obtener el valor de NPSH en metros mediante la Ecuación 8.10.

$$NPSH = \frac{P_1 - P_v}{\gamma} + z_1 - h_{f-succión} \quad [8.10]$$

Donde:

- $h_{f-succión}$ equivale a la pérdida de fricción de la zona de succión, es decir, con la longitud correspondiente al tramo previo a la bomba (3,5 metros)

$$NPSH = 12,68 \text{ metros}$$

En la Tabla 8.2 se recogen los resultados obtenidos del mismo modo que el explicado anteriormente para el resto de bombas empleadas y necesarias.

Tabla 8.2. Características bombas

	P ₀ (kPa)	P ₁ (kPa)	Caudal másico (kg/s)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Número de Reynolds	f	h _f m	H (m)	Potencia (kW)	NPSH (m)
P-202	101,3	135	1,13	57	0,56	21520,2	0,025	0,42	3,73	0,04	12,9
P-203	120,0	120	1,08	57	0,57	37755,3	0,023	0,42	4,17	0,04	16,4
P-204	125,0	125	1,08	57	0,57	37755,2	0,023	0,42	5,42	0,06	17,0
P-205	101,3	125	0,16	25	0,45	12753,0	0,029	0,70	1,94	3× 10 ⁻³	13,8
P-206	125,0	125	0,93	55	0,52	33334,3	0,023	0,36	6,36	0,06	13,4
P-207	101,3	125	0,50	40	0,53	24458,9	0,025	0,54	6,78	0,03	13,8

8.1 Justificación de las bombas

Una vez diseñadas todas las bombas que en un principio se consideraban necesarias por la situación y carácter de la planta, haciendo hincapié en los resultados obtenidos mostrados en la Tabla 8.2 se puede concluir que esto puede dar lugar a debate.

En primer lugar se decidió colocar las 8 bombas por dos aspectos en particular; ya sea para elevar la presión de una corriente a otra, o por otro lado, para superar una cierta altura, como puede ser en el caso de la corriente que entra a cualquiera de las dos columnas T-201 y T-202.

Los resultados indican que a excepción de la primera bomba, la P-201, todas aportan una potencia muy baja, por lo que no tendría sentido colocar bombas centrífugas, ya que no existen en ningún catálogo bombas de este tipo con esas características.

Se han desarrollado dos conclusiones:

- Debido a la poca potencia que reclaman las bombas que se suponían necesarias, podría no colocarse ninguna de ellas, y permitir que el flujo siguiera su curso y una vez creada la planta analizar las caídas de presión y poder introducir alguna bomba más, ya que si se eliminan algunas de ellas, es posible que a posteriori fuera necesaria una bomba centrífuga de potencia normal para superar dichas pérdidas.
- Encontrar un tipo de bombas de baja potencia que permitieran aportar la calculada en este apartado para cada una de ellas y asegurarse el funcionamiento que se suponía desde un principio para la planta.

La principal causa por la que se han obtenido unos valores tan bajos para la potencia de las bombas es debido al bajo caudal que tratan. La capacidad de la planta es de 12.500 toneladas; baja para un proceso químico industrial, por lo que

trabajar con flujos inferiores a los 50 kmol/h hace que la potencia de las bombas sea tan baja y en consecuencia el empleo de bombas centrífugas sea inapropiado.



Anexo III. Análisis de viabilidad económica

Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Inversión total	3
2.1. Capital inmovilizado	3
2.2. Capital circulante	6
2.3. Coste de la Inversión Total	7
3. Estimación de los costes de totales	7
3.1. Costes directos o de fabricación	7
3.2. Costes indirectos	9
4. Ingresos por ventas	10
5. Flujos de caja	12
6. Valoración económica del proyecto	17
6.1. Valor Actual Neto (VAN)	17
6.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	18
6.3. Tiempo de Retorno	18
7. Conclusiones	19

1. Introducción

El objetivo de este apartado es realizar un estudio preliminar de la viabilidad económica del proyecto. Para ello se realiza una estimación de los costes derivados de la construcción, puesta en marcha, y funcionamiento de la planta, así como de los ingresos obtenidos con la venta del producto. Finalmente se comprueba si la inversión es económicamente rentable calculando los siguientes términos: la tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN) y tiempo de recuperación del capital (*payback*).

2. Inversión total

Para establecer una actividad económica se requiere de una inversión, a cambio de la cual, se obtienen ingresos en forma de ventas, los que deben ofrecer un excedente adecuado sobre los costes que implica la operación del proceso.

La inversión total del proyecto, I , se define como la suma del capital inmovilizado, I_F , y el capital circulante, I_W , que viene dada por la Ecuación 1.

$$I = I_F + I_W \quad [1]$$

2.1. Capital inmovilizado

El capital inmovilizado es el capital invertido en el área de proceso para la construcción de la planta, la instalación de equipos y servicios auxiliares necesarios.

Este capital inmovilizado está formado por dos partidas principales: inmovilizado material e inmovilizado no material.

2.1.1. Inmovilizado material

✓ EQUIPOS MECÁNICOS

Esta partida se encuentra contemplada en el documento “Presupuesto” del presente proyecto. Los costes derivados de ésta ascienden a 1.707.745,80 €.

✓ OBRA CIVIL Y ESTRUCTURA METÁLICA

Esta partida se encuentra contemplada en el documento “Presupuesto” del presente proyecto. Los costes derivados de ésta ascienden a 139.801,25 €.

✓ TUBERÍAS, AISLAMIENTO Y PINTURA

Esta partida se encuentra contemplada en el documento “Presupuesto” del presente proyecto. Los costes derivados de ésta ascienden a 1.195.422,06 €.

✓ INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Esta partida se encuentra contemplada en el documento “Presupuesto” del presente proyecto. Los costes derivados de ésta ascienden a 34.950,31 €.

✓ INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Esta partida se encuentra contemplada en el documento “Presupuesto” del presente proyecto. Los costes derivados de ésta ascienden a 69.900,63 €.

✓ SEGURIDAD Y SALUD

Esta partida se encuentra contemplada en el documento “Presupuesto” del presente proyecto. Los costes derivados de ésta ascienden a 35.705,61 €.

✓ VARIOS

Esta partida se encuentra contemplada en el documento “Presupuesto” del presente proyecto. Los costes derivados de ésta ascienden a 244.652,20 €.

✓ TERRENO

El terreno necesario asciende a un total de 20.000 metros cuadrados, con un coste de 284 €/m². Los costes derivados de ésta ascienden a 5.680.000,00 €.

2.1.2. Inmovilizado no material

Cubren el capital destinado a la organización y la gestión del proyecto, así como la dirección y la contrata de obras. Además, incluyen los gastos derivados de circunstancias no previstas tales como errores en el diseño, tiempo adverso, etc.

✓ LICENCIAS, PERMISOS Y DIRECCIÓN DE OBRA

Se calculan de igual forma que las partidas que se muestran en el presupuesto. Se multiplica el coste total de todos los equipos en condiciones moderadas y en acero al carbono por un factor de 1.

Se estima que los costes asociados a esta partida ascienden a 349.503,14 €.

✓ CONTINGENCIAS

Para el cálculo de las contingencias el coste total de los equipos en condiciones moderadas y en acero al carbono se multiplica por un factor de 0,4.

Se estima que los costes asociados a las contingencias ascienden a 139.801,25 €.

2.1.3. Coste total del capital inmovilizado

Este valor se obtiene a partir de todas las partidas mencionadas anteriormente.

Tabla 1. Capital inmovilizado

INMOVILIZADO MATERIAL	IMPORTE (€)
Equipos mecánicos	1.707.745,80
Obra Civil y estructura metálica	139.801,25
Tuberías, aislamiento y pintura	1.195.422,06
Instalación eléctrica	34.950,31
Terreno	5.680.000,00
Instrumentación y control	69.900,63
Seguridad y salud	35.705,61
Varios	244.652,20
INMOVILIZADO NO MATERIAL	
Licencias, permisos y dirección de obra	349.503,14
Contingencias	139.801,25
COSTE TOTAL CAPITAL INMOVILIZADO	9.597.482,27

2.2. Capital circulante

El capital circulante es el capital invertido en forma de dinero efectivo para poner la planta en operación (dinero invertido antes de tener producto para vender) y mantener los inventarios (teniendo en cuenta retrasos en pagos).

Está destinado a cubrir gastos como:

- Materia prima para la puesta en marcha.
- Materia prima y producto para mantener los inventarios (aproximadamente 7 días).
- Transporte de materiales para la puesta en marcha.
- Crédito extendido a clientes-crédito extendido por los suministrados.
- Dinero para hacer frente al pago de nóminas al arranque del proceso.

Este capital suele estimarse como un 10-20% de los costes totales fijados. Se optó por tomar un valor del 15%. Bajo esta consideración, y teniendo en cuenta la Ecuación 1, el coste asociado a esta partida asciende a 1.693.673,34 €.

2.3. Coste de la Inversión Total

El coste total de la inversión asciende a 11.291.155,61 €.

3. Estimación de los costes de totales

3.1. Costes directos o de fabricación

Los costes directos engloban las siguientes partidas presentadas a continuación.

3.1.1. *Mano de obra*

Los costes de mano de obra se calculan haciendo la estimación de la necesidad de 30 trabajadores en la planta, con un salario medio de 2.500 € al mes. Teniendo en cuenta que este salario lo reciben durante doce meses más dos pagas extras, el coste de mano de obra asciende a un total de 1.050.000 €.

3.1.2. Mantenimiento y reparaciones

En este apartado se incluirán los gastos de las reparaciones, revisión y sustitución de los equipos de la instalación. Esta partida representa aproximadamente un 10% del capital inmovilizado, es decir, 959.748,23 €.

3.1.3. Suministros

Los suministros se corresponden con el 1,5% del capital inmovilizado, quedando de esta manera un coste de 143.962,23 €.

3.1.4. Derechos industriales

Los derechos industriales se corresponden generalmente entre 1% y 5% de los ingresos por ventas. En este caso se toma un valor del 3%, por lo que los costes por derechos industriales resultan de 412.719,11 €.

3.1.5. Materias primas

La necesidad de ácido palmítico para el proceso es de 27.957,6 toneladas. El 90% se extrae de los residuos grasos de la sección 100, mientras que el 10% es necesario comprarlo de un proveedor.

El coste de compra de ácido palmítico es de 0,44 €/kg, mientras que el coste de extracción a través de la sección 100 se estima en un 30% del precio de venta del ácido palmítico; 0,12 €/kg. Por lo tanto los costes totales de materia prima ascienden a 4.243.305,23 €.

3.1.6. Otros gastos

Se consideran gastos imprevistos, como pueden ser cambios en el alcance del proyecto, conflictos laborales o problemas de subcontratas y contratas, constituyendo el 10% del capital inmovilizado. También se incluyen en estos gastos el tratamiento de residuos. De esta manera asciende a 959.748,23 €.

3.1.7. Utilidades

Los servicios auxiliares incluyen aquellas prestaciones que no son parte directa del proceso como el vapor, el agua o la electricidad, constituyendo el 20% del capital inmovilizado. De esta manera asciende a 1.919.496,45 €.

3.2. Costes indirectos

Dentro de éstos se incluyen los siguientes:

3.2.1. Impuestos

Éstos constituyen el 30% del beneficio bruto, que resultan ser un total de 881.762,57 € el primer año.

3.2.2. Intereses

Esta partida contempla los gastos asociados a los intereses del préstamo solicitado para la financiación del proyecto. Este préstamo consiste en el 70% de la inversión inicial del proyecto que asciende a 7.903.808,92 €, con un interés del 6% a 15 años. Esto se reduce a un pago anual de 800.361,93 € sujeto a la tasa de inflación.

3.2.3. Amortización

La amortización se emplea para compensar las pérdidas de valor de los elementos del inmovilizado, maquinaria o edificios y con la finalidad de que cuando haya un elemento de la instalación que pasa su periodo de vida útil pueda ser repuesto por otros.

Para estimar la amortización se emplea la depreciación lineal. Esta técnica considera que la cantidad a amortizar anualmente es la misma durante la vida útil del bien.

Se adoptó una amortización lineal a 10 años sobre la inversión total del proyecto. De esta forma, los costes totales de amortización anuales ascenderán a 1.129.115,56 €.

Tabla 2. Costes totales

Costes totales	
Costes directos	9.688.979,48 €
Costes indirectos	2.811.240,06 €
TOTAL	12.500.219,54 €

4. Ingresos por ventas

Los ingresos obtenidos provienen de la venta del producto principal, el *drying oil*. El precio del *drying oil* es de 0,87 €/kg.

También se obtienen ingresos por la venta del ácido acético, que se obtiene como subproducto en la planta. El precio del ácido acético es de 0,72 €/kg.

Los ingresos por ventas, de acuerdo con la capacidad de la planta, y los precios de venta fijados se observan en la Tabla 3.

Tabla 3. Ingresos por ventas

Producto	Precio (€/kg)	Producción (t)	Ingresos(€/año)
Drying oil	0,87	12.500	10.852.911,13
Ácido Acético	0,72	4.020,97	2.904.392,46
TOTAL (€)			13.757.303,59

5. Flujos de caja

Los flujos de caja (del inglés *cash-flow*) constituyen la diferencia entre los ingresos y los costes que se producen en un período determinado.

Para el cálculo del flujo de caja en un año i se siguen las indicaciones que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Flujo de caja

(+) Ingresos por ventas
(-) Costes Totales
(-)Dotación a la amortización
Beneficios antes de impuestos e intereses(bruto)
(-)Impuestos
Beneficios antes de intereses
(-)Intereses
Beneficio neto
(+)Dotación a la amortización
Flujo neto de caja
Flujo de caja acumulado

Se considera que la vida útil de la planta (número de años durante los cuales está previsto que la inversión esté funcionando y generando rendimientos positivos) es de 15 años, con un valor residual nulo al cabo de dicho tiempo y una tasa de inflación de 2,2%. Aunque el IPC determinado por el Instituto Nacional de Estadística para España en Junio de 2014 es del 0,086%, los valores para estos últimos años (en los meses de julio desde 2005 hasta 2014) oscilan entre el -1,369 y 5,2%, obteniéndose una media de 2,2%.

Hay que aclarar que se considera que todos los equipos tienen la misma vida útil, ya que se trata de un análisis económico preliminar, aunque un estudio más exacto tendría en cuenta la diferencia en la vida útil de los equipos.

Se asume que en el momento inicial de realizar la obra se realiza la inversión. La inversión se paga de una sola vez y no se fracciona el pago en años.

El motivo de sumar y restar la amortización es que se trata de un gasto que no se puede deducir fiscalmente, pero no supone ninguna salida de caja para añadir al beneficio bruto, para obtener con esto el rendimiento neto.

Tabla 5. Flujos de caja del año 0 al año 5

Año	0	1	2	3	4	5
(+) Ingresos por Ventas		13.757.303,59 €	14.059.964,27 €	14.369.283,48 €	14.685.407,72 €	15.008.486,69 €
(-) Costes de fabricación		9.688.979,48 €	9.902.137,03 €	10.119.984,04 €	10.342.623,69 €	10.570.161,41 €
(-) Dotación amortización		1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €
Beneficios antes de impuestos		2.939.208,55 €	3.028.711,68 €	3.120.183,88 €	3.213.668,47 €	3.309.209,72 €
(-) Impuestos		881.762,57 €	908.613,50 €	936.055,16 €	964.100,54 €	992.762,92 €
Beneficios antes de intereses		2.057.445,99 €	2.120.098,18 €	2.184.128,72 €	2.249.567,93 €	2.316.446,80 €
(-) Intereses		800.361,93 €	817.969,89 €	835.965,23 €	854.356,47 €	873.152,31 €
Beneficios neto		1.257.084,05 €	1.302.128,28 €	1.348.163,48 €	1.395.211,46 €	1.443.294,49 €
(+) Dotación amortización		1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €
FLUJO NETO DE CAJA	- 11.291.155,61 €	2.386.199,61 €	2.431.243,84 €	2.477.279,04 €	2.524.327,02 €	2.572.410,05 €
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	- 11.291.155,61 €	- 8.904.955,99 €	- 6.473.712,15 €	- 3.996.433,11 €	- 1.472.106,08 €	1.100.303,97 €

Tabla 6. Flujo de caja del año 6 al año 11

Año	6	7	8	9	10	11
(+) Ingresos por Ventas	15.338.673,40 €	15.676.124,21 €	16.020.998,94 €	16.373.460,92 €	16.733.677,06 €	17.101.817,96 €
(-)Costes de fabricación	10.802.704,96 €	11.040.364,47 €	11.283.252,49 €	11.531.484,04 €	11.785.176,69 €	12.044.450,58 €
(-)Dotación amortización	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	-
Beneficios antes de impuestos	3.406.852,87 €	3.506.644,18 €	3.608.630,89 €	3.712.861,31 €	3.819.384,81 €	5.057.367,37 €
(-) Impuestos	1.022.055,86 €	1.051.993,25 €	1.082.589,27 €	1.113.858,39 €	1.145.815,44 €	1.517.210,21 €
Beneficios antes de intereses	2.384.797,01 €	2.454.650,93 €	2.526.041,63 €	2.599.002,92 €	2.673.569,36 €	3.540.157,16 €
(-)Intereses	892.361,66 €	911.993,62 €	932.057,48 €	952.562,74 €	973.519,12 €	994.936,54 €
Beneficios neto	1.492.435,35 €	1.542.657,31 €	1.593.984,15 €	1.646.440,18 €	1.700.050,24 €	2.545.220,62 €
(+)Dotación amortización	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	1.129.115,56 €	-
FLUJO NETO DE CAJA	2.621.550,91 €	2.671.772,87 €	2.723.099,71 €	2.775.555,74 €	2.829.165,80 €	2.545.220,62 €
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	3.721.854,88 €	6.393.627,75 €	9.116.727,46 €	11.892.283,20 €	14.721.449,00 €	17.266.669,62 €

Tabla 7. Flujo de caja del año 12 al año 15

Año	12	13	14	15
(+) Ingresos por Ventas	17.478.057,95 €	17.862.575,23 €	18.255.551,88 €	18.657.174,02 €
(-)Costes de fabricación	12.309.428,49 €	12.580.235,92 €	12.857.001,11 €	13.139.855,14 €
(-)Dotación amortización	-	-	-	-
Beneficios antes de impuestos	5.168.629,46 €	5.282.339,31 €	5.398.550,77 €	5.517.318,89 €
(-) Impuestos	1.550.588,84 €	1.584.701,79 €	1.619.565,23 €	1.655.195,67 €
Beneficios antes de intereses	3.618.040,62 €	3.697.637,51 €	3.778.985,54 €	3.862.123,22 €
(-)Intereses	1.016.825,15 €	1.039.195,30 €	1.062.057,60 €	1.085.422,86 €
Beneficios neto	2.601.215,47 €	2.658.442,21 €	2.716.927,94 €	2.776.700,36 €
(+)Dotación amortización	-	-	-	-
FLUJO NETO DE CAJA	2.601.215,47 €	2.658.442,21 €	2.716.927,94 €	2.776.700,36 €
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	19.867.885,09 €	22.526.327,31 €	25.243.255,25 €	28.019.955,61 €

6. Valoración económica del proyecto

Para saber si el proyecto resulta rentable es preciso calcular: el Valor Actual Neto de la Inversión (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Tiempo de Retorno del Capital (*payback*).

6.1. Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto de la inversión se puede calcular de acuerdo con la Ecuación 2.

$$VAN = -A + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{(1+r)^i} \quad [2]$$

Donde:

- A es la inversión inicial
- Q_i es el flujo de caja generado en el año i
- n son los años de vida del proyecto
- r es tasa de actualización o de descuento considerada

Hay que aclarar que la Ecuación 2 se utiliza cuando la inversión se paga en una sola vez, mientras que si se fracciona la inversión la forma de calcular el VAN cambia.

Cuanto mayor sea el valor del VAN para una tasa de actualización dada, mayor será la rentabilidad del proyecto.

Para una tasa de actualización del 9% se obtiene un valor del VAN de 9.535.437,12 €.

Al obtener un VAN de valor positivo, el proyecto se puede considerar rentable.

6.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se define como la tasa de descuento que iguala el VAN a cero, es decir, la tasa de actualización a la cual se recupera la inversión. Se calcula determinando el valor de r que satisfaga la Ecuación 3.

$$-A + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{(1+r)^i} = 0 \quad [3]$$

Donde:

- A es la inversión inicial en euros
- Q_i son los flujos de caja de cada año i
- r es la tasa de actualización a la cual se recupera la inversión
- i es el año

Si la tasa de actualización exigida al proyecto es inferior al TIR, el proyecto será económicamente rentable, ya que eso implicaría que el VAN es positivo para este tipo de actualización. Hay que tener en cuenta que el TIR no tiene en cuenta la temporalidad de los flujos de caja.

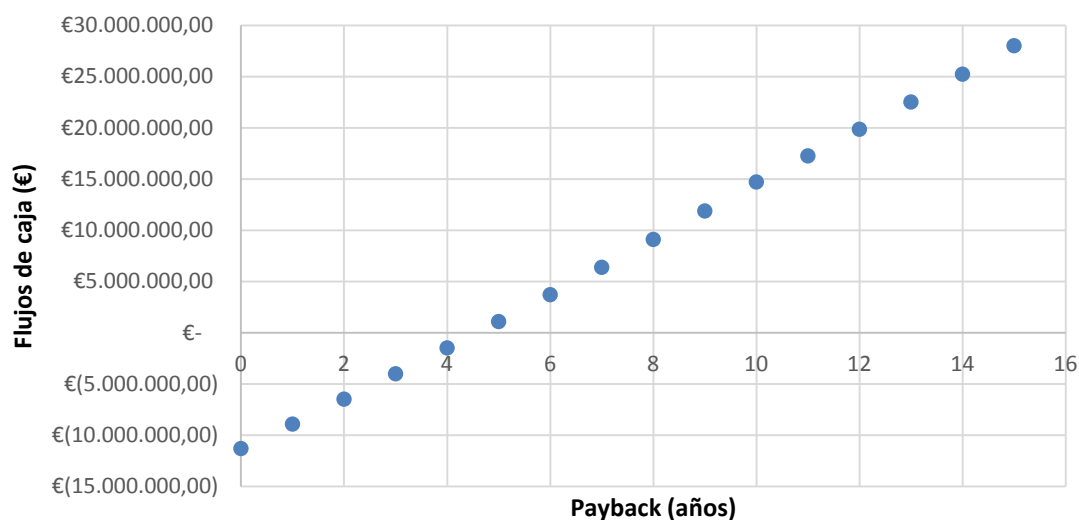
El valor obtenido del TIR para este proyecto es del 21% superior a la tasa de actualización aplicada, 9%, y por lo tanto, el proyecto también resulta rentable según este criterio.

6.3. Tiempo de Retorno

Se define como el período que tarda en recuperarse la inversión inicial, una vez iniciado el proyecto, a través de los flujos de caja generados por este. La inversión se recupera en el año en el cual los flujos de caja acumulados superan a la inversión inicial.

El cálculo se realiza llevando a cabo la suma acumulativa de los flujos de caja actualizados, y detectando el punto en que la suma se hace positiva, momento a partir del que se obtendrán los beneficios.

El plazo de retorno será por lo tanto el observado en la Gráfica 1 que para este proyecto resulta de cinco años aproximadamente.



Gráfica 1. Payback

7. Conclusiones

La principal conclusión que se puede extraer al realizar el estudio preliminar de la viabilidad económica es que el proyecto resulta rentable, ya que se obtiene un valor del VAN positivo y un TIR del 21% frente al 9% tomado como tasa de descuento.

De todos modos, a pesar de esta valoración positiva, el tiempo de retorno, también llamado *payback*, resulta ser de cinco años, esto es debido a un elevado valor de la inversión inicial necesaria para el proyecto, principalmente debido al elevado número de equipos que se deben comprar así como al coste del terreno. Como la vida estimada de la planta se tasa en quince años, el hecho de recuperar la inversión inicial al quinto año, aporta un intervalo de tiempo de diez años en los que se podrá observar la rentabilidad anteriormente explicada del presente proyecto.



Anexo IV. Fichas de seguridad

Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos

Fichas Internacionales de Seguridad Química

1-TETRADECENO	ICSC: 1566
	Octubre 2004

	Tetradec-1-eno <i>alfa</i> -Tetradeceno	
CAS:	1120-36-1	C₁₄H₂₈ / CH₃(CH₂)₁₁CH=CH₂
CE / EINECS:	214-306-9	Masa molecular: 196,4

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar las llamas.	Polvo, arena seca, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN			

EXPOSICIÓN			
Inhalación		Ventilación.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Guantes protectores.	Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Ojos		Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes tapados. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
	Separado de oxidantes fuertes.

IPCS
International
Programme on
Chemical Safety



Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

1-TETRADECENO**ICSC: 1566**

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido incoloro.

PELIGROS QUÍMICOS:

Reacciona con oxidantes fuertes.

Ataca al caucho, a las pinturas y a materiales de revestimiento.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV no establecido.

MAK no establecido.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20°C no se alcanza, o se alcanza sólo muy lentamente, una concentración nociva en el aire; sin embargo, por pulverización o dispersión mucho más rápidamente.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y la consiguiente neumonitis química.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El líquido desengrasa la piel.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 252°C

Punto de fusión: -12°C

Densidad relativa (agua = 1): 0,8

Solubilidad en agua: ninguna

Presión de vapor, Pa a 25°C: 2

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 6,78

Punto de inflamación: 107°C c.c.

Temperatura de autoignición: 239°C

Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 0,3-4,3

Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 7,08

DATOS AMBIENTALES

Puede producirse una bioacumulación de esta sustancia en organismos acuáticos.

NOTAS

INFORMACIÓN ADICIONAL

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

ÁCIDO ACÉTICO**ICSC: 0363**

Mayo 2010

CAS: 64-19-7
RTECS: AF1225000
NU: 2789
CE Índice Anexo I: 607-002-00-6
CE / EINECS: 200-580-7

Ácido acético glacial
 Ácido etanoico
 Ácido etílico
 Ácido metanocarboxílico
 $C_2H_4O_2$ / CH_3COOH
 Masa molecular: 60.1



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua pulverizada o dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Por encima de 39°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire. Riesgo de incendio y explosión en contacto con oxidantes fuertes.	Por encima de 39°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Dolor de garganta. Tos. Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Vértigo. Jadeo. Dificultad respiratoria.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Dolor. Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves. Pérdida de visión.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Dolor abdominal. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar con precaución el líquido derramado con carbonato sódico, solo bajo la responsabilidad de un experto. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.	No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 10-35 S: (1/2-)23-26-45 Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Riesgos Subsidiarios de las NU: 3 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Líquidos y vapores inflamables. Nocivo si se inhala el vapor. Nocivo en contacto con la piel. Puede ser nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria. Provoca daños en el sistema respiratorio tras exposiciones prolongadas o repetidas si se inhala. Nocivo para los organismos acuáticos.
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Código NFPA: H3; F2; R0	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos. Mantener en lugar bien ventilado. Bien cerrado. Almacenar en el recipiente original. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010

IPCS
 International
 Programme on
 Chemical Safety


ÁCIDO ACÉTICO		ICSC: 0363
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro de olor acre. PELIGROS QUÍMICOS La sustancia es un ácido débil. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con bases fuertes, ácidos fuertes y muchos otros compuestos. Ataca a algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos. LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 10 ppm como TWA; 15 ppm como STEL (ACGIH 2010). LEP UE: 10 ppm; 25 mg/m³ como TWA (EU 1991).	VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire. EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación puede causar edema pulmonar, pero sólo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias. EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Los pulmones pueden resultar afectados tras exposiciones prolongadas o repetidas a un aerosol de esta sustancia. Riesgo de erosión de los dientes tras exposiciones prolongadas o repetidas al aerosol de esta sustancia.	
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición: 118°C Punto de fusión: 16.7°C Densidad relativa (agua = 1): 1.05 Solubilidad en agua: miscible. Presión de vapor, kPa a 20°C: 1.5 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.1	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.02 Punto de inflamación: 39°C c.c. Temperatura de autoignición: 485°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6.0-17 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.17	
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
El nº NU 2789 corresponde al ácido acético, ácido acético glacial o un disolución de ácido acético con más del 80 % de ácido en peso. Otro nº NU: NU 2790 disolución de ácido acético (entre el 10 y el 80% de ácido acético en peso); clasificación de peligro NU 8, grupo de envasado II-III.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 10 ppm; 25 mg/m³ VLA-EC: 15 ppm, 37 mg/m³		
NOTA LEGAL Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.		
© IPCS, CE 2010		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO ESTEARICO(puro)

ICSC: 0568



ACIDO ESTEARICO(puro)
Acido n-octanodecanoico
 $C_{18}H_{36}O_2/CH_3(CH_2)_{16}COOH$
Masa molecular: 284.5

N° CAS 57-11-4
N° RTECS W12800000
N° ICSC 0568

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar las llamas.	Polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION			
EXPOSICION		-EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO!	
• INHALACION		Extracción localizada.	Aire limpio, reposo.
• PIEL		Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
• OJOS		Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Provocar el vómito (-UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!).
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión.		Mantener bien cerrado.	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0568		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO ESTEARICO(puro)

ICSC: 0568

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Cristales blancos o polvo, de olor característico.		VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.	
	PELIGROS FISICOS Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.		RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire cuando se dispersa.	
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia es un ácido débil. Reacciona con bases, oxidantes y agentes reductores.		EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La inhalación del polvo puede originar neumonitis química.	
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA) (como estearatos): 10 mg/m³ A4 (ACGIH 1997-1998).		EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA	
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición (se descompone): 376°C Punto de fusión: 69-72°C Densidad relativa (agua = 1): 0.94-0.83 Solubilidad en agua: Ninguna.		Presión de vapor, Pa a 174°C: 133 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 9.8 Punto de inflamación: 196°C Temperatura de autoignición: 395°C	
DATOS AMBIENTALES				
NOTAS				
Los efectos de la exposición de ésta sustancia no han sido investigados.				
Código NFPA: H 1; F 1; R 0;				
INFORMACION ADICIONAL				
FISQ: 5-004 ACIDO ESTEARICO(puro)				
ICSC: 0568ACIDO ESTEARICO(puro)				
© CCE, IPCS, 1994				
NOTA LEGAL IMPORTANTE:		Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO OLEICO

ICSC: 1005



Ácido 9-Octadecanoico
 Ácido 9,10-Octadecanoico
 Ácido oleínico
 Ácido cis-9-octadecanoico
 $C_{18}H_{34}O_2$ / $C_8H_{17}CH=CH(CH_2)_7COOH$
 Masa molecular: 282.5

Nº CAS 112-80-1

Nº RTECS RG2275000

Nº ICSC 1005

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar las llamas.	Polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION			
EXPOSICION			
• INHALACION		Extracción localizada.	Aire limpio, reposo.
• PIEL	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas de protección de seguridad,	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Véase Notas.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes tapados. Eliminar el líquido derramado con agua abundante.	Separado de bases fuertes.	NU (transporte): No clasificado CE: No clasificado

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 1005

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2003

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO OLEICO

ICSC: 1005

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro , vira de amarillo a marrón por exposición del aire.		RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas dispersadas en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia es un ácido débil.		
	LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido. MAK: categoria 3A (DFG 2003)		
PROPIEDADES FISICAS	Se descompone por debajo del punto de ebullición Punto de fusión: 13.4°C Densidad relativa (agua = 1): 0.89 Solubilidad en agua, g/100 ml: ninguna	Punto de inflamación: 189°C c.c. Temperatura de autoignición: 363°C Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 7.73 (estimado)	
DATOS AMBIENTALES			
NOTAS			
La sustancia puede ser absorbida por ingestión, pero no se han observado efectos nocivos.			
Código NFPA: H 0; F 1; R 0;			
INFORMACION ADICIONAL			
Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm		Última revisión IPCS: 2002 Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003 FISQ: 6-016	
ICSC: 1005			
ACIDO OLEICO			
© CE, IPCS, 2003			
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO PALMITICO

ICSC: 0530



ACIDO PALMITICO
Acido hexadecanoico
 $C_{16}H_{32}O_2$
Masa molecular: 256.5

Nº CAS 57-10-3
Nº RTECS RT4550000
Nº ICSC 0530

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar llama abierta.	Pulverización con agua, polvos.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DE POLVOS!	
• INHALACION		Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
• PIEL			
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas de protección 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		No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Someter a atención médica.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente.			
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0530		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO PALMITICO

ICSC: 0530

D A T O S I M P O	ESTADO FISICO; ASPECTO Cristales incoloros o blancos.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	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 dispersión.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia es un ácido débil. Reacciona con bases, oxidantes y agentes reductores.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido.	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA

R T A N T E S	
PROPIEDADES FÍSICAS	Punto de ebullición: 351°C Punto de fusión: 63°C Densidad relativa (agua = 1): 0.85 Solubilidad en agua: insoluble Presión de vapor, Pa a 154°C: 133 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 5.64
DATOS AMBIENTALES	
NOTAS	
INFORMACION ADICIONAL	
FISQ: 1-024 ACIDO PALMITICO	
ICSC: 0530	ACIDO PALMITICO
© CCE, IPCS, 1994	
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).

Octacos-1-ene

Google™ Custom Search

Search

- 1-Octacosene

Formula

C₂₈H₅₆

Structure



Registry Numbers and Inventories.

CAS

18835-34-2

EC (EINECS/ELINCS)

242-616-4

UN (DOT)

1325

Beilstein/Gmelin

NA

US TSCA

Listed

New Zealand

Listed

Korea ECL

Listed

Properties.

Formula

C₂₈H₅₆

Formula mass

392.75

Melting point, °C

130

Boiling point, °C

427

Critical temperature

584

Critical pressure

6.6

Solubility in water

Insoluble

Partition coefficient, pK_{ow}

11.91

Hazards and Protection.

Storage

Keep in a cool, dry, dark location in a tightly sealed container or cylinder. Keep away from incompatible materials, ignition sources and untrained individuals. Secure and label area. Protect containers/cylinders from physical damage.

Handling

All chemicals should be considered hazardous. Avoid direct physical contact. Use appropriate, approved safety equipment. Untrained individuals should not handle this chemical or its container. Handling should occur in a chemical fume hood.

Protection

Wear appropriate protective gloves, clothing and goggles.

Respirators

Wear positive pressure self-contained breathing apparatus (SCBA).

Small spills/leaks

Make no contact with the spilled material. ELIMINATE all ignition sources and ground all equipment. With clean shovel place material into clean, dry container and cover loosely; move containers from spill area.

Stability

No data.

Fire.

Fire fighting

Small Fires: Dry chemical, carbon dioxide, sand, earth, water spray or regular foam. Large Fires: Water spray, fog or regular foam.

Fire potential

Flammable/combustible material. May be ignited by friction, heat, sparks or flames.

Combustion products

Fire may produce irritating and/or toxic gases.

Health.

Exposure effects

The toxicological properties of this substance have not been fully investigated.

Skin

May cause burns.

Eyes

See Skin.

First aid

Ingestion

Seek medical assistance.

Inhalation

Move victim to fresh air. Apply artificial respiration if victim is not breathing.

Administer oxygen if breathing is difficult.

Skin

Remove and isolate contaminated clothing and shoes. In case of contact with substance, immediately flush with running water for at least 20 minutes. Wash skin with soap and water.

Eyes

In case of contact with substance, immediately flush with running water for at least 20 minutes.

Transport.

UN number

1325



Response guide

133

Hazard class

4.1

Packing Group

II; III

USCG Compatatibility Group

30 Olefins



Anexo V. Bibliografía

Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos

1. Memoria 3

2. Cálculos justificativos..... 4

3. Análisis de viabilidad económica y Presupuesto 5

4. Estudio básico de seguridad y salud y Seguridad de proceso..... 6

5. Estudio de impacto ambiental..... 6

6. Pliego de condiciones 7

1. Memoria

Libros:

Casal, J., Vílchez, J.A. 1999. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. Ediciones UPC. Capítulo 2

DAHL, O. 1976. *Industrialización de la grasa de animales de abasto*. Zaragoza, Ed. Acribia

Lipták, B. G. 2006. *Instrument Engineers Handbook*. New York, editorial Taylor & Francis, 4ª edición

McKetta, J.J. 1986. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. New York, editorial Marcel Dekker

Sinnot, R., Towler, G. 2008. *Chemical Engineering Design*. Londres, editorial Elsevier, 4ª edición.

Turton, R., Baillie, R. 2009. *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes*. Londres, editorial Prentice Hall, 3ª edición.

Ullman, F., Hofmann, H. 1996. *Encyclopedia of industrial chemistry*. Weinheim, editorial VCH, 5ª edición, Tomo A9.

Vian, Ortuño, A. 1994. *Introducción a la Química Industrial*. Barcelona, editorial Reverté, 2ª edición.

Revistas:

Bestratén, M., NTP-238 (de 1989). Los análisis de peligros y operabilidad en instalaciones de proceso. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

CRUZ, E. 1989. *Extracción Industrial de la grasa animal. Parte I. Alimentación, Equipos y Tecnología*

JIMENEZ, J. 1992. Obtención de aceite y grasas. *Alimentación, Equipos y Tecnología*

Ramos, A., *Procedimiento para el análisis de riesgos de operación. Método HAZOP*. Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE).

Referencias de Internet:

<http://www.magrama.gob.es/es/> Visto el 21-08-2014

<http://www.prtr-es.es/data/images/BREF-Mataderos-versi%C3%B3n-castellano-en-edici%C3%B3n.pdf> Visto el 21-08-2014

Guía técnica métodos cualitativos para el análisis de riesgo, DGPC (1994)

<http://www.sarria.es/pdf/documento%20resumen%20morelle.pdf> Visto el 21-08-2014

2. Cálculos justificativos

Libros:

Çengel, Y.A. 2007. *Transferencia de Calor y Masa*. México DF, editorial McGraw Hil, 3ª edición.

Donald Q. Kern. 1999. *Procesos de transferencia de calor*. México DF, editorial Cecsca

Froment, G.F. Bischoff, K.B. & De Wilde, J., 2011. *Chemical reactor analysis and design 3rd ed.*, New York; Jhon Wiley & Sons, Inc.

McCabe, W., Smith, J., Harriot P. 2005. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México DF, editorial McGraw Hill, 6ª edición.

Mott. R.L. 2006. *Mecánica de fluidos*. México, editorial Pearson educación, 6ª edición.

Perry, R.h., Green, W.D. 1999. *Perry. Manual del Ingeniero Químico*. Madrid, editorial McGraw Hill, 7ª edición.

Santamaría. J.M, Herguido J. 1999. *Ingeniería de reactores*. Madrid, editorial Síntesis.

Seider W.D., Seader J.D. 1999. *Process Design Principles*. Hoboken, editorial Wiley.

Sinnot. R, Towler G. 2008. *Chemical Engineering Design*. Londres, editorial Elsevier. 4ª edición.

Turton R. Baillie R. 2009. *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes*. Londres, editorial Prentice Hall, 3ª edición.

Walas S.M. 1990. *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. Newton MA, editorial Butterworth-Heinemann.

Revistas:

Alejandro Anaya. *Métodos para cálculo y diseño de hornos de proceso .Ingeniería química*. N°341. (1997)

Cabanes A.L., Santoyo A.B. *Simulación de un reactor-intercambiador. Parte I*.

Grummit, O. & Fleming, H., 1945. *Acetylated Castor Oil Preparation and Thermal Decomposition.. Industrial & Engineering Chemistry*, 37(5) 485-491. (Mayo 1945).

N.A. Ameneaghawon, C.O. Okieimen. Modelling and simulation of thermal Decomposition of acetylated Castor Oil in a non-isothermal reactor. 2012.

Referencias de Internet:

<http://www.steel.org/> Visto el 21-08-2014

Normas:

Normas TEMA

3. Análisis de viabilidad económica y Presupuesto

Libros:

Sinnot. R, Towler G. 2008. *Chemical Engineering Design*. Londres, editorial Elsevier. 4ª edición.

Turton R. Baillie R. 2009. *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes*. Londres, editorial Prentice Hall, 3ª edición.

Vian Ortuño, A. 1991. *El pronóstico económico en química industrial*. Madrid, editorial Eudema. 4ª edición

Referencias de Internet:

<http://www.ine.es/> Visto el 21-08-2014

<http://www.matche.com/equipcost/Default.html> Visto el 21-08-2014

4. Estudio básico de seguridad y salud y Seguridad de proceso

Revistas:

Durant A.A. *Implantación de equipos en plantas petroquímicas: Recomendaciones para el diseño "Plot-Plan"*. Instituto Mexicano del petróleo. Mayo 1998.

Normas:

Real Decreto 1627/1997, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Directiva 2012/18/UE relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE.

5. Estudio de impacto ambiental

Referencias de Internet:

<http://www.ige.eu/web/index.jsp?paxina=001&idioma=gl> Visto el 21-08-2014

<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=1505&k=gal> Visto el 21-08-2014

Artículos:

Acoleg Químicos, S.L. *Estudio de Impacto Ambiental*. Mayo 2007.

6. Pliego de condiciones

Libros:

F.J. Martínez de Pisón Ascacíbar, J. Ordieres. Año. *La oficina técnica y los proyectos industriales*. Ciudad, editorial fjnsdgnsg. 1ª edición.

Gómez E., Romero Sánchez M. 2000. *Cuadernos de Ingeniería de proyector II*. Valencia, editorial fajfja.

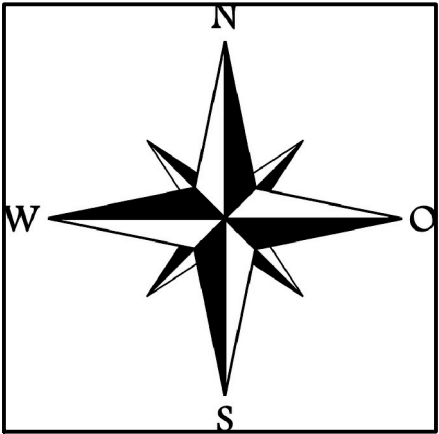
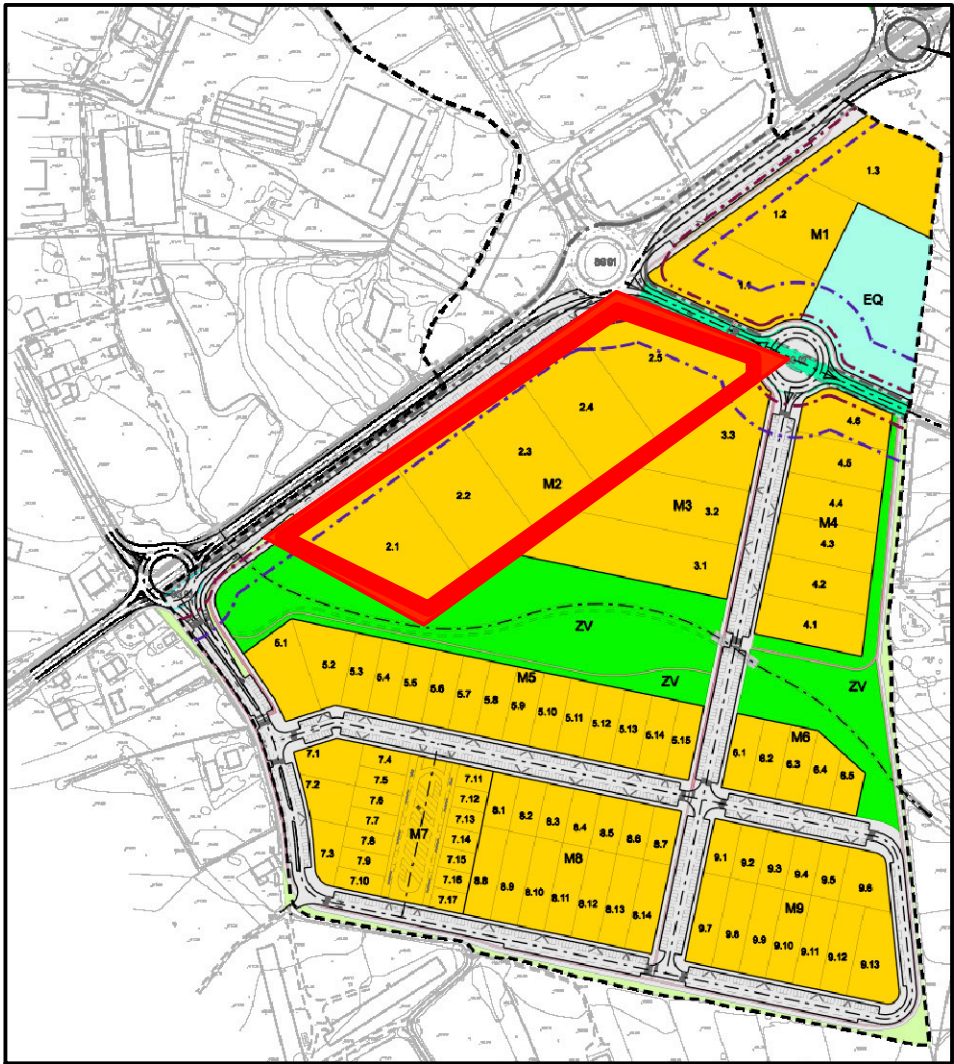
Referencias de Internet:

http://www.uclm.es/area/ing_rural/AsignaturaProyectos/Tema%209.pdf Visto el 21-08-2014



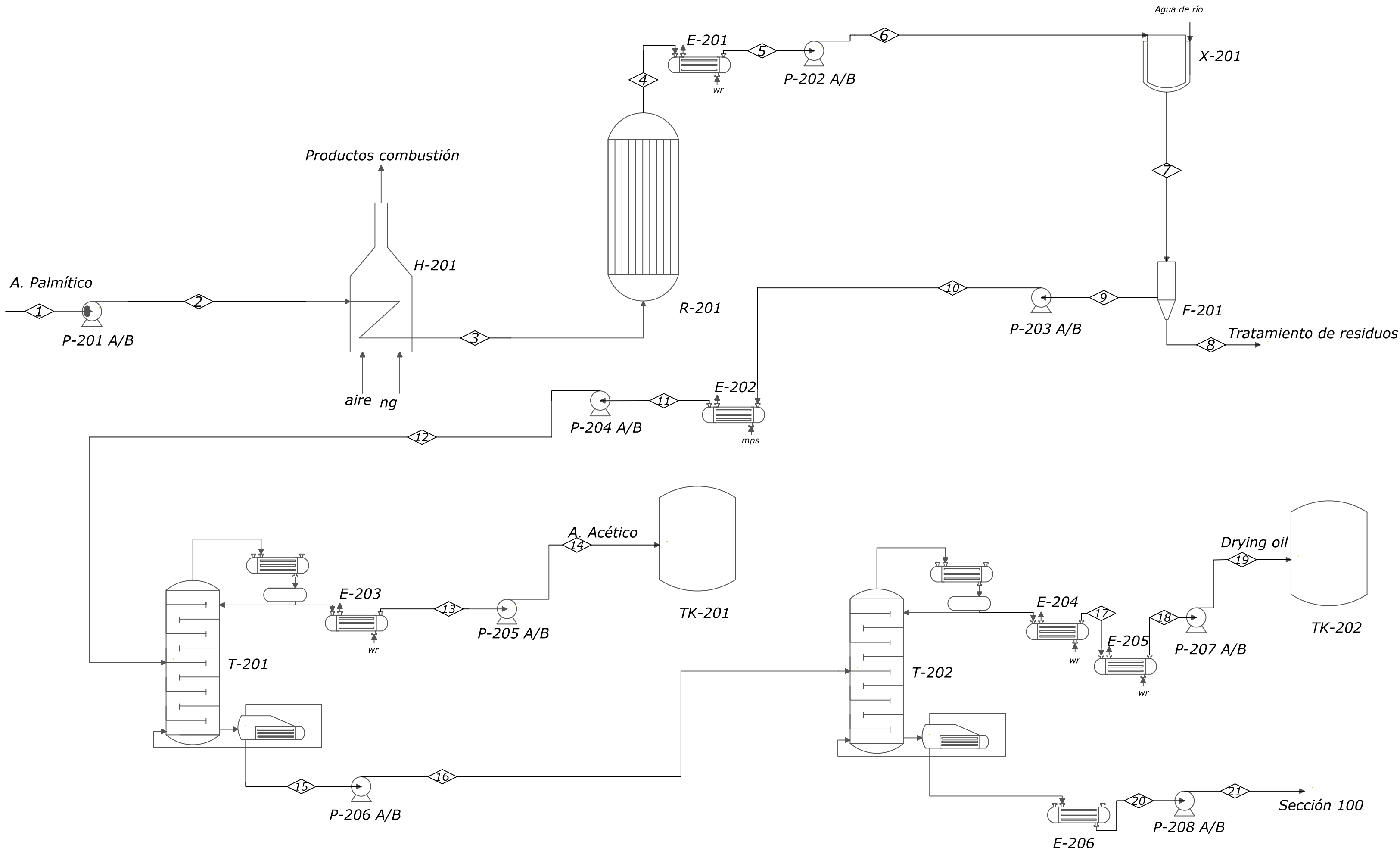
Documento II. Planos

Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos



42°47'40.6"N 7°23'00.2"W
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ACEITE SECO
LUGO, POLÍGONO O MORELLE, s/n
27600

PRODUCCIÓN DE ACEITE SECO A PARTIR DE RESIDUOS VACUNOS			
Autores del proyecto:		Título del plano: EMPLAZAMIENTO	
Fecha:	ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE ENXEÑERÍA UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA	Escala:	Nº de plano:
Setembro 2014		S/E	02

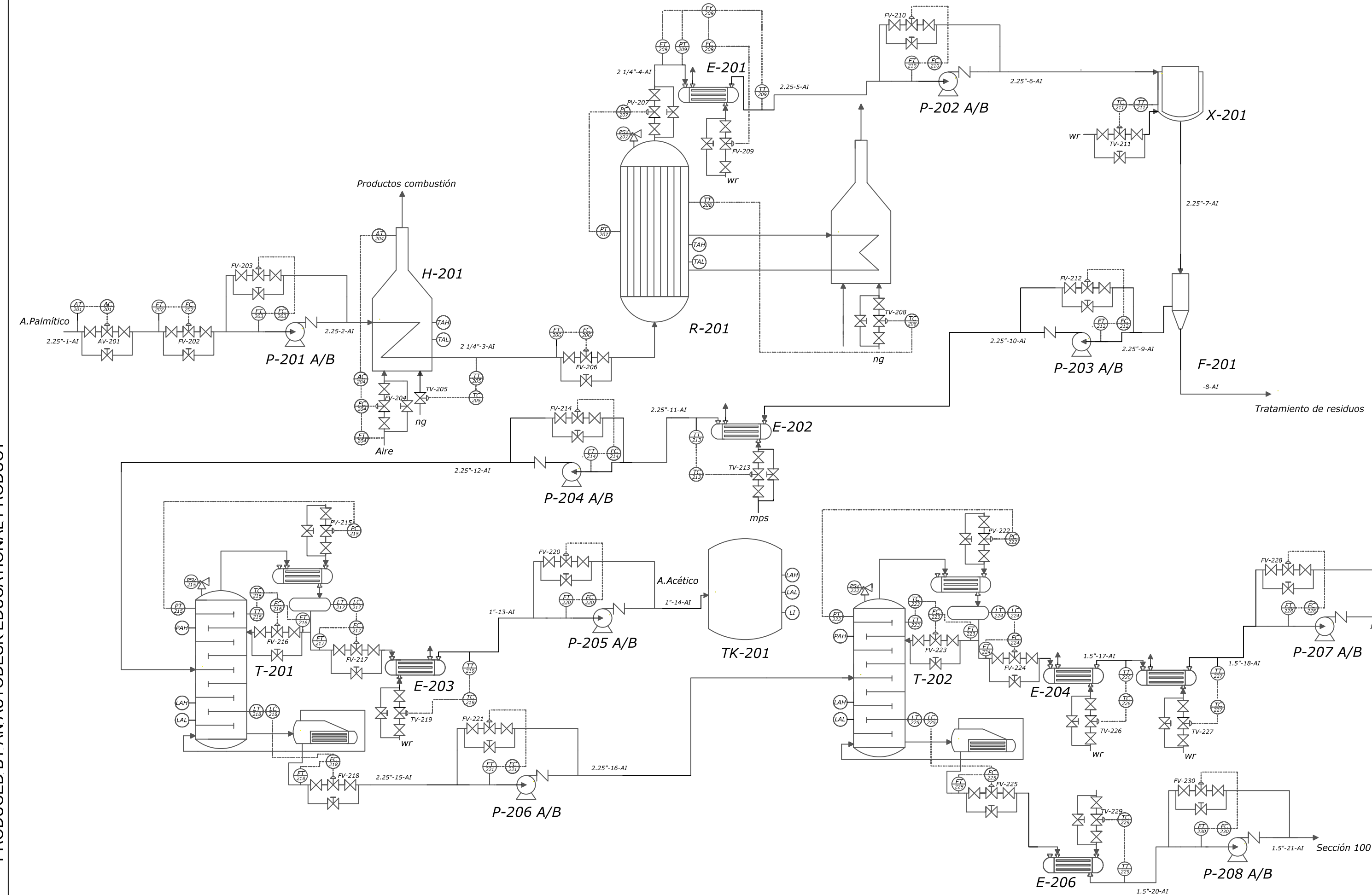


Nº de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Estado	Líquido	Líquido	Vapor	Vapor	Líquido	Líquido	L+S	Sólido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Flujo molar (kmol/h)	13. 85	13. 85	13. 85	21. 99	21. 99	21. 99	21. 99	0. 21	21. 78	21. 78	21. 78	21. 78	8. 45	8. 45	13. 33	13. 33	8. 01	8. 01	8. 01	5. 318	5. 318
Flujo másico (kg/h)	3530.89	3530.89	3530.89	3530.89	3530.89	3530.89	3530.89	82.40	3448.49	3448.49	3448.49	3448.49	518.89	518.89	2929.60	2929.60	1564.94	1564.94	1564.94	1364.66	1364.66
Temperatura(°C)	100	100	370	370	154	154	100	100	100	100	154	154	25	25	276.50	276.50	118	25	25	200.60	200.60
Presión (kPa)	101.13	297.25	140	116	103.28	135	125	120	120	125.50	125	125	101.32	125	120	120	110	106	125	114	125
Fracción molar Apalmítico	0.9761	0.9761	0.9761	0.2303	0.2303	0.2303	0.2303	0.0	0.2325	0.2325	0.2325	0.2325	0.0	0.0	0.3800	0.3800	0.006	0.006	0.006	0.943	0.943
Fracción molar Acético	0.0	0.0	0.0	0.3845	0.3845	0.3845	0.3845	0.0	0.3882	0.3882	0.3882	0.3882	0. 99	0. 99	0.0060	0.0060	0.011	0.011	0.011	0.0	0.0
Fracción molar D.O	0.0	0.0	0.0	0.3654	0.3654	0.3654	0.3654	0.0	0.3689	0.3689	0.3689	0.3689	0. 01	0. 01	0.5970	0.5970	0.983	0.983	0.983	0.015	0.015
Fracción molar Goma	0.0	0.0	0.0	0.0095	0.0095	0.0095	0.0095	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Lista de equipos	
Identificación	Equipo
Acondicionamiento	
P-201 A/B	Bomba centrífuga
H-201	Horno
Reacción	
R-201	Reactor
Separación	
E-201	Intercambiador de calor
P-202 A/B	Bomba centrífuga
X-201	Enfriador
F-201	Filtro
P-203 A/B	Bomba centrífuga
E-202	Intercambiador de alor
P-204 A/B	Bomba centrífuga
T-201	Columna de destilación
E-203	Intercambiador de calor
P-205 A/B	Bomba centrífuga
TK-201	Tanque de almacenamiento
P-206 A/B	Bomba centrífuga
T-202	Columna de destilación
E-204	Intercambiador de calor
E-205	Intercambiador de calor
P-207 A/B	Bomba centrífuga
TK-202	Tanque de almacenamiento
Recirculación	
E-206	Intercambiador de calor
P-208	Bomba centrífuga

Utilidades	
ng	gas natural
wr	agua de río
mps	vapor de media presión

PRODUCCIÓN DE ACEITE SECO A PARTIR DE RESIDUOS VACUNOS		
Autores del proyecto:		Título del plano: DIAGRAMA DE FLUJO
ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE ENXEÑERÍA UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA		
Fecha: Setembro 2014	Escala: S/E	Nº de plano: 02



Lista de equipos	
Identificación	Equipo
Acondicionamiento	
P-201 A/B	Bomba centrífuga
H-201	Horno
Reacción	
R-201	Reactor
Separación	
E-201	Intercambiador de calor
P-202 A/B	Bomba centrífuga
X-201	Enfriador
F-201	Filtro
P-203 A/B	Bomba centrífuga
E-202	Intercambiador de calor
P-204 A/B	Bomba centrífuga
T-201	Columna de destilación
E-203	Intercambiador de calor
P-205 A/B	Bomba centrífuga
TK-201	Tanque de almacenamiento
P-206 A/B	Bomba centrífuga
T-202	Columna de destilación
E-204	Intercambiador de calor
E-205	Intercambiador de calor
P-207 A/B	Bomba centrífuga
TK-202	Tanque de almacenamiento
Recirculación	
E-206	Intercambiador de calor
P-208	Bomba centrífuga

SIMBOLOGÍA DE LÍNEAS Y VÁLVULAS

Diámetro de tubería (in) — 1"-14-AC — Material de construcción

Número de corriente

Línea de proceso — Válvula de control — Válvula de corte

Línea de señal — Válvula antirretorno — Válvula de alivio

Válvula manual

NOMENCLATURA DE CONTROL

Variable a controlar — Instrumento

Sección del proceso — N° de lazo

Primera letra	Segunda letra y siguientes
T: Temperatura	T: Transmisor
P: Presión	I: Indicador
L: Nivel	C: Controlador
A: Composición	A: Alarma
F: Caudal	V: Válvula

Utilidades

ng	Gas natural
wr	Agua de río
mps	Vapor de media presión

Nº de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Estado	Líquido	Líquido	Vapor	Vapor	Líquido	Líquido	L+S	Sólido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Flujo molar (kmol/h)	13.85	13.85	13.85	21.99	21.99	21.99	21.99	0.21	21.78	21.78	21.78	21.78	8.45	8.45	13.33	13.33	8.01	8.01	8.01	5.318	5.318
Flujo másico (kg/h)	3530.89	3530.89	3530.89	3530.89	3530.89	3530.89	3530.89	82.40	3448.49	3448.49	3448.49	3448.49	518.89	518.89	2929.60	2929.60	1564.94	1564.94	1564.94	1364.66	1364.66
Temperatura(°C)	100	100	370	370	154	154	100	100	100	100	154	154	25	25	276.50	276.50	118	25	25	200.60	200.60
Presión (kPa)	101.13	297.25	140	116	103.28	135	125	120	120	125.50	125	125	101.32	125	120	120	110	106	125	114	125
Fracción molar Apalmítico	0.9761	0.9761	0.9761	0.2303	0.2303	0.2303	0.2303	0.0	0.2325	0.2325	0.2325	0.2325	0.0	0.0	0.3800	0.3800	0.006	0.006	0.006	0.943	0.943
Fracción molar Acético	0.0	0.0	0.0	0.3845	0.3845	0.3845	0.3845	0.0	0.3882	0.3882	0.3882	0.3882	0.99	0.99	0.0060	0.0060	0.011	0.011	0.011	0.0	0.0
Fracción molar D.O.	0.0	0.0	0.0	0.3654	0.3654	0.3654	0.3654	0.0	0.3689	0.3689	0.3689	0.3689	0.01	0.01	0.5970	0.5970	0.983	0.983	0.983	0.015	0.015
Fracción molar Goma	0.0	0.0	0.0	0.0095	0.0095	0.0095	0.0095	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

PRODUCCIÓN DE ACEITE SECO A PARTIR DE RESIDUOS VACUNOS

Autores del proyecto:

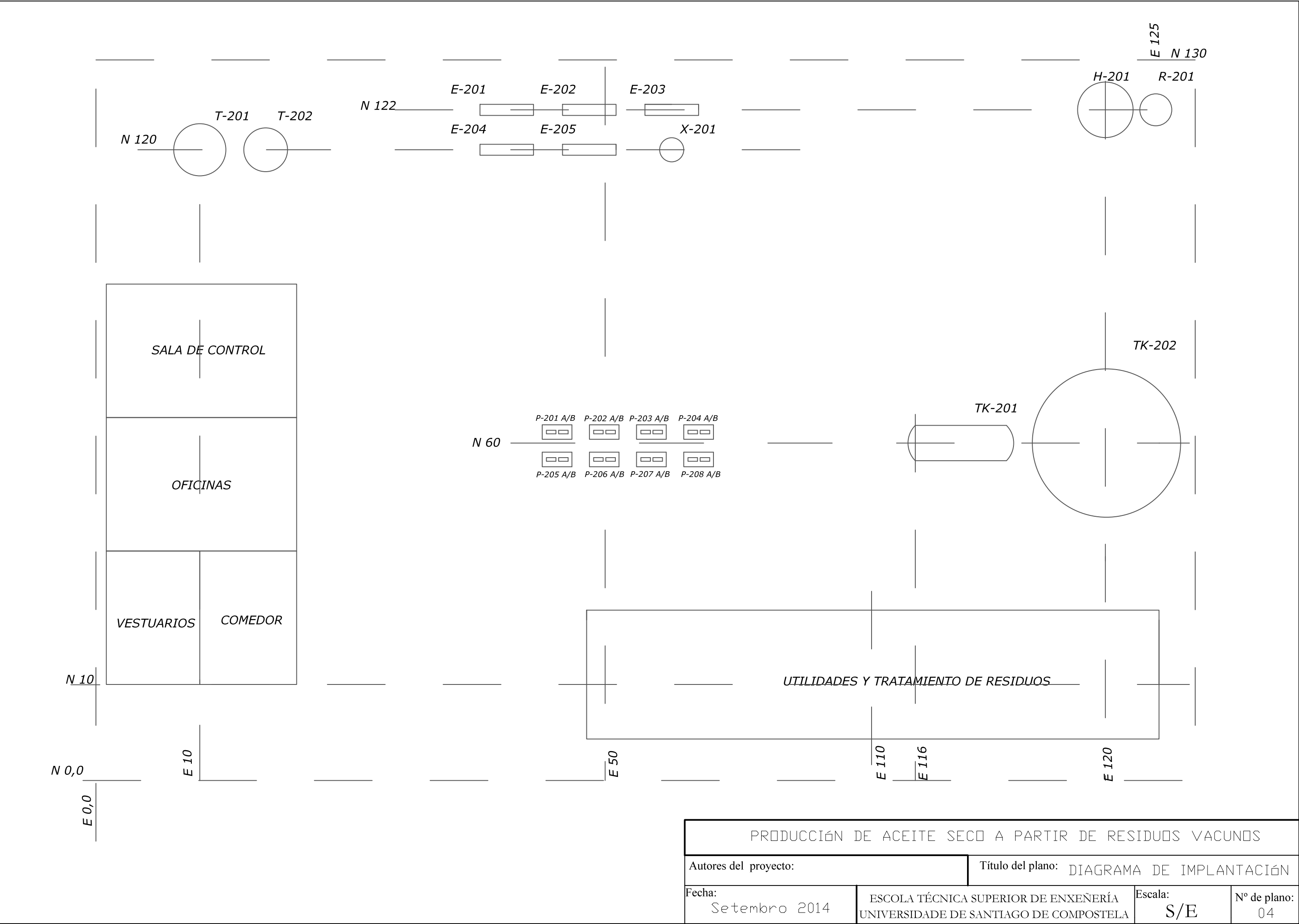
Título del plano:
DIAGRAMA P&ID

ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE ENXEÑERÍA
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Fecha:
Setembro 2014

Escala:
S/E

Nº de plano:
03



PRODUCCIÓN DE ACEITE SECO A PARTIR DE RESIDUOS VACUNOS

Autores del proyecto:

Título del plano: DIAGRAMA DE IMPLANTACIÓN

Fecha:

Setembro 2014

ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE ENXEÑERÍA
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Escala:

S/E

Nº de plano:

04



Documento III. Pliego de condiciones

Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos

Índice

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	6
1.1. DISPOSICIONES GENERALES	6
1.1.1. OBJETIVO	6
1.1.2. CONCURSO	6
1.1.3. CONTRATO. RESPONSABILIDAD DEL ADJUDICATARIO	8
1.1.4. PROGRAMA.....	12
1.1.5. ESTUDIOS. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	14
1.1.6. PLIEGOS, INSTRUCCIONES Y NORMAS APLICADAS	17
1.1.7. SEGURIDAD Y ACCIDENTES EN EL TRABAJO	18
1.2. CALIDAD DE LOS MATERIALES	20
1.2.1. MATERIALES EN GENERAL.....	20
1.2.2. ACEROS	21
1.2.3. RESTO DE MATERIALES.....	21
1.3. NORMAS DE CÁLCULO.....	21
1.3.1. NORMATIVA	21
1.4. DISPOSICIONES GENERALES DE LA OBRA	22
1.4.1. DIRECCIÓN DE LAS OBRAS Y REPRESENTACIÓN DEL CONTRATISTA.....	22
1.4.2. TERRENOS NECESARIOS PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS	24
1.4.3. PERSONAL DEL ADJUDICATARIO.....	25
1.4.4. SEGUROS Y ASISTENCIA MÉDICA.....	27
1.4.5. REPLANTEO DE LA OBRA	28
1.4.6. EXCAVACIONES	29
1.4.7. ESTADO DE LA OBRA.....	30
1.4.8. PROGRAMACIÓN DE LOS TRABAJOS.....	31
1.4.9. CESE O APLAZAMIENTO DE LOS TRABAJOS	31
1.4.10. RECEPCIÓN DE LAS INSTALACIONES	33
1.4.11. INSPECCIÓN	33
1.4.12. GARANTÍAS	34
1.4.13. SUCESOS DE FUERZA MAYOR.....	35
1.4.14. LEGISLACIÓN	35
1.4.15. OBRA CIVIL.....	36
1.4.16. INSTALACIONES VARIAS.....	37
1.4.17. RESPONSABILIDAD DE LA CONTRATA	37
1.4.18. DIRECCIÓN DE LOS TRABAJOS	38

1.4.19.	SUBALTERNOS EN LA OBRA.....	38
1.4.20.	PLAZO DE EJECUCIÓN	40
1.4.21.	REFORMA DEL PROYECTO	40
1.4.22.	CONTRADICCIONES, OMISIONES O ERRORES EN LOS DOCUMENTOS.....	41
1.4.23.	TRABAJOS DEFECTUOSOS O NO AUTORIZADOS	41
1.5.	ENSAYOS, PRUEBAS Y PROTECCIONES	43
1.5.1.	ENSAYOS EN TALLER	43
1.5.2.	PRESENTACIÓN EN TALLER.....	44
1.5.3.	PROTECCIÓN CONTRA CORROSIÓN.....	44
1.5.4.	INTERCAMBIADORES DE CALOR	45
1.5.5.	TUBERÍAS	46
1.5.6.	BOMBAS	46
1.6.	INSPECCIÓN, RECEPCIÓN Y PLAZOS DE GARANTÍA.....	47
1.6.1.	INSPECCIÓN FABRIL.....	47
1.6.2.	MONTAJE, INSPECCIÓN	48
1.6.3.	CONTROLES	49
1.6.4.	ACTA DE FIN DE MONTAJE	52
1.6.5.	AJUSTES, ENSAYOS Y SERVICIO EXPERIMENTAL.....	52
1.6.6.	RECEPCIÓN PROVISIONAL.....	53
1.6.7.	PERÍODO DE GARANTÍA.....	54
1.6.8.	RECEPCIÓN DEFINITIVA	54
1.7.	ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE, SEGUROS	55
1.7.1.	ALMACENAMIENTO.....	55
1.7.2.	TRANSPORTE	56
1.7.3.	SEGUROS DE TRANSPORTE	57
1.7.4.	IMPORTACIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS	57
1.8.	ORGANIZACIÓN DE LAS OBRAS.....	58
1.8.1.	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS Y REPRESENTACIÓN DEL ADJUDICATARIO ...	58
1.8.2.	TERRENOS NECESARIOS PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS	60
1.8.3.	INSTALACIONES AUXILIARES.....	61
1.8.4.	RELACIONES ENTRE LA PROPIEDAD Y LOS DIVERSOS CONTRATISTAS	62
1.8.5.	SUBCONTRACIÓN DE LAS OBRAS	64
1.8.6.	PERSONAL DE MONTAJE.....	65
1.8.7.	SEGUROS DE ASISTENCIA MÉDICA	66
1.9.	ABONO DE LAS OBRAS	67
1.9.1.	DEFINICIÓN DE LOS PRECIOS.....	67

1.9.2.	PRESTACIONES ACCESORIAS Y TRABAJOS POR ADMINISTRACIÓN	68
1.9.3.	ABONO DE TRABAJOS NO PREVISTOS	70
1.9.4.	REVISIÓN DE PRECIOS	71
1.9.5.	CONDICIONES DE PAGO	73
1.9.6.	PENALIDADES	73
1.9.7.	INDEMNIZACIONES A FAVOR DEL ADJUDICATARIO	74
1.9.8.	RECISIÓN DE CONTRATO.....	75
1.9.9.	LEGISLACIÓN.....	78
2.	PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES	80
2.1.	NATURALEZA DEL PLIEGO	80
2.2.	INSTALACIÓN MECÁNICAS	80
2.2.1.	GENERAL	80
2.2.2.	MATERIALES	82
2.2.3.	CONDICIONES DE EJECUCIÓN.....	83
2.2.4.	PINTURAS Y ASILAMIENTOS	90
2.2.5.	CONTROL DE CALIDAD, INSPECCIONES Y PRUEBAS	91
2.3.	CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS	98
2.3.1.	OBRAS DE HORMIGÓN.....	98
2.3.2.	HORMIGÓN	100
2.3.3.	CEMENTO.....	101
2.3.4.	AGUA	101
2.3.5.	ÁRIDOS.....	102
2.3.6.	DOSIFICACIÓN.....	102
2.3.7.	ADITIVOS	103
2.3.8.	ARMADURAS	103
2.3.9.	MORTEROS Y ADHESIVOS.....	104
2.3.10.	SUMINISTRO.....	105
2.3.11.	PUESTA EN MARCHA.....	105
2.3.12.	CONTROL.....	107
2.3.13.	RECEPCIÓN DE PIEZAS Y CONJUNTOS.....	109
2.3.14.	MEDICIONES	109
2.3.15.	DOCUMENTACIÓN A ENTREGAR	109
2.4.	PLIEGO DE CONDICIONES ELÉCTRICAS	110
2.4.1.	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	110
2.4.2.	CONDUCTORES.....	110
2.4.3.	IDENTIFICACIÓN.....	111

2.4.4.	TERMINALES	111
2.4.5.	INSTALACIÓN DE APARATOS	112
2.4.6.	CUADROS DE DISTRIBUCIÓN	112
2.4.7.	INSTALACIONES DE FUERZA Y ALUMBRADO	112
2.4.8.	EQUILIBRIO DE FASES	113
2.4.9.	ACOMETIDA GENERAL	113
2.4.10.	CAJA DE PROTECCIÓN	113
2.4.11.	LÍNEA REPARTIDORA	113
2.4.12.	CONTADORES	114
2.4.13.	DERIVACIONES INDIVIDUALES	114
2.4.14.	INSTALACIÓN	114
2.4.15.	INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA	115
2.5.	EQUIPOS	115
2.5.1.	LISTA DE EQUIPOS	115
2.5.2.	ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS	117
2.6.	RECEPCIÓN DE LA OBRA	117
2.6.1.	CERTIFICADOS Y DOCUMENTACIÓN	117
2.6.2.	LIBRO DE ÓRDENES	117
2.6.3.	PLAN DE OBRA	118
2.6.4.	DISPOCIÓN FINAL	118

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1. DISPOSICIONES GENERALES

1.1.1. OBJETIVO

El presente Pliego de Condiciones constituye el conjunto de instrucciones, normas, prescripciones, y especificaciones que, junto con lo indicado en la Memoria, Planos y Presupuestos, definen todos los requisitos a cumplir por las obras.

Los documentos adjuntos contienen, además de la descripción general de las obras, las condiciones que han de cumplir los materiales y las instrucciones para la ejecución, medición y abono de las unidades de dichas obras, siendo por tanto la norma y guía que ha de seguir en todo momento el Adjudicatario.

1.1.2. CONCURSO

Constituyen objeto de concurso restringido las empresas que la Propiedad juzgue oportuno invitar.

La propiedad se reserva el derecho a introducir modificaciones de detalle o a exigir la prestación de servicios o suministros suplementarios que el Adjudicatario pueda prestar o pueda realizar.

El Adjudicatario podrá proponer modificaciones de las especificaciones del suministro, debiendo hacerlo siempre que, por efecto de utilización de patentes o por otras razones, lo juzgue técnica y económicamente aconsejable.

Las especificaciones y las descripciones del suministro no son limitativas, debiendo el Adjudicatario facilitar todos los datos e información que estime indispensable para conseguir plenamente los fines del contrato.

El Adjudicatario dará preferencia, en igualdad de condiciones, a materiales y servicios de origen español.

Los Concursantes deberán presentar un Cuadro de Precios Unitarios, reseñando todos los que figuren en el Cuadro de Precios del Anteproyecto.

Presentarán, asimismo, los presupuestos parcial y general correspondientes, una descripción de la organización de sus trabajos en la que se encuentre incluida la relación del personal técnico que tendrá a su cargo durante la realización de las obras, y una lista detallada de la maquinaria o medios a utilizar, con sus requerimientos y sus capacidades, para cumplir los plazos establecidos. Del mismo modo, indicará las fechas límites en que se debe recibir de la Propiedad la información complementaria necesaria para desarrollar sus trabajos de acuerdo con el plan de obra previsto.

Se considerará como documento fundamental para la adjudicación del concurso el Cuadro de Precios presentado. Los errores que pudieran haberse cometido en los presupuestos serán subsanados por la Propiedad o su representante legal, al estudiar las ofertas a partir de los datos del citado cuadro y de las mediciones del Anteproyecto.

Los precios unitarios se considerarán actualizados hasta la fecha de presentación de la oferta que se indica en la carta de invitación. Las actualizaciones a fechas posteriores se harán de acuerdo con lo que figura en el epígrafe “Revisión de precios” del presente Pliego de Condiciones.

En los precios unitarios deberá estar incluida la parte proporcional de los gastos generales, instalaciones, beneficios, etc., y todos los posibles gastos directos o indirectos relacionados con ellos.

Se hace constar que los planos que constituyen el Anteproyecto son planos de concurso que sirven única y exclusivamente para la redacción de las proposiciones de los Concursantes.

No se considerará válida ninguna oferta que se presente fuera del plazo de validez indicado en la carta de invitación o que no conste de todos los documentos que se señalen en los apartados del presente Pliego.

Se considera como plazo de validez de las ofertas el periodo que se indica en la carta de invitación.

La Propiedad pasará notificación del resultado del concurso a los diferentes Concursantes. Si el Concursante no recibiese esta comunicación en el plazo también señalado en la carta de invitación, puede notificar a la Propiedad su renuncia al concurso.

La Propiedad comunicará al Adjudicatario la concesión de los trabajos objeto del concurso. La fecha de comienzo de los mismos será la que figure en el programa de trabajo.

Durante el período comprendido entre la adjudicación y la fecha de iniciación de los trabajos, se formalizará entre la Propiedad y el Adjudicatario, el contrato que estipula el artículo correspondiente de este Pliego.

1.1.3. CONTRATO. RESPONSABILIDAD DEL ADJUDICATARIO

El Propietario del presente proyecto es la Escola Técnica Superior de Enxeñería de la Universidade de Santiago de Compostela, que ha encomendado su realización a Adrián Soto Paz, Mateo Bruno Pastur y Oscar Pombar Álvarez.

Las instalaciones a realizar son las descritas en la memoria y deberán ser ejecutadas de acuerdo con los planos adjuntos.

La ejecución del proyecto se encomendará a instaladores debidamente autorizados, quienes acreditarán tal circunstancia y serán responsables a todos los

efectos de los hechos que pudieran derivarse del incumplimiento de estas condiciones.

El Adjudicatario estará obligado al cumplimiento de la reglamentación del trabajo correspondiente, la contratación del seguro obligatorio, subsidio familiar o de vejez, seguro de enfermedad y todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes en el momento de la ejecución de las obras. En particular, deberá cumplir siempre, a no ser que en el Presente Pliego de Condiciones no se indique lo contrario, lo dispuesto en la norma UNE 24042: "Contrataciones de obras. Condiciones generales".

Serán por cuenta del Adjudicatario los gastos fiscales y todo tipo de gastos a que dé lugar la formalización del contrato.

Cualquiera de las dos partes que intervienen en el Contrato puede solicitar la elevación a escritura pública del convenio de adjudicación, siendo los gastos que origine dicha elevación a cargo de la parte cuya petición se realice.

El replanteo de las instalaciones deberá realizarse en presencia de la Dirección Técnica, a quien el instalador podrá exigir el levantamiento del acta correspondiente, siendo el instalador responsable de las circunstancias que pudieran derivarse del incumplimiento de la misma.

El Adjudicatario es el único responsable por la totalidad del suministro y servicios que se indican en el contrato, en estricto cumplimiento de las disposiciones contractuales de las buenas normas de la técnica. Esta responsabilidad implica que serán de su cuenta las modificaciones, reparaciones y sustituciones indispensables al exacto cumplimiento del contrato, así como las indemnizaciones justificadas por perjuicios causados por deficiencias, errores o atrasos laborales.

En caso necesario, la Propiedad podrá suspender los pagos al Adjudicatario y pedir indemnizaciones de acuerdo con lo establecido en el contrato sin perjuicio

de la aplicación de penalizaciones o de rescisión, conforme a lo establecido en el Artículo correspondiente de este Pliego.

Las relaciones con el Adjudicatario serán establecidas a través de personas o entidades designada por la Propiedad.

La Propiedad podrá hacerse representar por consultores u otras entidades que pueda elegir para colaborar en los estudios, fabricación, montaje y ensayos.

El representante del Adjudicatario será designado por éste de acuerdo con la Propiedad. Durante el período de montaje esta persona estará presente y será el responsable del equipo de montaje.

El contrato se extenderá entre el propietario y el instalador o instaladores, un contrato con el que se especifican los plazos de ejecución, formas de cobro, pero entendiéndose que cualquier posible contradicción entre dicho contrato y el presente Pliego de Condiciones se resolverá dando prioridad al Pliego de Condiciones.

La dirección facultativa de las obras podrá rescindir, total o parcialmente, el contrato de obras o suministros cuando, a su juicio, la ejecución de las primeras no sea adecuada, o cuando los suministros no cumplan tanto el plazo como el contratista las condiciones legales de trabajo de sus empleados y obreros.

Si el instalador se negase a seguir las instrucciones de la Dirección Técnica o las ejecutase a velocidad inadecuada, será apercibido y si en un plazo de 48 horas no modificase su actitud, el Director Técnico levantará nueva acta quedando, a partir de dicho momento, el contrato entre el propietario y el instalador rescindido, sin que éste último tenga derecho a ningún tipo de indemnización.

Antes de la rescisión se fijará y comunicará al contratista el plazo de que dispone para subsanar los efectos o faltas observadas, o para restablecer el cumplimiento de sus obligaciones, debiendo acusar recibo por escrito a la

Dirección facultativa de la recepción de dicha notificación. En caso de rescisión de contrato, las cantidades que el instalador tiene derecho a percibir por parte de la obra realizada, la determinaría el criterio de la Dirección Técnica.

El Adjudicatario está representado en todas las reuniones convocadas con un plazo no inferior a ocho días por la Propiedad, en la obra o en cualquier otro lugar que se indique, mediante la presencia de técnicos especializados en las materias objetivo de dichas reuniones.

El presente Pliego de Condiciones es de obligado cumplimiento tanto por parte de la Dirección Técnica como del Instalador, así como de la Propiedad, sin que ninguno de ellos pueda alegar desconocimiento del mismo.

La lista de proveedores principales y empresas colaboradoras del Adjudicatario, establecida en acuerdo común entre éste y la Propiedad, no podrá ser modificada sin la aprobación previamente escrita por la Propiedad.

La aprobación por parte de la Propiedad de la lista de proveedores y empresas colaboradoras del Adjudicatario no disidirá en ningún caso la responsabilidad de éste.

El Adjudicatario no podrá ceder ni traspasar a terceros ninguna de sus obligaciones o derechos, ni utilizar en la ejecución de los trabajos otras empresas o sociedades que las que figuran en el contrato como aceptadas por la Propiedad.

En todos los casos el Adjudicatario es plenamente responsable del contrato ante la Propiedad, personal obrero y terceros.

Si el Adjudicatario, sin previa autorización escrita por parte de la Propiedad, cediese o traspasase a terceros cualquiera de sus obligaciones o derechos, derivados del contrato, o emplease la ejecución de las obras otra empresa o sociedad que no estuviese plenamente aceptada por la Propiedad, ésta aplicará las sanciones que crea oportunas, llegando, si fuese necesario, a la rescisión del contrato, en cuyo supuesto se aplicará todo lo incluido en el artículo

correspondiente de este Pliego, referente a los casos de rescisión por incumplimientos por parte del Adjudicatario de las obligaciones o disposiciones del contrato.

La Propiedad puede indicar en la carta de invitación al concurso la fianza inicial y retenciones de garantía que se descontarán de las certificaciones. Estas cantidades retenidas por la Propiedad responden del cumplimiento de las obligaciones del Adjudicatario y quedarán a beneficio de la Propiedad en los casos de rescisión o abandono del trabajo por causas imputables al Adjudicatario.

El Adjudicatario responde, además del cumplimiento de sus obligaciones, de todos los medios auxiliares, maquinaria y materiales que tenga depositados en la obra, los cuales no podrán ser retirados de la misma sin previa autorización escrita de la Propiedad.

El Adjudicatario es el único responsable de la correcta ejecución técnica de las obras, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio a que pudiera resultar, ni por las falsas operaciones que cometa durante la construcción de las mismas, ni por las modificaciones que la Dirección Facultativa tenga a bien marcar, siendo dichas operaciones de su cuenta y riesgo, independientemente de las inspecciones ejercidas por la Dirección Técnica.

1.1.4. PROGRAMA

El programa general de los trabajos (estudios, aprovisionamiento, fabricación, transporte, montaje y ensayos) a presentar con la propuesta deberá respetar las pautas indicadas en estas normas e información complementaria facilitada.

Este programa deberá ser desarrollado, según las condiciones especificadas en estas normas, en otro de detalle, en el que se indicarán las fechas de conclusión de cada uno de los trabajos señalados en el trabajo inicial, así como las fechas intermedias cuyo incumplimiento dé lugar a la aplicación de las penalidades. El

plazo de presentación de este programa detallado será de treinta días a partir de la fecha de adjudicación.

El programa referido en el párrafo anterior deberá indicar las fechas límite en que se consideren indispensables los suministros para asegurar la continuidad de los trabajos, así como los datos referentes a la posibilidad del inicio o continuación de los trabajos de terceros.

La determinación del orden de las obras será la facultad potestativa del Adjudicatario, salvo en aquellos casos en los que por cualquier circunstancia de orden técnico del Ingeniero Director estime conveniente su modificación.

Todos los trabajos se ejecutarán en estricto seguimiento del Proyecto que ha servido de base, de las modificaciones que sobre el mismo hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que entregue el Ingeniero Director al Adjudicatario, siempre que se encaje dentro de la cifra a que asciende los presupuestos aprobados.

El programa contractual de los trabajos no podrá ser alterado sin la conformidad expresa de la Propiedad. Además, siempre que la Propiedad proponga una alteración de dicho programa, el Adjudicatario se compromete a hacer todo lo posible para dar cumplimiento al deseo de la Propiedad, lo mismo se trate de adelantar como de retrasar un suministro.

El adjudicatario dará comienzo a las obras en el plazo marcado, desarrollándolas en la forma necesaria para que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo exigido en el contrato realizado con la Propiedad.

Obligatoriamente y por escrito, el Adjudicatario deberá dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos antes de veinticuatro horas desde su iniciación.

Si los trabajos se desarrollan con retraso respecto al programa aprobado, serán aplicadas las penalidades correspondientes. Si dicha demora fuese producida por motivos no imputables al Adjudicatario, éste puede solicitar a la Propiedad una prórroga del plazo de ejecución de las obras, postergación que será igual al tiempo perdido, a no ser que el Adjudicatario solicite que fuese menor. La petición de prórroga por parte del Adjudicatario deberá tener lugar en el plazo mínimo de un mes desde el día que se produzca la causa originaria del retraso, alegando las razones por las que estime no serle imputable la demora y señalando el tiempo probable de su duración al efecto de que la Propiedad pueda oportunamente y siempre antes de la terminación del plazo del contrato, resolver la prórroga del mismo y sin perjuicio de que una vez desaparecida la causa, se reajuste el plazo al tiempo realmente perdido.

En el caso de que el Adjudicatario no solicite la prórroga, se entenderá que renuncia a su derecho y que, a efectos de la aplicación del contrato, los retrasos que se produzcan en relación con lo establecido en el programa le son imputables a él.

El adjudicatario se sujetará a las Leyes, Reglamentos y Ordenanzas vigentes, así como los que se dicten durante la ejecución de las obras.

El Adjudicatario queda obligado, desde que toma a su cargo la organización de los trabajos contratados, al cumplimiento de la legislación vigente en lo relativo a los accidentes de trabajo.

1.1.5. ESTUDIOS. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Por el hecho de acusar recibo de encargo, el Adjudicatario reconoce haber recibido de la Propiedad todos los datos y documentos de base necesarios para los estudios y proyectos.

El Adjudicatario debe pedir a la Propiedad, con antelación suficiente, todas las aclaraciones complementarias y de detalle, indispensables para la buena ejecución del suministro.

Los documentos contractuales y todos aquellos que la Propiedad entregue durante la ejecución del contrato, deben ser cuidadosamente revisados por el Adjudicatario. En caso de errores u omisiones, el Adjudicatario deberá proponer las modificaciones que estime convenientes para la buena ordenación del suministro.

El Adjudicatario proporcionará, en la fecha establecida en el calendario general de ejecución de obras, con los datos y condiciones indicados en las normas, y demás documentos que le encargue la Propiedad, memoria, cálculos justificativos, características de los materiales, especificaciones relativas a los mismos, planos y demás documentación técnica complementaria a la incluida en la oferta presentada, de forma que se compromete así la definición del equipo y servicios contratados, lo que permitirá a la Propiedad:

- Tener pleno conocimiento del estado tensional al que estará sometido el equipo en las distintas hipótesis de cálculo, garantías que ofrecen los materiales, las soldaduras y demás documentos incluidos en el suministro, así como de su funcionamiento, conservación y explotación.
- Efectuar la inspección de su realización.
- Estudiar y proyectar todos los trabajos afines que no incumben al Adjudicatario.

Todos los documentos facilitados por el Adjudicatario, así como leyendas y acotaciones, deberán estar escritos en español. La Propiedad podría aceptar documentos escritos en francés o inglés, reservándose el derecho a exigir traducciones al español, que serán consideradas como los únicos documentos válidos.

La Propiedad comunicará al Adjudicatario, en el plazo que señala en el programa general de trabajos, la aprobación o reparos a los documentos referidos

en párrafos de anteriores documentos que conforman la total definición del equipo y servicios contratados, entendiéndose que estos están aprobados si en el referido plazo no hubiese hecho indicación al respecto.

Los documentos sobre los que la Propiedad sí hubiese efectuado observaciones antes de la fecha concertada, serán revisados por el Adjudicatario y nuevamente sometidos a la aprobación de la Propiedad dentro del plazo establecido en el calendario general de las obras. Si la Propiedad no pudiese admitirlos, convocaría una reunión para su discusión y resolución en el plazo de ocho días.

El Adjudicatario remitirá a la Propiedad, por quintuplicado y en el plazo de quince días, desde su aprobación, los ejemplares indicados en estas normas de cada uno de los documentos aceptados.

Los documentos aprobados no podrán ser modificados sin previa autorización escrita de la Propiedad.

La aprobación por parte de la Propiedad de dibujos, notas de cálculo u otros documentos no limita la responsabilidad del Adjudicatario, sino que ésta se mantiene total.

Todos los documentos y planos recibidos por la Propiedad como parte del suministro, serán tratados por ésta a todos los efectos como de su propiedad.

De igual modo, también serán tratados así, la documentación y dibujos enviados por la Propiedad al Adjudicatario para la ejecución del suministro, no pudiendo este último comunicar a terceros o publicar sus recopilaciones sin previa autorización escrita de la Propiedad.

El Adjudicatario entregará al menos tres copias de los Manuales de Instrucciones de los equipos suministrados, cuyo contenido mínimo debe ser el siguiente:

- Descripción del equipo.
- Características nominales de diseño y prueba.
- Composición y características de los materiales.
- Principios de operación.
- Instrucciones de la operación.
- Gradientes máximos, limitaciones y funcionamiento en condiciones distintas de las nominales. Puntos de tarado.
- Lista de componentes o despieces, con números de identificación, dibujos de referencia, nombres y características de la pieza (dimensiones, materiales, etc...).
- Instrucciones de recepción, almacenamiento, manejo y desembalaje del equipo.
- Instrucciones de montaje, desmontaje y tolerancias.
- Instrucciones de mantenimiento.
- Pruebas y controles periódicos.
- Lista de repuestos.

1.1.6. PLIEGOS, INSTRUCCIONES Y NORMAS APLICADAS

Las prescripciones de las instrucciones y normas que se muestran a continuación serán de aplicación con carácter general, y en todo aquello que no contradiga o modifique el alcance de las indicaciones que se incluyen en el presente Pliego de Condiciones, para los materiales y la ejecución de las obras.

- Artículo 1588 y siguientes del Código Civil, en los casos en que sea procedente su aplicación.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (B.O.E. 18 de Septiembre de 2.002)
- Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado, aprobado por Decreto de 28 de junio de 1991.

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos, aprobado por Decreto 823/1993.
- Instrucción para la fabricación y suministro de hormigón preparado, aprobado por Orden Ministerial de 5 de mayo de 1972.
- Normas Básicas de la Edificación (NBE) del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías y abastecimiento de agua (B.O.E. 20/02/74).
- Reglamento de Almacenamiento de Producto Químicos, APQ-001.
- Normas Sismo-resistentes PGDS-1, aprobadas polo Decreto 3209/1974, B.O.E 21/11/74.
- R.D. 204/1994 de 16 de junio sobre Seguridad Industrial.
- Cuantos preceptos sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo contengan las Ordenanzas Laborales, Reglamentos de Trabajo, Convenios Colectivos y Reglamentos de Régimen interior en vigor.

1.1.7. SEGURIDAD Y ACCIDENTES EN EL TRABAJO

El contratista está obligado a redactar un Plan de Seguridad y Salud adaptándose al Estudio de Seguridad y Salud.

Este Plan de Seguridad y Salud será remitido a la Propiedad con un informe favorable del coordinador en materia de seguridad y salud para su aprobación. La empresa constructora dispondrá de un Servicio Médico de Empresa propio o mancomunado.

El Adjudicatario queda obligado al cumplimiento de la normativa referente al estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo vigente, y en especial a todo lo que se contempla en el RD.555/1986 del 21 de febrero (BOE 21/03/1986).

Todos cuantos aparatos, maquinaria, herramientas y medios auxiliares emplee el Adjudicatario en la ejecución de los trabajos deberán reunir las máximas condiciones de seguridad y resistencia, así como cumplir todas las normas oficiales dictadas al efecto.

El personal del Adjudicatario está obligado a utilizar todos los dispositivos y medios de protección personales necesarios para eliminar o reducir los riesgos profesionales, pudiendo el Ingeniero suspender los trabajos si estima que el personal está expuesto a peligros no corregibles.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario, ordenándolo por escrito, el cese de la obra de cualquier trabajador que, por imprudencia temeraria, pudiese provocar accidentes que hiciesen peligrar su propia integridad física o de la de alguno de los demás empleados u obreros.

Toda la responsabilidad en los accidentes que pudieran ocurrir por el empleo de materiales defectuosos, por imprudencias o por el incumplimiento de lo anteriormente mencionado, recaerá exclusivamente sobre el Adjudicatario. Correrán también por cuenta exclusiva de éste las multas en las que incurra contravenir las disposiciones oficiales, así como los daños y desperfectos ocasionados a terceros en su persona, bienes o haciendas.

El Adjudicatario dispone libremente de montar los andamiajes que estime convenientes, siempre contemplando las normas de seguridad para el personal que establecen las Leyes o Reglamentos de Seguridad e Higiene o Accidentes de Trabajo.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario en cualquier momento, antes o después del comienzo de los trabajos, que presente los documentos que acrediten el haber formalizado los regímenes de la Seguridad Social en la forma legalmente establecida.

1.2. CALIDAD DE LOS MATERIALES

1.2.1. MATERIALES EN GENERAL

Todos los materiales suministrados por el Adjudicatario, figuren o no en los documentos del presente Proyecto, deben reunir las condiciones de calidad exigibles en la buena práctica de la construcción. La aceptación por la Propiedad de una marca o fábrica, no exime al Adjudicatario del cumplimiento de estas prescripciones.

Deben presentarse previamente muestras para su aprobación y reconocimiento por parte del Ingeniero Director o en su defecto por el Subdirector de la Obra, sin cuya expresa aprobación no se podrá proceder a la colocación o empleo, pudiéndose obligar la retirada del material no aprobado y colocado en obra por parte del Adjudicatario de no haberse procedido de la forma establecida. Además, los materiales rechazados deberán ser inmediatamente retirados de la obra por cuenta y riesgo del Adjudicatario, o depositados en los lugares indicados por la Dirección de la Obra.

Cuando los materiales no fuesen de la calidad requerida en este Pliego de Condiciones, o no tuviesen la preparación en éste exigida, o cuando a falta de prescripciones formales se reconociese o demostrase que no son adecuados para su función, la Propiedad dará orden al Adjudicatario para que a su costo los reemplace por otros que satisfagan o cumplan el objetivo al que se destinen.

El Adjudicatario, a su costo, transportará y colocará los materiales no utilizables, agrupándolos ordenadamente y en el lugar de la obra que se designe, para evitar así que supongan un perjuicio en la marcha de los trabajos. Los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra se retirarán de ésta o se llevarán a un vertedero.

En el caso en que no se señale en este pliego cuales son las normas aplicables a un material determinado, éste deberá cumplir las normas de tipo

européo o rango similar a las DIN, NF ó UNE, correspondientes al tipo de material de que se trate y al uso para el que se vaya a utilizar.

1.2.2. ACEROS

El Adjudicatario indicará las características mecánicas de los aceros empleados con arreglo a los siguientes elementos:

- Piezas de acero moldeado.
- Estructuras de acero.

1.2.3. RESTO DE MATERIALES

Para el resto de los materiales empleados en la fabricación del suministro, se indicarán las características mecánicas, así como la composición química.

1.3. NORMAS DE CÁLCULO

1.3.1. NORMATIVA

Serán de aplicación las normas DIN u otras de rango similar vigentes, como bases de cálculo para construcciones hidráulicas de acero.

El Adjudicatario indicará las tensiones de trabajo, simples y compuestas a que quedan sometidos los diferentes materiales que constituyen las estructuras. Asimismo, se señalarán las tensiones máximas de trabajo o tensiones base para el cálculo:

- Tensión admisible de tracción o compresión, previa comprobación del pandeo.
- Tensiones admisibles a esfuerzos cortantes.
- Tensión de comparación.

La tensión base o máxima de trabajo es un límite absoluto que no podrá ser sobrepasado ni siquiera en el caso de piezas sometidas a choques, esfuerzos dinámicos, fatigas locales o alternadas, vibración y oxidación. Se indicarán, asimismo, las cargas máximas transmitidas al hormigón por las piezas fijas, así como las correspondientes a los órganos de maniobra.

Los esfuerzos de compresión en el hormigón se ajustarán a lo especificado en las normas DIN, y no superarán nunca la carga de rotura indicada en la norma EH vigente.

Las conducciones blindadas y los revestimientos se dimensionarán para los estados de carga más desfavorables, sin tener en cuenta la contribución del hormigón que los engloba.

El Adjudicatario facilitará los cálculos completos de los elementos importantes del suministro.

El Adjudicatario indicará los coeficientes de seguridad de elementos tales como cilindros y vástagos de servomotores, órganos mecánicos de cadenas, cables, etc.

1.4. DISPOSICIONES GENERALES DE LA OBRA

1.4.1. DIRECCIÓN DE LAS OBRAS Y REPRESENTACIÓN DEL CONTRATISTA

La dirección del conjunto de las obras estará a cargo del personal técnico de la Propiedad. Se indicará en cada caso al Adjudicatario quién es el Ingeniero Encargado o Director Técnico de las obras, cuyas principales funciones, que afectan fundamentalmente a las relaciones con el Adjudicatario, son:

- Exigir al Adjudicatario, directamente a través del personal a sus órdenes, el cumplimiento de las condiciones contractuales.

- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas, y el cumplimiento del programa de trabajos.
- Definir aquellas condiciones técnicas que el presente Pliego de Condiciones deje a su decisión.
- Resolver todas las dudas técnicas que surjan en cuanto a la interpretación de planos, condiciones materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en los trabajos que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando en su caso, las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarios para la ejecución de las obras y ocupación de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteado por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente y bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual el Adjudicatario deberá poner a su disposición el personal y material de la obra.
- Participar en las recepciones provisional o definitiva, redactar la liquidación de las obras, conforme a las normas legales establecidas.

Antes de iniciarse los trabajos, el Adjudicatario deberá indicar a la Propiedad el nombre de su representante al frente de los mismos, que actuará como Jefe de Montaje, tanto en los aspectos técnicos como económicos. Los poderes del Jefe de Montaje deben ser lo suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la Propiedad. En ningún momento servirá de excusa al Adjudicatario la ausencia de su representante a pie de obra. También antes del comienzo de las obras, el Adjudicatario deberá presentar para su aprobación la relación nominal del personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a desarrollar por cada uno de ellos.

La Propiedad se reserva el derecho de recusar al Jefe de Montaje o a cualquier otro técnico destinado por el Adjudicatario en la obra durante el desarrollo de los trabajos, obligándose éste a sustituirlo en un plazo de 30 días por otro de igual categoría.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente para la buena marcha de los trabajos, éste se obliga a complementar su organización con el número de técnicos que fuera necesario según el criterio de la Dirección de la Obra.

El Adjudicatario está obligado a prestar su colaboración al Ingeniero Director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

1.4.2. TERRENOS NECESARIOS PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

La Propiedad indicará al Adjudicatario los límites de los terrenos de su propiedad dentro de los cuales podrá montar sus instalaciones y dará acceso a los mismos. Todo esto aparecerá reflejado en los planos que se entreguen a los concursantes para el estudio de las ofertas. Si por conveniencias del Instalador éste deseara disponer de otros terrenos distintos de los figurados en los planos será de su cargo la adquisición y obtención de las autorizaciones pertinentes, debiendo el Adjudicatario someterse previamente a la conformidad de la Propiedad en la modalidad de adquisición y obtención de la autorización respectiva.

Se supone al Adjudicatario un conocimiento perfecto de la disposición del conjunto de los terrenos, de la importancia y situación de los trabajos objeto del contrato, de la naturaleza y estado de los terrenos, de los emplazamientos reservados para las obras, de los medios de acceso y de las condiciones climáticas de la región, en especial de aquellas que puedan afectar a los trabajos.

Antes de dar principio a los trabajos, el Instalador determinará la existencia de cables subterráneos en la zona afectada por las obras, advirtiéndolo así a sus

propietarios, a fin de que éstos adopten las correspondientes medidas de seguridad. Esto también es aplicable a cualquier otra conducción subterránea.

La obligación de la Propiedad, en cuanto a la entrega de los terrenos necesarios, queda limitada a las parcelas que figuran y se reseñan en los planos que se entregan a los concursantes con petición de oferta, debiendo definir estos últimos lo que se entiende por la zona de montaje.

El Adjudicatario se hace responsable de los daños que pueda causar en las vías públicas y en los caminos de acceso si éstos son de particulares o de la Propiedad. Además está en la obligación de cumplir todas las limitaciones y solicitar los permisos de transporte especiales, etc. En todo caso, responderá por todos los perjuicios que se puedan causar a terceras personas en bienes inmuebles, cosechas, etc., siendo de su competencia las reclamaciones que puedan formularse como consecuencia de dichos perjuicios.

Siempre que no se indique nada en contra, el Instalador deberá reponer en su estado anterior los terrenos no afectados directamente por la ejecución de las obras y que hayan sido empleados por él.

Si el instalador no cumpliera esta obligación, la empresa contratante, transcurrido un plazo proporcional a las demandas de los propietarios de los terrenos, ejecutará los trabajos de reposición necesarios por cuenta y a costa del Instalador.

1.4.3. PERSONAL DEL ADJUDICATARIO

Es por cuenta y responsabilidad del Adjudicatario el reclutamiento de todo el personal especializado, no especializado y auxiliar para la dirección y ejecución del montaje, así como todos los suplidos y gastos de ese personal, tales como viajes, alojamientos, dietas, desplazamientos de alojamiento en obra y desplazamientos dentro de la propia obra.

Cualquiera que sea la nacionalidad del Adjudicatario, el reclutamiento del personal deberá cumplir las leyes en vigor.

Si el Adjudicatario emplea en obra personal extranjero, será de cuenta y cargo la obtención de las condiciones necesarias para que pueda trabajar en España.

Todos los trabajadores, independientemente de su nacionalidad, acatarán las leyes laborales vigentes en cuanto a horarios, seguros sociales, etc., además de aquéllas de carácter general que estén vigentes para el personal de la obra.

Al frente de cada trabajo de montaje, el Adjudicatario deberá tener, a pie de obra, un técnico titulado de cualquier especialidad o condición que pueda acreditar, de forma satisfactoria ante la Propiedad, su competencia en la clase de trabajos que desempeñe.

El Adjudicatario es el responsable de los fraudes o malversaciones que sean cometidas por su personal en el suministro o empleo de materiales.

El número de trabajadores de cada profesión deberá ser siempre proporcionado a la cantidad de obra a ejecutar, teniendo en cuenta los plazos fijados.

El Adjudicatario deberá remitir a la Propiedad, siempre que lo solicite, una relación del personal presente en la obra, clasificado por categoría profesional.

El Adjudicatario está obligado a mantener la disciplina y el orden en los lugares de trabajo. La Propiedad se reserva el derecho de exigir la retirada de la obra de cualquier operario al servicio del Adjudicatario, por motivo de faltas de obediencia y respeto, o a causa de actos que comprometa o perturben a juicio de la misma, la marcha de los trabajos. El Adjudicatario podrá recurrir si se entendiese que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

1.4.4. SEGUROS Y ASISTENCIA MÉDICA

Además de los seguros obligatorios, antes del comienzo de la obra y para toda la duración de la misma, incluido el período de garantía, el Instalador debe contratar una póliza a todo riesgo de la instalación por el valor de la misma, complementaria con una garantía de responsabilidad civil con un mínimo de 90.000 euros.

El Adjudicatario quedará obligado, después de la comprobación del replanteo y antes del comienzo de la obra, a facilitar a la Dirección la documentación que acredite haber suscrito, además de las correspondientes afiliaciones a la Seguridad Social, las pólizas de seguros siguientes:

- Seguro contra daños a terceros que deriven de la ejecución del proyecto.
- Seguro de accidentes de trabajo en la Mutuality Laboral correspondiente.
- Seguro de automóviles para todos aquellos vehículos del Adjudicatario que tenga acceso a la obra.
- Seguro para toda la maquinaria y equipo que el Adjudicatario utilice en el trabajo.
- Seguro de incendios para las obras, en compañías de reconocida solvencia inscritas en el Ministerio de Hacienda en virtud de la Ley de Seguros vigente.

El Adjudicatario no podrá comenzar los trabajos sin justificar previamente ante la Propiedad, tener cubiertos los seguros por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, de acuerdo con la legislación vigente.

Adjudicatario asegurará por sí mismo o por medio de la compañía de seguros adecuada, la prestación de asistencia médica o por enfermedad al personal.

El Adjudicatario es el responsable de las condiciones de seguridad en los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre esta materia, las medidas que dicten la inspección de Trabajo y los

demás organismos competentes y las normas de seguridad que correspondan a las características de las obras contratadas.

Con objeto de organizar colectivamente y de inspeccionar la seguridad e higiene de las obras, todos los contratistas que trabajen en las mismas condiciones deberán, por indicación de la Propiedad, agruparse en el seno de una Junta Central de Seguridad, formada por los representantes de las empresas, Junta que tendrá por misión coordinar las medidas de seguridad adoptadas por los comités u organizaciones de seguridad de cada una de las empresas.

El Instalador someterá a la aprobación de la Dirección Técnica el empleo de cualquier material fundamental o accesorio, sin cuya aprobación no podrá emplearse. El Instalador queda obligado a encargar la realización de los análisis o ensayos indicados por la Dirección Técnica en los laboratorios que ésta especifique, corriendo el coste de los mismos por la cuenta del Instalador siempre que no sobrepase el 1,5% del total del presupuesto. De sobrepasarlo, la diferencia será abonada por el Propietario. Serán por cuenta del Montador los siguientes seguros:

- Transporte de sus equipos y material de montaje.
- Montaje y descarga de materiales.
- Seguros sociales de su personal.
- Responsabilidad civil y daños a terceros, por un valor que se concretará en cada pedido.

1.4.5. REPLANTEO DE LA OBRA

Antes del comienzo de las obras, la Dirección Facultativa de las mismas, señalará la situación y altura de los puntos principales. Se realizará el replanteo general del trazado de cables y tuberías por el contratista o su representante bajo las órdenes del Director de Obra, marcando las alineaciones con los puntos necesarios para que, con el auxilio de los planos pueda el contratista ejecutar debidamente las obras.

El replanteo de las instalaciones deberá realizarse en presencia del Director de las mismas, a quien el Instalador podrá exigir el levantamiento del acta correspondiente, siendo el Instalador responsable de las circunstancias que pudieran derivarse del incumplimiento de las mismas.

Será obligación del contratista la custodia y reposición de las señales que se establezcan en el replanteo. Para la realización del replanteo el contratista deberá aportar todo el material y personal necesario para la ejecución de esta operación.

Las referencias principales (puntos en los ejes, curvas, cotas absolutas de las soleras en los cambios de rasante) son reflejadas en un croquis que estará en poder del contratista, para que éste pueda comprobar a diario la marcha de los trabajos, debiendo estar siempre dicho croquis a disposición de la Dirección Facultativa.

1.4.6. EXCAVACIONES

Los volúmenes excavados en exceso de lo indicado en el proyecto no serán de abono. Si los volúmenes excavados fuesen menores que los indicados en el proyecto sólo se abonará la parte correspondiente.

La existencia de raíces, tocones, maderos o rocas sueltas no serán motivo suficiente para justificar bonificaciones especiales al contratista. Las tierras procedentes de desprendimientos serán retiradas inmediatamente, rellenándose los huecos que pudieran existir detrás del entibado.

Las tierras del fondo de la excavación que pierdan resistencia o cohesión al meteorizarse, sólo se excavarán inmediatamente antes del montaje de las conducciones o demás instalaciones. Las tierras extraídas podrán ser apiladas a un costado de la excavación, dejando al borde de ésta un paso libre de 0,6 m de altura para el paso de los obreros y de seguridad para los que se encuentren trabajando en la excavación. El apilado de tierras no podrá alcanzar una altura superior a los 2,5 m.

Además, los árboles, edificios, etc., que puedan sufrir daños por el apilado de los materiales o por la excavación, serán protegidos con tablones, forros de madera o cualquier otro medio análogo.

El Instalador es responsable de la seguridad de la excavación y de los accidentes de cualquier tipo que pudieran sobrevenir. La Dirección Facultativa llamará la atención del Instalador sobre las posibles negligencias de éste en cuanto a seguridad, haciéndose competentes, no aceptando en caso alguno la correspondiente responsabilidad.

Las excavaciones se entibarán de acuerdo con las normas de seguridad pertinentes. La entibación se empezará a instalar al alcanzar la profundidad de 1,25 m, siendo su instalación por cuenta del Instalador. Para el relleno de excavaciones se emplearán exclusivamente los mejores materiales que permitan una perfecta compactación, igual por lo menos, a la del terreno primitivo.

1.4.7. ESTADO DE LA OBRA

Una vez iniciadas las obras, deberán continuarse sin interrupción y terminarse en el plazo estipulado. Los retrasos, cuando sean justificados, podrán ser aceptados por la Dirección de la Obra.

En el curso del montaje se tomarán las precauciones necesarias antes de colocar cargas fuera de los apoyos definitivos.

Para facilitar el trabajo y una vez obtenido el correspondiente permiso del Supervisor del Montaje, la empresa de montaje podrá eventualmente proceder al desmontaje de algunos materiales “in situ” (hierros para estructuras, plataformas metálicas, pasarelas...).

En este caso, todos los trabajos desde el desmontaje hasta la colocación definitiva estaría a cargo de la empresa de montaje (responsabilidad, gastos, mano de obra, utillaje...). La nueva reposición será efectuada en los plazos más breves.

Por otra parte, estos trabajos no deberán afectar, en ningún caso, a los plazos previstos para el desarrollo normal de la obra.

1.4.8. PROGRAMACIÓN DE LOS TRABAJOS

El Directo Técnico encargado de las obras fijará el orden en que deben llevarse a cabo estos trabajos, y la contrata está obligada a cumplir exactamente cuándo se disponga sobre el particular.

El Montador colaborará con el Supervisor del Montaje en la preparación y revisión de los programas de trabajo y fechas de terminación. Paralelamente, se prepararán las necesidades de personal de cada tipo y categoría de forma que cubran ampliamente las cargas previstas en los programas.

Siempre que la Propiedad proponga una alteración del programa, el Instalador se comprometerá a hacer todo lo posible para dar cumplimiento al deseo de la Propiedad, ya se trate de adelantar como de atrasar.

El Supervisor del Montaje podrá exigir, para el cumplimiento de los plazos establecidos, un aumento de personal, de maquinaria e incluso el establecimiento de dos o más turnos de trabajo.

En las fechas de terminación previstas en los programas se entenderá que han sido realizados todas las pruebas y ensayos, y que los equipos están listos para la puesta en marcha (recepción provisional o protocolo de autorización de puesta en marcha).

1.4.9. CESE O APLAZAMIENTO DE LOS TRABAJOS

En el caso de que la Propiedad ordene el cese absoluto de los trabajos, el contrato queda inmediatamente rescindido. Si la Propiedad ordena su aplazamiento por más de un año, sea antes o después del comienzo de las obras, el

Montador tiene derecho a la rescisión del contrato, si lo solicita por escrito, sin perjuicio de la indemnización que en ambos casos le corresponda.

No se aceptará la petición de rescisión del contrato por parte del Montador cuando sea presentada en un plazo superior a los cuatro meses a partir de la fecha de notificación de la orden de servicio, prescribiendo el cese o el aplazamiento de los trabajos.

Si la propiedad ordena el aplazamiento de los trabajos por menos de un año, el Montador no tendrá derecho a la rescisión, pero sí a una indemnización en caso de perjuicios debidamente comprobados. En caso de fallecimiento del Montador, el contrato será rescindido de pleno derecho, salvo que los herederos se comprometan por escrito a cumplir el contrato existente.

En caso de quiebra o suspensión de pagos, el contrato del Montador queda automáticamente rescindido de pleno derecho, bastando para ello que la Propiedad lo notifique en el plazo de dos meses a partir de la publicación legal de la declaración de quiebra o de suspensión de pagos.

Cuando el Montador no dé cumplimiento, sea a las disposiciones u obligaciones del contrato, a las órdenes que le son dadas por la Propiedad, ésta le instigará a cumplir estos requisitos en un plazo determinado; si pasado este plazo el Montador no ha ejecutado las disposiciones prescritas, la Propiedad podrá ordenar el establecimiento de un régimen de intervención general.

Durante el período del régimen de intervención, el Montador podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda entorpecer o dificultar las órdenes de la Propiedad.

En caso de rescisión de contrato por otros motivos, la Propiedad puede exigir del Montador que mantenga en la obra todo o parte de sus instalaciones generales o de su material, con el fin de poder proseguir los trabajos.

1.4.10. RECEPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

Se considerará recibida la instalación cuando los organismos competentes den su aprobación y la Dirección Técnica los admita en todos sus extremos. Aunque la inspección de los organismos competentes pueda dar por aprobada la instalación, ésta no se considera recibida sin la aprobación expresa de la Dirección Técnica, que extenderá el correspondiente certificado, que será visado por el Colegio Oficial.

Una vez recibida la instalación, el Instalador tendrá derecho a percibir el importe total de la misma en la forma especificada en el contrato, pero el propietario tendrá derecho a retener hasta un 10% durante un año, en calidad de garantía, y empezará a contar desde la fecha del visado del certificado al que hace referencia en el apartado de recepción de las instalaciones. Una vez transcurrido dicho plazo, y en un tiempo máximo de diez días, el Instalador deberá percibir la cantidad pertinente.

1.4.11. INSPECCIÓN

El Instalador será responsable del fiel cumplimiento de las normas relativas a todo tipo de pruebas en depósitos, dispositivos, instrumentos de control y dispondrá de los medios oportunos para que las mismas puedan realizarse en presencia de los técnicos de los organismos oficiales o de la Dirección de Obra.

La Propiedad se reserva el derecho a efectuar directamente o por medio de una entidad de su elección, la inspección de fabricación de los equipos con vistas al cumplimiento de los plazos, a la calidad de los materiales y a las técnicas empleadas. Se exigirán certificados de aptitud de los soldadores homologados a cargo del Montador, de acuerdo con la norma DIN-8360 u otra que se autorice. El Montador deberá entregar a la ingeniería los albaranes del material sometido a su custodia, definiendo en ellos cantidades, características y calidades de conformidad con los materiales decepcionados.

La Propiedad se reserva el derecho de recusar, en caso de no satisfacerle las operaciones de montaje, a cualquier miembro de la organización del Montador, y le obliga a sustituirlo en el plazo de 30 días por otros de igual categoría. El Montador podrá cubrir con una compañía de seguros los riesgos relativos a los materiales y equipos, así como los daños a terceros que se pudieran producir a causa de las operaciones de montaje.

Siempre que fuese necesario enviar una pieza o equipo a fábrica, como consecuencia de error o avería, los gastos de transporte, seguros y otros serán a cargo del Montador. El personal de la inspección de la Propiedad podrá ordenar la suspensión de los trabajos que no estuviesen ejecutados de acuerdo con las condiciones y especificaciones contractuales. La orden de suspensión será confirmada por escrito.

1.4.12. GARANTÍAS

El Instalador asume la garantía de la calidad del montaje y la durabilidad de los materiales, sobre cuyas calidades y adecuación aparecen en el presente proyecto. El plazo de esta garantía será de 12 meses a partir de la puesta en marcha de la instalación con un máximo de 18 meses a partir de la terminación del montaje.

Cualquier desperfecto imputable a trabajos de montaje que se produzcan durante el período de garantía deberá repararlo el Montador, sin coste alguno para la Propiedad, y de la forma más rápida posible. Durante el período de garantía, cualquier equipo que sea sustituido por otro, tendrá a partir de su entrada en servicio un período de garantía igual a la del equipo o pieza que sustituya.

Si como consecuencia de defectos o accidentes imputables al Montador, el equipo no pudiese funcionar en parte o en todo el período de garantía, la duración del período de paro será añadida al plazo de garantía. El argumento de que el defecto no fue investigado o no fue indicado en su momento carecerá de validez.

1.4.13. SUCECOS DE FUERZA MAYOR

Se consideran de fuerza mayor aquellos sucesos que no hubieran podido preverse, o que previstos, fueran inevitables, siempre que no fueran debidos al abandono o negligencia. No serán considerados por parte de la Propiedad como casos de fuerza mayor aquellos casos que no hubieran sido comunicados por escrito en el plazo de cinco días a partir de su iniciación para su estudio y comprobación.

En cualquier caso, el Montador será responsable frente a la Propiedad de las acciones y omisiones de sus subcontratistas, aunque éstos hubieran sido autorizados por la Propiedad.

El reconocimiento por parte de la Propiedad de huelgas, paro y otros problemas laborales, estará supeditado a la confirmación del escrito de las autoridades competentes en la materia, para ser considerado como causa de fuerza mayor. La Propiedad no se responsabiliza en ningún caso de los retrasos, inconvenientes, daños, perjuicios, etc., en que pudiera incurrir el Montador como consecuencia de conflictos laborales, paros laborales totales o parciales, huelgas o cualquier otro tipo de impedimentos que se produjeran.

1.4.14. LEGISLACIÓN

Para la recepción de las obras, la contrata está obligada a la legalización de las obras e instalaciones ante los organismos oficiales competentes. Los gastos que éstos ocasionen correrán por cuenta de la contrata.

El Montador queda obligado a respetar las disposiciones previstas en la legislación española vigente aplicables a la ejecución del contrato y a soportar las consecuencias de su incumplimiento.

El Montador y la Propiedad acuerdan someter la resolución de todas las divergencias, controversias o discrepancias a que pueda dar lugar la interpretación

o ejecución del contrato de las obras, al juicio arbitral del derecho privado, de acuerdo con las normas establecidas en la Ley de 22 de diciembre de 1953. Los árbitros resolverán sobre los puntos concretos en que se someterán a su decisión en la correspondiente escritura notarial de formalización del compromiso dentro del plazo que en la misma se señale.

Los honorarios de los árbitros serán sufragados a medias por el Montador y la Propiedad. Contra el laudo emitido por los árbitros, con arreglo a su leal saber y entender, únicamente cabrá recurso de nulidad ante la Sala 1ª del Tribunal Supremo, por los motivos que se indica en el nº 3 del Artículo 1691 de la Ley de Enjuiciamiento Civil.

1.4.15. OBRA CIVIL

Se realizará con arreglo a las especificaciones de los restantes documentos del proyecto y las órdenes que expresamente deberá solicitar el contratista al director de la obra.

En el caso de que la obra se construya en una zona en la que la Propiedad distribuya energía eléctrica, ésta facilitará al Adjudicatario la potencia necesaria para las instalaciones y le comunicará la cantidad que le cobrará por la energía consumida.

La red de distribución de energía en las zonas de obra será cuenta del Adjudicatario, deberá estar constituida por cables aislados y no deberá interferir en otros trabajos en marcha, por lo que su instalación deberá ser previamente autorizada por la Propiedad en caso de estar ubicada en el recinto de la obra, debiendo cumplir todas las normas y reglamentos oficiales vigentes.

El abastecimiento del agua y del aire comprimido necesario para la obra será por cuenta del Adjudicatario y su instalación debe cumplir las normas y reglamentos oficiales en vigor.

La Propiedad debe facilitar en caso de disponer de los mismos, materiales y medios auxiliares en las condiciones que se establezcan. Por cuenta y responsabilidad del Adjudicatario son:

- Los medios y materiales necesarios para la construcción, desmontaje, demolición o retirada en el plazo que se le indique, de sus instalaciones en obra tales como oficinas, almacenes, comedores, etc.
- Los medios para asegurar la vigencia y conservación del material almacenado en obra o curso de montaje.
- Todas las herramientas o medios necesarios para la ejecución del montaje, tales como andamios, escaleras, diferenciales, etc., y materiales de consumo de corriente como son electrodos, lubricantes, etc.
- Todos los ensayos de componentes o materias primas que se estimen necesarios en curso de montaje, sean elaborados tanto en el laboratorio de obra como en laboratorios ajenos.
- Las diligencias o gastos necesarios para la realización de las operaciones normales de inspección por parte de los organismos oficiales.

1.4.16. INSTALACIONES VARIAS

En todas las instalaciones y como norma general, se seguirá exactamente todo lo indicado en la memoria y demás documentos del proyecto. En caso de duda, será competencia del director del proyecto decidir la solución a adoptar. Las instalaciones serán efectuadas conforme a los reglamentos vigentes que les afectan.

1.4.17. RESPONSABILIDAD DE LA CONTRATA

La contrata será la única responsable de la ejecución de las obras, no teniendo derecho a indemnización de ninguna clase por errores que pudiera cometer, y que serán de su cuenta y riesgo.

Aún después de la recepción provisional, la contrata está obligada a rectificar todas las deficiencias que sean advertidas por la dirección de la obra. La demolición o reparación precisa será exclusivamente por cuenta de la contrata.

Así mismo, la contrata se responsabilizará ante los tribunales de los accidentes que puedan ocurrir durante la ejecución de las obras. Igualmente, estará obligada al cumplimiento de todos los preceptos legales establecidos o que se establezcan por disposiciones oficiales.

1.4.18. DIRECCIÓN DE LOS TRABAJOS

El Técnico encargado de las obras constituye la dirección técnica y, como tal, ejecutará todos los trabajos del desarrollo del proyecto, así como la dirección e inspección de los trabajos. Por lo tanto, la Dirección Técnica asumirá toda la responsabilidad en lo conveniente a planos e instrucciones técnicas.

1.4.19. SUBALTERNOS EN LA OBRA

Cuando la Propiedad desee suspender la ejecución de las obras, deberá avisar al Adjudicatario con un mes de antelación, teniendo este último que suspender los trabajos sin derecho a indemnización, siempre que se le abone el importe de la obra ejecutada y el valor de los materiales acumulados a pie de obra. Se hará lo mismo en caso de rescisión justificada.

Si la suspensión de las obras fuese motivada por el Adjudicatario, la Propiedad se reserva el derecho a la rescisión del contrato, abonando al Adjudicatario sólo la obra ejecutada, con pérdida de la garantía como compensación a la Propiedad por los perjuicios superiores creados.

En caso de muerte o quiebra del Adjudicatario, quedará rescindida la contrata, a no ser que los herederos o síndicos de la quiebra se ofrezcan para realizarla bajo condiciones estipuladas en un primer momento. La Propiedad

podrá aceptar o rechazar el ofrecimiento, sin que, en este último caso, aquellos tengan derecho a indemnización alguna.

Tanto en los casos de rescisión como en los que legalmente se pudiesen presentar, las herramientas y demás elementos de trabajo que sean de pertenencia del Adjudicatario, tendrá éste la obligación de recogerlos antes de un plazo de ocho días, entendiéndose que los abandona a favor de la obra de no hacerlo así.

Son causas de rescisión de la obra, las siguientes:

- El no ejecutar las obras con arreglo al proyecto o modificaciones indicadas.
- El empleo deficiente de los materiales o su mala colocación en la obra que obliguen a demoler ésta o a valorarla como defectuosa.
- El que los trabajos no se realicen ajustándose al calendario previsto.
- Incapacidad del personal contratado, tanto técnico como de la obra.
- Quiebra o suspensión de pagos por parte del Adjudicatario.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el pago exceda a seis meses.
- El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones del proyecto o contrato.
- El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando indique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- La terminación del plazo de ejecución de los trabajos sin haberse llegado a concluirlos.
- El abandono de la obra sin causa justificada.
- La muerte o incapacitación del Adjudicatario.
- Alteraciones del contrato, de forma que supongan modificaciones del proyecto o de las unidades de obra en un 25% como mínimo del importe de aquel y en un 50% de las unidades modificadas.
- La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se le dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación.
- Por toda causa de fuerza mayor que obligue a suspender las obras indefinidamente.

Excepto en los últimos cuatro casos, la fianza quedará en beneficio de la Propiedad. En todas las situaciones anteriores, la Propiedad se reserva el derecho a continuar las obras, bien por las personas o entidad que estime conveniente.

1.4.20. PLAZO DE EJECUCIÓN

Los plazos de ejecución, tanto totales como parciales, señalados en el contrato, empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo de las obras o desde la notificación por parte de la Propiedad de una autorización para el comienzo de éstas. El Adjudicatario estará obligado a cumplir dichos plazos, que serán improrrogables.

No obstante, los plazos podrán ser objeto de aplazamiento, cuando las modificaciones solicitadas por el Ingeniero Director y debidamente aprobadas por la Propiedad, influyan realmente en los plazos señalados en el contrato.

Si por causas ajenas al Adjudicatario, no fuese posible comenzar los trabajos en la fecha prevista o tuviesen que ser suspendidos una vez iniciados, el Ingeniero Director concederá una prórroga cuya duración será la estrictamente necesaria.

1.4.21. REFORMA DEL PROYECTO

Si durante el transcurso de las obras, el Ingeniero Director estimase conveniente introducir modificaciones en el proyecto, el Adjudicatario estará obligado a ejecutarlas, siempre y cuando la cantidad de las obras nuevamente proyectadas no aumentase ni disminuyese el Pliego de Condiciones.

Si antes del inicio de las obras o en el transcurso de éstas, la Propiedad, de acuerdo con el Ingeniero Director, resolviese realizar parte de las obras que comprende la contrata, o acordase introducir en el proyecto modificaciones que supongan aumento, reducción o supresión de las cantidades especificadas en el presupuesto, serán obligatorias estas disposiciones para el Adjudicatario sin que

tenga incluso derecho, en caso de suspensión de trabajos, a indemnización alguna con el pretexto de pretendidos beneficios que hubiera podido obtener en la parte reducida o suprimida. Aun cuando las reformas hiciesen variar el trazado original, si se le anticipan al Adjudicatario con la debida antelación, tampoco podrá reclamar compensación económica alguna.

En el caso de darse alguna modificación en el proyecto, el Adjudicatario tendrá derecho a que se prorrogue, el tiempo que el Ingeniero Director considere oportuno, el plazo para la terminación de las obras.

1.4.22. CONTRADICCIONES, OMISIONES O ERRORES EN LOS DOCUMENTOS

En el caso de contradicción entre los Planos y Pliegos de Condiciones y omitidos en los Planos, o viceversa, habrá de ser aceptado como si se incluyese en ambos documentos, siempre que quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y ésta tenga precio en el contrato.

Los diversos capítulos del presente Pliego de Condiciones son complementarios entre sí, entendiéndose que las prescripciones que contengan uno de ellos y afecte a otros obligan como si apareciesen todos. Las contradicciones o dudas entre sus especificaciones se resolverán por la interpretación que razonadamente haga el Ingeniero Director.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos, tanto por el Ingeniero Director como por el Adjudicatario, deberán reflejarse preceptivamente en el Acta de Replanteo.

1.4.23. TRABAJOS DEFECTUOSOS O NO AUTORIZADOS

El Adjudicatario deberá utilizar materiales que cumplan las condiciones exigidas en el Pliego de Condiciones Particulares y realizar todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo en dicho documento.

Como consecuencia de lo anterior, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra advierta defectos en los trabajos efectuados o que los materiales y aparatos empleados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea durante la ejecución de los trabajos o una vez finalizados éstos y con anterioridad a la verificación de la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas según el contrato, y todo ello a expensas del Adjudicatario. Si éste no considerase justa la decisión y se negase a la demolición y reconstrucción ordenada, se procederá según estos pasos:

- Cuando los materiales o aparatos no reuniesen la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al Adjudicatario para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos, o a falta de éstos, a las órdenes del Ingeniero Director.
- El Ingeniero Director podrá, si las circunstancias o el estado de la obra lo aconsejasen, permitir el empleo de aquellos materiales de mayor calidad a la fijada de antemano en caso de que al Adjudicatario no le fuese posible suministrarlos de dicha calidad, descontándosele en el primer caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado, y no teniendo derecho el Adjudicatario a indemnización alguna en el segundo caso.

El Adjudicatario es el único responsable de la ejecución de los trabajos para los que ha sido contratado y de las faltas y defectos que éstos pudiesen tener por su incorrecta ejecución y por la deficiencia de la calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servir de excusa ni le otorgue derecho alguno el que el Ingeniero Director o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valoradas en las certificaciones y participaciones de la obra.

1.5. ENSAYOS, PRUEBAS Y PROTECCIONES

1.5.1. ENSAYOS EN TALLER

Todas las uniones soldadas serán inspeccionadas mediante control radioscópico de las soldaduras, que se llevarán a cabo en presencia de representantes de la Propiedad y del Adjudicatario, teniendo en cuenta los plazos fijados.

Se ensayarán mecánicamente varias probetas de soldadura realizadas con materiales y operarios que hayan de intervenir en la obra.

Para el caso de los tanques de almacenamiento, se inspeccionará el 10% de los cordones de soldadura según la norma ASME sección VIII.

En los intercambiadores de calor y en todos los depósitos a presión, se realizarán pruebas de ventosa en todas las uniones soldadas.

Los cilindros de los servomotores y demás órganos que contengan aceites a presión, como son los cuerpos de las bombas de aceite y sus correspondientes válvulas, serán sometidos en taller a una presión de ensayo igual a la de servicio aumentada en un 50%. Los esfuerzos durante el ensayo no deberán, en ningún caso, sobrepasar el 40% de la carga de rotura, ni el 80% del límite elástico. Durante dicho ensayo no deberán producirse deformaciones apreciables, ni fugas de filtración alguna.

Para los grupos de motobombas, se realizarán todas las pruebas necesarias según normas para determinar las curvas características. Para el trazado de las curvas de altura manométrica, potencia y rendimiento, se considerarán al menos cinco puntos, desde el caudal cero al caudal máximo nominal.

1.5.2. PRESENTACIÓN EN TALLER

Con el fin de prever posibles dificultades que pudiesen presentarse en la obra, en el montaje definitivo de los elementos objeto de suministro, la Propiedad puede exigir que se realice en taller una presentación completa de los distintos elementos, comprobándose cotas, planicidad, etc.

El Adjudicatario indicará claramente en su oferta la repercusión económica que represente la realización de estos trabajos de presentación en taller del suministro contratado.

1.5.3. PROTECCIÓN CONTRA CORROSIÓN

El Adjudicatario deberá proponer la protección más recomendable, en base a su experiencia, para su aprobación por parte de la Propiedad. Esta protección deberá aplicarse a todas las superficies de los elementos fabricados con materiales oxidables en contacto con el agua y la intemperie, y comprenderá: limpieza a chorro de arena, metalización de zinc, según las normas AENOR A 91-201, con una capa de zinc de 0,12 mm de espesor, seguida como mínimo de tres capas de pintura de características convenientemente justificadas. No obstante, la Propiedad se reserva el derecho a ejecutar total o parcialmente la protección contra la corrosión de todo o parte del suministro, por cuyo motivo el Adjudicatario detallará en el Presupuesto el importe de estas operaciones, que podrán ser deducidas del costo total en el caso de que la Propiedad las realice por su cuenta.

Las partes del suministro que estén mecanizadas serán desengrasadas y se protegerán con una pintura vinílica incolora de tipo arrancable.

El sistema de protección con pinturas de las diferentes superficies metálicas deberá responder a las condiciones ambientales de la zona geográfica del almacenamiento y a la naturaleza de los productos manejados y condiciones de

funcionamiento. El tiempo transcurrido desde el tratamiento de la superficie del metal y la aplicación de la pintura no podrá ser superior a 24 horas.

1.5.4. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Las superficies de los cambiadores de calor serán tratadas según métodos de preparación de superficie para cada sistema de pintura.

Las superficies metálicas serán limpiadas antes de la aplicación de pinturas de acuerdo con las especificaciones de la "National Corrosion Engineers" (NACE) y con los estándares fotográficos del comité de corrosión de la Real Academia de Ciencia Técnica de Suecia (SIS 05.59.00).

Aquellos elementos metálicos complementarios en los que por razones específicas no pueda efectuarse el chorreado, se limpiarán mediante cepillado (grado St. 2). La preparación de superficies de acero al carbono se realizará siguiendo las especificaciones SIS 05.59.00 y PSC-SP. Si no se especifica lo contrario se aplicará un chorreado abrasivo a metal blanco SIS Sa 2½ (perfil de rugosidad 25/40), según la especificación SSPC-SP 10.

Las superficies externas mecanizadas de acero al carbono se protegerán mediante un inhibidor de corrosión eliminable con agua o disolventes. Dicho inhibidor deberá ser aprobado por el Comprador así como su método de eliminación. En aquellas superficies sobre las que haya que aplicar algún recubrimiento, se tendrá en cuenta la norma VDI 2532.

Las pinturas se aplicarán con pistola mediante sistema de pulverización a presión sin aire ("airless") y cuando se den las condiciones ambientales adecuadas. La protección de las superficies externas de los cambiadores de calor mediante pinturas se realizará aplicando varias capas:

- Aplicación de una capa de imprimación de cromato amarillo de 75 micras de espesor de película seca.

- Aplicación de una capa de imprimación de epoxi-cromato de zinc especial de 80 micras de espesor de película seca.
- Se aplicarán dos capas de esmalte de poliuretano alifático de 35 micras/capa.

Las estructuras metálicas y soportes complementarios a los intercambiadores se tratarán con:

- Un chorreado Sa 2½.
- Aplicación de una primera capa de imprimación, de zinc inorgánico, de 75 micras de espesor de película seca.
- Aplicación de una segunda capa de resina epoxi de 80 micras de película seca (ver INTA 164402).
- Aplicación de la pintura de acabado, que consistirá en dos capas esmalte de poliuretano alifático de 35 micras/capa.

1.5.5. TUBERÍAS

Todas las tuberías deberán ser tratadas con un chorreado previo Sa 2½ según las normas SIS 05.59.00. El chorreado deberá hacerse preferentemente en taller para evitar inundar la instalación de polvo, salvo causa justificada.

Las pinturas que se aplicarán en las tuberías serán:

- Una capa de pintura de imprimación de 40 micras de espesor de mínimo a clorocaucho.
- Una capa de pintura de fondo de 80 micras de espesor de clorocaucho.
- Dos capas de pintura de acabado de 25 micras/capa de clorocaucho puro.

1.5.6. BOMBAS

Los tratamientos y acabados de superficie de las bombas dependerán de la atmósfera circundante de la instalación.

La limpieza de las superficies se realizará siguiendo alguno de los procedimientos que se enumeran a continuación. La selección de uno u otro procedimiento se realizará atendiendo a +las recomendaciones del Suministrador.

- Granallado metálico a base de granalla de material no contaminante de la superficie (según norma SIS 05.59.00 Sa 2½).
- Chorreado de arena de sílice proyectado por aire comprimido contra la superficie.
- Decapado químico eliminando la capa de óxido y otras impurezas por inmersión en solución acida.

La superficie se preparará con una capa de Wash Primer para incrementar adherencia.

Se aplicarán las siguientes capas de pinturas:

- Una capa de 75 micras de espesor de pintura de imprimación epoxi.
- Una capa de 75 micras de espesor de pintura de acabado epoxi.
- Dos capas de 40 micras de esmalte sintético.

1.6. INSPECCIÓN, RECEPCIÓN Y PLAZOS DE GARANTÍA

1.6.1. INSPECCIÓN FABRIL

La Propiedad se reserva el derecho a efectuar directamente o por medio de una entidad de su elección, la inspección de la fabricación de los equipos con vistas al cumplimiento de los plazos, a la calidad de los materiales y a las técnicas empleadas, tanto en las fábricas o instalaciones del Adjudicatario, como en las de los suministradores.

A efectos de cláusula anterior, el Adjudicatario se ve obligado a asegurar en cualquier momento a los representantes de la Propiedad, debidamente acreditados, el libre acceso a las fábricas o instalaciones, así como proporcionar todas las facilidades para que éstos puedan cumplir su misión.

El Adjudicatario deberá informar a la Propiedad, en tiempo hábil, de la fecha fijada para la realización de los ensayos previstos y de la recepción de materias primas, así como de la ejecución de las operaciones más importantes de la fabricación o montaje, de manera que la Propiedad pueda evitar a sus representantes, de estimarlo necesariamente, a presenciar dichos ensayos u operaciones.

Independientemente de la presencia o no de los representantes de la Propiedad, el Adjudicatario deberá repartir a ésta, por triplicado, memorias de todos los ensayos realizados.

1.6.2. MONTAJE, INSPECCIÓN

Se deberá presentar para su aprobación una relación nominal del personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a realizar por cada uno de ellos y acreditando su capacidad técnica para el desarrollo de los mismos.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente, éste se verá obligado a completar su organización con el número de técnicos necesarios, según el criterio de la Propiedad.

La Propiedad se reserva el derecho de recusar, en caso de no satisfacerle el desarrollo de las operaciones de montaje, tanto el representante del Adjudicatario como a cualquier otro miembro de su organización en la obra y obligar a éste a sustituirlo en un plazo de treinta días por otro de igual categoría.

El Adjudicatario podrá cubrir con Compañías de Seguros los riesgos relativos a los materiales y equipos en curso de montaje. Este seguro será ampliado para cubrir también los daños a terceros que cause la Propiedad durante las operaciones de montaje.

La Propiedad podrá señalar la obligatoriedad del seguro de materiales y equipos en curso de montaje. Además, el citado seguro será ampliado para cubrir los daños que cause a la Propiedad o a terceros, durante y por causa de las operaciones de montaje.

El personal de la inspección de la Propiedad podrá ordenar la suspensión de los trabajos que no estuviesen ejecutados de acuerdo con las condiciones y especificaciones contractuales. La orden de suspensión será confirmada por escrito.

Siempre que fuese necesario enviar una pieza o equipo a fábrica como consecuencia de un error o avería, los gastos de transporte, seguros y otros, correrán por cuenta del Adjudicatario.

Los gastos, encargos y cualquier formalidad necesaria para la importación temporal o reexportación de herramientas, instrumentos o material a utilizar en la ejecución del suministro, serán a cargo del Adjudicatario.

La Propiedad fiscalizará directamente, a través de sus representantes, los trabajos de montaje. A este efecto, estará asegurado, al personal de inspección de la Propiedad, el libre acceso a cualquier hora a las oficinas de obra, almacenes u otros locales de trabajo del Adjudicatario, que está en la obligación de facilitarle cuantos datos y aclaraciones sean precisos.

1.6.3. CONTROLES

El Adjudicatario se asegurará mediante unos controles apropiados, de la buena calidad del material entregado. Los resultados de estos controles serán sometidos a la aprobación de la Propiedad, quien podrá exigir si cree conveniente, la realización de controles complementarios.

1.6.3.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Antes de iniciar la fabricación de los cambiadores de calor, el Proveedor someterá a la aprobación de la Propiedad los procedimientos de soldadura (WPS) que ha de utilizar, debidamente respaldados por sus certificados correspondientes de calificación (PQR), emitidos por una Entidad Colaboradora de la Administración (ENICRE), así como los certificados de homologación de los soldadores que han de participar en la fabricación.

Examen visual del aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte.

Ensayos de pruebas o presentación de documentos acreditativos, según las normas correspondientes.

1.6.3.2. TUBERÍAS

Las tuberías se deberán manipular sin movimientos bruscos y sin arrastre de material por el terreno. Inspección visual del aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte.

Recopilación de copia de solicitud y aceptación del suministro del material por el Adjudicatario y el Proveedor, respectivamente, con albarán de recepción. Se incluirá, además, el Certificado de Fabricación y Pruebas de los lotes suministrados. Identificación de las tuberías con grabado longitudinal de la designación comercial, material, diámetro, espesor, presión de trabajo, normas y año de fabricación.

1.6.3.3. DEPÓSITOS A PRESIÓN Y COLUMNAS

Se realizará el subministro en unidades, según la capacidad, perfectamente terminado, sin defectos superficiales de fabricación o transporte.

Se debe recompilar la copia de solicitud y aceptación del subministro del material por el Adjudicatario y el Proveedor, respectivamente, con albarán de recepción.

Se incluirá el Certificado de Fabricación y Pruebas de los lotes suministrados, así como el Certificado de Homologación y Timbrado MINER.

Se identificarán los depósitos con placa situada al lado de la boca en la que figura la designación comercial, número de registro y fabricación, presión de prueba, presión de timbre, superficie exterior, capacidad y fecha de las pruebas.

Se someterá a examen visual de aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte.

1.6.3.4. BOMBAS

Comprobar que la instalación está completa y ha sido llenado de aceite todo el sistema de lubricación.

Verificar que el motor y las bombas están adecuadamente ordenados.

Se debe comprobar que todos los componentes del sistema de limpieza: filtros, orificios de restricción, presostatos, alarmas de nivel, enfriadores, están correctamente instalados y limpios.

1.6.3.5. PRUEBA HIDRÁULICA EN TALLER

La Propiedad podrá exigir la realización de una prueba hidráulica en taller. El Adjudicatario deberá proveerse de fondos de cierre para poder realizarlos.

La presión de prueba que se determinará en cada caso no será inferior a 1.5 veces la presión máxima de diseño. En determinados casos, y para piezas

especiales, la Propiedad puede exigir que se realicen pruebas extensiométricas o ensayos en un modelo reducido. Si las condiciones de ensayo provocasen sobre las piezas tensiones diferentes de las causadas por las condiciones normales de instalación, el Adjudicatario deberá realizar un cálculo justificativo.

Si las pruebas revelasen defectos inadmisibles, tales como fugas y deformaciones locales, el Adjudicatario someterá a la aprobación de la Propiedad el procedimiento de reparación y una vez reparada la pieza se repetirá la prueba hidráulica.

1.6.4. ACTA DE FIN DE MONTAJE

Cuando el Adjudicatario considere que los equipos están en condiciones óptimas para entrar en servicio, lo comunicará por escrito a la Propiedad, y se procederá a una revisión general conjunta del montaje, levantándose, si procede, un acta de final de montaje, firmada por representantes cualificados de ambas partes.

1.6.5. AJUSTES, ENSAYOS Y SERVICIO EXPERIMENTAL

Finalizado el montaje, serán efectuados los ajustes, ensayos y puestas en servicio experimentales de acuerdo con las condiciones establecidas.

La instrucción de adiestramiento del personal de la Propiedad por parte del Adjudicatario será efectuado en este período.

Salvo que se establezca otro acuerdo, la transferencia del equipo y materiales objeto de suministro tendrá lugar en la fecha de su entrada en servicio industrial; sin embargo, la cesión de posibles equipos importados por la Propiedad se hará con la entrega del conocimiento de embarque, carta de porte o documentación similar, si bien el riesgo y la garantía serán por cuenta del Adjudicatario hasta la entrega de los equipos en servicio industrial.

1.6.6. RECEPCIÓN PROVISIONAL

Finalizado el servicio experimental y simultáneamente al comienzo del servicio industrial, será levantada, con anterioridad a la realización de los ensayos de recepción correspondientes, un Acta de Recepción Provisional firmada por representantes cualificados tanto de la Propiedad como del Adjudicatario. Si por motivos no imputables al Adjudicatario, los ensayos de recepción no pudiesen ser efectuados, la recepción provisional será considerada como realizada 120 días después de la fecha en que las pruebas debieron haber comenzado. Sin embargo, el Adjudicatario está obligado a realizar dichos ensayos antes de la fecha de recepción definitiva.

La Dirección Técnica levantará por triplicado, un Acta de Recepción de las Obras, en la que se harán constar las posibles deficiencias en los trabajos, así como el plazo para subsanar éstas.

Si las obras se encuentran en condiciones óptimas y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones marcadas, se darán por recibidas, comenzando a contar en dicha fecha el plazo de garantía establecido en el contrato, que será como mínimo de tres meses.

En el caso de no hallarse la obra en el estado de ser recibida, así se hará constar en Acta, otorgándose además al Adjudicatario y/o Proveedor en la misma, las instrucciones precisas y detalladas para remediar los defectos observados y fijándose un plazo para subsanar éstos. Los trabajos de reparación corren por cuenta del Adjudicatario, de forma que de no cumplirse las prescripciones el contrato podrá considerarse como rescindido, con la pérdida de la fianza.

1.6.7. PERÍODO DE GARANTÍA

La fecha del Acta de Recepción Provisional será el comienzo del período de garantía. El Adjudicatario podrá mantener en la obra a todo o parte de su personal especializado, si bien posibilitará la presencia de éste siempre que la Propiedad lo exija o en caso de anomalías de funcionamiento o averías.

La duración del período de garantía será la acordada entre la Propiedad y el Adjudicatario a la hora de la formulación del contrato y comenzará a contar a partir de la fecha de firma del Acta de Recepción Provisional.

Durante el plazo de garantía, el Adjudicatario reemplazará cualquier pieza o equipo defectuoso, debido a una mala concepción, defecto o calidad inadecuada de las materias primas empleadas, defecto de fabricación o error de montaje. Todas estas sustituciones y posibles trabajos de construcción civil deberán ser realizados en el menor tiempo posible, corriendo todos los gastos por cuenta del Adjudicatario.

Durante el período de garantía cualquier equipo, componente o pieza a sustituir por otro de la misma calidad, tendrá a partir de la fecha de entrada en servicio un plazo de garantía igual al del equipo o pieza al que sustituya.

Si como consecuencia de defectos o accidentes imputables al Adjudicatario, el equipo no pudiese funcionar en parte o en todo el período de garantía, el tiempo en que el equipo no pueda operar será añadido al plazo de garantía.

1.6.8. RECEPCIÓN DEFINITIVA

Transcurrido el plazo de garantía, previo reconocimiento de las obras y demás trámites reglamentarios y en el supuesto de que todos los trabajos se encuentren en las debidas condiciones, se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras, para lo cual se elaborará la correspondiente Acta de Recepción Definitiva, en la que se relatarán las incidencias habidas durante el

período de garantía y que deberá estar firmada por representantes cualificados de la Propiedad y el Adjudicatario.

Hasta que el representante de la Propiedad no haya aprobado la recepción definitiva de los trabajos, el Adjudicatario se hará cargo de roturas, robos de material, averías, etc., cualquiera que fuese el motivo, aun cuando el desperfecto se haya producido en una operación ordenada por la Propiedad con el conocimiento del Adjudicatario.

Si son necesarias pruebas de funcionamiento, capacidad de producción, etc., para la recepción definitiva del algún elemento o del conjunto, el Adjudicatario dirigirá dichas pruebas y cargará con los gastos de todos los medios y creación de condiciones, salvo si todos o parte de tales gastos fueron incluidos en la adjudicación como obligaciones de la Propiedad.

Con anterioridad a la recepción definitiva serán resueltas todas las reclamaciones planteadas y habrán transcurrido todos los plazos de garantía de los equipos, componentes o piezas que hayan sido sustituidas.

Podrán hacerse recepciones definitivas parciales en los casos en los que se considere oportuna esta decisión. Efectuada la recepción definitiva de todo suministro, cesa la garantía establecida.

1.7. ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE, SEGUROS

1.7.1. ALMACENAMIENTO

La Propiedad indicará la capacidad de los almacenes o explanadas de propio acopio de los que dispondrá el Adjudicatario en obra, así como la fecha a partir de la cual podrá disponer de ellos.

Queda terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del Ingeniero Director, efectuar acopios de materiales, cualquiera que sea su naturaleza, en zonas que dificulten el adecuado transcurso de los trabajos.

Los materiales se almacenarán de forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de dicha utilización.

Las superficies empleadas como zonas de acopio deberán acondicionarse una vez finalizado el uso de los materiales en ellas acumulados, de forma que puedan recuperar su aspecto original.

Todos los gastos requeridos para efectuar el almacenamiento, manutención o guarda serán por cuenta del Adjudicatario.

1.7.2. TRANSPORTE

Salvo que la Propiedad indique lo contrario, compete al Adjudicatario transportar a las instalaciones de la obra todos los materiales y equipos objeto del suministro desde sus fábricas, colocándose en buenas condiciones de manejabilidad, conservación y seguridad en los lugares destinados por la Propiedad a tal fin.

El Adjudicatario deberá prever que ninguna expedición sea hecha desde sus fábricas o desde las de sus suministradores sin aprobación previa por parte de la Propiedad, teniendo en cuenta que:

- Se respetarán las fechas previstas en el programa de trabajos.
- El escalonamiento de envíos en las fechas más desfavorables para la buena marcha de los trabajos y la óptima utilización de las superficies reservadas a parques.
- La eventual inspección de los embalajes y otras condiciones de trabajo.

- La eventual colaboración de la Propiedad en la resolución de los problemas de transporte que puedan resultar de volúmenes o pesos excesivos, en especial cuando se resolución dependa de Organismos Oficiales del Estado.

La aceptación por parte de la Propiedad de los embalajes, acondicionamiento y medios de transporte no exime de su responsabilidad al Adjudicatario en lo que respecta al transporte, así como al funcionamiento y duración de los materiales y equipos expedidos.

Los embalajes de los materiales y equipos entregados en las instalaciones de la obra pasarán a ser dominio de la Propiedad después de su utilización.

El Adjudicatario deberá prever que la Propiedad reciba cada expedición, con antelación suficiente, una lista de embalajes con indicación de los respectivos contenidos, pesos, dimensiones y marcas, permitiendo una identificación fácil y correcta.

1.7.3. SEGUROS DE TRANSPORTE

El seguro de materiales y equipos en tránsito será efectuado por el Adjudicatario, a no ser que la Propiedad haga constar expresamente que suscribirá un seguro por su cuenta.

1.7.4. IMPORTACIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS

Los trámites aduaneros de los equipos fabricados en el extranjero y de los materiales (partes, piezas o accesorios) destinados a ser incorporados a los equipos fabricados en España, serán hechos en nombre de la Propiedad por el Adjudicatario.

En caso de que el Adjudicatario no pudiese llevar a cabo los trámites citados en la cláusula anterior, la Propiedad llevará a cabo la tramitación y despacho en aduanas de los materiales importados, por cuenta del Adjudicatario.

El Adjudicatario obtendrá a su debido tiempo la documentación necesaria para la importación y para el paso en tránsito por un tercer país, en caso de que fuese necesario.

El Adjudicatario deberá comunicar por escrito a la Propiedad por cada fabricante extranjero y en relación con el equipo a importar, los siguientes elementos: designación, peso líquido, valor, procedencia y moneda de pago.

El Adjudicatario deberá obtener a su debido tiempo la documentación necesaria para que los trámites aduaneros se efectúen en las mejores condiciones independientemente de que la Propiedad gestione, si procede, la exención de derechos de importación.

1.8. ORGANIZACIÓN DE LAS OBRAS

1.8.1. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS Y REPRESENTACIÓN DEL ADJUDICATARIO

La dirección del conjunto de las obras estará a cargo del personal técnico de la Propiedad. Se indicará en cada caso al Adjudicatario quién es el Ingeniero Encargado o Director Técnico de la Obra, cuyas principales funciones, que afectan sobre todo a las relaciones con el Adjudicatario, son:

- Exigir al Adjudicatario, directamente o a través del personal a sus órdenes, el cumplimiento de las condiciones contractuales.
- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas, y el cumplimiento del programa de los trabajos.

- Definir aquellas condiciones técnicas que el presente Pliego de Condiciones deje a su decisión.
- Resolver todas las ecuaciones técnicas que surjan en cuanto a interpretación de planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en los trabajos que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando en su caso las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener de los organismos oficiales y de los particulares los permisos y autorizaciones necesarios para la ejecución de las obras y ocupación de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente y bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual el Adjudicatario deberá poner a su disposición el personal y material de la obra.
- Participar en las recepciones provisional y definitiva y redactar la liquidación de las obras, conforme a las normas legales establecidas.

El Adjudicatario estará obligado a prestar su colaboración al Ingeniero Director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

Antes de iniciarse los trabajos, el Adjudicatario deberá indicar a la Propiedad el nombre de su representante al frente de los mismos, que actuará como Jefe de Montaje, tanto en los aspectos técnicos como económicos. Los poderes del Jefe de Montaje deben ser los suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la Propiedad. En ningún caso constituirá motivo de excusa para el Adjudicatario la ausencia de su representante a pie de obra. Al mismo tiempo, deberá presentar para su aprobación, la relación nominal de personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a desarrollar por cada uno de ellos.

La Propiedad se reserva el derecho de recusar al Jefe de Montaje o a cualquier otro técnico destinado por el Adjudicatario en la obra durante el desarrollo de los trabajos, obligándose éste a sustituirlo en un plazo de treinta días por otro de igual categoría.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente para la buena marcha de los trabajos, éste se obliga a completar su organización con el número de técnicos que fuera necesario según el criterio de la Dirección de Obra.

1.8.2. TERRENOS NECESARIOS PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

La Propiedad indicará al Adjudicatario los límites de los terrenos de su propiedad dentro de los cuales puede montar sus instalaciones y dará acceso a los mismos. Todo esto estará indicado en los planos que se entreguen a los concursantes para el estudio de las ofertas.

Se supone en el Adjudicatario un conocimiento perfecto de la disposición del conjunto de los terrenos, de la importancia y situación de los trabajos objeto del contrato, de la naturaleza y estado de los terrenos, de los emplazamientos reservados para las obras, de los medios de acceso, así como de las condiciones climáticas de la región, especialmente aquéllas que puedan afectar a los trabajos.

La obligación de la Propiedad en cuanto a entrega de los terrenos necesarios queda limitada a los que figuran y se reseñan en los planos que se entreguen a los concursantes con la petición de oferta que, al mismo tiempo, definirán lo que se entiende por zona de montaje.

Si por conveniencia del Adjudicatario éste deseara disponer de otros terrenos distintos de los figurados y reseñados en los planos antes citados, será de su cargo su adquisición o la obtención de las autorizaciones pertinentes, debiendo el Adjudicatario someter previamente a la conformidad de la Propiedad las modalidades de adquisición o de obtención de la autorización respectiva.

El Adjudicatario será responsable de los daños que puede causar en las vías públicas y en los caminos de acceso si éstos son de particulares o de la Propiedad. Se obliga también a cumplir todas las limitaciones y solicitar los permisos de transportes especiales, etc. En cualquier caso, el Adjudicatario responde de todos los perjuicios que, como consecuencia del contrato, se puedan causar a terceras personas en bienes muebles, inmuebles, cosechas, etc., y son de su competencia las reclamaciones que puedan formularse con ocasión de dichos perjuicios.

1.8.3. INSTALACIONES AUXILIARES

En el caso de que la obra se construya en una zona en la que la Propiedad distribuya energía eléctrica, ésta facilitará al Adjudicatario la potencia necesaria para sus instalaciones y le indicará el precio que le cobrará por la energía consumida. La red de distribución de energía en las zonas de obra que será de cuenta del Adjudicatario, deberá estar constituida por cables aislados y no deberá interferir otros trabajos en marcha, de manera que su instalación deberá ser autorizada previamente por la Propiedad en el caso de estar ubicada en el recinto de la obra, y cumplirá todas las normas oficiales en vigor.

El abastecimiento de agua y de aire comprimido necesario para la obra será de cuenta del Adjudicatario y su instalación deberá cumplir las normas y reglamentos oficiales en vigor. La Propiedad podrá facilitar, caso de disponer de los mismos, materiales y medios auxiliares en las condiciones que se establezcan. Serán de cuenta y responsabilidad del Adjudicatario:

- Los medios y los materiales necesarios para construcción, conservación, desmontaje, demolición o retirada en el plazo que se le señale, de sus instalaciones en obra, tales como oficinas, almacenes, comedores, etc.
- Los medios para asegurar la vigilancia y conservación del material almacenado en obra o curso de montaje.
- Todas las herramientas o medios necesarios para la ejecución del montaje, tales como andamios, escaleras, diferenciales, etc., y materiales de consumo de corriente como electrodos, lubricantes, etc.

- Todos los ensayos de materias primas o componentes que se estimen necesarios en curso de montaje, sean efectuados en laboratorio de obra o foráneos.
- Las diligencias o gastos necesarios para la realización de las operaciones normales de inspección por parte de los organismos oficiales.

El Adjudicatario no podrá ampararse, con el fin de eludir las obligaciones del contrato, en las dificultades que puedan ser ocasionadas por la ejecución simultánea de otros trabajos o instalaciones confiadas por la Propiedad a otros contratistas o suministradores que intervengan en la realización del mismo proyecto.

El Adjudicatario no podrá reclamar si en el curso de los trabajos y para cumplimiento normal del contrato se viese precisado a aumentar la importancia de su material, en calidad o en cantidad, en relación con sus previsiones iniciales. De cada nueva aportación de maquinaria se formalizará una nota análoga a la que forma parte del contrato para la maquinaria y útiles aportados inicialmente, que se unirá como anexo al contrato.

Sin embargo, cuando el Adjudicatario se vea obligado a poner en servicio material suplementario para responder, bien a circunstancias imprevistas en el contrato o bien a causas de fuerza mayor debidamente comprobadas y, en cualquiera de ambos casos, reconocidas previamente por la Propiedad, la utilización de ese material será de abono por aplicación de precios complementarios establecidos de común acuerdo, conforme a las disposiciones que se fijan en este Pliego.

1.8.4. RELACIONES ENTRE LA PROPIEDAD Y LOS DIVERSOS CONTRATISTAS

El Adjudicatario está obligado a suministrar, en cualquier momento, toda la información relativa a la ejecución del contrato que la Propiedad juzgue necesario tener conocimiento por razón de las posibles incidencias de los trabajos confiados al Adjudicatario, sobre los de otros contratistas o suministradores.

En ningún caso las peticiones de información dirigidas al Adjudicatario por la Propiedad supondrán una injerencia de la Propiedad en la ejecución del contrato, ni entrañarán una participación de la Propiedad en la responsabilidad del Adjudicatario. Las peticiones tendrán únicamente carácter informativo.

En todo caso, el Adjudicatario es el único responsable del ejercicio de la función que le es propia, en orden a las obligaciones del contrato.

Siempre que sea requerido, el Adjudicatario, o su representante, deberá presentarse en el domicilio de la Propiedad en la obra, con el fin de que no pueda invocarse su ausencia como causa de retraso o suspensión del cumplimiento de las órdenes de la Propiedad.

La coordinación de las actividades del Adjudicatario necesarias para la ejecución del suministro con la de otros contratistas de la Propiedad o con cualquier entidad ajena al contrato con quien hay necesidad de tratar es de la competencia de la Propiedad.

Siempre que el Adjudicatario establezca contacto con otros contratistas de la Propiedad para tratar de asuntos relativos a la buena ejecución del suministro, se obliga a enviar a la Propiedad copias de las comunicaciones y correspondencia producida; las decisiones tomadas durante tales contactos sólo tendrán efecto en relación con la Propiedad si ésta las aprobare por escrito.

Si como consecuencia de los anteriores contactos surgieran diferencias o dificultades, el Adjudicatario deberá pedir una reunión con los representantes de la Propiedad, que las resolverán de acuerdo con los contratos establecidos con los contratantes interesados. Las reuniones de esta naturaleza deberán ser solicitadas con un mínimo de diez días de antelación.

La Propiedad, siempre que lo juzgue conveniente, convocará, por su iniciativa o a petición del Adjudicatario, reuniones con éste y con otros contratantes, a fin de discutir y resolver, de acuerdo con el programa de trabajos

aprobado, los problemas que resulten de la coordinación de los trabajos en curso, de la ocupación sucesiva de locales en la obra, de la disponibilidad de medios de utilización común y en uso.

Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre este uso suplementario y el reparto de los gastos correspondientes.

La Propiedad deberá estar permanentemente informada de los acuerdos tomados entre los distintos contratistas o suministradores para, en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomar la resolución que proceda. La decisión es obligatoria para los interesados. En ningún caso la Propiedad deberá encontrarse durante los trabajos, en presencia de una situación de hecho, que tuviese lugar por una falta de información por parte del Adjudicatario o de los otros suministradores o contratistas de las obras.

Cuando varios contratistas y suministradores trabajen en la misma obra, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que pudieran derivarse de su propia actuación.

1.8.5. SUBCONTRACIÓN DE LAS OBRAS

A menos que el contrato disponga lo contrario o que de su naturaleza y condiciones se deduzca que la obra ha de ser ejecutada directamente por el Adjudicatario, este último podrá contratar con terceros la realización de determinadas unidades de obra, cumpliendo para ello los siguientes requisitos:

- Notificar por escrito al Ingeniero del subcontrato a celebrar, las partes de obra a realizar y las condiciones económicas, de modo que éste las pueda autorizar previamente.
- Que las unidades de obra que el Adjudicatario contrate con terceros no excedan el 50% el presupuesto total de la obra principal.

La subcontratación deberá siempre supeditarse a la autorización previa por parte de la Propiedad. En cualquier caso, la Propiedad no quedará vinculada en absoluto, ni reconocerá ninguna obligación contractual entre ella y el Subcontratista, de forma que cualquier subcontratación de obra no eximirá al Adjudicatario de ninguna de sus obligaciones respecto a la Propiedad.

1.8.6. PERSONAL DE MONTAJE

Es de competencia del Adjudicatario por su cuenta y responsabilidad, todo el personal especializado, no especializado y auxiliar para la dirección y ejecución del montaje, así como todos los suplidos y gastos de ese personal, tales como viajes, alojamientos, dietas, desplazamientos de alojamiento en obra y desplazamientos dentro de la propia obra.

Cualquiera que sea la nacionalidad del Adjudicatario, el reclutamiento del personal deberá cumplimentar las leyes en vigor.

Si el Adjudicatario emplea en obra personal extranjero, será de su cuenta y cargo la obtención de las condiciones necesarias para que pueda trabajar en España.

Todo el personal, independientemente de su nacionalidad, acatará las leyes laborales vigentes en cuanto a horarios, seguros sociales, etc., además de aquellas de carácter general que estén vigentes para el personal de la obra.

Al frente de cada trabajo de montaje, el Adjudicatario deberá tener, a pie de obra, un técnico titulado de cualquier especialidad o condición, que pueda acreditar de forma satisfactoria ante la Propiedad, su competencia en esta clase de trabajos.

El Adjudicatario es responsable de los fraudes o malversaciones que sean cometidas por su personal en el suministro o en el empleo de materiales.

El número de trabajadores de cada profesión deberá ser siempre proporcionado a la cantidad de obra a ejecutar, teniendo en cuenta los plazos fijados.

El Adjudicatario deberá remitir a la Propiedad, siempre que lo solicite, una relación del personal presente en la obra, clasificado por categoría profesional.

El Adjudicatario está obligado a mantener la disciplina y el orden en los lugares de trabajo.

La Propiedad se reserva el derecho a exigir la retirada de la obra de cualquier operario al servicio del Adjudicatario cuando su presencia se revele perjudicial para la marcha o el orden de los trabajos.

1.8.7. SEGUROS DE ASISTENCIA MÉDICA

El Adjudicatario no podrá empezar los trabajos sin justificar previamente ante la Propiedad, tener cubiertos los seguros por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, de acuerdo con la legislación vigente.

El Adjudicatario asegurará por sí mismo o por medio de Compañía de Seguros adecuada, la prestación de asistencia médica o de enfermedad al personal. El Adjudicatario es responsable de las condiciones de seguridad en los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre esta materia, las medidas que dicten la Inspección del Trabajo y demás organismos competentes y las normas de seguridad que correspondan a las características de las obras contratadas.

Con objeto de organizar colectivamente y de inspeccionar la seguridad y la higiene de las obras, todos los contratistas que trabajen en las mismas deberán, por indicación de la Propiedad, agruparse en el seno de una Junta Central de Seguridad, formada por los representantes de las empresas, Junta que tendrá por

misión coordinar las medidas de seguridad adoptadas por los comités u organizaciones de seguridad de cada una de las empresas.

1.9. ABONO DE LAS OBRAS

1.9.1. DEFINICIÓN DE LOS PRECIOS

Los gastos de bienes y servicios objeto de suministro, serán expresados en moneda de la unión europea y cubrirán la fabricación, el suministro y el montaje de todos los equipos ensayados y en funcionamiento, así como los repuestos y servicios adicionales que se especifiquen, y conservación y mantenimiento durante el periodo de garantía.

Los gastos de primer establecimiento y desmontaje y retirada de las instalaciones de obra, estarán incluidos en el precio del suministro.

Todos los precios unitarios o globales comprenden, sin excepción ni reserva, además del beneficio del Adjudicatario, la totalidad de los gastos y cargas ocasionadas por la ejecución en los plazos establecidos de los trabajos correspondientes a cada uno de ellos, incluidos los que resulten de las obligaciones impuestas al Adjudicatario por los diferentes documentos del contrato y por el presente Pliego de Condiciones Generales.

El precio de los materiales y equipos que componen el suministro comprenderá:

- Coste en factoría de los materiales y equipos, sean de procedencia nacional o extranjera, incluido el embalaje adecuado.
- Coste del transporte de factoría a pie de obra y distribución dentro de ésta.
- Coste del seguro de transporte.
- Coste unitario de las piezas de repuesto que se establezcan.

En el precio de materiales y equipos incluidos los estudios de fabricación, dibujos, esquemas eléctricos, etc., así como los derechos de patentes, royalties y demás que puedan incidir sobre los mismos, quedando la Propiedad libre de cualquier exigencia por parte de terceros sobre los citados derechos.

En el precio del transporte estarán incluidas cargas, descargas, transbordos, colocación en parque o almacén, incluso guarda, así como de los gastos correspondientes a derechos aduaneros o permisos de importación.

El costo y montaje incluirá los gastos de instrucción y adiestramiento del personal de la Propiedad, que se hará cargo de la explotación de las instalaciones, el precio de los seguros de montaje y los ensayos de los equipos e instalaciones una vez finalizado en montaje, en los términos señalados en este Pliego.

1.9.2. PRESTACIONES ACCESORIAS Y TRABAJOS POR ADMINISTRACIÓN

El Adjudicatario está obligado a realizar a título accesorio, trabajos de pequeña importancia y prestaciones complementarias en régimen de Administración.

Los trabajos realizados en régimen de administración se liquidarán de la siguiente manera:

- Empleo de la mano de obra y materiales. El importe a abonar por estos conceptos viene dado por la expresión siguiente:

$$I = (J + M) \frac{(100 + n)}{100}$$

En donde,

- J es el importe total de la mano de obra, obtenido aplicando al total de horas trabajadas por personal obrero de cada categoría, directamente empleado en estos trabajos, la tarifa media horaria correspondiente, según baremo establecido, incluyendo jornales,

cargas sociales, gastos de alojamiento y porcentaje de útiles y herramientas.

- M es el precio pagado según factura de los materiales y suministros utilizados en estos trabajos, incluido el transporte hasta almacén de obra (€).
- n es el tanto por ciento de aumento sobre los conceptos anteriores, que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficio. El valor de n se fijará en el contrato y será siempre menor o igual que 20.
- Empleo de equipo auxiliar: la mano de obra directa y el combustible y energía correspondiente al empleo de maquinaria o equipo auxiliar del Adjudicatario, para la ejecución de trabajos o prestaciones de servicio pagados por la Administración, serán abonados al Adjudicatario por aplicación de las fórmulas anteriores.

Además, se abonará al Adjudicatario una remuneración, según tarifa, en concepto de utilización de maquinaria, incluyendo los gastos de conservación, reparaciones y recambios.

Se emplearán una o varias tarifas según el tipo de maquinaria expresada, siempre en un tanto por mil del valor de la máquina por hora efectiva de utilización (o bien por día natural de utilización).

Cuando se decida de común acuerdo traer a la obra, especialmente para trabajos por Administración, nueva maquinaria, se empleará también la expresión anterior, pero se asegurará al Adjudicatario una remuneración diaria mínima en concepto de inmovilización expresada también en un tanto por mil del valor de la máquina, por día natural de inmovilización. Además, en este caso, se abonará al Adjudicatario el transporte de la maquinaria a obra, ida y vuelta, y los gastos de montaje y desmontaje, si los hubiese, según la expresión indicada en el apartado anterior.

Cuando una máquina sea utilizada con posterioridad a la fecha en la que su empleo era necesario para terminar los trabajos objeto del presente contrato, a

partir de la misma se asegurará al Adjudicatario la percepción del mínimo de inmovilización antes señalado.

Los importes obtenidos por todas las expresiones anteriores tendrán también el mismo porcentaje n anteriormente citado en el apartado anterior, que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficios.

El Convenio de Adjudicación o el Pliego de Condiciones Particulares establecerán los detalles complementarios que sean precisos.

1.9.3. ABONO DE TRABAJOS NO PREVISTOS

Todas las unidades de obra que se necesiten efectuar para terminar completamente el proyecto y que no hayan sido definidas en éste, se abonarán según los precios contractuales correspondientes, teniendo en cuenta los del contrato o por asimilación a obras de semejante naturaleza. Los nuevos precios se basarán en las mismas condiciones económicas que los precios del contrato.

A falta de un acuerdo mutuo, y en espera de la resolución de las discrepancias surgidas, se liquidará provisionalmente al Adjudicatario en base a las tasaciones fijadas por la Propiedad.

Si no hubiese conformidad en la fijación de dichos precios entre la Propiedad y el Adjudicatario, éste quedará relegado de la construcción de la parte de la obra que se trate, sin derecho a indemnización de ninguna clase. En esta situación en la que, a juicio de la Propiedad, sea imposible el fijar nuevos precios, corresponderá a la Propiedad la decisión de abonar excepcionalmente los trabajos en régimen de Administración.

Cuando se proceda al empleo de materiales o ejecución de las obras sin la previa aprobación de los precios que hayan de aplicarse, se entenderá que el Adjudicatario se conforma con los que le fije la Propiedad.

1.9.4. REVISIÓN DE PRECIOS

En caso de que se produzca una variación de las condiciones económicas en el curso de la ejecución del contrato, los precios establecidos serán revisados por la aplicación de la siguiente fórmula general:

$$P = P_o \cdot K$$

En donde:

- P_o es el precio de origen a revisar (€).
- P es el nuevo valor del precio P_o después de la revisión (€).
- K es un coeficiente de la forma:

$$K = 0,15 + a \frac{H_i}{H_o} + b_i \frac{M_i}{M_{oi}}$$

- En donde a y b son coeficientes de influencia que cumplen la característica de que $a + b_i = 0,85$.
- H_o es el índice de mano de obra en la fecha de presentación de la oferta.
- H_i es el índice de la mano de obra en el período en el cual se ha calculado la revisión.
- M_i y M_{oi} son los índices correspondientes a materiales en la fecha de presentación de ofertas y en el período dentro del cual se ha calculado la revisión, respectivamente.

Los índices empleados en esta fórmula son los índices oficiales de precios sometidos mensualmente a la aprobación del Gobierno por el Comité Superior de Precios de Contratos del Estado y publicados en el Boletín Oficial del Estado, según dispone el Real Decreto 1098/2001, del 12 de octubre, que deroga al Decreto ley del 4 de febrero de 1964.

Para un mismo contrato se pueden prever uno o varios coeficientes K , aplicándose cada uno de ellos a un determinado grupo de precios.

La revisión de los precios se realizará únicamente en caso de producirse variaciones en los índices previstos en cada caso.

La Propiedad establecerá en cada caso particular la fórmula o fórmulas de revisión a emplear y las normas complementarias de aplicación de las mismas. Salvo que se indique lo contrario, serán de aplicación las fórmulas oficiales aplicables a las obras realizadas para el Estado que aparecen en las memorias de Comisión de Precios, publicadas periódicamente por el Ministerio de Obras Públicas.

Si los trabajos no han terminado al final del plazo global de ejecución previsto en el Convenio, prolongados, si a lugar, en un tiempo igual al de los retrasos reconocidos y aceptado por la Propiedad, resultantes de circunstancias no imputables al Adjudicatario, los coeficientes K, a utilizar en la continuación de las obras no podrán en ningún momento ser superiores a los alcanzados en la época de terminación del plazo. Todos los valores inferiores de estos índices, serán, por el contrario, aplicados a partir de la época en la que los mismos se hayan comprobado.

En principio, no serán revisables, más que los precios que se refieran a prestaciones efectuadas en territorio español. Además, cuando estos precios contengan elementos que dependan de un sistema económico, su revisión se limitará únicamente a la fracción de cada uno de ellos que dependa de las variaciones económicas comprobadas en España.

Si el contrato prevé excepcionalmente la revisión de los precios que dependan en su totalidad o en parte de un sistema económico extranjero, el importe revisado por medio de las fórmulas contractuales previstas a este efecto estará limitado al valor obtenido:

- Convirtiendo el precio inicial, cuando esté fijado en divisas extranjeras, en euros, al tipo de cambio aplicable en la fecha de referencia de precios.
- Aplicando al precio inicial, expresado en euros, la fórmula de revisión contractual, después de haber reemplazado los índices en vigor en el país

extranjero por los índices o tipos de la misma naturaleza establecidos en el contrato.

- Convirtiendo, en su caso, el importe obtenido en divisas al cambio aplicable en las fechas de revisión.

En principio, no serán revisables más que los precios que se refieran a prestaciones efectuadas en territorio español.

1.9.5. CONDICIONES DE PAGO

A efectos de pago de los diferentes equipos y servicios objeto de contrato, serán consideradas las partidas siguientes:

- Equipo y materiales entregados en el local de montaje.
- Montaje e instrucción del personal de explotación de la Propiedad.

En el contrato figurará una cláusula en la que se indique claramente la forma en que la Propiedad efectuará los pagos del equipo y materiales.

El coste del montaje será abonado totalmente en la fecha de recepción definitiva de las instalaciones, salvo que se especifique otro acuerdo en el contrato.

En el contrato se indicará el porcentaje sobre el coste total de suministros y servicios prestados por el Adjudicatario, que no se abonarán hasta la terminación del plazo de garantía.

1.9.6. PENALIDADES

Podrán aplicarse penalidades al Adjudicatario, e incluso podrá decidirse la rescisión del contrato en los siguientes casos:

- Si no se respetan las fechas finales o intermedias del programa general de trabajos aprobado.
- Si se retrasa la entrega de la documentación técnica.

- Si el equipo, o parte de él, no fuese capaz de asegurar normalmente el servicio industrial para el cual fue concebida y especificado.
- Si los resultados de las medidas y ensayos no correspondieran a los valores garantizados.

Aparte de la posibilidad de rescisión del contrato, el Adjudicatario tomará a su cargo los gastos ocasionados por los retrasos.

Las penalidades o rescisión del contrato a que se ha hecho referencia, serán aplicadas después de comprobar la Propiedad la imposibilidad por parte del Adjudicatario de corregir las faltas o defectos verificados y los desvíos medidos, y después de haber introducido en el plazo autorizado por la Propiedad las modificaciones del equipo y que sin, entre tanto, se produjesen perjuicios directos o indirectos a la Propiedad. La Cuantía de la penalidad será determinada y calculada en cada caso particular en función del perjuicio causado a la Propiedad.

La Propiedad notificará al Adjudicatario, mediante una carta certificada con acuse de recibo, la aplicación de las penalidades.

1.9.7. INDEMNIZACIONES A FAVOR DEL ADJUDICATARIO

Únicamente tendrá derecho el Adjudicatario a una indemnización en su favor en caso de pérdidas, averías y daños imputables a la Propiedad y debidamente comprobados, y eventualmente cuando sean de causa mayor.

El Adjudicatario adoptará las disposiciones necesarias, a su cuenta y riesgo, para que su material e instalaciones no puedan sufrir daños o perjuicios como consecuencia de fenómenos naturales previsibles de acuerdo con la situación u orientación de la obra.

En el supuesto de que el Adjudicatario estime que existan causas de fuerza mayor, comunicará por escrito este hecho a la Propiedad en un plazo máximo de diez días después de darse las circunstancias. La Propiedad se reserva el derecho

de fijar en cada caso las indemnizaciones que puedan concederse al Adjudicatario y decidir si el motivo por el que se reclama la indemnización puede incluirse en lo reseñado en el primer párrafo de este apartado. Pasados diez días no se admitirá ninguna reclamación procedente del Adjudicatario.

Se considerarán a estos efectos como causas de fuerza mayor las indicadas en el Pliego de Condiciones Generales para la Contratación de Obras Públicas.

1.9.8. RECISIÓN DE CONTRATO

En el caso de que la Propiedad ordene el cese absoluto de los trabajos, el contrato queda inmediatamente rescindido. Si la Propiedad ordena su aplazamiento por más de un año, sea antes o después del comienzo de las obras, el Adjudicatario tiene derecho a la rescisión del contrato, si lo solicita por escrito, sin que con ello tenga perjuicio alguno sobre la indemnización que tanto en un caso como en otro le corresponda.

No se aceptará la petición de rescisión de contrato, por parte del Adjudicatario, cuando sea presentada en un plazo superior a los cuatro meses a partir de la fecha de notificación de la orden de servicio, prescribiendo el cese o aplazamiento de los trabajos.

Si la Propiedad ordena el aplazamiento de los trabajos durante un período menor de un año, el Adjudicatario no tendrá derecho a rescisión, pero sí a una indemnización en caso de perjuicios debidamente contrastados.

En el caso de que hubiesen empezado los trabajos, el Adjudicatario puede requerir que se proceda a la recepción provisional de las obras acabas y en estado de ser recibidas y, una vez transcurrido el plazo de garantía, a la recepción definitiva.

En caso de fallecimiento del Adjudicatario, el contrato será rescindido de pleno derecho, salvo que los herederos se comprometan por escrito a cumplir el contrato existente, sin introducir en él modificación alguna.

En caso de quiebra o de suspensión alguna de pagos por parte del Adjudicatario, el contrato queda inmediatamente rescindido de pleno derecho, bastando para ello que la Propiedad lo notifique de forma fehaciente en el plazo de dos meses a partir de la publicación legal de la declaración de quiebra o de la suspensión de pagos.

En todo momento las medidas de conservación o de seguridad cuya urgencia sea manifiesta, serán tomadas de oficio por la Propiedad con cargo al Adjudicatario, sin perjuicio de la decisión definitiva del Tribunal.

Cuando el Adjudicatario no dé cumplimiento a las disposiciones u obligaciones del contrato o a las órdenes dadas por la Propiedad, ésta exhortará a cumplir los requisitos o demandas en un plazo determinado que, salvo en casos de urgencia, no será menor de diez días desde la notificación de la amonestación (intimación).

Pasado este plazo, si el Adjudicatario no ha ejecutado las disposiciones prescritas la Propiedad podrá ordenar, a título provisional, el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del Adjudicatario.

Se procederá inmediatamente, en presencia del Adjudicatario o habiéndose convocado debidamente, a la comprobación de los trabajos realizados, de los materiales acopiados, así como al inventario descriptivo de su material y a la devolución a éste de la parte de los materiales que no utilizará la Propiedad para la terminación de los trabajos.

La Propiedad tiene la facultad de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso sobre petición de ofertas y de ejecutar el derecho de rescisión de contrato o bien de prescindir de la continuación de la intervención.

Durante el período del régimen de intervención el Adjudicatario podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes de la Propiedad.

El Adjudicatario podrá ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

Los excedentes de gastos que resulten de la intervención o del nuevo contrato, serán deducidos de las sumas que puedan ser debidas al Adjudicatario, sin perjuicio de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes.

Si la intervención o el nuevo contrato suponen, por el contrario, una disminución de gastos, el Adjudicatario no podrá pretender beneficiarse de ninguna parte de la diferencia, que quedará a favor de la Propiedad.

En todos los casos de rescisión, se procederá con el Adjudicatario o sus derecho-habientes presentes o debidamente convocados, a la comprobación de los trabajos realizados, al inventario de los materiales acopiados, así como al inventario descriptivo de la maquinaria y de la instalación de la obra.

Cuando se dé la rescisión de la obra por otros conceptos que no sea la petición de ésta por parte de la Propiedad, ésta última entidad puede exigir al Adjudicatario que mantenga en obra todo o parte de sus instalaciones generales o de su material, con el fin de poder disponer libremente la prosecución de los trabajos, encargando su ejecución, de estimarlo conveniente, a otra empresa. Las instalaciones, maquinaria, etc., que la Propiedad decida que deben permanecer en obra, podrán ser utilizadas por ésta por otra empresa de su elección hasta la terminación de las obras objeto del contrato rescindido, sin pago alguno por parte de la Propiedad o de dicha empresa designada en concepto de alquiler, amortización, etc.

Los materiales existentes de la obra y que la Propiedad decida utilizar en la terminación de las obras, serán abonados según los precios incluidos en el contrato anulado o según los que se fijen en su peritaje.

En los casos de rescisión por decisión de la Propiedad, se acordará entre ésta y el Adjudicatario qué instalaciones deben permanecer en la obra y la indemnización a pagar por la Propiedad en este concepto.

En ningún caso podrá el Adjudicatario retirar de la obra maquinaria, materiales, instalaciones, etc., sin la autorización por escrito de la Propiedad.

En casos de rescisión de contrato, la Propiedad le comunicará en un plazo de cuatro meses a partir de la fecha de rescisión las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que deben permanecer en la obra. También le indicará el plazo en que se deben retirar de la obra las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que la Propiedad no vaya a emplear en la terminación de los trabajos.

Para la aplicación del presente artículo por el Adjudicatario, es preciso entender, en su caso, sus derecho-habientes.

1.9.9. LEGISLACIÓN

Las leyes españolas regularán las fases de concurso y establecimiento del contrato. El Adjudicatario queda obligado a respetar las disposiciones prescritas en la legislación española vigente a la ejecución del contrato y a acatar las consecuencias de su incumplimiento.

El Adjudicatario y la Propiedad acuerdan someter la resolución de todas las divergencias, controversias y discrepancias a que pueda dar lugar la interpretación o la ejecución del contrato de las obras, al juicio arbitral del derecho privado, de acuerdo con las normas establecidas en la Ley 60/2003, de 22 de diciembre, de Arbitraje.

El arbitraje será de equidad y los árbitros han de ser tres Ingenieros Químicos. Los árbitros resolverán sobre los puntos concretos que se sometan a su decisión en la correspondiente escritura notarial de formalización de compromiso y dentro del plazo que en la misma se señale.

Los honorarios de los árbitros serán sufragados a medias entre el Adjudicatario y la Propiedad.

Contra el laudo emitido por los árbitros, con arreglo a su leal saber y entender, únicamente cabrá recurso de nulidad ante la Sala 1ª del Tribunal Supremo, por los motivos que se indican en el párrafo 3º del artículo 1691 de la Ley de Enjuiciamiento Civil.

2. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

2.1. NATURALEZA DEL PLIEGO

El presente pliego de prescripciones técnicas particulares tiene como objeto la ordenación de las instrucciones técnicas y facultativas que han de regir en la instalación de la planta definida en este proyecto.

Las obras del presente Proyecto consisten en la instalación de los equipos necesarios en la *planta de producción de aceite seco a partir de residuos vacunos*.

En lo referente a la definición y acabado de las distintas unidades de obra se deberá considerar que todos los trabajos, medios auxiliares y materiales que sean necesarios para la correcta ejecución y finalización de cualquier unidad de obra, según el criterio del Director de Obra, se consideran ya incluidos en el precio de la misma aun cuando no figuren especificados en la descomposición o descripción de los precios.

2.2. INSTALACIÓN MECÁNICAS

2.2.1. GENERAL

Las prestaciones del Adjudicatario requeridas en esta especificación comprenden los siguientes conceptos:

- Suministro de todos los equipos, con aportación del material de fijación, abarcones, tortillería, juntas y todos los accesorios necesarios para el correcto montaje y funcionamiento, aun cuando no estuviesen expresamente especificados, inclusive todos los elementos necesarios para realizar el movimiento de materiales en obra, grúas, andamios, elementos de acceso y protección, y en general, todos los equipos auxiliares que se precisen.

- Pintado e identificado según norma UNE 1063 todos los tramos de tubería y de sus correspondientes soportes y accesorios.
- Pruebas de presión y estanqueidad.
- Revisión y puesta en servicio.
- Confección de los croquis de detalles constructivos y de los montajes necesarios, que serán sometidos a la aprobación de la Dirección de Obra antes de su ejecución.
- Confección del Proyecto “as built” de todos los tramos, incluyendo los trazados isométricos, plantas y detalles.
- Tramitación de los permisos necesarios, aportando la documentación oportuna.

Para la elaboración de la oferta, el Adjudicatario deberá:

- Tener en cuenta todo aquello que considere necesario para la ejecución de la instalación, aunque no se encuentre especificado en detalle.
- Valorar el grado de dificultad del montaje de las diferentes redes, previendo todo tipo de equipos necesarios para la ejecución.
- Identificar in situ el lugar de la obra, con el fin de tener en cuenta en su oferta todo aquello que considere necesario para el desarrollo de la misma y que no se encuentre especificado en detalle.
- Atenerse a normas de seguridad e higiene en el trabajo establecidas, atendiendo en todo momento a las indicaciones que estime oportunas la Propiedad.
- Toma en consideración que el área que se le adjudique dentro de los terrenos para el almacenamiento de los materiales, oficinas y servicios, será de su entera responsabilidad, tanto en cuanto a los materiales allí almacenados, herramientas y equipos de montaje, como a efectos personales y documentación en general. Del mismo modo, las casetas de obra para el personal y herramientas serán por su cuenta y deberán ser retiradas al término de los trabajos en la oferta realizada.

2.2.2. MATERIALES

Las especificaciones de los materiales objeto de este pliego, salvo indicación contraria en los planos, serán las que se indican a continuación:

2.2.2.1. ACCESORIOS

Los accesorios tales como codos, tes, reducciones, etc., cumplirán los requisitos de la norma DIN correspondiente, teniendo en cuenta las necesidades de trazado en cada caso.

Las juntas serán de los espesores mínimos y materiales indicados en la Figura 1.

Diámetro de la tubería	Espesor y material de la junta
Hasta 64 mm (2 ½ in)	Teflón
Desde 64 hasta 102 mm (hasta 4 in)	2 mm Metaloplástico
Hasta 305 mm (12 in)	3 mm Metaloplástico
Más de 305 mm (12 in)	4 mm Metaloplástico

Figura 1. Espesor y material de la junta en función del diámetro de la tubería.

2.2.2.2. SOPORTES

Podrán emplearse soportes normalizados de fabricación estándar cuando las condiciones de montaje lo permitan. En los demás casos los soportes se construirán in situ empleando perfiles angulares, mínimo 60-60-6 mm, o bien perfil HEB.

Las tuberías aéreas o en galerías se soportarán como máximo cada 8 m para acero al carbono con puntas roscadas sobre tuerca, según DIN 3570. Para diámetros superiores a 102 mm se usará pletinas de acero al carbono a la que se

soldarán espárragos de varilla roscada con doble tuerca para su amarre al soporte, según DIN 1593.

2.2.2.3. RECIPIENTES A PRESIÓN

Los recipientes a presión cumplirán con el Reglamento de Aparatos a Presión, tanto en su dimensionamiento como en su montaje y operación.

2.2.3. CONDICIONES DE EJECUCIÓN

2.2.3.1. TUBERÍAS Y ACCESORIOS

2.2.3.1.1. UNIONES

Las uniones de tuberías se realizarán mediante soldadura a tope o a rosca cilíndrica, según se indique.

Los accesorios tales como codos, tes, reducciones, etc., se unirán también por medio de soldadura a tope.

Las conexiones a válvulas se harán con bridas de cuello según las normas DIN.

Las uniones de montaje y desmontaje se harán también con bridas de cuello según las normas DIN.

No se admitirá que el calentamiento de la tubería sirva para remediar sobre efectos de alineación.

La longitud de los tubos suministrados será como mínimo de 8 m, la longitud media será inferior a 9 m.

No se admiten en los tubos:

- Grietas y pliegues de laminado.
- Abolladuras.
- Rayas, corrosiones que puedan atacar la resistencia mecánica del tubo.
- Asperezas o escamas internas visibles que no ataquen la resistencia mecánica del tubo, pero susceptibles de hacerlo durante la explotación.

Todos los codos, tes, válvulas, tubos, etc., deberán estar colocados de forma que se puedan desmontar.

En todos los puntos se pondrán apretar o soltar los tornillos de bridas, juntas, etc., con facilidad en cuanto a acceso.

En los lugares donde se coloquen los codos o tes, se sujetarán estos a ambos lados, de forma que no puedan ser expulsados.

2.2.3.1.2. INTERFERENCIAS DE TRAZADO

Para salvar cruces de tuberías de la misma altura, no se deberían de formar codos hacia arriba, salvo indicación expresa de la Dirección de la Obra.

Cuando se deban poner dos o más codos en un tramo y montarse de tal modo que se eviten los puntos de acumulación de aire, y cuando estos sean inevitables, se instalarán en ellos un purgador automático.

2.2.3.1.3. CURVADO

Toda tubería de diámetro menor a 38 mm (1 ½ in) irá doblada en frío, respetando la sección circular a lo largo del desarrollo curvado.

Las tuberías de diámetro mayor de 38 mm (1 ½ in) mediante curvas de tipo N-3D (DIN 2605).

Los tubos doblados tendrán un radio de curvatura constante en todos los puntos, estando exentos de pliegues, deformación, variaciones de espesor, etc.

2.2.3.1.4. SOLDADURA

La soldadura de los tubos será prevista a tope, no permitiéndose la soldadura a solape. El material necesario para la soldadura al arco será por cuenta del Adjudicatario.

Para la ejecución de las soldaduras si es preciso se exigirá la limpieza interior del tubo metálico por paso de una escoba. Sus extremidades calibradas serán verificadas con ayuda de un tapón calibrado.

El tubo será alineado de modo que su eje se confunda con el precedente y las extremidades a soldar serán mantenidas en su lugar durante el puenteo con ayuda de un dispositivo apropiado. Preferentemente, este dispositivo será introducido en el tubo y deberá impedir la ovalización del tubo por expansión de este último. No será tolerada ninguna desnivelación de los bordes superiores a 1,2 mm.

El juego entre los tubos deberá ser tal que la ejecución de las soldaduras a fusión del metal de base afecte a todo el espesor de la pared. Los accesos de la soldadura serán liberados de toda traza de cuerpos de origen mineral u orgánico. Ninguna gota de soldadura será tolerada en el interior del tubo.

La penetración de la soldadura será regular, al contrario de las juntas; será de débil volumen y su espesor será tal que la suma de su valor y la del su desnivelación eventual de los bordes no podrá exceder de 16 mm. El cordón de metal depositado no llevará huecos o surcos laterales.

Los soldadores que intervengan en los trabajos deberán presentar los certificados de homologación y calificación otorgados por la Autoridad Competente.

La calificación de los soldadores y la recepción por radiografía de las soldaduras se hace según lo indicado a continuación:

- Falta de penetración: junta soldada no afectando la totalidad del espesor de la pared del tubo. Una longitud máxima de 25 mm de soldadura no soldada no será admitida más que cuando esté comprendida entre dos cordones reconocidos sin defecto de 150 mm de longitud unitaria.
- Falta de fusión (collage): junta soldada por la cual el metal de base del tubo no fue fundido. Una longitud máxima de 25 mm de soldadura no fundida no será admitida más que cuando esté comprendida entre dos cordones reconocidos sin defecto de 150 mm de longitud unitaria.
- Salpicaduras: una longitud máxima acumulada de 25 mm por cada 1000 mm de cordón no será admitida más que si el cordón es reparado por 300 mm de soldadura sin defecto.
- Inclusiones gaseosas: su longitud será inferior a 3,5 mm, y su diámetro y espesor no serán definidos.
- Inclusión de escorias: igual que salpicaduras.
- Inclusiones alineadas de escorias: la línea de escoria no podrá tener una longitud máxima de 50 mm y un espesor máximo de 1,5 mm más que si el cordón afectado está comprendido entre dos sopladuras reconocidas sin defecto de 300 mm de longitud mínima unitaria.
- Canales o surcos laterales: un canal continuo de 4/10 mm no podrá ser tolerado más que si la longitud es superior a 25 mm.
- Cráteres en la superficie del cordón: su profundidad será inferior a 1/100 mm.
- Sobredimensionamiento exterior del cordón: comprendido entre 1 y 3 mm.
- Penetración y falta de alineación: el espesor de estos dos defectos acumulados será inferior a 1,6 mm.
- Fisuras: prohibidas.

Los defectos mencionados podrán acumularse sobre una longitud máxima de 50 mm a condición de que esta acumulación está comprendida entre dos soldaduras sin defecto, teniendo una longitud mínima de 300 mm. En ningún caso

la longitud total de las combinaciones de defectos podrá exceder el 10 % de la longitud del cordón soldado.

En cuanto a la identificación de soldaduras, el Adjudicatario tendrá en dos ejemplares un “Cuaderno de soldaduras”, en el que se indicará:

- El número de soldadura (un mismo número no podrá asignar dos soldaduras diferentes).
- El número de fabricación de los tubos.
- El marcado de las soldaduras con relación a marcas bien determinadas.
- El indicativo del soldador que ejecutó la soldadura.
- Las características de los electrodos empleados.
- La fecha de ejecución.
- La fecha del examen gammagráfico.
- El indicativo del controlador.
- La fecha y resultados de los ensayos gammagráficos.
- Las longitudes exactas de los elementos tubulares derechos y acortados entre dos soldaduras.

Toda soldadura reconocida defectuosa al examen y la prueba de estanqueidad indicada más adelante será reparada por cuenta del Adjudicatario.

La reparación se efectuará bien por reparación local del defecto bien reemplazamiento completo de la soldadura defectuosa.

El reemplazamiento completo de la soldadura definitiva será efectuado por soldadura de un cordón, reemplazando la soldadura quitada.

Cada soldadura sustituida, localmente o en su totalidad, será registrada en el “Cuaderno de soldaduras”, siguiendo las especificaciones citadas. En el caso de que una intervención localizada se hará constar también la longitud del cordón reparado y de modo de ejecución.

2.2.3.1.5. PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD Y DE PRESIÓN

Una vez terminada de montar una red de un fluido, se procederá a verificar la misma, comprobando el apriete de los tornillos de las bridas, que existan todos los tornillos en las bridas y que existan juntas entre ellas. En las uniones locales roscadas se comprobará la junta de la unión (cinta de teflón). En las válvulas se comprobará su correcta posición, abierta o cerrada según los casos.

Realizada la comprobación anterior, se llevará a cabo la prueba de estanqueidad, empleando para esto agua a temperatura ambiente y a presión de trabajo durante un periodo de 24 horas.

Las pruebas de presión de las tuberías deberán efectuarse durante 60 min a 1,5 veces la presión normal de trabajo, para lo cual el Adjudicatario deberá prever los elementos necesarios.

Todos los gastos ocasionados por las citadas pruebas correrán por cuenta del Adjudicatario, así como las correcciones que se deban efectuar hasta conseguir los resultados requeridos.

2.2.3.2. SOPORTES Y ESTRUCTURAS

En este apartado se establecen las condiciones técnicas requeridas para el suministro y montaje de los soportes necesarios para las tuberías objeto de la especificación.

2.2.3.2.1. DISEÑO DE MATERIALES Y FABRICACIÓN

Los materiales a emplear serán los indicados en los planos. Todos los materiales de chapa a emplear por el suministrador, deberán venir avalados por certificados de calidad de la siderúrgica.

En los perfiles laminados será suficiente con que lleven la marca de calidad impresa en el relieve de laminación.

Todos los materiales de aportación de soldadura vendrán avalados por sus certificados de calidad. Este material será controlado durante los procesos de fabricación y reparación de elementos para comprobar que el material usado es el especificado.

Las tolerancias dimensionales de los laminados serán los indicados en la norma UNE 36080.

2.2.3.2.2. UNIONES SOLDADAS

El instalador será totalmente responsable de que el trabajo, tanto mano de obra como ejecución, cumplan las especificaciones requeridas.

Todas las soldaduras se efectuarán por alguno de los siguientes procedimientos:

- Arco manual con electrodo revestido.
- Semiautomática con protección de CO₂ o gas inerte con electrodo macizo.
- Automática con arco sumergido.

El instalador entregará para su aprobación los procedimientos de soldadura a emplear, en los que figurarán como mínimo:

- Preparación de bordes.
- Posición.
- Proceso empleado, con indicación de parámetros.
- Características del metal de aportación.
- Secuencia y número de pesadas.
- Temperaturas.
- Tratamiento térmico final, si se aplica.

Las características mecánicas del metal depositado será como mínimo las indicadas para el material base.

No se permitirá la realización de ninguna soldadura, ni siquiera provisional, a soldadores no homologados.

2.2.4. PINTURAS Y ASILAMIENTOS

2.2.4.1. *TUBERÍAS Y ACCESORIOS*

Las tuberías se limpiarán a base de correado de arena, con un grado de chorreado Sa 2 ½ según la norma SIS 05-5090. Las tuberías de acero al carbono, se tratarán como se indica:

- Limpieza: la superficie exterior de las tuberías, curvas, etc., se limpiarán a base de raspado, cepillado manual con cepillo de acero para dejar la superficie en un grado de acabado correspondiente a St-2 de la norma SIS 055-900.
- Imprimación: una vez limpia la tubería según el procedimiento indicado anteriormente e inmediatamente después, se le da una capa de imprimación de un espesor mínimo de 40 micrómetros de película seca.
- Acabado: se realiza a base de dos manos de pintura acrílica, siendo ambas dos manos de diferentes tonos y con un espesor de 35 micrómetros de película seca en cada una.

La señalización de tuberías será según la norma UNE 1063. Las tuberías enterradas estarán en el lecho de arena lavada o en dados de hormigón.

Las tuberías enterradas en arena lavada se protegerán, previo correado con un grado de chorreado Sa 2 ½ según la norma SIS 05-5090, con una capa de imprimación de un espesor mínimo de 40 micras de película y doble encintado.

Para las tuberías enterradas en hormigón únicamente se realizará un chorreado con un grado de chorreado Sa 2 ½ según la norma SIS 05-5090.

Las tuberías que sean calorifugadas dispondrán de diferentes espesores de aislamiento en función de los diámetros, según lo especificado. El acabado exterior será mediante envolvente de chapa de aluminio de 0,8 mm de espesor debidamente curvada, soplada, barbonada en sus extremos y fijada mediante tornillos. En los codos o curvas la chapa irá en segmentos independientes, engatillados y atornillados entre sí.

2.2.4.2. SOPORTES

Los soportes se trazarán según se indica:

- Limpieza a base de chorreado de arena con un grado de chorreado Sa 2 ½ según la norma SIS 05-5090.
- Imprimación anticorrosivo, con un espesor no inferior a 40 micras, y una capa de fondo al clorocaucho de 80 micras de espesor.
- Acabado a base de dos manos de pintura acrílica, siendo ambas de diferentes tono y con espesor mínimo de 50 micras cada una. El color y los tonos se elegirán de acuerdo con la Propiedad.

2.2.5. CONTROL DE CALIDAD, INSPECCIONES Y PRUEBAS

2.2.5.1. CONTROL DE LA CALIDAD.REQUISITOS GENERALES

El Adjudicatario realizará y mantendrá un Plan de Control de Calidad. El Adjudicatario controlará los documentos, procedimientos e informes relacionados con las calidades de los equipos. La Propiedad, o su representante, tendrá accesibilidad a estos documentos, procedimientos e informes cuando así lo requiera.

El Adjudicatario identificará, documentará y notificará a la Propiedad todos los incumplimientos de los requisitos de esta especificación.

Al final de los trabajos se entregará a la Propiedad la documentación generada en los trabajo.

2.2.5.2. PRUEBAS Y ENSAYOS EN TUBERÍAS

2.2.5.2.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

A. GENERAL

El Adjudicatario será el responsable de todos los exámenes no destructivos y pruebas de tuberías suministradas bajo esta especificación.

La Propiedad tendrá autoridad para detener el trabajo o retener el envío si los requisitos de la especificación, incluyendo aquellos referentes a la documentación, no fueron cumplidos.

Todos los exámenes no destructivos serán realizados por personal cualificado.

B. SOLDADURAS A SER EXAMINADAS

La tubería igual o superior a 51 mm (2 in) será radiografiada en el 5% de sus soldaduras. Si el índice de rechazo fuera superior al 10% de las soldaduras inspeccionadas, se supervisará el 100%. Además, serán también radiografiadas las soldaduras que estando incluidas en líneas con prueba de presión no pueden ser sometidas a ella.

En las soldaduras que no van a ser examinadas volumétricamente y cuya ejecución se realice de raíz, se controlará el correcto saneado por medio de un examen de líquidos penetrantes.

Todas las reparaciones por soldadura serán examinadas por líquidos penetrantes o partículas magnéticas. Las reparaciones importantes de tubería serán radiografiadas.

En aquellas soldaduras en donde no se realicen radiografías se aplicará la inspección por líquidos penetrantes.

C. PROCEDIMIENTOS DE EXAMEN

1. *Examen radiográfico*

Los procedimientos y las normas de aceptación estarán de acuerdo con el Código ASME sección V.

La interpretación final de la película y la aceptación o rechazo de la película y las soldaduras será efectuada por la Propiedad. El Adjudicatario inspeccionará y aceptará la película y las soldaduras antes de someterlas a la inspección de la Propiedad. La película radiografiada será ASTM E94 1 ó 2.

La densidad aceptable de la película a través del metal de soldadura será de 2 a 3,8 para revisión sencilla. Se utilizará la técnica radiográfica de visión simple de doble película.

Para la radiografía de tuberías se colocará un cinturón numerado sobre la tubería para localizar defectos. El cinturón constará de números de plomo entre 6,4 y 12,7 mm de alto, e irán espaciados exactamente 24,5 mm para los tamaños de tubería desde 2 ½ in hasta 8 in. Comenzará en 0 y circundará la tubería.

No se efectuarán agujeros en las tuberías para las radiografías sin la aprobación por escrito de la Propiedad.

2. *Examen por líquidos penetrantes*

No se permitirá el uso de líquidos penetrantes eliminables por agua.

D. MEDICIONES DEL ESPESOR DE LA PARED

Se realizarán un mínimo de cuatro mediciones de grosor de la pared, distanciadas entre sí a 90° sobre los extremos de todas las tuberías y accesorios o según lo requiera la Propiedad cuando el espesor de la pared se especifique por la pared mínima de la Lista de Línea. La aceptación de la tubería y accesorios se basará en la pared mínima especificada más la tolerancia de medición.

Las mediciones de espesor y su situación se reflejarán en su informe y una copia del mismo será enviada a la Propiedad para su aprobación.

2.2.5.3. PRUEBAS HIDROSTÁTICAS

Después de la instalación, todos los conjuntos fabricados serán sometidos a una prueba hidrostática de acuerdo con el código ASME.

El Adjudicatario garantizará su trabajo como capaz de resistir dicha prueba.

2.2.5.3.1. INSPECCIONES Y PRUEBAS EN SOPORTE

A. INSPECCIÓN EN LAS SOLDADURAS

El Adjudicatario realizará la inspección de las soldaduras de acuerdo con la presente especificación, cuyo alcance será indicado en el apartado.

Las soldaduras se inspeccionarán visualmente al 100%. Se inspeccionarán mediante muestreo al 5% mediante líquidos penetrantes o, con partículas magnéticas.

Cuando la inspección mediante muestreo detecte que la soldadura correspondiente no cumple los requisitos de calidad mínimos se efectuará una

inspección de una muestra adicional del 10% mediante radiografiado. Esta muestra adicional será seleccionada por la Propiedad.

Si la inspección visual revela que la soldadura cumple los requisitos mínimos de calidad de esta especificación, se repararán los defectos anteriormente detectados y se considerarán aceptables las soldaduras.

Si la muestra adicional examinada revela que la soldadura no cumple con los requisitos mínimos de calidad de esa especificación se inspeccionarán totalmente el resto de soldaduras mediante radiografiado, y las soldaduras que no cumplan con las normas de aceptación serán eliminadas, soldadas e inspeccionadas de nuevo.

B. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

1. Examen radiográfico

- **Procedimiento**

El examen se efectuará de acuerdo con el artículo 2º de la subsección A, sección V del código ASME y empleando la técnica radiográfica especificada en la norma SE-94.

La densidad de las películas deberá ser de acuerdo con lo indicado en el subartículo T-234 de la sección V del código ASME.

- **Criterios de aceptación**

Serán inaceptables los siguientes defectos:

- Toda grieta, falta de fusión o falta de penetración, cualquiera que sea su longitud.

- Toda indicación lineal cuya longitud sea menor de:

- 6 mm para un espesor de soldadura hasta 19 mm.

- 13 mm para un espesor de soldadura hasta 57 mm.
- 19 mm para un espesor de soldadura mayor de 57 mm.

Todo grupo de indicaciones en la línea cuya suma de longitudes sea mayor que T en una longitud de 12 veces T y la distancia entre dos indicaciones contiguas sea menor de 6 veces L, siendo T el espesor de la soldadura y L la longitud más larga del grupo.

Toda porosidad por encima de la aceptada en el apéndice IV sección VIII del código ASME.

2. Inspección con líquidos penetrante

- Procedimiento

Se hará de acuerdo con el artículo 6º de la sección V del código ASME siguiendo las recomendaciones del fabricante de los penetrantes empleados en la inspección.

- Criterios de aceptación

Serán inaceptables los siguientes defectos:

- Toda grieta, cualquiera que sea su longitud.
- Toda indicación lineal cuya longitud sea mayor de 1,5 mm.
- Indicaciones redondas de tamaño superior a 5 mm.
- Cuatro o más indicaciones redondas en línea, separadas entre sí menos de 1,5 mm de borde a borde.

3. Inspecciones por partículas magnéticas

- Procedimiento

Se hará de acuerdo con el artículo 7º de la sección V del código ASME empleando el método más apropiado según la geometría de la pieza.

- Criterios de aceptación

Serán inaceptables los siguientes defectos:

- Toda grieta, cualquiera que sea su longitud.
- Toda indicación lineal cuya longitud sea mayor de 1,5 mm.
- Indicaciones redondas de tamaño superior a 5 mm.
- Cuatro o más indicaciones redondas en línea, separadas entre sí menos de 1,5 mm de borde a borde.

4. Inspección visual

- Procedimiento

Inspección visual propiamente dicha.

- Criterios de aceptación

Se considerarán defectuosos y deberán ser reparados mediante esmerilado los cordones de soldadura a tope que presenten sobre espesores superiores a los indicados:

- Espesor de chapa hasta 25 mm.
- Máximo sobre espesor 2,4 mm.

Así mismo, deberán ser reparados los cordones de soldadura que presenten mordeduras de profundidad superiores a 0,8 mm.

2.2.5.3.2. REPARACIÓN DE SOLDADURAS

En el caso de duda sobre la bondad de una soldadura, la Propiedad podrá realizar por su cuenta inspecciones del nivel superior. Si dichas inspecciones demostrasen que las soldaduras son inaceptables, el coste de las mismas y su reparación serán por cuenta del Adjudicatario.

Todas las reparaciones de soldadura se efectuarán de acuerdo con los procedimientos aprobados y se supervisarán según los métodos especificados.

2.2.5.3.3. CONTROL DIMENSIONAL

El Adjudicatario realizará comprobaciones dimensionales de las medidas principales, dimensiones de los cordones de soldadura, paralelismos, taladros, verticalidades, etc., verificando que están comprendidas dentro de las tolerancias.

El Adjudicatario realizará informes con los resultados de estas comprobaciones. En casos particulares deberá preverse la realización de presentaciones.

2.3. CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS

2.3.1. OBRAS DE HORMIGÓN

Agua, áridos y aditivos cumplirán lo especificado en los apartados correspondientes de este Pliego de Condiciones.

La puesta en obra del hormigón no se iniciará hasta que se hayan estudiado y aprobado su correspondiente fórmula de trabajo, la cual será fijada por el Director y a la vista de las circunstancias en las que discurra la obra, determinará granulometría, dosificación y consistencia del hormigón.

La dosificación será determinada mediante ensayos previos, si bien se podrá prescindir de ellos si el Adjudicatario justifica, a través de experiencias anteriores, que ésta es adecuada para las características exigidas para el hormigón.

Las arenas serán naturales, silíceas y no contendrán ni yeso, ni magnesio y estarán limpias de tierra y materia orgánica, no tendrán más de un décimo de su peso en humedad, ni formarán ni tomarán cuerpo al apretarlas.

Para hormigones H-250 o superiores será obligado realizar la mezcla en central. La mezcla en el camión comenzará a los treinta minutos siguientes de la

unión del cemento a los áridos. La descarga se realizará dentro de la hora y media siguiente a la carga, pudiéndose aumentar ésta previa autorización del Director, o bien disminuirse si la elevada temperatura o cualquier otra circunstancia así lo aconsejan.

Todas las cimbras, encofrados y moldes deberán ser capaces de resistir las acciones del hormigonado, para lo cual deberán presentar la resistencia y rigidez suficiente. Asimismo, serán suficientemente estancos como para impedir pérdidas de lechada y sus superficies estarán suficientemente limpias en el momento de hormigonar.

Para las obras, tanto con hormigón en masa o en armado, se seguirán las normas NTE-EH, "*Estructuras de hormigón*".

Las secciones y cotas de profundidad serán las que el Ingeniero Director señale, con independencia de los señalados en el proyecto que tiene carácter meramente informativo.

Se adoptarán las condiciones relativas a materiales, control, valoración, mantenimiento y seguridad especificadas en la norma NTE-CSZ, "*Cimentaciones superficiales. Zapatas*".

El transporte desde la hormigonera se realizará lo más rápido posible, cuidando de que no se produzca segregación, introducción de cuerpos extraños o desecación excesiva de la masa.

No se rellenará ninguna zanja o pozo de cimentación y estructura, en general, hasta que el Adjudicatario reciba la orden del Director Técnico.

Durante la operación de vertido, las armaduras quedarán completamente envueltas, manteniéndose los recubrimientos y separación entre ellas, para lo cual se removerá el hormigón adecuadamente. El método general de compactación será

el de vibrado. Éste se realizará de manera que no se produzcan segregaciones ni fugas de lechada importantes.

2.3.2. HORMIGÓN

Para la realización de las cimentaciones se empleará el H-275 si el Director Técnico no indicase lo contrario.

Las características técnicas exigibles al hormigón son:

- *Densidad*: las densidades máximas del hormigón en seco y fresco serán de 425 kg/m³ y 600 kg/m³, respectivamente.
- *Conductividad térmica*: el coeficiente de conductividad térmica tiene que ser de 0,1 W/m K.
- *Resistencia a compresión*: la resistencia a compresión será como mínimo de 4 kg/cm².

En cada lote compuesto como máximo de 1000 m² se realizarán sobre dos muestras los ensayos definidos en las características técnicas con las siguientes tolerancias de aceptación, sobre los valores expuestos, según los métodos de ensayo de las normas UNE correspondientes:

- *Densidad*: valores superiores a 433 kg/m³.
- *Conductividad térmica*: valores no superiores a 0,11 W/m K. El ensayo se realizará según ASTM-C-177 y UNE 92201-86, 92202-86.
- *Resistencia a compresión*: valor no inferior a 3 kg/m². Ensayo según ASTM-C-495-69.

El hormigón en zapatas de estructuras metálicas y cimentaciones de recipientes, columnas e intercambiadores se preparan en superficie previamente, aplicándose una capa de 60 micras de epoxi-alquitrán y una capa de 120 micras de pintura de acabado de epoxi-alquitrán.

2.3.3. CEMENTO

El cemento que se emplea en la ejecución de las obras será del tipo II/35. El Adjudicatario informará a la Dirección de Obra del fabricante que suministra el cemento y el nombre comercial de éste, adjuntando la garantía de este fabricante de que su producto cumple con las condiciones requeridas.

No se variará el suministrador, ni el tipo de cemento durante la ejecución de la obra sin la autorización de la Dirección de Obra.

2.3.4. AGUA

Se aplicará el artículo sexto de la EH-91.

En general, podrán ser utilizadas, tanto para el amasado como para el curado de hormigón en obra, todas las aguas no sancionadas por la práctica.

Si no se poseen antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberán analizarse las aguas y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón, deberán rechazarse las que no cumplan una o varias de las siguientes condiciones:

- Exponente de hidrógeno pH (UNE 7.234) ≥ 5
- Sustancias disueltas (UNE 7130) ≤ 15 gramos por litro (15.000 ppm)
- Sulfatos expresados en SO_4^{2-} (UNE 7.131) excepto para el cemento SR, en el que se eleva este límite a 5 gramos por litro (5.000 ppm) ≤ 1 gramo por litro (1.000 ppm)
- Ión cloro Cl^- (UNE 7.178) para hormigón con armaduras ≤ 6 gramos por litro (6.000 ppm)
- Hidratos de carbono (UNE 7.132) = 0
- Sustancias orgánicas solubles en éter (UNE 7.235) = 15.000 ppm.

Realizándose la toma de muestras según la UNE 7.236 y los análisis por los métodos de las normas indicadas.

2.3.5. ÁRIDOS

El tamaño de los áridos que se van a utilizar deberán ajustarse en todo momento a lo dictado por el artículo 7º de la EH-91.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, rocas machacadas o escorias siderúrgicas apropiadas, así como otros productos cuyo empleo se encuentre sancionado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en laboratorio.

Cuando no se tengan antecedentes sobre la naturaleza de los áridos disponibles, o se vayan a emplear para otras aplicaciones distintas de las ya sancionadas por la práctica, se realizarán ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según convenga a cada caso.

En el caso de utilizar escorias siderúrgicas como árido, se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos. Se prohíbe el empleo de áridos que contengan sulfuros oxidables.

El Adjudicatario facilitará a la Propiedad el acceso al lugar de fabricación y procedencia de los áridos para realizar las verificaciones oportunas.

2.3.6. DOSIFICACIÓN

La dosificación en la obra quedará determinada en los ensayos previos y en las condiciones dictadas por el artículo 67 de la norma EH-91.

Durante la ejecución de la obra se mantendrá la dosificación inicial, salvo que varíen las características de algún componente del hormigón, en cuyo caso se realizarán ensayos para determinar la nueva composición.

2.3.7. ADITIVOS

No se prevé el uso de ningún aditivo al hormigón. En el caso de que se contemple la necesidad o conveniencia del empleo de cierto tipo de aditivo, éste necesitará la aprobación de la Dirección de Obra, para lo cual el Adjudicatario propondrá el Suministrador y el tipo de producto, adjuntando las especificaciones técnicas del mismo. Además, se efectuarán ensayos previos para apreciar así en qué medida se ve modificada la resistencia al hormigón.

Si se emplean aditivos para mejorar o modificar las características del mortero u hormigón, en especial en lo referente al fraguado, endurecimiento, plasticidad etc. se establecen los siguientes límites:

- Si se emplea cloruro cálcico como acelerador, su dosificación será igual o menor al 2% en peso del cemento y si se trata de hormigonar con temperaturas muy bajas, del 3,5% del peso del cemento.
- Si se usan aireantes para hormigones normales su proporción será tal que la disminución de resistentes a compresión producida por la inclusión del aireante sea inferior al 20%. En ningún caso la proporción de aireante será mayor del 4% del peso del cemento.
- En el caso de empleo de colorantes la proporción será menor al 10% del peso del cemento. No se emplearán colorantes orgánicos.
- Cualquier otro que se derive de la aplicación de la EHE.

2.3.8. ARMADURAS

Para el armado del hormigón se emplearán barras corrugadas AEH-500S soldables y con características UNE 360688.

El dimensionado y disposición de las armaduras se realizará tal y como se establece en el proyecto y siguiendo las indicaciones de la norma EH-91, artículo 41, en el que se refiere al empalme de las armaduras.

El doblado y colocación de las armaduras se hará de acuerdo con las indicaciones de los artículos 12 y 13 de la norma EH-91.

El Adjudicatario entregará a la Dirección de la Obra el certificado de garantía del fabricante, en el que también se indicará que es apto para el soldeo y las condiciones y procedimientos en que éste debe realizarse.

En el caso de utilizarse elementos de uniones de barras tales como manguitos roscados, Cadweld, etc., éstos deberán encontrarse homologados por algún organismo oficial a nivel nacional. En cualquier caso, la resistencia de la unión a rotura en ensayo de tracción deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Rotura fuere de la unión: superior a la carga de rotura de la menor de las barras a unir.
- Rotura en la unión: superior a 1,2 veces la carga de rotura de la menor de las barras a unir.

Todas las barras llevarán grabadas las marcas de identificación del tipo de acero y la marca del fabricante, según los códigos de homologación dados en la UNE-360688.

2.3.9. MORTEROS Y ADHESIVOS

El Adjudicatario entregará a la Dirección de Obra para su aprobación el tipo y marca de los morteros especiales y adhesivos, así como las características técnicas de los mismos.

2.3.10. SUMINISTRO

La fabricación del hormigón, así como el transporte, deberá ajustarse al artículo 15 de la EH-91.

El Adjudicatario presentará las características técnicas y funcionales de la planta de hormigón, que deberá superar con holgura las necesidades de la obra en los momentos punta.

Con el fin de asegurar el suministro de hormigón a la obra, la planta dispondrá de materiales acopiados en cantidad suficiente como para producir hormigón al máximo de producir durante diez horas.

La planta dispondrá para su manejo de personal especializado en este trabajo, y mantendrá las mismas personas con el fin de asegurar un hormigón homogéneo. La planta dispondrá de los medios necesarios para determinar la cantidad de agua en los áridos y poder corregir la cantidad de agua de amasado. El transporte al punto de vertido se realizará con cubas giratorias de aspas fijas.

2.3.11. PUESTA EN MARCHA

La puesta en obra del hormigón se hará siguiendo las indicaciones del artículo 16 de la EH-91 y teniendo en cuenta muy especialmente lo que se establece en los subapartados que se incluyen a continuación.

2.3.11.1. *Agua*

Queda totalmente prohibida la adición de agua en las cubas de transporte al hormigón elaborado procedente de la planta de hormigonado.

2.3.11.2. Colocación

Se tendrá especial cuidado para el vertido continuo y si es necesario se colocarán conducciones adecuadas, de forma que en ningún caso se produzca disgregación de la mezcla.

2.3.11.3. Compactación

La compactación del hormigón se realiza por vibrado, utilizando personal cualificado y evitando en lo posible el contacto del vibrador con las armaduras.

Se emplearán vibradores internos de aguja, cuya frecuencia no será inferior a 6000 rpm.

Se tendrá especial cuidado en la ejecución del hormigón en cotas por debajo del nivel freático para evitar filtraciones de agua.

2.3.11.4. Espesores del hormigón

Cuando la pieza que se va a hormigonar tenga las tres dimensiones mayores de dos metros, el Adjudicatario podrá elegir, bien la interrupción del vertido de forma que la dimensión vertical tenga esperas de 24 horas en cada altura de 2 m, o bien la colocación de termopares en los puntos más alejados de las superficies, deteniendo el vertido del hormigón al superar los 60°C.

El Adjudicatario podrá proponer espesores de tongada después de haber investigado temperaturas máximas a las 24 horas.

2.3.11.5. Juntas de hormigonado

Siempre que se haga una junta de hormigonado por debajo del nivel freático, se dispondrá de una junta estanca y adhesivo de hormigón viejo-nuevo.

Previamente a la aplicación del adhesivo se limpiará la junta de toda suciedad y árido que haya quedado suelto, se picará y retirará la capa superficial del mortero, dejando los áridos al descubierto.

En cualquier caso, se tendrá en cuenta el artículo 17 de la norma EH-91.

2.3.11.6. Curado del hormigón

Se procederá de acuerdo con lo indicado en el artículo 20 de la norma EH-91.

2.3.11.7. Apuntalamiento, encofrado y desencofrado

Como norma general, el plazo de desencofrado de cualquier elemento estructural no será inferior a 72 horas, salvo que la Dirección de la Obra autorice un plazo menor o exija uno mayor.

No se permitirá el desapuntalamiento para la retirada del encofrado hasta que no haya transcurrido el período que la Dirección de Obra considere preciso para dicho desapuntalamiento.

2.3.12. CONTROL

Los ensayos que se realicen se harán con cargo al Adjudicatario, a través de una empresa especializada.

En obra se dispondrá, para la realización del control, de cinta métrica, regla, nivel, plomada, termómetro, cono de Abrams, siete moldes de probetas con chapa y retacador.

La toma de muestras, conservación y rotura, se hará de acuerdo a lo dictaminado por las normas UNE 8330084, 8330184 y 8330484.

2.3.12.1. Componentes del hormigón

Se ajustarán a lo establecido en el Artículo 63 de la norma EH-91.

2.3.12.2. Hormigón

Se realizarán los ensayos previos y característicos que indica la norma EH-91.

Los ensayos de control se realizarán en la modalidad de control estadístico a nivel normal. La definición de las partes de obra se realizará de acuerdo con la Dirección de Obra, a la vista de la planificación del hormigonado, ajustándose en todo momento a lo especificado en el artículo 69 de la norma Eh-91.

2.3.12.3. Armaduras

Se realizará el control a nivel normal.

2.3.12.4. Formas y disposición

No se realizará el hormigonado sin la previa aprobación de la Dirección de la Obra, comprobándose la disposición y diámetros de las armaduras, formas geométricas, estado de las superficies contra las que se hormigonará, etc.

2.3.12.5. Ensayos informativos

La Dirección de Obra se reserva el derecho a exigir al Adjudicatario, cuando lo considere, ensayos informativos.

2.3.13. RECEPCIÓN DE PIEZAS Y CONJUNTOS

Para la realización de una pieza deben haber resultados positivos los controles realizados y cumplirse las tolerancias geométricas. La recepción de un conjunto requiere la aceptación de cada una de las partes.

En caso de que una pieza resultase no apta para su recepción, la Dirección de la Obra estudiará y decidirá o no, su demolición, la reparación de la pieza, la realización de ensayos de información o pruebas de carga u otro tipo de comprobaciones para determinar si la pieza puede cumplir las funciones a las que ha sido destinada. En el caso de aceptarse una pieza en condiciones no adecuadas para su recepción, el Adjudicatario presentará a la Dirección de Obra una propuesta de compensaciones.

2.3.14. MEDICIONES

Las mediciones se harán sobre plano. El adjudicatario podrá, en casos especiales, proponer a la Dirección de Obra otro tipo de medición para su aprobación.

2.3.15. DOCUMENTACIÓN A ENTREGAR

Con la recepción de la obra se entregará, por parte del Adjudicatario, un dossier completo con los certificados de garantía y calidad de todos los materiales utilizados, así como los certificados de todas las pruebas e inspecciones realizadas.

2.4. PLIEGO DE CONDICIONES ELÉCTRICAS

2.4.1. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Serán de aplicación los reglamentos en vigencia, Reglamento de Alta Tensión (RAT) y Reglamento electrotécnico de Baja Tensión (REBT), así como las instrucciones técnicas complementarias ITC. Se cumplirán las condiciones determinadas por las normas:

- NTE-IEP "instalaciones de Electricidad. Puesta a Tierra".
- NTE-IEP "instalaciones de Electricidad. Baja Tensión".
- NTE-IEI "instalaciones de Electricidad. Alumbrado Interior".
- NTE-IER "instalaciones de Electricidad. Red Exterior".

Se deberán tenerse presentes los Reglamentos Locales; con carácter general, se aplicarán las normas UNE en los equipos y materiales a los que se puedan aplicar.

En casos de distintas calidades o interpretaciones de los distintos reglamentos y normas aplicables, se tomará en cuenta la opinión y decisión de la Dirección.

Todos los equipos y materiales eléctricos se instalarán de acuerdo con las normas de los fabricantes.

2.4.2. CONDUCTORES

Las bobinas y rollos de cable se protegerán de todo daño posible durante la obra. No se introducirán los conductores antes de que éstos estén perfectamente colocados en su sitio y haya sido previamente comprobados que no existe ninguna obstrucción en su interior.

Los conductos serán tratados con todo cuidado durante la obra para evitar cualquier posibilidad de dañarlos.

Cuando varios conductos vayan juntos en un tubo, se introducirán todos a la vez. Todos los conductores que se empleen serán de cobre y deberán cumplir las normas: UNE 20003, UNE 21022 y UNE 21064.

El Contratista informará por escrito al Ingeniero Director de la obra el nombre del fabricante de los conductores y le enviará una muestra de los mismos. Si el fabricante no reúne la suficiente garantía a juicio del Ingeniero Director, antes de instalar el molde se comprobarán las características de éstos en un laboratorio oficial.

No se admitirán cables que presenten desperfectos superficiales, o que vayan en las bobinas de origen en las que deberá figurar el nombre del fabricante y tipo de cable de y sección.

No se permitirá el empleo de materiales de procedencia distinta en un mismo circuito.

2.4.3. IDENTIFICACIÓN

Todos los conductos identificativos al principio y al final del recorrido, mediante accesorios tipo UNEX o similar en material no corrosivo.

2.4.4. TERMINALES

Se utilizarán de precisión para la conexión de los conductos a los equipos y barras de distribución.

2.4.5. INSTALACIÓN DE APARATOS

Todos los aparatos se instalarán en donde se indique en los planos, quedando completamente preparados para funcionar.

El Adjudicatario de la instalación deberá poseer las instrucciones de los diferentes fabricantes de los equipos y seguirlas ordenadamente.

Cuando los equipos vayan sobre paredes, techos o estructuras, el Adjudicatario realizará todo el trabajo necesario para su fijación.

2.4.6. CUADROS DE DISTRIBUCIÓN

Los cuadros serán nivelados y alineados perfectamente en su sitio usando calzos si fuese necesario. Antes de entrar en servicio serán repasadas todas las conexiones y la tortillería, y se limpiarán perfectamente todos los aisladores, etc. El Adjudicatario realizará todas las conexiones interiores y exteriores que se requieran.

2.4.7. INSTALACIONES DE FUERZA Y ALUMBRADO

El Adjudicatario realizará las conexiones en cajas, aparatos, etc., y serán instalados completamente, incluyendo lámparas, difusores, reactancias, etc., y todos aquellos accesorios que formen parte del montaje.

Las lámparas se instalarán una vez que estén perfectamente colocados los apartados de alumbrado, de acuerdo con los planos y las instrucciones del fabricante.

Las cajas de mecanismos no se instalarán hasta conocerse perfectamente el acabado de las paredes en donde ha de alojarse y no se permitirá el paso de conductores hasta que no estén bien tomadas.

2.4.8. EQUILIBRIO DE FASES

Se realizarán las conexiones de receptores de tal manera que el desequilibrio de fases no supere más de un 10%.

2.4.9. ACOMETIDA GENERAL

El cable cumplirá, además, la normativa particular de la empresa suministradora de energía.

Los conductores estarán aislados para una tensión nominal de 1000 V de tipo UNE DV-0,6/1 kV.

2.4.10. CAJA DE PROTECCIÓN

Estará construida en material aislante, autoextinguible, según norma UNE 20234, y será de grado de protección 417, como indica la norma UNE 20305. Será de tipo CGPH de 250 A y contendrá fusibles calibrados de 250 A neutro seleccionable.

2.4.11. LÍNEA REPARTIDORA

Será de tipo UNE DV-0,6/1kV, sección de 95 mm² alojada en el interior de una canalización de 48 mm de diámetro en tubo aislante de PVC, autocombustible.

2.4.12. CONTADORES

Los módulos serán material aislante, autoextinguible, y de estabilidad térmica de clase A, proporcionando un grado de protección 413, de acuerdo con la norma UNE 20324.

Serán accesibles por medio de tapa transparente y precintable de las mismas características que los módulos.

2.4.13. DERIVACIONES INDIVIDUALES

Los conductores serán de tipo rígido de cobre y con un aislamiento para una tensión de 750 V, respondiendo a la demanda UNE VV-750 V. Se instalarán en el interior de tubos rígidos de PVC, de acuerdo con la norma MI-BT-019.

Los diámetros de los conductores y tubos se fijan en los planos correspondientes. Cada derivación contendrá las fases, neutro y conductor de protección.

Las cajas rederivación serán aislantes, con tope del mismo material, ajustable a presión o con tornillos y estarán dotadas de huellas de ruptura para el paso de tubos.

2.4.14. INSTALACIÓN

Los mecanismos, cajas de derivación y pantallas serán de tipo estanco con protección IP-4, contra chorro de agua. La instalación será de superficie y los conductores irán por el interior de tubos rígidos de PVC con diámetros que se reflejen en los planos correspondientes.

2.4.15. INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

Se realizará por medio de electrodos de tierra de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro de cobre con alma de hierro. El conductor de unión de las picas será de cobre de 35 mm² de sección, de acuerdo con la Instrucción MI-BT-0.39.

Los postes metálicos de los soportes se unirán a dicho conductor mediante soldadura autógena. La línea de enlace de la red con tierra será de 35 mm² que enlazará con la línea principal de tierra de 16 mm².

2.5. EQUIPOS

2.5.1. LISTA DE EQUIPOS

En este apartado se nombrarán los equipos de toda la *planta de producción de aceite seco a partir de residuos vacunos*, la cual se divide en dos secciones, teniendo en cuenta que en el presente proyecto sólo se detalla el diseño de la sección 200.

Tabla 1: Lista de equipos de la sección 200

Equipo	Descripción
P-201 A/B	Bomba centrífuga
H-201	Horno
R-201	Reactor
E-201	Condensador
P-202 A/B	Bomba centrífuga
X-201	Enfriador
F-201	Filtro
P-203 A/B	Bomba centrífuga
E-202	Intercambiador de calor
P-204 A/B	Bomba centrífuga
E-203	Intercambiador de calor
P-205 A/B	Bomba centrífuga
TK-201	Tanque de almacenamiento
P-206 A/B	Bomba centrífuga
T-202	Columna de destilación
E-204	Intercambiador de calor
E-205	Intercambiador de calor
P-207 A/B	Bomba centrífuga
E-206	Intercambiador de calor
P-208	Bomba centrífuga

2.5.2. ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

2.6. RECEPCIÓN DE LA OBRA

Durante la obra o una vez finalizada la misma, el Director de Obra podrá verificar que los trabajos estén de acuerdo con las especificaciones del presente pliego. Esta verificación se realizará por cuenta del contratista. Una vez finalizadas las obras, el contratista deberá solicitar la recepción global de la obra. En la recepción de obra se incluirán los conceptos que se muestran en los apartados siguientes.

2.6.1. CERTIFICADOS Y DOCUMENTACIÓN

Se aportará, para la tramitación de este proyecto ante los organismos públicos, la documentación siguiente:

- Autorización Administrativa.
- Proyecto, suscrito por técnico competente.
- Certificado de Dirección de Obra.
- Contrato de mantenimiento.

2.6.2. LIBRO DE ÓRDENES

Se dispondrá del correspondiente libro de órdenes en el que la dirección facultativa hará constar las órdenes necesarias para la correcta ejecución de los trabajos y las incidencias surgidas en el transcurso de su ejecución y explotación.

El jefe de obra será encargado de cumplir las órdenes que figuren en el libro, las cuales quedarán firmadas por él, dándose por enterado.

2.6.3. PLAN DE OBRA

La planta de producción de aceite seco a partir de residuos vacunos será construida siguiendo el plan de obra correspondiente, en el que se indican tanto las actividades a desarrollar como la duración de éstas. En la Tabla 2 se muestra el formato que tendrá el plan de obra.

2.6.4. DISPOSICIÓN FINAL

Si como consecuencia de rescisión o por otra causa fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios establecidos en el Presupuesto, según desglose, sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra fraccionada en otra forma que la establecida en dicho Presupuesto.

En ningún caso tendrá derecho el contratista a reclamación alguna, basada en la insuficiencia del Presupuesto y omisión del coste de los elementos que constituyen los referidos precios.

La firma del contrato para la ejecución de las instalaciones descritas en el presente proyecto, presupone la plena aceptación de todas o cada una de las cláusulas de que consta este Pliego de Condiciones.

Tabla 2: Esquema del plan de obra

[illegible]

Santiago de Compostela, Septiembre 2014

Los autores del proyecto

Mateo Bruno Pastur Romy

Óscar Pombar Álvarez

Adrián Soto Paz



Documento IV. Estudios con entidad propia

Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos



1. Estudio de Impacto Ambiental.....	4
1.1 Descripción del proyecto	4
1.2 Análisis de alternativas viables.....	6
1.2.1 Ubicación de la planta	6
1.2.2 Tecnología utilizada.....	7
1.3 Evaluación de efectos previsibles sobre el entorno.....	8
1.3.1 Clima.....	9
1.3.2 Aire.....	10
1.3.3 Flora y fauna.....	12
1.3.4 Población	12
1.3.5 Agua	13
1.3.6 Paisaje	14
1.3.7 Ruido	14
1.4 Medidas previstas para reducir impactos	14
1.4.1 Medidas de carácter general	15
1.4.2 Medidas para la minimización de emisiones de gases	16
1.4.3 Medidas para evitar impactos sobre el suelo y las aguas.....	16
1.4.4 Sustancias peligrosas.....	17
1.4.5 Impactos por ruido.....	18
1.4.6 Accidentes	18
1.4.7 Medidas para la prevención de explosiones y/o incendios.....	19
1.4.8 Impacto visual	20
1.4.9 Impacto social.....	20
1.4.10 Desmantelamiento de las instalaciones	20
1.4.11 Matriz causa y efecto	21
1.5 Programa de vigilancia ambiental. Plan de Seguimiento y Control Ambiental	22
1.5.1 Descripción general	22
1.5.2 Objetivo	22
1.5.3 Alcance	22
1.5.4 Medios de realización.....	23
1.5.5 Ejecución y Operación.....	23
1.5.6 Elaboración y gestión de la documentación	24
1.5.7 Ficha-resumen de procedimiento	25
1.5.8 Descripción de las actividades de seguimiento	27
1.6 Resumen	33
1.7 Conclusiones.....	34
2. Estudio básico de seguridad y salud	36
2.1 Introducción	36
2.2 Características de la obra	37
2.3 Análisis de riesgos.....	37
2.3.1 Movimiento de tierras.....	37
2.3.2 Cimentación y Estructuras	38
2.3.3 Cubiertas planas, inclinadas, materiales ligeros	38
2.3.4 Albañilería y Cerramientos	39
2.3.5 Terminaciones.....	39
2.3.6 Instalaciones	40
2.4 Medidas protectoras.....	40
2.4.1. Sistemas de protección colectiva.....	40
2.4.2. Equipos de protección individual (EPI'S)	43
2.5. Trabajos posteriores.....	47
2.6. Obligaciones de las principales partes de la obra	48
2.6.1. Obligaciones del promotor.....	48

Documento IV. Estudios con entidad propia

2.6.2. Coordinador en materia de seguridad y salud.....	49
2.6.3. Obligaciones de contratistas y subcontratistas	50
2.6.4. Obligaciones de los trabajadores autónomos	51
2.7. Plan de Seguridad y Salud en el trabajo	53
2.8. Libro de incidencias	54
2.9. Paralización de los trabajos	54
2.10. Derechos de los trabajadores.....	55
2.11. Disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben aplicarse a las normas.....	55

1. Estudio de Impacto Ambiental

El presente documento constituye el Estudio de Impacto Ambiental, en el cual se valora, desde el punto de vista ambiental, la construcción de una planta de *Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos*.

1.1 Descripción del proyecto

Dicha planta tiene una capacidad de 12.500 t/año, opera 330 días al año, por lo que produce 37,80 t/día de aceite seco; 12,45 t/día de ácido acético y 1,98 t/día de goma. Como materia prima utiliza los residuos vacunos de los mataderos del noroeste de España y norte de Portugal, de los cuales se extrae el ácido palmítico. La cantidad de dicho ácido graso necesario a mayores para satisfacer la producción se comprará a un proveedor.

El proceso a tratar es el que transforma el ácido palmítico en *drying oil*, como subproducto se obtiene ácido acético, y también goma como residuo. El proceso consta de las siguientes etapas:

- Acondicionamiento de la alimentación: el ácido palmítico llega a la sección 200 a una temperatura de 100°C, por lo que es necesario calentarlo hasta la temperatura de reacción. El equipo utilizado es un horno cilíndrico que emplea gas natural como combustible.
- Reacción: el ácido palmítico sufre una reacción de “cracking térmico” a 370°C, obteniendo el 1-tetradeceno (aceite seco) y ácido acético. Como reacción secundaria el 1-tetradeceno forma 1-octacoseno, también conocido como goma, que es el principal residuo del proceso. El reactor utiliza como fluido calefactor sales inorgánicas.
- Separación de la goma: la goma debe separarse mediante un filtro, para ello es necesario enfriar la mezcla hasta la temperatura de solidificación de la goma. Primero se condensa el producto del reactor y a continuación se

enfría hasta 100°C en un recipiente, finalmente se filtra. La goma debe ser tratada por un gestor autorizado, ya que se trata de un residuo peligroso para el medio ambiente.

- Purificación de los productos: una vez separada la goma, la mezcla resultante contiene aceite seco, ácido acético y ácido palmítico. Los dos primeros son productos y el último debe recircularse, ya que es el reactivo. Los tres compuestos se separan en dos columnas de destilación. De la primera se obtiene como producto de cabezas el ácido acético, y de la segunda el aceite seco como producto destilado y el ácido palmítico como producto de colas que se recirculará a la sección 100 para evitar que se acumulen inertes en la sección 200.

El proceso consume gran cantidad de recursos, principalmente en las operaciones de intercambio de calor. Como fluido de intercambio de calor se utiliza agua de río, vapor de media presión, sales inorgánicas fundidas y gas natural. También se consumen otros recursos como es el caso de la electricidad en las bombas.

Los principales impactos ambientales producidos por el proceso son causados principalmente por las siguientes causas:

- Emisión de gases: el principal foco emisor de gases es el horno que se encarga de calentar la alimentación al reactor. El proceso también cuenta con antorchas y diversos mecanismos de alivio, pero estos tan solo funcionan excepcionalmente, por lo que no se tienen en cuenta sus emisiones.
- Aguas residuales: el proceso no produce agua contaminada, tan solo eleva levemente la temperatura del agua del río Sarria empleada como medio de refrigeración en los procesos de intercambio de calor. El agua que proviene del río Sarria antes de entrar en los intercambiadores pasa por la planta de tratamiento de aguas que tiene el propio polígono. Antes de ser vertida de

nuevo al río, pasa por la depuradora de la planta de tratamiento de aguas, por si en el proceso pudiera adquirir ciertas impurezas.

- Residuos: como ya se mencionó anteriormente el principal residuo es la goma, éste es peligroso y nocivo para el medioambiente, por lo tanto será almacenado para su recogida periódica en un gestor autorizado. Si la planta opera en condiciones normales, se calcula que produce 82,41 kg/h de goma lo que supone unas 652,66 t/año. También produce como residuo las sales fundidas que se utilizan como fluido calefactor del reactor. Éstas poseen un tiempo de vida útil por lo que no solo será necesario su periódica recogida sino también un correcto recambio de ellas cuando sea necesario. Son recogidas, por lo tanto, periódicamente por un gestor autorizado para su correcto tratamiento.
- Ruidos: los equipos que tienden a producir mayor contaminación acústica son las bombas, de tal forma, no se considera que en la planta haya una gran contaminación debido a este fenómeno.

1.2 *Análisis de alternativas viables*

La ubicación de la planta y la tecnología utilizada debe estar correctamente justificada.

1.2.1 Ubicación de la planta

La planta se sitúa en un punto de la geografía gallega que permite el acceso a todo el residuo vacuno de Galicia, Asturias, y las regiones más próximas de Castilla y León y Portugal. Esto se debe a que el transporte de residuos orgánicos no está recomendado a distancias mayores de 200-300 km por motivos de seguridad.

La ubicación de la planta se encuentra en un polígono industrial alejado de los núcleos urbanos, lo que evitará problemas con la comunidad. La planta también contará con una red completa de suministros, tanto de agua, electricidad, gas natural y otros.

Los accesos a la planta serán por carretera, ya que la materia prima llegará de esta forma. Aun así, teniendo en cuenta que por razones excepcionales puede ser necesaria la utilización de otros mecanismos de transporte, se ha tenido en cuenta también la red ferroviaria, así como el puerto y el aeropuerto más cercanos. La estación de tren más próxima al polígono industrial de Sarria se encuentra a unos 50 km, el puerto y aeropuerto más cercanos a 150 km.

Debido a la necesidad de cubrir una amplia parte de la geografía la planta se ubicará en el polígono de O Morelle en Sarria, Lugo, Galicia. La parcela es de 32.000 m², esta se puede ver con más detalle en el plano de implantación, Plano 01.

1.2.2 Tecnología utilizada

A la hora de diseñar el proceso se tendrá en cuenta, en la medida de lo posible, las Mejores Técnicas Disponibles (MTD). Las MTD se definen como “Aquellas tecnologías utilizadas en una instalación junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada y paralizada, y siempre que sean las más eficaces para alcanzar un alto nivel de protección del medio ambiente en su conjunto y que puedan ser aplicadas en condiciones económica y técnicamente viables”.

Las MTD se recogen en los BREF. Estos documentos son específicos de cada sector industrial y son de ámbito europeo. El proceso de producción de *drying oil* no tiene un BREF específico, por lo que se tratarán de cumplir las MTD recogidas en los BREF transversales. El proceso de obtención de ácidos grasos a partir de residuos grasos de los mataderos viene parcialmente recogido en el BREF de los mataderos e industrias de subproductos animales, por tanto este proceso utilizará en todos sus pasos las MTD. Al no ser objeto del presente proyecto el diseño del

proceso de la sección 100 no se entrará a estudiar las MTD de esta parte del proceso.

La llegada de materias primas a la planta viene recogida en el BREF mencionado anteriormente de la industria de subproductos animales. Esta será en camiones debidamente acondicionados para que puedan ser conservadas en las mejores condiciones.

El BREF de monitorización se estudiará para el correcto control de las emisiones producidas en la planta, principalmente en los hornos donde se emiten gases de combustión.

El BREF de tratamiento y sistemas de gestión para el agua y los gases residuales se utiliza para el tratamiento de los vertidos de aguas residuales. La planta solo emite los gases de combustión de los hornos, la cantidad emitida es muy baja por lo que no es necesario ningún tipo de tratamiento.

Las MTD generales deben disponer de un sistema de gestión ambiental, contar con un buen sistema de recogida de agua que diferencie corrientes de diferentes características y disponer de una planta de tratamiento de aguas adaptada. La planta contará con una depuradora de agua por la que pasarán todas las corrientes de agua antes de ser vertidas y se realizarán controles mensuales del vertido, además de actualizar los sistemas de gestión ambiental para la fábrica.

1.3 Evaluación de efectos previsibles sobre el entorno

Este apartado se encarga de evaluar el efecto ambiental, tanto positivo como negativo, de la instalación de la planta de producción de aceite seco.

De este modo, se podrá realizar un análisis causa-efecto, así como una valoración definitiva de dicha instalación y comprobar el efecto final sobre un área

que previamente se encontraba al margen de este tipo de industrialización. Se deben analizar los efectos provocados sobre los siguientes factores:

- Clima
- Aire
- Fauna y flora
- Población
- Agua
- Paisaje
- Ruido

1.3.1 Clima

En primer lugar se debe de estudiar el clima existente en la región estudiada. Cabe esperar que la climatología del medio influya y esté directamente relacionada tanto con la flora como la fauna existente en dicha región, por lo que es uno de los factores a estudiar más importantes e interesantes. Como anteriormente se mencionó, la planta se encuentra en la comunidad autónoma de Galicia, al noroeste de España. El clima en la provincia de Lugo es atlántico continental, con inviernos fríos y veranos suaves.

La media de las temperaturas mensuales más baja se corresponde con la del mes de enero, siendo ésta de 5,8°C, mientras que la temperatura media más cálida se obtiene durante el verano, en el mes de agosto, donde se registra una temperatura de 18°C.

Los valores climáticos tomados se corresponden con los obtenidos por el Instituto Nacional de Meteorología (INM), que presenta su toma de datos en el aeródromo de Lugo durante el año 2013, estos datos son las medias mensuales.

Los valores críticos de temperatura, es decir, la temperatura más baja registrada y la temperatura más elevada indican hasta que punto la temperatura puede ser un factor relevante. Como era de esperar, la temperatura mínima se

corresponde con el mes de enero, obteniéndose un valor de 1,8°C, y la temperatura más alta de 24,1°C, correspondiente al mes de agosto.

A pesar de que exista una diferencia superior a los 20°C, esto no representa un factor crucial, ya que esta localidad se encuentra en una región alejada de los posibles ataques fuertes de las temperaturas.

En cuanto a la humedad relativa, medida en porcentaje, apenas se observa una gran diferencia, ya que se obtienen un valor mínimo de 73% y un valor máximo del 85%, por lo que se puede concluir que este término apenas sufre variaciones a lo largo de año.

El hecho de la implantación de una planta química en una región, evidentemente modificará su climatología, en mayor o menor medida. Como ya se comentó anteriormente, las temperaturas medias se encuentran en valores recomendables y cómodos, por lo que en este aspecto, el impacto no será muy grave.

1.3.2 Aire

En cuanto a la calidad del aire, ésta debe regirse por el Real Decreto 1073/2002, del 18 de octubre, sobre la calidad del aire ambiente en cuanto al dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono.

Este Real Decreto tiene por objeto definir y establecer valores límite y umbrales de alerta con respecto a las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono en el aire ambiente; regular la evaluación, el mantenimiento y la mejora de la calidad del aire en relación con dichas sustancias. Ello tiene como finalidad evitar, prevenir y reducir los efectos nocivos de las sustancias reguladas sobre la salud humana y el medio ambiente en su conjunto.

Documento IV. Estudios con entidad propia

Debe aclararse el término valor límite, que viene definido en el propio Real Decreto como “nivel fijado que no debe superarse basándose en conocimientos científicos, con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y para el medio ambiente en su conjunto”. Mientras que por umbral de alerta se entiende el nivel a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana.

En la planta de producción de drying oil, de los compuestos que engloba este Real Decreto tan sólo se encuentra el monóxido de carbono, pero en muy bajas concentraciones y solamente cuando se producen temperaturas excesivamente altas (caso que no debe ocurrir), pero aun así es de relevante importancia hacer mención a ello. El Real Decreto indica que las concentraciones en el aire ambiente de este compuesto deben ser actualizadas diariamente o en su defecto cada hora.

Los valores límite para el monóxido de carbono se expresan en mg/m^3 . El volumen debe ser referido a una temperatura de 293 K y a una presión de 101,3 kPa.

Tabla 1. Valores límite para el monóxido de carbono (Fuente: Real Decreto 1073/2002)

	Período de promedio	Valor límite	Margen de tolerancia	Fecha de cumplimiento del valor límite
Valor límite para la protección de la salud humana.	Media de ocho horas máxima en un día.	10 mg/m^3 .	6 mg/m^3 , a la entrada en vigor del Real Decreto, reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada doce meses 2 mg/m^3 hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2005.	1 de enero de 2005.

Las principales emisiones de la planta son las de dióxido de carbono y nitrógeno, el primero de ellos conocido como GEI, es decir, gas de efecto invernadero. Este tipo de emisiones deben ser reguladas, tal y como obliga el Real Decreto 101/2011. Mientras que el nitrógeno, al encontrarse en el aire, sus emisiones no suponen ningún tipo de peligro.

Se debería realizar un análisis de la zona de construcción de la planta, con el fin de conocer la calidad del aire en referencia a estos contaminantes, ya que si en

el caso del dióxido de carbono o del monóxido de carbono sus valores se encuentran en umbrales altos, su control deberá ser mucho más exhaustivo.

1.3.3 Flora y fauna

El interior de la provincia de Lugo está bajo la influencia de un clima atlántico continental. Ello implica una flora determinada como por ejemplo los castaños, robles, tojos, brezos y retamas. Además hay un gran número de plantas medicinales y aromáticas como la milenrama, orégano silvestre y multitud de bayas silvestres como las moras, los arándanos o los escaramujos.

Al igual que la flora, la fauna también es muy variada. En los bosques de Lugo se ocultan jabalíes, corzos, zorros y conejos. En cuanto a los ríos que bañan la zona se encuentra con gran facilidad truchas, carpas y nutrias. Las aves merecen un interés especial, en particular las aves rapaces. Existe una colonia importante de milanos negros, y varias especies de águilas: águila ratonera, pescadora y el águila real. De las especies comunes en Lugo, el águila real es la única que se encuentra en peligro de extinción, pero no es la industrialización la principal causa de este temor, al igual que ocurre con el oso, la gallina de monte o el mazarico en la provincia de Ourense. Estas especies se encuentran en peligro debido al alto índice de quema de bosques en Galicia y la tala indiscriminada de árboles.

El hecho de crear la planta de *Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos* en un polígono industrial, facilita aún más la estabilidad tanto de la flora como de la fauna, ya que ninguna región natural se verá afectada por dicha edificación.

1.3.4 Población

La ciudad más cercana a Sarria, es Lugo. Se encuentra en el noroeste de la Península Ibérica, en la comunidad autónoma de Galicia.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INA), el municipio cuenta con 98.457 habitantes en el año 2012 y presenta una superficie de 332 km².

Los efectos a primera instancia sobre la población de Lugo, no solo de la ciudad, sino de la provincia entera (donde evidentemente se incluye la pequeña villa de Sarria), sería la oportunidad de crear empleo y de esta manera reducir el paro de la región, ya que cabe esperar, que la apertura de una nueva planta química, genere puestos de trabajo, de tal manera que estos habitantes se verían beneficiados.

1.3.5 Agua

En cuanto a la hidrología de la comarca, debe hablarse principalmente del río que se encuentran en la provincia de Lugo, el río Miño, y el río Sarria que recorre la comarca (afluente del Neira, que a su vez es afluente del Miño). Éste tiene a su disposición un gran número de afluentes que lo mantiene con gran cantidad de flujo de agua.

Las precipitaciones deben ser nombradas en este apartado, ya que todos los ríos que se encuentran en la región se encuentran alimentados por este fenómeno meteorológico. Tal y como indica el Instituto Nacional de Meteorología (INM) en la provincia de Lugo se registran todos los meses al menos 5 días de precipitaciones superiores a 1 mm. Encontrando su máximo valor en los meses de Enero, Noviembre y Diciembre, donde se llegan a registrar hasta 14 días con precipitaciones superiores a 1 mm. Este factor determina que los ríos que bañan esta comarca se encuentren siempre con un caudal suficiente como para mantenerse sobre los niveles recomendados, por lo que la planta que se instalará no afectará lo suficiente como para afectar a la naturaleza de los ríos. Además, el agua empleada del río Sarria para la refrigeración de la planta es devuelta al completo tras pasar por una depuración que proporciona el polígono donde se encuentra.

1.3.6 Paisaje

El paisaje de la provincia de Lugo se caracteriza por una gran cantidad de bosques, así como de una gran actividad agraria y ganadera en los municipios cercanos a la capital. Esta actividad del sector primario, dejaría espacio a una planta de producción química del sector secundario, que no empobrecería la comarca, sino que se solaparía con esta antigua actividad para fortalecer la economía del lugar.

Otro factor a su favor, es la situación de la planta en un polígono industrial ya existente, por lo que el paisaje no se vería afectado, ya que el propio polígono ya trata de abarcar toda la actividad industrial en una misma zona para dañar en la menor medida el paisaje de la comarca.

1.3.7 Ruido

En Sarria no se encuentra ninguna otra planta de actividad química, como se indica en el apartado anterior. En el polígono industrial de Morelle existen otras empresas y actividades industriales, pero lejos de la contaminación acústica que puede existir en polígonos de mayor actividad y tamaño como el Polígono Industrial de As Gándaras (O Porriño). Por lo que el ruido existente en la zona es procedente de pequeña maquinaria empleada por los ganaderos y agricultores, así como de la actividad del polígono de Morelle.

El ruido que produciría la planta, no se uniría a ninguna otra actividad industrial, de manera que afectaría gravemente a la población cercana a la planta.

1.4 Medidas previstas para reducir impactos

A continuación se presentan las principales medidas preventivas y correctoras para la reducción del posible impacto ambiental creado por la implantación de la planta de producción de drying oil. Se trata de minimizar o

corregir los impactos identificados en el apartado anterior, ya sean graves o compatibles.

Del mismo modo, también se incluyen referencias a las buenas prácticas de operación que se puedan aplicar con el fin de minimizar o anular afecciones, leves o severas.

1.4.1 Medidas de carácter general

1.4.1.1 Prácticas generales de obra

En fase de obras deberá aplicarse una serie de medidas organizativas con el fin de limitar posibles afecciones a la calidad del aire, del suelo y del agua así como minimizar las molestias sobre la población residente.

Un seguimiento de las buenas prácticas en esta fase de obras permitirá minimizar el impacto atmosférico.

Las principales medidas pueden ser: evitar ruido de maquinaria en horas específicas en las que puede ser más incómodo para la población cercana (primeras horas de la mañana y por la noche). Tratar con exhaustivo cuidado la descarga de los productos necesarios en la obra con el fin de evitar posibles derrames que provocarían grandes daños en el medio.

Evitar la realización de las operaciones de limpieza y de mantenimiento de vehículos y maquinaria en obra.

Un continuo cuidado de la maquinaria de la planta provocará que funcione mejor, que reduzca las emisiones y emita menos ruido, uno de los factores que más se desea reducir, ya que la planta se encuentra en una zona muy tranquila.

1.4.1.2 Selección de suministradores y contratistas

Se recomienda trabajar y mantener contacto con aquellas contratas que ofrezcan la mejor metodología de trabajo con respecto al medioambiente, ya que esto asegurará que la zona se dañe lo menos posible.

Los residuos, como la goma producida en el proceso, deben ser tratados de la manera correcta, tal y como indica la legislación. En este caso la goma, al ser considerado un residuo peligroso, debe ser entregado a un gestor autorizado. Además debe mantenerse almacenada de la manera más adecuada desde su producción hasta su gestión.

1.4.2 Medidas para la minimización de emisiones de gases

Como se mencionó en el apartado 7.3, existe la liberación de gases a la atmósfera, principalmente de dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, por lo que la principal medida consiste en mantener siempre este tipo de emisiones bajo la normativa vigente, de esta manera, no se dañará de manera importante el medio ambiente, ya que los límites de emisión indicados por el Real Decreto están calculados para que esas concentraciones de gases no perjudiquen gravemente el entorno.

1.4.3 Medidas para evitar impactos sobre el suelo y las aguas

Se tendrá un especial cuidado con el agua que se devuelve a los ríos, ya que si éstas no cumplen las indicaciones de temperatura, dañarán fuertemente el medio acuático, y en consecuencia el suelo de la zona. Además se debe evitar que estas aguas no transporten productos químicos o impurezas que puedan adquirir en la planta. Por estos motivos, antes de ser vertidas se hacen pasar por la depuradora de la planta de tratamiento de aguas.

Se debe mostrar mucho cuidado con la limpieza de los vehículos en sitios preparados durante la fase de obras. Durante esta fase, las naves contarán con una

solera de hormigón con espesor suficiente para evitar daños a la calidad del suelo y a la calidad de las aguas subterráneas.

Los vertidos y fugas de un producto químico originan residuos y emisiones peligrosas. Para evitar que sucedan hay que cumplir una serie de medidas como almacenar los materiales peligrosos, como el ácido acético, en lugares donde la probabilidad de fuga sea menor, como un tanque de almacenamiento que tenga en cuenta todas las consideraciones necesarias para el buen resguardo del ácido acético. Otra medida sería realizar estudios de prevención de fugas durante las fases de diseño y operación.

Con el fin de evitar vertidos al suelo y a las aguas subterráneas los tanques de almacenamiento, no solo del ácido acético, sino también del *drying oil* deben instalarse alarmas de rebose, de esta manera se evitarán posibles pérdidas de los mismos. Los dos tanques de almacenamiento deben estar instalados dentro del mismo cubeto y debe disponerse una zona de carga y descarga de camiones que facilite dicha actividad.

Las redes de drenajes deben diseñarse para proporcionar una buena evacuación de los fluidos residuales, agua de lluvia, de proceso, etc.

1.4.4 Sustancias peligrosas

El almacenamiento de las sustancias peligrosas presentes en la planta es fundamental, y una de las causas que pueden producir más daño medioambiental si no se cumple. Se deben aplicar todas las instrucciones técnicas establecidos en el Real Decreto 1254/1999.

Los medios de transporte empleados para estas sustancias deben tener el certificado para realizar el transporte de mercancías peligrosas.

1.4.5 Impactos por ruido

El funcionamiento de la planta no deberá ocasionar una variación significativa en los niveles de inmisión. Pero de todos modos, durante la etapa de obra aumentarán los niveles de ruido de manera temporal.

Por lo que se debe hacer es aumentar al máximo posible la fluidez del tráfico, para evitar grandes retenciones que puedan aumentar los niveles acústicos.

Otra medida importante es aislar los equipos que producen mayor nivel de ruido. Dado que los niveles de ruido generados en el interior de la planta durante su explotación se verán disminuidos de cara al exterior por la propia estructura de las naves, el mayor impacto sonoro será el relacionado con el aumento de tráfico pesado asociado a la entrada en funcionamiento de la planta. Para minimizar este ruido se debe limitar la velocidad de tránsito de vehículos y control de las entradas y salidas de la planta.

1.4.6 Accidentes

Para evitar accidente en la planta deberán cumplirse las siguientes medidas:

- Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, en el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Orden del 17 de Junio de 1997 por el que se desarrolla el Real Decreto 39/1997 de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención en relación con las condiciones de acreditación de las entidades especializadas como servicios ajenos a la empresa.
- Real Decreto 39/1997 de 17 de Enero, por lo que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención en su nueva óptica a partir de la evaluación

inicial de los riesgos inherentes al trabajo y la consiguiente adopción de las medidas adecuadas a la naturaleza de los riesgos detectados.

- Real Decreto 780/1998 de 30 de Abril, por el que se modifica el R.D. 39/1997 de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Ley de 31/1995 de 8 de Noviembre, Prevención de Riesgos Laborales, que tiene por objeto promover la seguridad y la salud de los trabajadores, mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo, regulando las actuaciones a desarrollar por las Administraciones Públicas, así como los empresarios, los trabajadores y sus respectivas organizaciones representativas.
- Ley 54/2003 de 12 de Diciembre de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 1254/1999 de 16 de Julio por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

1.4.7 Medidas para la prevención de explosiones y/o incendios

La planta deberá cumplir con las Normas y Reglamentos en cuanto a posibles situaciones de explosiones establecidos para este tipo de instalaciones. Principalmente se establecen las características técnicas que deben cumplir las áreas o locales donde se puedan dar ambientes potencialmente explosivos, y del Reglamento e instrucciones para las instalaciones de almacenamiento (ITC MIE APQ).

En materia de incendios la planta deberá ir equipada de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales, en función del riesgo intrínseco de las distintas zonas.

Por otra parte, el Real Decreto 1254/1999 de 16 de Julio por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, la instalación contará con su correspondiente Plan de Emergencia así como con el resto de requisitos contemplados en dicho decreto.

1.4.8 Impacto visual

Se debe tratar de proteger el impacto visual durante el periodo de obras, que se ocasiona por el movimiento de tierras, presencia de camiones, edificios provisionales etc. Para ello, la mejor medida, es colocar barreras, que impidan ver la zona de obras y mantener la naturalidad del paisaje.

1.4.9 Impacto social

El impacto social, como se comentó anteriormente es positivo, ya que creará empleo sobre la localidad y la región, sin empobrecer medioambientalmente el lugar.

1.4.10 Desmantelamiento de las instalaciones

Cuando la instalación llegue a su fin, se debe prestar especial atención a los residuos tóxicos o peligrosos indicando los procedimientos de retirada desde el punto de vista de seguridad para el medio ambiente y especificando las medidas de seguridad a tener en cuenta durante dichos trabajos.

Los elementos que sean necesario demoler, se harán acorde a los siguientes procedimientos:

- Procedimiento 1º. Derribo mediante empuje o tracción.
- Procedimiento 2º. Demolición con herramientas manuales.
- Procedimiento 3º. Demolición con martillo rompedor sobre máquina.
- Procedimiento 4º. Utilización de tenazas para rotura.

- Procedimiento 5º. Derribo por golpeo.
- Procedimiento 6º. Fracturación.
- Procedimiento 7º. Demolición por corte y perforación.
- Procedimiento 8º. Desmontaje y desguace.

1.4.11 Matriz causa y efecto

Como análisis de los apartados descritos anteriormente se incluye la matriz causa y efecto que permite una rápida identificación de los impactos negativos, positivos y no significativos.

		FASE CONSTRUCCIÓN				FASE DE FUNCIONAMIENTO							
						FUNCIONAMIENTO REGULAR					FUNCIONAMIENTO ANÓMALO		
		Implantación de obra y acondicionamiento de tierras	Funcionamiento y mantenimiento de maquinaria y vehículos a motor	Almacenamiento y manipulación de material de obra	Construcción y montaje de naves, depósitos y demás servicios (obra civil)	Funcionamiento de la planta (proceso)	Presencia de edificaciones y elementos industriales	Transporte de mercancías peligrosas	Carga y descarga de materias primas	Almacenaje de materias primas	Funcionamiento de la chimenea de salida del gas residual	Incidentes (pequeños siniestros, vehículos)	Accidente
Microclima	Afecciones microclimáticas	😊	😊		😊	😊				😞 ^C			
Atmósfera	Alteración de la calidad del aire	😞 ^C	😞 ^C	😊	😞 ^C	😞 ^C			😞 ^C	😊	😞 ^M	😞 ^C	😞 ^M
Geología y geomorfología	Alteraciones geología, geomorfología	😊	😊				😊					😊	
Hidrología	Alteración de la calidad del agua superficial	😞 ^C	😞 ^C	😞 ^C	😞 ^C	😞 ^C					😞 ^S	😞 ^M	😞 ^M
	Alteración de la calidad del agua subterránea y del suelo	😊			😊	😞 ^C					😞 ^S	😞 ^M	😞 ^C
Fauna	Alteración/destrucción de la fauna (modificación pautas de comportamiento)	😊	😞 ^C				😞 ^C					😞 ^M	😞 ^C
Ruidos	Molestias por generación de ruidos	😞 ^S	😞 ^M	😊	😊	😞 ^M		😊	😞 ^C				😞 ^M
Accidentes	Riesgos de accidentes (transporte, etc)	😞 ^M		😞 ^C	😞 ^C	😞 ^C		😞 ^C	😞 ^C	😞 ^C	😞 ^C	😞 ^C	😞 ^M
Patrimonio cultural	Afecciones al patrimonio cultural (destrucción, alteraciones)	😊	😊		😊								
Paisaje	Impacto visual	😞 ^M			😞 ^C		😞 ^C	😞 ^C			😞 ^C	😞 ^C	😞 ^C
Gestión territorial	Afección a proyectos de Ordenación territorial					😊			😊	😊			
Socioeconomía	Afección a los sectores productivos y al desarrollo socio-económico					😊		😊	😊	😊			😞 ^C

Impacto positivo

😊

Impacto negativo NO SIGNIFICATIVO

😊

Impactos negativos SIGNIFICATIVOS

😞^C

Compatible

😞^M

Moderado

😞^S

Severo

😞^{Cr}

Crítico

1.5 Programa de vigilancia ambiental. Plan de Seguimiento y Control Ambiental

1.5.1 Descripción general

La *planta de producción de aceite seco a partir de residuos de vacunos* dispone de un Programa de Vigilancia Ambiental. Sin embargo el Programa explicado a continuación únicamente se centra en la sección 200 ya que es el objetivo de dicho proyecto.

1.5.2 Objetivo

El programa de Vigilancia Ambiental tiene como objetivo establecer los mecanismos que permitan controlar la posible afección medioambiental, originada por la ejecución del proyecto, durante la fase de obras y de funcionamiento.

1.5.3 Alcance

Este programa cubre los siguientes apartados:

- Seguimiento y control de las diferentes actuaciones a desarrollar durante las obras de ejecución del Proyecto considerado, que incluye el período de obras propiamente dicho (desde la fecha del Acta de Replanteo del Proyecto hasta la fecha de entrega del Acta de Recepción Provisional de la Obra), así como el período de garantía de las mismas (un año completo a contar a partir de la Recepción Provisional).
- Seguimiento y control de las condiciones ambientales en la fase de explotación en un período variable (en función de la tipología del elemento a controlar).

1.5.4 Medios de realización

El Programa es llevado a cabo por una Entidad Independiente de todas las partes implicadas en la ejecución del Proyecto. Dicha Entidad deberá estar ligada a la Dirección de Obra, e integrada en la Asesoría Ambiental de la misma. Los medios que aseguran la ejecución del Programa son:

- **Medios humanos:** Las labores de seguimiento durante las obras serán llevadas a cabo por una persona con experiencia y conocimientos suficientes en medio ambiente para llevar a cabo dichas labores. Como apoyo para la interpretación de datos, resolución de problemas, etc. el supervisor medioambiental contará con la colaboración sistemática de Consultores expertos en cada una de las disciplinas de interés.
- **Medios materiales:** El equipo de Vigilancia ambiental deberá de disponer de los materiales necesario como: equipo fotográfico, sonómetro, etc.

1.5.5 Ejecución y Operación

La ejecución se corresponde cronológicamente con este desarrollo:

- Puesta a punto de los medios de vigilancia y preparación de todo el material que se va utilizar (comprobación y calibración de aparatos, diseño de los formatos de los registros...). Será llevada a cabo por el conjunto del equipo de Asesoría Ambiental.
- Recogida de datos, almacenamiento y clasificación sistemática de los mismos. Corre a cargo del Supervisor Ambiental desplazado.
- Interpretación de la información recogida. En esta fase se estudiarán y evaluarán los datos obtenidos en la fase anterior, se evaluará el grado de aplicación de las medidas correctoras y protectoras, se identificarán las fuentes de fallos o errores, etc. La tarea corre a cargo del conjunto del equipo de Asesoría Ambiental.
- Retroalimentación. Esta constituye la fase de gestión del cambio y mejora del Programa. Es la misma Asesoría Ambiental la que, en este

punto, decidirá la modificación del Programa para conseguir mayor eficacia del mismo, ideará nuevas medidas correctoras para aplicar a situaciones nuevas, etc.

En cada una de estas fases tendrá lugar la elaboración y gestión de la documentación asociada necesaria tales como registros o informes.

1.5.6 Elaboración y gestión de la documentación

En este apartado se enumeran y se describen los documentos que deberán ser elaborados en el marco de cada uno de los niveles de ejecución del Programa, así como de la gestión de que deberán ser objeto.

Archivo de Medio Materiales

En este archivo se recogerá la documentación relativa a los medios materiales que se utilicen en la realización del Programa. Resulta de especial relevancia la recopilación de las garantías, información técnica relativa al producto (condiciones óptimas de medida, etc.), de la periodicidad de realización de revisiones o calibraciones, de las reparaciones efectuadas, etc.

Diario de Seguimiento Ambiental

En dicho documento se registrará diariamente toda la información sobre observaciones efectuadas, incidencias producidas, acciones emprendidas y responsables de las mismas, nivel de cumplimiento de las medidas protectores y correctores, etc. Este Diario estará constantemente disponible para su inspección por las Autoridades Ambientales que lo requieren, y se remitirá a ésta, en cualquier caso, una vez finalizadas las obras.

Informes-resumen periódicos

Son informes que recogen un resumen de las observaciones efectuadas, de los resultados obtenidos, de las conclusiones y recomendaciones emitidas, etc. por

la Asesoría Ambiental, que deberán tener una periodicidad mínima mensual durante la fase de obras y anual durante la fase de funcionamiento.

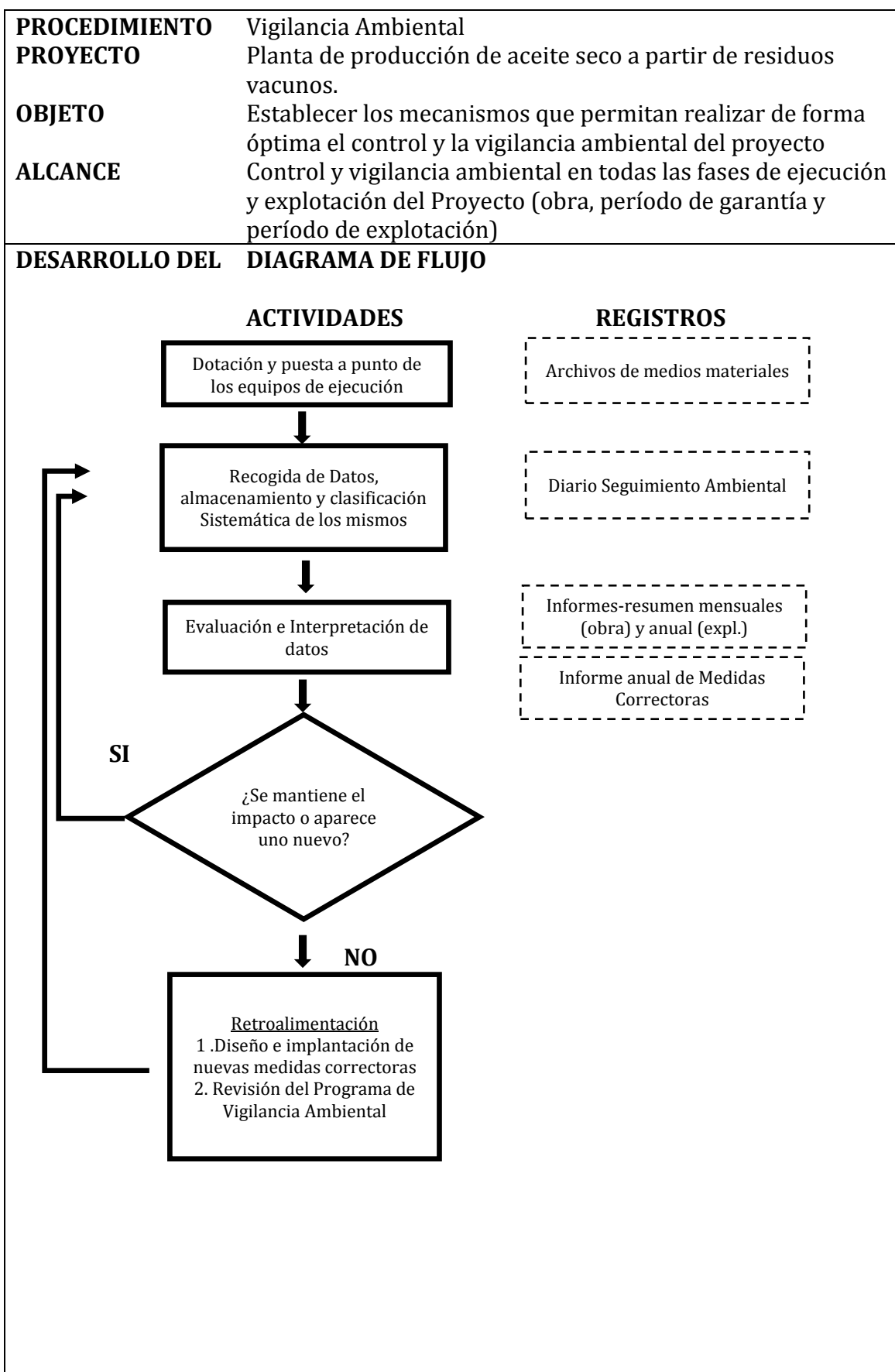
Informe anual de Medidas Correctoras

Su función es reflejar la evaluación de la eficacia y rendimiento de las medidas correctoras y su grado de implantación. El informe además incluirá una propuesta de nuevas medidas correctoras en el caso de que se haya constatado la producción de alguno de estos supuestos:

- Si se produce insuficiencia de las medidas correctoras ya implantadas.
- Que se hayan detectado nuevos impactos ambientales no previstos.
- Que los avances tecnológicos producidos hasta la fecha permitan la aplicación de procedimientos de corrección más eficaces.

1.5.7 Ficha-resumen de procedimiento

En la ficha-resumen que se adjunta se reflejan gráficamente las principales características del Programa de Vigilancia Ambiental.



1.5.8 Descripción de las actividades de seguimiento

Se incluyen a continuación una serie de controles a realizar para el correcto seguimiento ambiental de las obras. Para cada elemento a controlar, se fija la ubicación del control, la periodicidad, los medios, los objetivos de calidad, los valores límite a no sobrepasar, y la normativa o reglamentaciones de aplicación. Las frecuencias establecidas podrán ser adaptadas en el transcurso de las labores de seguimiento en función de los resultados que se vayan obteniendo.

Fase de construcción

Elemento del medio: Clima

- **Aspecto a controlar:** Variables climáticas
- **Finalidad:** Recopilación de los pronósticos climáticos que permitan programar adecuadamente las tareas de obra.
- **Ubicación del control:** Instituto Nacional de Meteorología que presenta su toma de datos en el aeródromo de Lugo.
- **Medio de control:** Recopilación de los principales datos climáticos: velocidad y dirección del viento, precipitación, temperatura, presión atmosférica y humedad relativa.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** Recopilación mensual de los datos diarios a lo largo de todo el periodo de obras.

Elemento del medio: Clima

- **Aspecto a controlar:** Pronóstico climático
- **Finalidad:** Recopilación de los pronósticos climáticos que permitan programar adecuadamente las tareas de obra.
- **Ubicación del control:** Instituto Nacional de Meteorología que presenta su toma de datos en el aeródromo de Lugo.
- **Medio de control:** Recopilación de los pronósticos climáticos: velocidad y dirección del viento, precipitación y temperatura.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** Recopilación de los pronósticos según criterio del técnico responsable.

Elemento del medio: Calidad de aguas y suelos

- **Aspecto a controlar:** Vertidos y residuos producidos en obra.
- **Finalidad:** Limitar, prevenir o evitar la generación de residuos y vertidos líquidos y de sus efectos.
- **Ubicación del control:** Toda la superficie de obra.
- **Medio de control:** Verificar la adecuada gestión de residuos y vertidos líquidos. Generar, actualizar y mantener un sistema de control y registro de las cantidades producidas, de las cantidades gestionadas y del modo y destino de la gestión.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** A lo largo de todo el período de obra.
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** Operaciones de manipulación adecuadas. Instalaciones de almacenamiento en adecuadas condiciones. Autorizaciones gestionadas. Residuos caracterizados y adecuadamente etiquetados (cuando proceda). Documentación en regla: gestores, transportistas, etc.
- **Estándares o reglamentación aplicable:**
 - Régimen general: Ley 10/1998.
 - Residuos peligrosos: Ley 10/1998 de 21 abril; R.D 833/1988 y RD 952/97

Elemento del medio: Calidad de aguas y suelos

- **Aspecto a controlar:** Orden y limpieza en las obras.
- **Finalidad:** Control estricto de las labores de limpieza al paso de vehículos y maquinaria.
- **Ubicación del control:** Entorno afectado por las obras y áreas de acceso. Se llevará a cabo con especial cuidado en los accesos a obra desde los viales existentes y núcleos habitados.
- **Medio de control:** Inspección visual
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** Permanente en período de obras.
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** Orden y limpieza en obra.

Elemento del medio: Calidad del aire

- **Aspecto a controlar:** Emisiones.
- **Finalidad:** Controlar el estado de mantenimiento de maquinaria y vehículos de obra.
- **Ubicación del control:** Obra.
- **Medio de control:** Revisión de partes de inspección técnica.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** A lo largo de todo el período de obra.
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** Vehículos en perfecto estado de mantenimiento. Adecuada combustión de motores.

Elemento del medio: Impacto visual

- **Aspecto a controlar:** Verificación del cumplimiento de los objetivos generales de orden y limpieza.
- **Finalidad:** Evitar el impacto visual.
- **Ubicación del control:** Todo el ámbito del proyecto.
- **Medio de control:** Observación visual.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** Diaria durante la fase de obra.
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** Zona de obra limpia y ordenada.
- **Estándares o reglamentación aplicable:** Objetivos generales de orden y limpieza.

Elemento del medio: Fauna

- **Aspecto a controlar:** Cambios en pautas de comportamiento. Desaparición de especies.
- **Finalidad:** Identificar problemática y definir, en su caso, medidas correctoras adicionales.
- **Ubicación del control:** Todo el ámbito del proyecto
- **Medio de control:** Observación visual. Consulta con organismos locales, vecinos, etc.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** En caso de incidencias reseñables.
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** Respuesta rápida ante posibles incidencias.

Elemento del medio: Molestias inducibles

- **Aspecto a controlar:** Ruidos durante la fase de obras. Comprobación de que la maquinaria de obra empleada se ajusta a lo especificado en el RD 245/1989 y Órdenes que lo modifican.
- **Finalidad:** Evitar molestias sonoras a la población.
- **Ubicación del control:** Puntos con mayor grado de afección potencial.
- **Medio de control:** Mediciones acústicas.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** En función de las necesidades desde el inicio hasta el fin de las obras.
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** Límites a confirmar tras la realización de estudio de ruido preoperacional.
- **Estándares o reglamentación aplicable:** No existe ordenanza municipal en materia de ruidos.

FASE DE FUNCIONAMIENTO

Elemento del medio: Clima

- **Aspecto a controlar:** Variables climáticas
- **Finalidad:** Recopilación de variables climáticas imprescindibles para interpretar los datos de seguimiento de calidad del aire y calidad de agua.
- **Ubicación del control:** Instituto Nacional de Meteorología que presenta su toma de datos en el aeródromo de Lugo.
- **Medio de control:** Recopilación de los principales datos climáticos: velocidad y dirección del viento, precipitación, temperatura, presión atmosférica y humedad relativa.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** Recopilación anual de los datos considerados durante el primer año de funcionamiento de la instalación.

Elemento del medio: Calidad del aire

- **Aspecto a controlar:** Emisiones atmosféricas
- **Finalidad:** Control de las emisiones de monóxido de carbono y de dióxido de carbono.
- **Ubicación del control:** Salida de los gases del horno H-201.
- **Medio de control:** analizador correspondiente a cada compuesto.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** en continuo.
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** CO y CO₂
- **Límites a no sobrepasar:** límites a definir por la legislación correspondiente.

Elemento del medio: Calidad del agua superficial

- **Aspecto a controlar:** Vertidos de aguas depuradas
- **Finalidad:** Control de carga contaminante en el vertido.
- **Ubicación del control:** Salida de la estación depuradora.
- **Medio de control:** Analítica periódica de parámetros físico-químicos seleccionados.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** Monitorización continua a lo largo de la vida de la instalación.
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** Minimizar la concentración de carga contaminante.
- **Estándares o reglamentación aplicable:** Ley 16/2002 según VLE del BREF.

Elemento del medio: Calidad de suelos y aguas

- **Aspecto a controlar:** Residuos
- **Finalidad:** Verificar la adecuada gestión de los residuos producidos a lo largo de todo su ciclo de vida: generación, segregación, almacenamiento y gestión (externa o interna).
- **Ubicación del control:** Puntos de generación de residuos y puntos de almacenamiento.
- **Medio de control:** Los que requiere cada tipología de residuos (peligrosos, residuos urbanos, residuos de envases y embalajes inertes). Hojas de control y seguimiento de gestión de residuos (según tipología).
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** Periodicidad de evacuación en cada instalación, según la frecuencia de recogida o gestión.
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** Operaciones de manipulación adecuadas. Instalaciones de almacenamiento en adecuadas condiciones. Autorizaciones gestionadas. Residuos caracterizados y adecuadamente etiquetados (cuando proceda). Documentación en regla: gestores, transportista, etc.
- **Estándares o reglamentación aplicable:**
 - Régimen general: Ley 10/1998.
 - Residuos peligrosos: Ley 10/1998 de 21 abril; R.D 833/1988 y RD 952/97

Elemento del medio: Ruidos

- **Aspecto a controlar:** Nivel de ruido
- **Finalidad:** Evitar afecciones por ruido.
- **Medio de control:** Mediciones acústicas, a través de una entidad externa autorizada.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** Campaña preoperacional y otra postoteracional durante el primer año de funcionamiento de las instalaciones.
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** Límites a confirmar tras realización de estudio de ruido preoperacional.
- **Estándares o reglamentación aplicable:** No existe Ordenanza municipal en materia de ruidos.

Elemento del medio: General

- **Aspecto a controlar:** Seguimiento de la eficacia de las medidas correctoras.
- **Finalidad:** Asegurar el cumplimiento de los objetivos de prevención, minimización de impactos y restauración de efectos producidos.
- **Medio de control:** Observación visual y análisis de indicadores de eficacia.
- **Periodicidad de control y duración de la vigilancia:** Momento de implantación
- **Parámetros de control y objetivo de la calidad:** Máxima eficacia de las medidas correctoras.

1.6 Resumen

El Estudio del Impacto Ambiental de la *planta de producción de aceite seco a partir de residuos vacunos*, se centra en la Sección 200 de dicha planta por ser el objetivo de dicho proyecto.

En él se hace una breve descripción del proyecto donde se indican los principales problemas medioambientales que puede ocasionar. A continuación se mencionan los elementos ambientales que pueden verse afectados por la implantación del proyecto y las medidas previstas para reducir los impactos en

estos elementos. Finalmente, el Programa de Vigilancia Ambiental establece los mecanismos que permiten controlar la posible afección medioambiental, originada por la ejecución del proyecto, durante la fase de obras y de funcionamiento.

1.7 Conclusiones

Tras realizar una valoración global de los posibles impactos ambientales que puede originar la ejecución del proyecto, se puede concluir que los principales serán los siguientes:

- Alteración de la calidad del aire por la emisión principalmente de monóxido de carbono, dióxido de carbono y oxígeno, siendo el foco emisor es el horno H-201.
- Posible alteración de la calidad de las aguas. A pesar de que la depuradora controle en cierta medida este impacto, durante la vida de la planta se pueden producir fugas y vertidos que dañen las aguas subterráneas.
- Riesgo de accidentes especialmente en caso de vertidos y emisiones incontroladas. También están asociados a la circulación de la maquinaria pesada y a los accidentes o incidentes que pueden sufrir los operarios a lo largo de la fase de obras.
- Alteración acústica del medio principalmente durante la fase de obras.
- Presencia de productos peligrosos, como la goma, que necesita ser almacenada en zonas especiales y ser tratada en gestores autorizados.
- Las sales fundidas empleadas en el reactor son corrosivas, por lo que cuando éstas terminen su tiempo de vida útil deben ser recogidas por un gestor autorizado para su correcto tratamiento.

El proyecto se puede considerar positivo ya que permite alcanzar un objetivo importante: el desenvolvimiento comarcal. A pesar de que durante la fase de obras la calidad de vida de los vecinos podría disminuir, durante la explotación, el impacto es positivo ya que crea puestos de trabajo para los habitantes de la zona.

Documento IV. Estudios con entidad propia

Los aspectos negativos del proyecto son los ya comentados, además de las graves repercusiones que tendría en el desempleo y en las inversiones en caso de cesar la actividad de forma definitiva.

2. Estudio básico de seguridad y salud

2.1 Introducción

El estudio básico de seguridad y salud es un documento exclusivamente descriptivo, que debe servir para la posterior elaboración del plan de seguridad y salud en el trabajo. En él se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción.

En el RD 1627/1997 del 24 de Octubre se incluyen los contenidos mínimos que debe contener este estudio básico. A mayores de esta información se puede complementar con lo que se considere oportuno para que la información sea lo suficientemente detallada.

El estudio básico deberá precisar las normas de seguridad y salud aplicables a la obra. Para ello deberá contemplar la identificación de los riesgos laborales que puedan ser evitados, con las medidas técnicas necesarias para ello. Asimismo también deberá contemplar los riesgos laborales que no puedan ser eliminados, detallando las medidas preventivas y protecciones técnicas para controlar y reducir estos riesgos, también deberá valorar la eficacia de estas medidas. El estudio también contemplará cualquier otro tipo de actividad que se lleve a cabo. Dentro del estudio se incluirán las previsiones e informaciones necesarias para efectuar los previsibles trabajos posteriores, en las debidas condiciones de trabajo y seguridad.

Asimismo se incluirá la descripción de los servicios sanitarios y comunes de que deberá estar dotado el centro de trabajo de la obra, en función del número de trabajadores que vayan a utilizarlos. En la elaboración del estudio también deberán de tenerse en cuenta las condiciones del entorno en que se realice la obra, así como la tipología y características de los materiales y elementos que deban utilizarse, determinación del proceso constructivo y orden de ejecución de los trabajos.

2.2 Características de la obra

La obra consiste en la ejecución de la construcción de una planta de producción de aceites secos a partir de residuos vacunos, mas en concreto de la sección 200 de esta planta. La planta se encuentra ubicada en el polígono de O Morelle, Sarria, Galicia.

El proceso de construcción de esta planta cuenta con las siguientes fases:

- Reconocimiento de las obras por el Contratista, acompañado de la Propiedad o de la Dirección Técnica de Obra.
- Organización previa de los trabajos.
- Licencias de ocupación de la calzada, permisos y otros.
- Organización de la zona de obra.
- Desarrollo de los trabajos:
 - Cimientos.
 - Colocación de anclajes y depósitos.
 - Montaje de equipos y tuberías.
 - Soldaduras.
 - Comprobación de las soldaduras por radiografiado.
 - Colocación de válvulas, accesorios y equipos de medida o control.

2.3 Análisis de riesgos

En el apartado de análisis de riesgos se indicarán los posibles peligros que existen en las principales actividades de la obra.

2.3.1 Movimiento de tierras

Las operaciones de movimiento de tierras incluyen explanación, desmonte, terraplenado y excavación.

- Desprendimiento de materiales.
- Caída de personas, materiales y objetos, tanto al mismo como a distinto nivel.

- Accidentes debidos a cables subterráneos (gas, electricidad, agua y telecomunicaciones).
- Vuelco en maniobras de carga y descarga.
- Accidente durante la circulación de vehículos.
- Atropellos de peones.
- Accidentes por conducción en ambientes y/o terrenos adversos.
- Irrupción accidental de aguas.
- Trabajo en condiciones meteorológicas adversas, incluyendo zonas húmedas o mojadas.

2.3.2 Cimentación y Estructuras

- Caída de personas, materiales y objetos, tanto al mismo como a distinto nivel.
- Ambiente pulvígeno.
- Atrapamientos y aplastamientos, incluidos los debidos al tráfico de camiones.
- Dermatitis por contacto de hormigón.
- Inhalación de vapores.
- Rotura, hundimiento, caídas de encofrados y de entibaciones.
- Radiaciones y derivados de la soldadura.
- Quemaduras en soldadura de oxicorte.
- Trabajo en condiciones meteorológicas adversas, incluyendo zonas húmedas o mojadas.

2.3.3 Cubiertas planas, inclinadas, materiales ligeros

- Caída de personas, materiales y objetos, tanto al mismo como a distinto nivel.
- Atrapamientos y aplastamientos.
- Sobre esfuerzos, lesiones y cortes en extremidades.
- Dermatitis por contacto de cemento y cal.

- Contactos eléctricos directos e indirectos.
- Quemaduras en impermeabilizaciones.
- Trabajo en condiciones meteorológicas adversas, incluyendo zonas húmedas o mojadas.

2.3.4 Albañilería y Cerramientos

- Caída de personas, materiales y objetos, tanto al mismo como a distinto nivel.
- Atrapamientos, aplastamientos en medios de elevación y transporte.
- Sobreesfuerzos, lesiones y/o cortes en extremidades.
- Dermatitis por contacto de cemento y cal.
- Contactos eléctricos directos e indirectos.
- Derivados del acceso al lugar de trabajo y de los medios auxiliares usados.

2.3.5 Terminaciones

Dentro de las terminaciones se incluyen alicatados, enfoscados, enlucidos, pintura, carpintería, cerrajería y vidriería.

- Caída de personas, materiales y objetos, tanto al mismo como a distinto nivel.
- Atrapamientos y aplastamientos, también debidos al vuelco de camiones.
- Sobreesfuerzos, lesiones y/o cortes en extremidades.
- Ambientes pobres en oxígeno.
- Inhalación de vapores y gases.
- Radiaciones y derivados de soldadura.
- Quemaduras.
- Derivados del almacenamiento inadecuado de productos combustibles.

2.3.6 Instalaciones

Dentro de este apartado está incluido la electricidad, fontanería, gas, aire acondicionado, calefacción, ascensores, antenas y pararrayos.

- Caída de personas, materiales y objetos, tanto al mismo como a distinto nivel.
- Sobreesfuerzos, lesiones y/o cortes en extremidades.
- Afecciones en la piel.
- Contactos eléctrico directos e indirectos.
- Ambientes pobres en oxígeno.
- Explosiones e incendios.
- Quemaduras.
- Inhalación de vapores y gases.

2.4 Medidas protectoras

El estudio debe contemplar las medidas protectoras para todos los peligros mencionados en el *apartado 8.3*. Estas medidas deben ser tanto para prevenir como para minimizar las consecuencias en caso de que se produzca un accidente.

2.4.1. Sistemas de protección colectiva

2.4.1.1. Movimiento de tierras

- Realización de un estudio geotécnico del terreno para un mejor conocimiento del terreno y evaluar posibles peligros.
- Medidas para localizar y reducir al mínimo los peligros debidos a cables subterráneos y demás sistemas de distribución. En primer lugar obtener la información sobre la situación de las conducciones, ya sea a través de las compañías suministradoras o archivos municipales, etc. Una vez localizadas se señalarán y se adoptarán las medidas de prevención necesarias como

aislamiento, prohibición de acceso, etc. En función del tipo de canalización se consultará la guía técnica correspondiente.

- Utilización de sistema de entibación, blindaje, apeo, taludes u otras medidas para prevenir los riesgos de sepultamiento por desprendimientos de tierras, caídas de personas, tierras, materiales u objetos.
- Sistemas de protección colectiva como sistemas provisionales de protección de borde, redes, toldos, etc. en función del tipo de riesgos existente y de las circunstancias propias de cada caso. Asimismo deberá estar todo cumplimentado con la oportuna señalización.
- Separar adecuadamente el tránsito de vehículos del de operarios, conservando unas vías de circulación adecuadas.

2.4.1.2. Cimentación y Estructuras

- Las estructuras, piezas y elementos similares sólo se podrán montar o desmontar bajo vigilancia, control y dirección de una persona competente. Se deberá disponer de un procedimiento de trabajo para dicho montaje y desmontaje en el que consten el orden de actuaciones a seguir así como los medios de prevención y protección necesarios.
- Se adoptarán medidas para proteger a los operarios de la fragilidad o inestabilidad temporal de la obra. Para ello se utilizarán:
 - Marquesinas rígidas.
 - Barandillas.
 - Pasos o pasarelas.
 - Redes verticales y horizontales.
 - Andamios de seguridad.
 - Escaleras auxiliares y de acceso adecuadas.
 - Cabinas o pórticos de seguridad.
- Las zonas de trabajo y tránsito deben estar correctamente iluminadas, limpias y respetando las distancias de seguridad con las líneas eléctricas.

2.4.1.3. Cubiertas planas, inclinadas, materiales ligeros

- Principalmente se utilizarán medios para prevenir y minimizar las consecuencias de la caída de operarios y objetos:
 - Marquesinas rígidas.
 - Barandillas.
 - Pasos o pasarelas.
 - Redes verticales y horizontales.
 - Andamios de seguridad.
 - Mallazos.
 - Escaleras auxiliares y de acceso adecuadas.
 - Carcasas de resguardos de protección de partes móviles de máquinas.
 - Plataformas de descarga de material.
- Asimismo también deberán estar limpias las zonas de trabajo y de tránsito. Para ello tienen que evacuarse los escombros, habilitar los caminos de circulación y utilizar los andamios adecuados.

2.4.1.4. Albañilería y Cerramientos

- Principalmente se utilizarán medios similares a los de otros peligros para prevenir y minimizar las consecuencias de la caída de operarios y objetos:
 - Marquesinas rígidas.
 - Barandillas.
 - Pasos o pasarelas.
 - Redes verticales y horizontales.
 - Andamios de seguridad.
 - Mallazos.
 - Escaleras auxiliares y de acceso adecuadas.
 - Carcasas de resguardos de protección de partes móviles de máquinas.
 - Plataformas de descarga de material.

2.4.1.5. Terminaciones

- Aparte de las medidas para la caída de personas y objetos deberá mantenerse adecuadamente la maquinaria, con zonas señalizadas de carga y descarga de material.

2.4.2. Equipos de protección individual (EPI's)

En el R.D 773/1997 del 30 de Mayo se incluyen las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. En el artículo 2 se definen los EPI's como "cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin".

El uso de estos equipos debe estar correctamente señalizado, para que todos los visitantes y trabajadores conozcan la obligatoriedad de su uso. El anexo III del Real Decreto 485/1997 establece que las señales deben tener forma redonda, con el pictograma blanco sobre fondo azul, tal y como se ve en la siguiente figura:



Figura 1: Señalización del uso de EPI's (Fuente: Guía Técnica de EPI's del INSHT, página 65)

Los EPI's necesarios para que los operarios estén correctamente protegidos son los siguientes:

- Casco de seguridad.
- Botas o calzado de seguridad.
- Botas de seguridad impermeables.
- Guantes de lona y piel.
- Guantes impermeables.
- Gafas de seguridad y pantallas de soldador.
- Protectores auditivos.
- Cinturón de seguridad y antivibratorio.
- Ropa de protección.
- Otros como mascarillas, guantes de impermeabilización, trajes de agua impermeable.

2.4.2.1. Casco de seguridad

Los cascos de seguridad o de protección tienen la función de proteger la parte superior de la cabeza contra la caída de objetos. También pueden proteger frente a otros riesgos como el contacto eléctrico accidental, salpicaduras, etc. El material de estos es polietileno rígido, están provistos de arnés regulable y bandas de amortiguación

2.4.2.2. Botas o calzado de seguridad

Los botas deben tener resistencia en la punta, normalmente están reforzadas internamente con una chapa metálica. También debe tener otros refuerzos para posibles caídas de objetos. Un factor importante es que la suela sea resistente al deslizamiento. En caso de que se trabaje en ambientes con peligros de acción eléctrica, química o térmica, las botas tendrán un diseño especial.

En ambientes húmedos o con agua se utilizarán botas impermeables. Este tipo de botas están compuestas por caucho y goma, con un revestimiento interior para absorber el sudor.

2.4.2.3. Guante

La función principal de los guantes es la de proteger las manos. Debido a la gran cantidad de accidentes que se pueden sufrir en ellas existe una gran variedad de guantes, en función de la actividad a realizar. Todos los guantes utilizados deben cumplir con la norma UNE EN 420.

- Guantes de protección contra riesgos mecánicos: pueden ser textiles, de elastómeros o de cuero.
- Guantes de protección contra cortes y pinchazos: de malla metálica, textiles y cuero.
- Guantes de protección contra productos químicos: solamente fabricados por elastómeros.
- Guantes de protección contra riesgos térmicos: especialmente para la soldadura y operaciones similares.
- Guantes de protección contra riesgos eléctricos: pueden ser aislantes o para disipar la acumulación de carga electrostática. Se utilizan principalmente manoplas de plástico o elastómeros, estas pueden usarse bajo guantes de protección mecánica.

2.4.2.4. Gafas de seguridad

La función principal de las gafas es la protección ocular y facial. Existen una gran cantidad de gafas en función del tipo de protección, campo de uso y prestaciones. Las gafas utilizadas servirán de protección frente a impactos, partículas y gases, salpicaduras, radiaciones ópticas debidas principalmente a la soldadura y proyección de metales fundidos o sólidos candentes en operaciones a altas temperaturas. En función del tipo de peligro se utilizarán gafas de montura integral, montura universal y pantallas faciales. El material de la gafa depende de la tarea: se utilizarán de vidrio, material orgánico o malla, estas últimas para la protección mecánica.

2.4.2.5. Protectores auditivos

Este tipo de protección puede clasificarse en función de su modo de colocación y funcionamiento. Su selección dependerá del nivel de ruido y su espectro de frecuencia. Los principales serán:

- Orejeras: consisten en dos casquetes que cubren los pabellones auditivos que se adaptan a la cabeza, produciendo un sellamiento acústico mediante unas almohadillas flexibles rellenas de espuma o líquido viscoso.
- Orejeras acopladas a cascos de protección: consisten en dos casquetes unidos a brazos regulables que se fijan en un casco de protección. El conjunto se considera un tipo de protector auditivo específico.
- Cascos acústicos: además de cubrir los pabellones auditivos, estos equipos cubren parte de la cabeza reduciendo la transmisión ósea del sonido al oído interno. Tienen un uso muy específico.
- Tapones: se colocan dentro o a la entrada del conducto auditivo, formando un sellamiento. Existen de diversos tipos y pueden ser reutilizables o desechables.

2.4.2.6. Cinturones

Forman parte del sistema de protección contra caídas. Este sistema está formado por un dispositivo de presión del cuerpo (cinturón) que se conecta a un anclaje mediante un sistema de conexión. En función de la tarea a realizar existen diversos tipos de sistemas:

- Sistema de retención: impide que el usuario alcance zonas en las que existe riesgo de caída de altura, restringiendo su desplazamiento.
- Sistema de sujeción o de posicionamiento: permite al usuario trabajar apoyado en tensión o suspensión de forma que previene una caída libre.
- Sistema de acceso mediante cuerda: permite al usuario acceder o salir del lugar de trabajo, de forma que se previene o detiene una caída libre.
- Sistema anticaídas: detiene la caída libre y limita la fuerza de impacto que actúa sobre el usuario durante la detención de la misma.

2.4.2.7. Ropa de protección

Esta debe ofrecer una protección específica frente a los posibles riesgos, ya que si no lo hace será considerada como ropa de trabajo. En función del tipo de ropa pueden ser prendas individuales como chaquetas, pantalones, etc, o prendas de cuerpo completo como monos y trajes. En esta obra se utilizará:

- Ropa de protección contra la lluvia.
- Ropa de protección contra cortes y pinchazos.
- Ropa de protección contra el calor y la llama.

2.5. Trabajos posteriores

En Real Decreto 1627/1997 también establece que en el estudio básico se han de contemplar previsiones e informaciones útiles para efectuar en su día previsibles trabajos, siempre dentro de las debidas condiciones de seguridad y salud. Las principales operaciones son las de conservación, reparación y mantenimiento.

Los riesgos más frecuentes son los siguientes:

- Caídas desde el mismo o distinto nivel, por huecos y resbalones.
- Contactos eléctricos por accionamiento inadvertido y modificación o deterior de sistemas eléctricos.
- Explosión de combustibles mal almacenados.
- Fuego por combustibles, modificación de elementos de instalación eléctrica o por acumulación de desechos peligrosos.
- Impacto de elementos de la maquinaria, por desprendimientos de elementos constructivos, por deslizamiento de objetos, por roturas debidas a la presión del viento, por roturas por exceso de carga.
- Toxicidad de productos almacenados.

En estos trabajos se tendrán en cuenta todas las medidas preventivas y protecciones individuales usadas en trabajos previos, y a mayores, se añadirán:

- Andamiajes, escalerillas y demás dispositivos adecuados y seguros.
- Anclajes de cinturones fijados a la pared para la limpieza de ventanas no accesibles.
- Anclajes de cinturones para reparación de tejados y cubiertas.
- Anclajes para poleas para izado de muebles en mudanzas.

A los equipos de protección individual se añadirá:

- Cinturones de seguridad y cables de longitud y resistencia adecuada para limpiadores de ventanas.
- Cinturones de seguridad y resistencia adecuada para reparar tejados y cubiertas inclinadas.

2.6. Obligaciones de las principales partes de la obra

En este apartado se indicarán las obligaciones del promotor, coordinador en materia de seguridad y salud, contratistas y subcontratista y trabajadores autónomos. Las obligaciones de estas partes están recogidas en su mayoría en el Real Decreto 1627/1997.

2.6.1. Obligaciones del promotor

El Promotor es cualquier persona físico jurídica por cuenta de la cual se realice una obra.

El Coordinador de Seguridad y Salud será designado por el Promotor antes del inicio de los trabajos, solamente en caso de que en la ejecución de la obra intervengan más de una empresa, o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos.

Este Coordinador no exime al Promotor de sus responsabilidades. El Promotor deberá efectuar un aviso a la autoridad laboral competente antes del comienzo de las obras, que se redactará con arreglo a lo dispuesto en el Anexo III del Real Decreto 1627/1997 debiendo exponerse en la obra de forma visible y actualizándose si fuera necesario.

2.6.2. Coordinador en materia de seguridad y salud

El Coordinador en materia de seguridad y salud no tiene por qué ser el mismo durante la elaboración del proyecto que durante la ejecución de la obra, pero en algunos casos podrán recaer ambas funciones en la misma persona.

El Coordinador durante la ejecución de la obra es el técnico competente integrado en la dirección facultativa, designado por el promotor para llevar a cabo las tareas que se mencionan en el artículo 9 del Real Decreto 1627/1997. Dentro de estas tareas se encuentran las siguientes funciones:

- Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad.
- Coordinar las actividades de la obra para garantizar que las empresas y personal actuante apliquen de manera coherente y responsable los principios de acción preventiva que se recogen en el Artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales durante la ejecución de la obra, y en particular, en las actividades a que se refiere el Artículo 10 del Real Decreto 1627/1.997.
- Aprobar el Plan de Seguridad y Salud elaborado por el contratista y, en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo.
- Organizar la coordinación de actividades empresariales previstas en el Artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.
- Adoptar las medidas necesarias para que solo las personas autorizadas puedan acceder a la obra.

2.6.3. Obligaciones de contratistas y subcontratistas

El Contratista es la persona física o jurídica que asume contractualmente ante el promotor, con medios humanos y materiales, propios o ajenos, el compromiso de ejecutar la totalidad o parte de las obras con sujeción al proyecto y al contrato.

El Subcontratista es la persona física o jurídica que asume contractualmente ante el contratista, empresario principal, el compromiso de realizar determinadas partes o instalaciones de la obra, con sujeción al proyecto por el cual se rige su ejecución.

El contratista y subcontratistas estarán obligados a:

- Aplicar los principios de acción preventiva que se recogen en el Artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos laborales y en particular:
 - El mantenimiento de la obra en buen estado de limpieza.
 - La elección del emplazamiento de los puestos y áreas de trabajo, teniendo en cuenta sus condiciones de acceso y la determinación de las vías o zonas de desplazamiento o circulación.
 - La manipulación de distintos materiales y la utilización de medios auxiliares.
 - El mantenimiento, el control previo a la puesta en servicio y control periódico de las instalaciones y dispositivos necesarios para la ejecución de las obras, con objeto de corregir los defectos que pudieran afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.
 - La delimitación y acondicionamiento de las zonas de almacenamiento y depósito de materiales, en particular si se trata de materias peligrosas.
 - El almacenamiento y evacuación de residuos y escombros.
 - La recogida de materiales peligrosos utilizados.
 - La adaptación del período de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.

Documento IV. Estudios con entidad propia

- La cooperación entre todos los intervinientes en la obra.
- Las interacciones o incompatibilidades con cualquier otro trabajo o actividad.
- Cumplir y hacer cumplir a su personal lo establecido en el Plan de Seguridad y Salud.
- Cumplir la normativa en materia de prevención de riesgos laborales, teniendo en cuenta las obligaciones sobre coordinación de las actividades empresariales previstas en el Artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, así como cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el Anexo IV del Real Decreto 1627/1.997.
- Informar y proporcionar las instrucciones adecuadas a los trabajadores autónomos sobre todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiera a seguridad y salud.
- Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del Coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.

Serán responsables de la ejecución correcta de las medidas preventivas fijadas en el Plan y en lo relativo a las obligaciones que le correspondan directamente o, en su caso, a los trabajos autónomos por ellos contratados. Además responderán solidariamente de las consecuencias que se deriven del incumplimiento de las medidas previstas en el Plan.

Las responsabilidades del Coordinador, Dirección Facultativa y el Promotor no eximirán de sus responsabilidades a los contratistas y a los subcontratistas.

2.6.4. Obligaciones de los trabajadores autónomos

Los trabajadores autónomos son las personas físicas distintas del contratista y del subcontratista, que realiza de forma personal y directa una actividad profesional, sin sujeción a un contrato de trabajo, y que asume contractualmente ante el promotor, el contratista o el subcontratista el

Documento IV. Estudios con entidad propia

compromiso de realizar determinadas partes o instalaciones de la obra. En caso de que emplee en la obra a trabajadores por cuenta ajena tendrá la consideración o subcontratista a efectos del Real Decreto 1627/1997.

Los trabajadores autónomos están obligados a:

- Aplicar los principios de la acción preventiva que se recoge en el Artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, y en particular:
 - El mantenimiento de la obra en buen estado de orden y limpieza.
 - El almacenamiento y evacuación de residuos y escombros.
 - La recogida de materiales peligrosos utilizados.
 - La adaptación del período de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.
 - La cooperación entre todos los intervinientes en la obra.
 - Las interacciones o incompatibilidades con cualquier otro trabajo o actividad.
- Cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el Anexo IV del Real Decreto 1627/1.997.
- Ajustar su actuación conforme a los deberes sobre coordinación de las actividades empresariales previstas en el Artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, participando en particular en cualquier medida de su actuación coordinada que se hubiera establecido.
- Cumplir con las obligaciones establecidas para los trabajadores en el Artículo 29, apartados 1 y 2 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Utilizar equipos de trabajo que se ajusten a lo dispuesto en el Real Decreto 1215/ 1.997.

- Elegir y utilizar equipos de protección individual en los términos previstos en el Real Decreto 773/1.997.
- Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del Coordinador en materia de seguridad y salud.

Los trabajadores autónomos deberán cumplir lo establecido en el Plan de Seguridad y Salud.

2.7. Plan de Seguridad y Salud en el trabajo

El contratista, antes del inicio de la obra, elaborará un Plan de Seguridad y Salud en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en este Estudio Básico de Seguridad y Salud y en función de su propio sistema de ejecución de obra. En dicho Plan se incluirán, en su caso, las propuestas de medidas alternativas de prevención que el contratista proponga con la correspondiente justificación técnica, y que no podrán implicar disminución de los niveles de protección previstos en este Estudio Básico.

El Plan deberá aprobarse antes del inicio de la obra por el Coordinador en materia de Seguridad y Salud. Aun así, podrá ser modificado en función del proceso de ejecución, de la evolución de los trabajos y de las posibles incidencias o modificaciones que puedan surgir a lo largo de la obra, siempre con la aprobación del Coordinador o de la Dirección Facultativa.

Quienes intervengan en la ejecución de la obra, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas intervinientes en la misma y los representantes de los trabajadores, podrán presentar por escrito y de manera razonada, las sugerencias y alternativas que estimen oportunas. El Plan estará en la obra a disposición de la Dirección Facultativa.

2.8. Libro de incidencias

En cada centro de trabajo existirá, con fines de control y seguimiento del Plan de Seguridad y Salud, un Libro de Incidencias que constará de hojas por duplicado y que será facilitado por el Colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el Plan de Seguridad y Salud.

Deberá mantenerse siempre en obra y en poder del Coordinador. Tendrán acceso al Libro, la Dirección Facultativa, los contratistas y subcontratistas, los trabajadores autónomos, las personas con responsabilidades en materia de prevención de las empresas intervinientes, los representantes de los trabajadores, y los técnicos especializados de las Administraciones públicas competentes en esta materia, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo.

Sólo se podrán hacer anotaciones en el Libro de Incidencias relacionadas con el cumplimiento del Plan. Efectuada una anotación en el Libro de Incidencias, el Coordinador estará obligado a remitir en el plazo de veinticuatro horas una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia de Lugo. Igualmente notificará dichas anotaciones al contratista y a los representantes de los trabajadores.

2.9. Paralización de los trabajos

Cuando el Coordinador y durante la ejecución de las obras, observase incumplimiento de las medidas de seguridad y salud, advertirá al contratista y dejará constancia de tal incumplimiento en el Libro de Incidencias, quedando facultado para, en circunstancias de riesgo grave e inminente para la seguridad y salud de los trabajadores, disponer la paralización de trabajos o, en su caso, de la totalidad de la obra.

Dará cuenta de este hecho a los efectos oportunos, a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia de Lugo. Igualmente notificará al

contratista, y en su caso a los subcontratistas y/o autónomos afectados de la paralización y a los representantes de los trabajadores.

2.10. Derechos de los trabajadores

Los contratistas y subcontratistas deberán garantizar que los trabajadores reciban una información adecuada y comprensible de todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y salud en la obra.

Una copia del Plan de Seguridad y Salud y de sus posibles modificaciones, a los efectos de su conocimiento y seguimiento, será facilitada por el contratista a los representantes de los trabajadores en el centro de trabajo.

2.11. Disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben aplicarse a las normas

Las obligaciones previstas en las tres partes del Anexo IV del Real Decreto 1627/1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, se aplicarán siempre que lo exijan las características de la obra o de la actividad, las circunstancias o cualquier riesgo.



Documento V. Presupuesto

Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Método factorial	4
2.1. Estimación de los costes de equipos mecánicos	4
2.2. Estimación del presupuesto mediante el método factorial	7
3. Presupuestos parciales	10
3.1. Presupuesto Parcial 1: Equipos mecánicos	10
3.2. Presupuesto Parcial 2: Obra Civil y Estructura Metálica	11
3.3. Presupuesto Parcial 3: Tuberías, Aislamiento y Pintura	12
3.4. Presupuesto Parcial 4: Instalación Eléctrica	13
3.5. Presupuesto Parcial 5: Instrumentación y Control.....	14
3.6. Presupuesto Parcial 6: Seguridad y Salud	15
3.7. Presupuesto Parcial 7: Varios.....	16
4. Presupuesto Total	17

1. Introducción

En el presente documento se incluyen los precios de los equipos y demás elementos que conforman la planta de Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos. La suma de todos ellos es el presupuesto total al que asciende la construcción de la planta.

El presupuesto global se encuentra desglosado en los siguientes presupuestos parciales:

- Equipos mecánicos. En este apartado se incluyen los costes de cada equipo, así como el coste de su montaje.
- Obra civil y estructura metálica. Incluye el movimiento de tierras, las cimentaciones, maquinaria, y mano de obra.
- Tuberías, aislamiento, y pintura. Esta partida alzada se corresponde con la instalación del entramado de tuberías, el aislamiento adecuado de los equipos, y el pintado de aquellos que lo requieran.
- Instalación eléctrica. Esta partida incluye la instalación del cableado y los equipos necesarios que las exigencias de los equipos implican, así como su montaje.
- Instrumentación y control. Engloba tanto los materiales y equipos, como el montaje de los mismos.
- Off-sites (servicios auxiliares). Incluye edificios auxiliares, vías y sistemas de comunicación, sistemas de evacuación de residuos, dispositivos de carga/descarga y vehículos de planta, almacenamiento de productos, combustibles, agua, etc. que no están conectados directamente con el proceso.
- Utilidades. Incluye el equipamiento para generación y distribución de electricidad, vapor, agua de proceso, agua de refrigeración, agua del sistema antiincendios, y de refrigeración.
- Seguridad y salud. Es la partida correspondiente a la instalación de sistemas de seguridad y otros que garanticen la integridad de los trabajadores, tanto

en lo que se refiere a la obra como en la futura operación normal de la misma.

2. Método factorial

El presupuesto recoge el capital (inmovilizado material) necesario para la compra tanto de bienes materiales como de servicios durante el desarrollo y construcción de la planta. Para ello se emplea el método factorial, que permite estimar dicha inversión a partir del coste de los equipos mecánicos.

2.1. Estimación de los costes de equipos mecánicos

El coste de un equipo mecánico se representa mediante la Ecuación 1.

$$C_E = C_B \cdot \left(\frac{Q}{Q_B}\right)^M \quad [1]$$

Donde:

- C_E es el coste de un equipo con capacidad Q , de acero al carbono, para temperaturas y presiones moderadas
- C_B es el coste de un equipo con capacidad Q_B , conocido y tomado como referencia
- M es una constante característica

Los valores de C_B , Q_B y M se pueden obtener a partir de Tablas específicas para cada equipo.

Un ejemplo de las Tablas utilizadas son las Tabla 1 y 2. Para calcular el coste de los equipos que se encuentran fuera de los límites que marcan estas Tablas para ser tomadas como referencia, se utiliza un programa de costes. Hay que aclarar que se comprobó que dicho programa proporciona los mismos valores que se obtienen por medio de estas Tablas para los equipos que entran dentro de los límites de estas. Por este motivo, se considera que el programa y las Tablas son compatibles.

Tabla 1. Valores para el método factorial de diferentes equipos (1) (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Equipment	Material of construction	Capacity measure	Base size Q_B	Base cost C_B (\$)	Size range	Cost exponent M
Agitated reactor	CS	Volume (m^3)	1	1.15×10^4	1–50	0.45
Pressure vessel	SS	Mass (t)	6	9.84×10^4	6–100	0.82
Distillation column (Empty shell)	CS	Mass (t)	8	6.56×10^4	8–300	0.89
Sieve trays (10 trays)	CS	Column diameter (m)	0.5	6.56×10^3	0.5–4.0	0.91
Valve trays (10 trays)	CS	Column diameter (m)	0.5	1.80×10^4	0.5–4.0	0.97
Structured packing (5 m height)	SS (low grade)	Column diameter (m)	0.5	1.80×10^4	0.5–4.0	1.70
Scrubber (Including random packing)	SS (low grade)	Volume (m^3)	0.1	4.92×10^3	0.1–20	0.53
Cyclone	CS	Diameter (m)	0.4	1.64×10^3	0.4–3.0	1.20
Vacuum filter	CS	Filter area (m^2)	10	8.36×10^4	10–25	0.49
Dryer	SS (low grade)	Evaporation rate ($kg\ H_2O \cdot h^{-1}$)	700	2.30×10^5	700–3000	0.65
Shell-and-tube heat exchanger	CS	Heat transfer area (m^2)	80	3.28×10^4	80–4000	0.68
Air-cooled heat exchanger	CS	Plain tube heat transfer	200	1.56×10^5	200–2000	0.89

Tabla 2. Valores para el método factorial de diferentes equipos (2) (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Equipment	Material of construction	Capacity measure	Base size Q_B	Base cost C_B (\$)	Size range	Cost exponent M
Centrifugal pump (Small, including motor)	SS (high grade)	Power (kW)	1	1.97×10^3	1–10	0.35
Centrifugal pump (Large, including motor)	CS	Power (kW)	4	9.84×10^3	4–700	0.55
Compressor (Including motor)		Power (kW)	250	9.84×10^4	250–10,000	0.46
Fan (Including motor)	CS	Power (kW)	50	1.23×10^4	50–200	0.76
Vacuum pump (Including motor)	CS	Power (kW)	10	1.10×10^4	10–45	0.44
Electric motor		Power (kW)	10	1.48×10^3	10–150	0.85
Storage tank (Small atmospheric)	SS (low grade)	Volume (m^3)	0.1	3.28×10^3	0.1–20	0.57
Storage tank (Large atmospheric)	CS	Volume (m^3)	5	1.15×10^4	5–200	0.53
Silo	CS	Volume (m^3)	60	1.72×10^4	60–150	0.70
Package steam boiler (Fire-tube boiler)	CS	Steam generation ($kg \cdot h^{-1}$)	50,000	4.64×10^5	50,000–350,000	0.96
Field erected steam boiler (Water-tube boiler)	CS	Steam generation ($kg \cdot h^{-1}$)	20,000	3.28×10^5	10,000–800,000	0.81
Cooling tower (Forced draft)		Water flowrate ($m^3 \cdot h^{-1}$)	10	4.43×10^3	10–40	0.63

CS = carbon steel; SS (low grade) = low-grade stainless steel, for example, type 304; SS (high grade) = high-grade stainless steel, for example, type 316

Si las correlaciones de costes disponibles no son actuales, es necesario aplicar un índice de corrección al coste dado por la Ecuación 2 para estimar el valor actual del equipo.

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\text{Índice 1}}{\text{Índice 2}} \quad [2]$$

Donde:

- C_1 es el coste de un equipo en el año 1
- C_2 es el coste de un equipo en el año 2
- Índice 1 es el índice de costes en el año 1
- Índice 2 es el índice de costes en el año 2

Los índices de costes actualizados al año 2013 están disponibles en la revista Chemical Engineering.

Hay que tener en cuenta que el coste de un equipo depende del material de construcción, de la presión y temperatura de diseño.

Las Tablas de costes disponibles están referidas a condiciones moderadas de operación, por lo que es necesario aplicar factores de corrección de material, presión o temperatura al coste obtenido en las condiciones estándar en caso de que se desee determinar el valor de un equipo en situaciones diferentes y con un material distinto al que nos indican dichas tablas.

$$C_E = C_B \cdot \left(\frac{Q}{Q_B}\right)^M \cdot f_M \cdot f_P \cdot f_T \quad [3]$$

Donde:

- f_M es el factor de corrección del material
- f_P es el factor de corrección de la presión
- f_T es el factor de corrección de la temperatura

En la Tabla 3 se recogen los factores de corrección para los materiales de construcción más utilizados. Estos se tratan de los valores medios, ya que el valor de estos factores varía con el tipo de unidad. En las Tablas 4 y 5 Se indican factores de corrección de presión y temperatura estándar.

Tabla 3. Factores de corrección de material (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Material	f_M
Acero al carbono	1,0
Aluminio	1,3
Acero inoxidable (Bajo Grado)	2,4
Acero inoxidable (Alto Grado)	3,4
Hastelloy C	3,6

Tabla 4. Factores de corrección de presión (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Presión de diseño (bar)	f_P
0,01	2,0
0,1	1,0
0,5 a 7	1,0
50	1,5
100	1,9

Tabla 5. Factores de corrección de temperatura (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Temperatura de diseño (°C)	f_T
0-100	1,0
300	1,6
500	2,1

2.2. Estimación del presupuesto mediante el método factorial

La contribución de cada presupuesto parcial (partida) al presupuesto total se puede obtener multiplicando el coste total de los equipos mecánicos por un factor de instalación apropiado al ítem en cuestión.

En la Tabla 6 se indican los factores típicos.

Tabla 6. Factores para las diferentes partidas (Fuente: Sinnott.R, Towler.G. "Chemical Engineering Design". 4ª Ed. Elsevier. 2008. Londres)

Ítem	Factor de instalación
Equipos mecánicos	1,0
Obra civil, f_{ER}	0,4
Tuberías, f_{PIP}	0,7
Instrumentación y control, f_{INS}	0,2
Instalación eléctrica, f_{ELEC}	0,1
Utilidades, f_{UTIL}	0,5
Off-sites, f_{OS}	0,2
Seguridad y salud, f_{SS}	0,1

Las contribuciones porcentuales mostradas en la Tabla 6 se basan en acero al carbono como material de construcción, así como temperaturas y presiones moderadas. Dado que en la planta se utilizan equipos que operan en condiciones de altas presiones y/o temperaturas o contruidos con otros materiales (acero inoxidable) el presupuesto debe ser ajustado.

Estas condiciones afectan al coste mecánico de los equipos, y por consiguiente al de las tuberías asociadas a ellos. Por lo tanto, los factores de corrección de las Tablas 3, 4, 5, deben aplicarse sólo a los equipos mecánicos y a las tuberías.

El presupuesto total se puede calcular por medio de la Ecuación 4:

$$P = \sum [f_M \cdot f_P \cdot f_T \cdot (1 + f_{PIP})] \cdot C_{Ei} + (f_{ER} + f_{INS} + f_{ELEC} + f_{UTIL} + f_{OS} + f_{SS}) \cdot \sum C_{Ei} \quad [4]$$

Donde:

- P = presupuesto total
- $C_{E,i}$ = coste del equipo i en acero al carbono y condiciones moderadas

Los pasos para calcular el presupuesto total son los siguientes.

1. Listado del equipo principal de la planta con su capacidad.

2. Se estima el coste para cada uno de ellos en las condiciones de operación como ya se explicó anteriormente (Ecuación 1).
3. Ajustar los costes a una base temporal común utilizando índices de costes (Ecuación 2).
4. Convertir los costes a costes de acero al carbono, presiones y temperaturas moderadas.
5. Seleccionar los factores adecuados para estimar los costes de cada partida a partir de la Tabla 5.
6. Se aplica la Ecuación 4 para estimar el presupuesto total.

3. Presupuestos parciales

3.1. Presupuesto Parcial 1: Equipos mecánicos

PRESUPUESTO PARCIAL Nº1: Equipos mecánicos				
Ítem	Descripción	Cantidad	P.Unitario(€)	Precio(€)
1.1	Intercambiador E-201	1	73.124,18	73.124,18
1.2	Intercambiador E-202	1	18.619,58	18.619,58
1.3	Intercambiador E-203	1	22.343,50	22.343,50
1.4	Intercambiador E-204	1	9.455,71	9.455,71
1.5	Intercambiador E-205	1	10.389,61	10.389,61
1.6	Intercambiador E-206	1	9.922,66	9.922,66
1.7	Bomba P-201 A/B	2	19.845,32	39.690,65
1.8	Bomba P-202 A/B	2	19.845,32	39.690,65
1.9	Bomba P-203 A/B	2	19.845,32	39.690,65
1.10	Bomba P-204 A/B	2	19.845,32	39.690,65
1.11	Bomba P-205 A/B	2	19.845,32	39.690,65
1.12	Bomba P-206 A/B	2	19.845,32	39.690,65
1.13	Bomba P-207 A/B	2	19.845,32	39.690,65
1.14	Bomba P-208 A/B	2	19.845,32	39.690,65
1.15	Reactor R-201	1	104.946,74	104.946,74
1.16	Columna T-201	1	119.071,94	119.071,94
1.17	Columna T-202	1	32.253,32	32.253,32
1.18	Tanque almacenamiento TK-201	1	55.099,96	55.099,96
1.19	Tanque almacenamiento TK-202	1	38.158,47	38.158,47
1.20	Recipiente enfriador X-201	1	14.883,99	14.883,99
1.21	Horno H-201	1	881.950,97	881.950,97
TOTAL (€)			1.707.745,80 €	

3.2. Presupuesto Parcial 2: Obra Civil y Estructura Metálica

PRESUPUESTO PARCIAL N°2: Obra Civil y Estructura Metálica			
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio(€)
2.1	Movimiento de tierras	Partida alzada	139.801,25
	Cimentaciones		
	Materiales y maquinaria		
	Mano de obra		
TOTAL (€)			139.801,25

3.3. Presupuesto Parcial 3: Tuberías, Aislamiento y Pintura

PRESUPUESTO PARCIAL N°3: Tuberías, Aislamiento y Pintura			
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio(€)
3.1	Tuberías	Partida alzada	1.195.422,06
	Aislamiento		
	Pinturas		
TOTAL (€)			1.195.422,06

3.4. Presupuesto Parcial 4: Instalación Eléctrica

PRESUPUESTO PARCIAL Nº4: Instalación Eléctrica			
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio(€)
4.1	Cableado y otros elementos adicionales	Partida alzada	34.950,31
	Montaje		
TOTAL (€)			34.950,31

3.5. Presupuesto Parcial 5: Instrumentación y Control

PRESUPUESTO PARCIAL Nº5: Instrumentación y Control			
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio(€)
5.1	Materiales y equipo	Partida alzada	69.900,63
	Montaje		
TOTAL (€)			69.900,63

3.6. Presupuesto Parcial 6: Seguridad y Salud

PRESUPUESTO PARCIAL Nº6: Seguridad y Salud			
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio(€)
6.1	Seguridad y salud en obra	Partida alzada	35.705,61
	Seguridad en planta		
	Higiene industrial		
TOTAL (€)			35.705,61

3.7. Presupuesto Parcial 7: Varios

PRESUPUESTO PARCIAL Nº7: Varios			
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio(€)
7.1	Utilidades	Partida alzada	174.751,57
7.2	Off-sites	Partida alzada	69.900,63
TOTAL (€)			244.652,20

4. Presupuesto Total

El presupuesto total de la planta es la suma de todos los presupuestos parciales detallados anteriormente.

Descripción	PRECIO(€)
Equipos mecánicos	1.707.745,80
Obra civil y estructura metálica	139.801,25
Tuberías, aislamiento y pintura	1.195.422,06
Instalación eléctrica	34.950,31
Instrumentación y control	69.900,63
Seguridad y salud	35.705,61
Varios	244.652,20
PRESUPUESTO TOTAL	3.428.178,00

El presupuesto total de la obra de la planta de *Producción de aceite seco a partir de residuos vacunos* asciende a la cantidad de **TRES MILLONES CUATROCIENTOS VEINTIOCHO MIL CIENTO SETENTA Y OCHO EUROS.**

Santiago de Compostela, Septiembre 2014

Los autores del proyecto

Mateo Bruno Pastur Romay

Óscar Pombar Álvarez

Adrián Soto Paz