

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE  
PROCESADO DE CASCARILLA DE ARROZ  
POR HIDRÓLISIS ÁCIDA

Autora: Violeta VADILLO MÁRQUEZ

Fecha: Junio 2006







## **INTRODUCCIÓN**

El crecimiento de la población, la mejora de la calidad de vida, el aumento de la industrialización y el progreso actual y futuro hacen que el consumo de energía experimente un aumento incesante. Esta demanda de energía se ha estado cubriendo durante las últimas décadas con las reservas de carbón y petróleo, que se prevé que comiencen a escasear a partir de aproximadamente el año 2010. Como consecuencia de este escenario energético y, teniendo en cuenta la dependencia del petróleo que presentan las economías de los países industrializados, se ha despertado en las últimas décadas un enorme interés en la investigación de nuevas fuentes de energías alternativas y más concretamente la producción de bioetanol (sustituto de las gasolinás) a partir de residuos lignocelulósicos. Es precisamente en esta línea en la que se inserta el presente Proyecto Fin de Carrera.

## **OBJETIVOS**

El objeto del presente proyecto es el procesado de 4000 kg/día de cascarilla de arroz mediante hidrólisis ácida para la obtención de azúcares simples, que son susceptibles de transformarse mediante fermentación en bioetanol, esta última transformación no se realizará en la planta piloto objeto del presente proyecto.

## **MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS**

La materia prima fundamental en el proceso es cascarilla de arroz, aunque también se emplean en la planta piloto ácido sulfúrico e hidróxido sódico.

El producto de la planta de proceso está constituido por una corriente acuosa concentrada en glucosa, con xilosa, en menor concentración.

## PROCESO

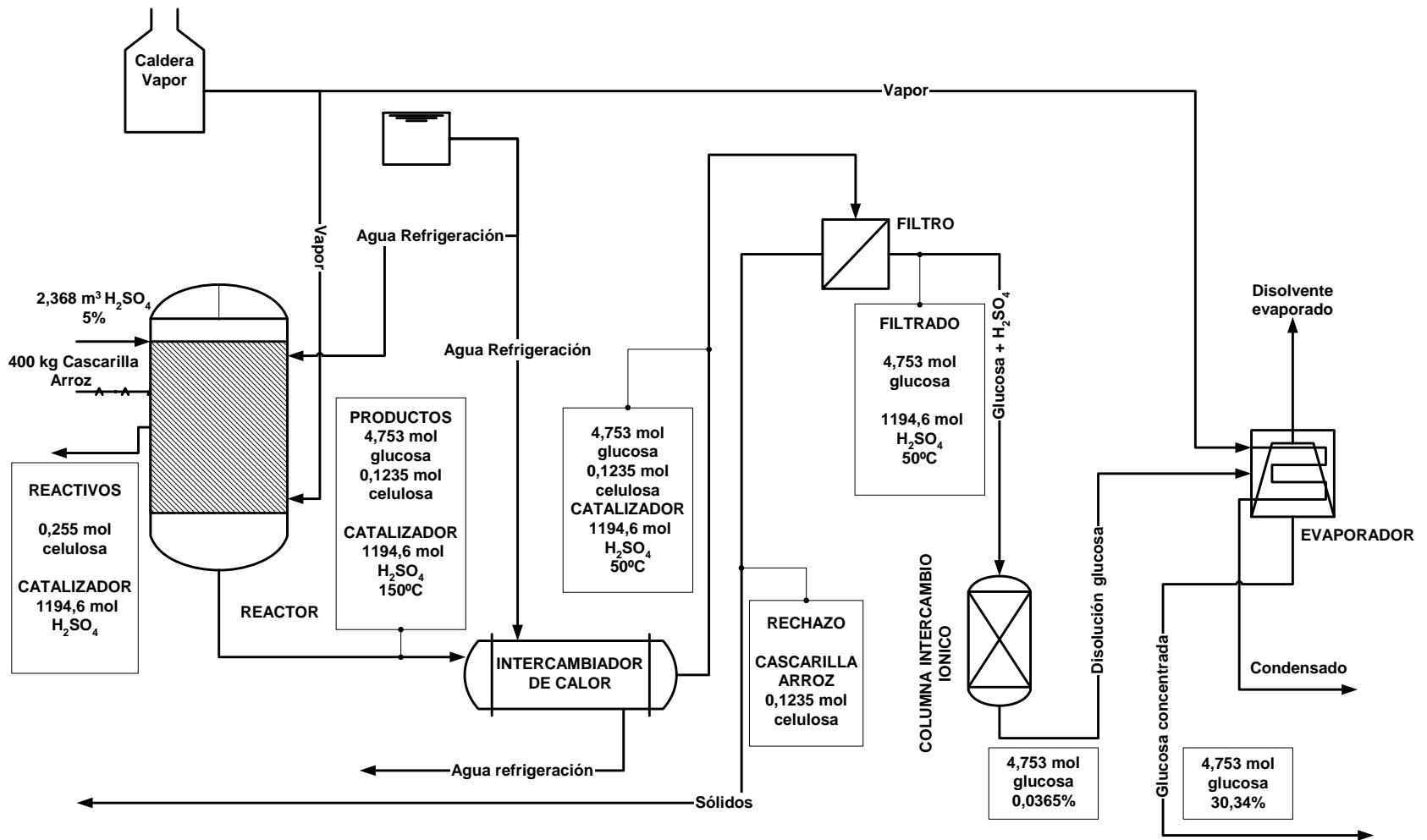
La planta piloto consta principalmente de 10 reactores discontinuos, en los cuales se produce la reacción de hidrólisis ácida de la cascarilla de arroz, un intercambiador de calor, un filtro, una columna de intercambio iónico y un evaporador. El proceso, así como su balance de materia se muestran en la figura adjunta.

La planta procesará 4000 kg/día de cascarilla de arroz, que llegará en camiones de 40t a razón de un camión de cascarilla de arroz cada 10 días. La cascarilla de arroz se almacenará en 4 silos de 80 m<sup>3</sup> cada uno, cuyas dimensiones serán 8 metros de alto y 4 metros de diámetro fabricados en hormigón armado. Esta capacidad permite disponer de 40000 kg de cascarilla de arroz almacenados.

Desde el silo de almacenamiento de cascarilla de arroz se transportará la cascarilla hacia los reactores mediante un tornillo transportador de 0,23 m de diámetro.

El ácido sulfúrico llegará a la planta piloto en camiones cisternas y se almacenará en depósitos (4 m de alto y 2m de diámetro) de acero inoxidable 304 protegidos con un recubrimiento interior de teflón de manera que cada reactor dispondrá de un depósito de ácido sulfúrico al 5%.





Esquema de la planta piloto de procesamiento de cascarilla de arroz por hidrólisis ácida con balance de materia.

El proceso de hidrólisis ácida se desarrollará en un reactor discontinuo de lecho comprimido construido en acero inoxidable 316 con el interior recubierto de teflón. Dicho proceso se realizará en varias etapas:

1. Carga de reactivos (cascarilla de arroz y ácido sulfúrico)
2. Establecimiento de las condiciones de operación
3. Reacción
4. Vuelta a condiciones ambientales
5. Descarga.

Es importante señalar que los 10 reactores no van a operar simultáneamente sino con un desfase de una hora con la idea de que el proceso, a partir de la etapa de reacción se asemeje lo máximo posible a un proceso continuo.

El reactor, que ha sido diseñado expresamente para esta reacción de hidrólisis de la cascarilla de arroz, está formado por dos virolas de 1,4 m de diámetro y 1,5 m de longitud, con tapa inferior cónica y superior elipsoidal. Asimismo, dispone de un sistema de compresión del lecho para mantener constante la porosidad del lecho durante la fase de reacción. El diseño del reactor se ha realizado teniendo en cuenta que va a operar a 5 bar y 150°C. Es importante resaltar que el diseño de este reactor es de carácter innovador puesto que, por ahora, sólo se ha investigado a escala de laboratorio.

A pesar de que una vez finalizada la reacción, se despresuriza el reactor y se enfría con agua que circula a través de la camisa, se ha diseñado un intercambiador de calor para asegurar que el enfriamiento es efectivo. Esto se debe al carácter fuertemente corrosivo de la corriente de salida del reactor, dado su contenido en ácido sulfúrico, que se incrementa con la temperatura. Además, tanto el filtro rotativo a vacío, como la resina empaquetada en la columna de intercambio iónico no permiten la operación a temperaturas superiores a 60°C.

El mencionado intercambiador, construido en acero inoxidable 316, opera con agua de refrigeración por el lado de la carcasa y la corriente a enfriar circula por el lado de los tubos.

La corriente producto del reactor contiene además un 7,6% de sólidos en suspensión procedentes de la degradación parcial de la cascarilla de arroz. Para retirar estos sólidos se emplea un filtro rotatorio a vacío.

Una vez filtrada la corriente de efluente del reactor, se precisa retirar el ácido sulfúrico mediante una columna de intercambio iónico, como paso previo a su evaporación. La columna, que se regenera con sosa, posee un lecho de resina con la capacidad de retener el ácido sulfúrico. La corriente de salida de la regeneración de la resina, rica en ácido, se dirigirá hacia otra columna de intercambio iónico en la que se procederá a su recuperación, lo que además de repercutir en la economía global del proceso, contribuirá a eliminar una corriente residual potencialmente contaminante. El diseño de la columna de regeneración de ácido será objeto de un futuro PFC.

Como se ha indicado previamente, es necesario incrementar la concentración de glucosa para proteger estos azúcares del ataque de hongos y evitar que ocurra una fermentación no deseada. Para ello, se diseña un evaporador de triple efecto de película descendente construido en acero inoxidable 316, en el que se realiza la concentración de la corriente de glucosa.

## **CONCLUSIONES**

Como conclusión, destacar que se ha partido de la necesidad de diseñar un proceso de producción de bioetanol, y se ha diseñado de manera que proporciona una solución viable tanto tecnológica como económicamente, dando respuesta a la demanda social existente de fuentes de energía renovables de bajo impacto ambiental. Dicho proceso presenta como valor añadido la generación de diversos puestos de trabajo, tanto directos en la propia planta como indirectos en la manipulación y transporte de las materias primas y productos.



## ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
1 VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	6
2 ANTECEDENTES DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS.....	27
3 MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS .....	29
4 PROCESADO DE CASCARILLA DE ARROZ POR HIDRÓLISIS ÁCIDA .....	34
5 PROCESO DE REACCIÓN .....	38
6 OTRAS UNIDADES DE PROCESO .....	48
7 SISTEMA DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS .....	68
8 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO .....	76
9 UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA PILOTO .....	82
10 MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD .....	84
11 PLANIFICACIÓN .....	116
12 LEGISLACIÓN.....	117
13 ESTUDIO ECONÓMICO.....	122
14 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO EN LA PLANTA.....	131
15 BIBLIOGRAFÍA.....	140
16 ANEXOS.....	146

ÍNDICE.....	1
1 VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	6
1.1 Viabilidad técnica: objeto y justificación del proyecto.....	6
1.1.1 Objeto del proyecto fin de carrera.....	6
1.1.2 Situación energética actual.....	6
1.1.3 Biocarburantes.....	7
1.1.4 Perspectivas futuras del bioetanol en el mercado actual.....	9
1.1.5 Materias primas para la producción de bioetanol.....	13
1.1.6 Selección de la cascarilla de arroz.....	16
1.1.7 Destino actual de la cascarilla de arroz.....	20
1.1.8 Selección de alternativas.....	20
1.1.9 Conclusión.....	26
1.2 Viabilidad legal.....	26
1.3 Viabilidad económica.....	26
2 ANTECEDENTES DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS.....	27
3 MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.....	29
3.1 Introducción.....	29
3.2 Caracterización de la cascarilla de arroz.....	29
3.3 La celulosa.....	31
3.4 La glucosa.....	32
3.5 El catalizador: ácido sulfúrico.....	32
4 PROCESADO DE CASCARILLA DE ARROZ POR HIDRÓLISIS ÁCIDA.....	34
4.1 Esquema de la planta piloto.....	34
4.2 Recepción de la materia prima.....	35
4.3 Almacenamiento de materias primas.....	35
4.4 Reacción.....	35
4.5 Enfriamiento.....	36
4.6 Filtración.....	36
4.7 Intercambio iónico.....	37
4.8 Evaporación.....	37
5 PROCESO DE REACCIÓN.....	38
5.1 Cinética de la reacción.....	38
5.2 Diseño del reactor de lecho comprimido.....	42
5.2.1 Aspectos generales de diseño.....	42
5.2.2 Sistema de compresión del lecho.....	43
5.2.3 Calentamiento del reactor.....	43
5.2.4 Enfriamiento del reactor.....	44
5.2.5 Material de construcción del reactor.....	45
5.2.6 Aislamiento térmico.....	45
5.2.7 Espesores.....	46
5.2.8 Registro de inspección.....	46
5.2.9 Válvula de seguridad.....	47
6 OTRAS UNIDADES DE PROCESO.....	48
6.1 INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	48
6.1.1 Introducción.....	48
6.1.2 Caracterización de la corriente de entrada.....	49
6.1.3 Selección del tipo de intercambiador de calor.....	50
6.1.4 Criterios para determinar el fluido que circula por tubos y por carcasa.....	51
6.1.5 Diseño del intercambiador de calor.....	52

6.2	FILTRO .....	54
6.2.1	Objetivo del proceso de filtración .....	54
6.2.2	Caracterización de la corriente de entrada al filtro .....	54
6.2.3	Selección del tipo de filtro .....	54
6.2.4	Descripción del filtro rotatorio a vacío .....	56
6.2.5	Funcionamiento del filtro rotatorio a vacío .....	56
6.2.6	Selección del modelo y dimensiones del filtro .....	57
6.3	RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO .....	58
6.3.1	Proceso de intercambio iónico .....	58
6.3.2	Selección de la resina de intercambio iónico .....	60
6.3.3	Selección de la disolución regenerante .....	60
6.3.4	Diseño del proceso de intercambio iónico .....	61
6.3.5	Material de construcción de la columna .....	62
6.3.6	Caída de presión a lo largo de cada columna .....	62
6.3.7	Secuencia de operación de la resina de intercambio iónico .....	62
6.3.8	Recuperación del ácido sulfúrico .....	63
6.4	EVAPORADOR .....	64
6.4.1	Objetivo de la evaporación .....	64
6.4.2	Caracterización de la corriente de entrada al evaporador .....	64
6.4.3	Selección del tipo de evaporador .....	64
6.4.4	Diseño del evaporador .....	66
7	SISTEMA DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS .....	68
7.1	Introducción .....	68
7.2	Diseño de tuberías .....	68
7.2.1	Material de construcción de las tuberías .....	68
7.2.2	Dimensiones de las tuberías .....	71
7.3	Caída de presión .....	71
7.4	Diseño de las bombas .....	72
8	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO .....	76
8.1	INSTRUMENTACIÓN .....	76
8.1.1	Instrumentos de caudal .....	76
8.1.2	Instrumentos de temperatura .....	77
8.1.3	Instrumentos de presión .....	77
8.1.4	Instrumentos de nivel .....	77
8.2	CONTROL .....	78
8.2.1	Fundamentos de control .....	78
8.2.2	Control en la planta piloto .....	78
9	UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA PILOTO .....	82
9.1	Ubicación .....	82
9.2	Distribución de la planta piloto .....	83
10	MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD .....	84
10.1	Medio ambiente .....	84
10.1.1	Gestión de los residuos generados en la planta piloto .....	84
10.1.2	Prevención y control integrados de la contaminación .....	84
10.1.3	Impacto Ambiental de la Planta Piloto de Procesado de Cascarilla de Arroz por Hidrólisis ácida .....	85
10.2	Seguridad .....	87
10.2.1	Objeto del estudio de seguridad .....	87
10.2.2	Clasificación de sustancias .....	88
10.2.3	Transporte y almacenamiento .....	88
10.2.4	Condiciones generales de seguridad en los lugares de trabajo .....	89
10.2.5	Características de las obras .....	91
10.2.6	Análisis de riesgos en la planta piloto .....	92
10.2.7	Riesgos laborales .....	94



10.2.8	Protección contra incendio y explosión.....	110
10.2.9	Protecciones personales.....	112
10.2.10	Servicios de prevención.....	113
10.2.11	Plan de emergencia.....	114
11	PLANIFICACIÓN.....	116
11.1	Operación.....	116
11.2	Mantenimiento.....	116
12	LEGISLACIÓN.....	117
12.1	Legislación de seguridad.....	117
12.2	Legislación de medio ambiente.....	117
12.3	Legislación sobre biocombustibles.....	117
12.3.1	Legislación en Europa.....	117
12.3.2	Legislación en España.....	119
13	ESTUDIO ECONÓMICO.....	122
13.1	Introducción.....	122
13.2	Capital fijo invertido, I.....	122
13.3	Costes de producción, C.....	126
13.4	Beneficios.....	128
13.5	Rentabilidad.....	129
14	OPERACIONES DE MANTENIMIENTO EN LA PLANTA.....	131
14.1	Introducción.....	131
14.1.1	Mantenimiento Preventivo.....	131
14.1.2	Mantenimiento Predictivo.....	132
14.1.3	Mantenimiento Correctivo.....	133
14.1.4	El Mantenimiento Autónomo.....	133
14.2	Operaciones de mantenimiento para cada equipo.....	134
14.2.1	Mantenimiento de los reactores.....	134
14.2.2	Mantenimiento del Intercambiador de calor.....	135
14.2.3	Mantenimiento del Filtro rotatorio a vacío.....	135
14.2.4	Columna de intercambio iónico.....	135
14.2.5	Mantenimiento del Evaporador.....	135
14.2.6	Mantenimiento del Sistema de tuberías.....	136
14.2.7	Mantenimiento de Bombas centrífugas.....	136
14.2.8	Mantenimiento de Válvulas.....	138
14.2.9	Mantenimiento de los extintores.....	138
15	BIBLIOGRAFÍA.....	140
16	ANEXOS.....	146
16.1	ANEXO 1: FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS.....	146
16.2	ANEXO 2: CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL REACTOR.....	175
16.2.1	Cinética de la reacción.....	175
16.2.2	Diseño del reactor.....	179
16.2.3	Cálculo del vapor requerido para calentamiento del reactor a través de camisa durante arranque.....	187
16.2.4	Cálculo del vapor requerido para calentamiento del reactor a través de camisa durante operación.....	191
16.2.5	Diseño del proceso de enfriamiento del reactor.....	192
16.3	ANEXO 3: REACTOR DE LECHO FIJO.....	195
16.3.1	Balance de materia en el interior de una partícula aislada.....	195
16.4	ANEXO 4: CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	200
16.4.1	Caracterización de las corrientes.....	200
16.4.2	Cálculo del calor intercambiado y del caudal de refrigerante.....	200
16.4.3	Determinación de la media logarítmica de temperaturas.....	202

16.4.4	Coefficiente global de transmisión de calor.....	203
16.4.5	Cálculo del área de intercambio necesaria.....	204
16.5	ANEXO 5: DISEÑO DEL FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO A VACIO .....	205
16.5.1	Introducción.....	205
16.5.2	Caracterización de la corriente de entrada al filtro .....	205
16.5.3	Cálculo del área requerida .....	206
16.6	ANEXO 6: CÁLCULOS DE LA COLUMNA DE INTERCAMBIO IÓNICO .....	211
16.6.1	Selección de la solución regenerante .....	211
16.6.2	Cálculo del volumen de resina necesario.....	212
16.6.3	Diseño de la columna de intercambio iónico.....	212
16.6.4	Determinación de los caudales de operación de disolución y de regenerante.....	214
16.6.5	Cálculo de la caída de presión a través de la columna de intercambio iónico.....	215
16.7	ANEXO 7: CÁLCULOS EVAPORADOR.....	218
16.7.1	Introducción.....	218
16.7.2	Balances en el evaporador .....	218
16.8	ANEXO 8: DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS.....	225
16.8.1	Cálculo del diámetro de cada línea.....	225
16.8.2	Cálculo del espesor de tubería .....	225
16.8.3	Cálculo de la caída de presión .....	228
16.8.4	Diseño de las bombas .....	233
16.9	ANEXO 9: FICHAS DE SEGURIDAD DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS.....	237
	HIDROXIDO DE SODIO .....	237
	ACIDO SULFURICO .....	240
	DIVINILBENCENO (MEZCLA DE ISOMEROS).....	244
16.10	ANEXO 10: CATÁLOGOS DE EQUIPOS.....	248
16.10.1	Catálogo del filtro.....	248
16.10.2	Catálogo del intercambiador de calor.....	251
16.10.3	Catálogo de la resina de intercambio iónico.....	253
16.10.4	Catálogo del evaporador .....	256
16.11	ANEXO 11: GRÁFICAS DE COSTES.....	257

# **1 VIABILIDAD DEL PROYECTO**

## **1.1 Viabilidad técnica: objeto y justificación del proyecto.**

### **1.1.1 Objeto del proyecto fin de carrera**

El objeto del presente proyecto es el procesado de 4000 kg/día de cascarilla de arroz mediante hidrólisis ácida para la obtención de azúcares simples, que son susceptibles de transformarse mediante fermentación en bioetanol, esta última transformación no se realizará en la planta piloto objeto del presente proyecto.

### **1.1.2 Situación energética actual**

Debido al crecimiento de la población y al aumento de la industrialización en el último siglo, el consumo de energía ha sufrido un importante aumento. Esta demanda de energía se ha estado cubriendo durante las últimas décadas con las reservas de petróleo, sin embargo es sabido por todos que la mayoría de las reservas ya han sido descubiertas y los científicos han estimado que antes del año 2010 comenzará a disminuir la producción de petróleo.

Sin embargo, es muy difícil extrapolar la duración de las reservas de petróleo. Es difícil hacer este cálculo porque depende de muchas variables desconocidas. No se conoce cuantos depósitos nuevos se van a descubrir. Tampoco cual va a ser el ritmo de consumo, porque es probable que cuando vayan escaseando y sus precios suban se utilicen con más empeño otras fuentes alternativas de energía y su ritmo de consumo disminuya. Por esto las cifras que se suelen dar son muy poco fiables. En 1970 había reservas conocidas de petróleo para unos 30 años (hasta el año 2000). En cambio en 1990 había suficientes depósitos localizados de petróleo para otros 40 años (hasta el 2030), es decir, en estos años se ha descubierto más de lo que se ha consumido. Por todo esto se puede decir



como consecuencia que existen reservas para un tiempo comprendido entre varias decenas y unos 100 años.

Otro problema importante relacionado con el petróleo consiste en que se consume mayoritariamente en regiones donde no se produce. Así entre Estados Unidos y Europa occidental se consume casi la mitad del petróleo mundial. Los países del Golfo Pérsico que sólo consumen el 4,5% mundial producen, en cambio, el 26%. Esta diferencia se acrecentará en el futuro porque la mayor parte de las nuevas reservas se están descubriendo en los países menos consumidores. Así se calcula que Estados Unidos tiene reservas para unos 10 años y Europa para unos 13, mientras que los países del Golfo acumulan el 57% de las reservas conocidas.

Es conocida la dependencia que tienen las economías de los países industrializados del petróleo, a consecuencia de ello, hay un gran interés en la investigación de nuevas fuentes de energías alternativas. [1] y [2]

### **1.1.3 Biocarburantes**

Es importante distinguir entre biocombustible y biocarburante. Los biocombustibles son aquellos combustibles producidos a partir de la biomasa, de modo que son considerados una energía renovable. Se pueden presentar tanto en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) como en líquida (bioalcoholes y biodiesel) y gaseosa (biogás, hidrógeno).

Dentro de los biocombustibles, los biocarburantes son aquellos que abarcan al subgrupo caracterizado por la posibilidad de su aplicación a los actuales motores de combustión interna, y son de naturaleza química. Los biocarburantes proceden de materias primas vegetales obtenidos a través de reacciones físico-químicas. Actualmente se encuentran desarrollados dos tipos: biodiesel (obtenido a partir de semillas oleaginosas mediante esterificación del aceite extraído, o bien a partir de aceites usados) y

bioetanol (obtenido fundamentalmente a partir de semillas ricas en azúcares mediante fermentación).

El desarrollo industrial de los biocarburantes comenzó hace 20 años, aunque su planteamiento está muy ligado al desarrollo de los motores de combustión. De hecho, la primera demostración de funcionamiento de un motor diesel, en la Feria de Exhibición de París de 1898, utilizaba aceite de cacahuete como combustible. Su inventor, Rudolph Diesel, pensaba que el futuro de dicho motor pasaba por la utilización de combustibles procedentes de la biomasa, y fue así hasta que en los años 20 estos fueron relegados por el desarrollo de la industria petrolera. De igual manera, los primeros automóviles estadounidenses de American Ford funcionaban con bioetanol, de manera que su creador, Henry Ford, mantenía tesis muy similares a las de Rudolph Diesel.

Debido a las crisis de petróleo de 1973 y 1978, las políticas energéticas a partir de los años 80 han favorecido la búsqueda de alternativas a la dependencia de los combustibles fósiles.

Actualmente, los biocarburantes no podrán sustituir totalmente a los combustibles fósiles pero sí complementarlos en forma de diferentes mezclas con el fin de reducir la dependencia respecto del petróleo. Además, pueden utilizar la misma red de logística de distribución que los combustibles fósiles.

Sin embargo, uno de los principales impulsos del desarrollo actual de los biocarburantes está relacionado con sus características medioambientales, ya que ayudan a disminuir las emisiones del sector del transporte y así reducir su efecto sobre el cambio climático.

La producción y utilización de los biocarburantes en el sector del transporte presenta una serie de ventajas:

- Desde el punto de vista medioambiental, su utilización contribuye a la reducción de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero a la atmósfera. Además, ayudan a la eliminación de residuos en los casos en que éstos se emplean como materia prima.

Concretamente el bioetanol reduce las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos.

- Desde el punto de vista energético, los biocarburantes constituyen una fuente de energía renovable y limpia. Su utilización contribuye a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles y otorga una mayor seguridad en el abastecimiento energético.
- Desde el punto de vista socioeconómico, los biocarburantes constituyen una alternativa para aquellas tierras agrícolas afectadas por la Política Agraria Común.[3]

#### **1.1.4 Perspectivas futuras del bioetanol en el mercado actual**

Como se ha comentado en el apartado anterior, el bioetanol es un biocarburante líquido que en comparación con la gasolina, reduce las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos. Además, al ser biodegradable no incide negativamente en la contaminación de suelos.

En cuanto a su aplicación en los motores de combustión interna, puede ser mezclado en diferentes proporciones con la gasolina, aumentando el número de octanos, promoviendo una mejor combustión y reduciendo las emisiones contaminantes a través del tubo de escape como monóxido de carbono e hidrocarburos. Aunque a partir del 15% en bioetanol se pueden requerir pequeñas modificaciones del motor.

La idea futura pretende partir de materias primas celulósicas de bajo coste, que permitan mejorar la competitividad del bioetanol como combustible frente a los productos derivados del petróleo.

El bioetanol es un alcohol que se puede producir a partir de maíz, sorgo, patatas, trigo, caña de azúcar, e incluso de la biomasa, como los tallos de maíz y residuos vegetales, este último es el caso que nos ocupa en el presente proyecto.

A diferencia de los combustibles fósiles, el etanol es una fuente de energía renovable producida mediante la fermentación de azúcares.



Concretamente, el bioetanol es el alcohol etílico producido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los vegetales (cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa) combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa.

Como se ha comentado previamente, el producto obtenido puede utilizarse como alcohol puro o en mezclas, y también mediante su transformación en ETBE como elemento oxigenador (aditivo) añadido a las gasolinas. En Europa se ha optado por oxigenar las gasolinas con productos derivados de los alcoholes, tales como el ETBE y el MTBE.

El octanaje o el número de octanos de la gasolina se refiere a la facilidad con que ésta se quema y cuánta detonación produce. El octanaje, por lo tanto, es el índice que mide el valor antidetonante de los combustibles por comparación con el de un carburante patrón. Para conseguir un índice de octano adecuado tradicionalmente se añadían sales de plomo a la gasolina, método que en la actualidad está prohibido por el grado de contaminación ambiental que presenta este metal. El aditivo que se añade a la gasolina para aumentar el índice de octano es el Metil Terciario Butil Éter (MTBE), que se obtiene del metanol. Es un producto derivado del gas natural o del carbón, un líquido tóxico que inicia la evaporación a temperaturas moderadas, a partir de 34 °C. Como sustitutivo al MTBE, se encuentra el bioetanol en forma de Etil Terciario Butil Éter o ETBE que cumple mejor esa misión por razones físicas de mezcla y produce menos contaminación residual que el MTBE. Esta es la mejor vía para introducir la biomasa en el suministro de combustibles de automoción, así puede alcanzarse con ella hasta el 5% del consumo de gasolinas. Por otro lado, los motores admiten mezclas de gasolina con etanol hasta un 15%, sin producirse variaciones notables en su comportamiento. Más aún, los motores pueden funcionar exclusivamente con bioetanol, tras una adaptación y reglaje de los mismos a este combustible. Los llamados vehículos flexibles (FFV) permiten la utilización tanto de gasolina como de

bioetanol E 85, así estos vehículos utilizan un 15% de gasolina para paliar el problema de la baja presión de vapor y garantizar así el encendido.

Las ventajas de usar bioetanol son :

- 1) Mejora del índice de octanos con un coste pequeño.
- 2) Un mayor calor de vaporización.
- 3) La temperatura de llama es menor, consiguiéndose una menor pérdida de calor por radiación.
- 4) Un mayor volumen de gases en la combustión, lo que significa una mayor presión y una mayor energía mecánica producida.
- 5) La velocidad de llama mayor, esto se traduce en un desarrollo más eficiente del par del motor.
- 6) Mejora la biodegradabilidad de la gasolina.
- 7) Reduce el número de compuestos aromáticos en la gasolina, y por lo tanto reduce las emisiones de compuestos aromáticos a la atmósfera.
- 8) Fuente de combustible renovable y doméstico.
- 9) Reduce la dependencia del petróleo del extranjero.
- 10) Constituye una fuente más limpia de combustible.
- 11) Es fácil de producir y almacenar.
- 12) Los biocarburantes emiten un 40-80% menos gases y residuos contaminantes que los combustibles fósiles.
- 13) El bioetanol es superior desde el punto de vista medioambiental al resto de carburantes más importantes.

Otras ventajas medioambientales incluyen:

- Reducción de la lluvia ácida
- Mejora de la calidad del aire en zonas urbanas.
- No contamina el agua.
- Reducción de residuos

Los inconvenientes del uso de bioetanol son:

- Eleva la presión de vapor (esto se produce en la mezcla directa)
- Tiene afinidad por el agua.

En la actualidad, los recientes desarrollos indican que el uso de los biocarburantes está evolucionando hacia un mercado a escala mundial, emergiendo desde la utilización aislada en países como Brasil, Estados Unidos o China, al igual que en la Unión Europea. Como barreras a dicho desarrollo se plantean principalmente, entre otras, razones de coste.

Las actuales políticas de introducción de biocarburantes para el sector transporte son notablemente ambiciosas:

- Unión Europea: 5,75% para 2010 y 8% para 2020, en contenido energético (dentro de un Plan Europeo global de sustituir el 20% de los combustibles convencionales por combustibles alternativos para 2020).
- Estados Unidos: 4% para 2010 y 20% para 2030.
- Brasil: 25% de mezcla obligatoria de bioetanol en gasolinas.
- Canadá: según la región, 7,5%-10% de mezcla obligatoria de bioetanol en gasolinas.
- China: 10% mezcla obligatoria de bioetanol en gasolinas en varias provincias.
- Argentina: 5% mezcla obligatoria de bioetanol para los próximos cinco años. Colombia: 10% de mezcla obligatoria de bioetanol para las mayores ciudades, a partir de 2005.
- Tailandia: 10% de mezcla obligatoria de bioetanol en las gasolineras de Bangkok.

Entre los retos que significan estos objetivos, se encuentran la conciliación del uso del suelo entre fines alimentarios y energéticos, y la gestión y valorización de los grandes volúmenes de subproductos que se generarían al acercarse a dichos objetivos.

Como muestra la Tabla 1.1, la capacidad productiva instalada en España en plantas de bioetanol a finales de 2005 fue de 415.000 t/año. Sin embargo, si se tiene en cuenta que la planta de Salamanca entró en

servicio muy a finales de 2005 y que, por tanto, su contribución este año será prácticamente testimonial, la producción total de bioetanol en España en 2005 se mantuvo en torno a las 257.000 t/año, es decir, algo menos de 164.000 tep. [3]

<b>PLANTAS BIOETANOL</b>	<b>PROVINCIA</b>	<b>CAPACIDAD (Tm/año)</b>	<b>PUESTA EN MARCHA</b>
<i>Ecocarbur. Españoles</i>	Murcia	118.000	2000
<i>Bioetanol Galicia</i>	A Coruña	139.000	2002
<i>Biocarb. Castilla León</i>	Salamanca	158.000	Dic. 2005
<b>TOTAL</b>		<b>415.000</b>	

*Plantas de producción de bioetanol en funcionamiento en España en 2005. Fuente: APPA.*

*Tabla 1.1: Plantas de producción de bioetanol en funcionamiento en España en 2005.[3]*

### **1.1.5 Materias primas para la producción de bioetanol**

La materia prima de los biocarburantes son productos vegetales, con lo cual hay que tener en cuenta las características de los mercados agrícolas. El agricultor pasaría de ser consumidor de combustibles fósiles a ser productor de biocarburantes. El desarrollo de esta industria, sin embargo, no depende principalmente de su disponibilidad sino de la existencia de una demanda suficiente. En la Figura 1.1 se muestran las materias primas para la producción de biocombustibles.

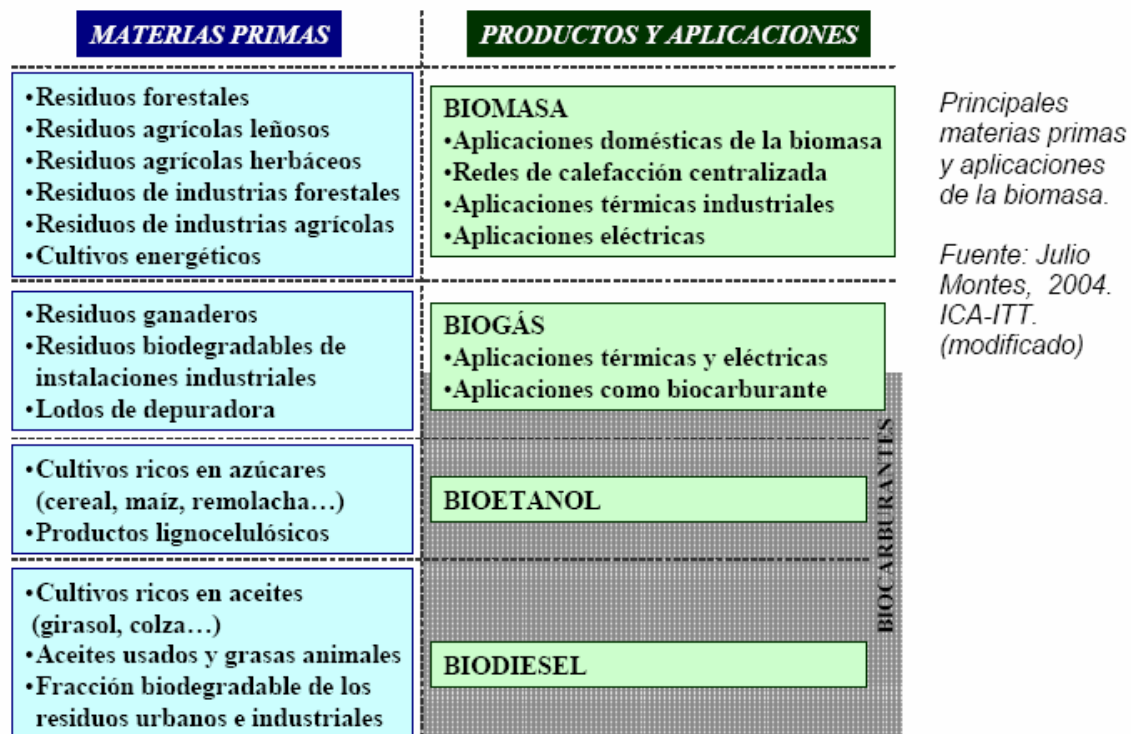


Figura 1.1: Materias primas para la producción de biocombustibles.[3]

El bioetanol se puede obtener básicamente a partir de cuatro grandes grupos de materias primas:

- 1) Alcohol vínico, procedente de las industrias vitivinícolas.
- 2) Plantas ricas en azúcares: caña de azúcar, remolacha azucarera y sorgo azucarero.
- 3) Cereales: trigo, maíz y cebada.
- 4) Material lignocelulósico: hierba, madera, celulosa.

Este PFC se sitúa en el cuarto punto, en el cual los azúcares forman parte del tejido estructural de la planta (celulosa y hemicelulosa), con lo cual se va a necesitar una hidrólisis de mayor intensidad para extraer los compuestos convertibles en bioetanol.

En el caso de España, las materias primas más extendidas para la producción de bioetanol son los cereales, especialmente el trigo y la

cebada, aunque también se apunta la posibilidad de utilizar los excedentes y restos de remolacha de la industria azucarera.

El esquema general de fabricación del bioetanol se muestra en la Figura 1.2. y se detalla a continuación.

Las principales fases del proceso son:

- Dilución: Es la adición de agua para ajustar la cantidad de azúcar en la mezcla o (en última instancia) la cantidad de alcohol en el producto. Es necesaria porque la levadura, usada más adelante en el proceso de fermentación, puede morir debido a una concentración demasiado grande de alcohol.
- Conversión: La conversión es el proceso de convertir el almidón/celulosa en azúcares fermentables. Puede ser lograda por el uso de la malta, extractos de enzimas contenidas en la malta, o por el tratamiento del almidón (o de la celulosa) con ácido en un proceso de hidrólisis ácida.
- Fermentación: La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico realizado por levaduras, básicamente. De la fermentación alcohólica se obtienen un gran número de productos, entre ellos el alcohol.
- Destilación: La destilación es la operación de separar, mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla.

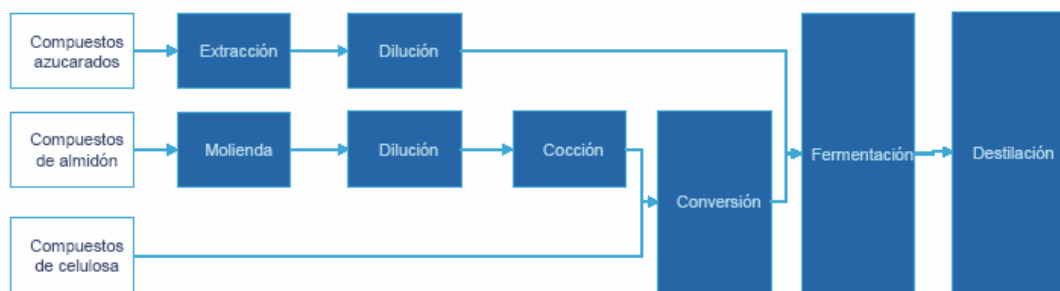


Figura 1.2: Esquema general de fabricación del bioetanol. Fuente [3].

Los subproductos generados en la producción de bioetanol, así como el volumen de los mismos, dependen en parte de la materia prima utilizada.

En general se pueden agrupar en dos tipos:

- Materiales lignocelulósicos: tallos, bagazo, etc, correspondientes a las partes estructurales de la planta. En general se utilizan para valorización energética en cogeneración, especialmente para cubrir las necesidades energéticas de la fase de destilación del bioetanol, aunque también se puede vender el excedente a la red eléctrica (con precio primado).
- Materiales alimenticios: pulpa y DDGS<sup>1</sup>, que son los restos energéticos de la planta después de la fermentación y destilación del bioetanol. Tienen interés para el mercado de piensos animales por su riqueza en proteína y valor energético. (<sup>1</sup> *“Distilled Dried Grain Solubles”*)

En el caso que ocupa a este proyecto, se parte de material lignocelulósico como es la cascarilla de arroz, que es sometida a un proceso de hidrólisis ácida en el cual la celulosa es degradada y transformada principalmente en glucosa y en menor medida xilosa, que serán susceptibles de sufrir posteriormente un proceso de fermentación. Como se indicó en el apartado dedicado a objeto del PFC, este último proceso no entra en el objeto de este proyecto.

### **1.1.6 Selección de la cascarilla de arroz**

El caso que nos ocupa es el de la obtención de bioetanol a partir de cascarilla de arroz. Los residuos lignocelulósicos se caracterizan por su gran disponibilidad, por ser fuente de energía renovable y principalmente por su bajo coste.

Es importante justificar la elección de la cascarilla de arroz como materia prima para la obtención de bioetanol. Así, la producción mundial de arroz es del orden de 600 millones de toneladas. A diferencia de los otros dos grandes cereales como son el maíz y el trigo, el arroz se emplea únicamente para la alimentación humana, mientras que los anteriores



también se utilizan para la alimentación animal. Concretamente, el arroz constituye la dieta básica para unos 40 países y para cerca de 1800 millones de personas.

El 90% de los 156 millones de hectáreas que se siembran o plantan de arroz en el mundo se concentran en Asia, principalmente en el lejano oriente. El mayor productor mundial es China con 177 millones de toneladas de arroz cáscara, seguido de India (117), Indonesia (51), Vietnam (32), Tailandia (27), Filipinas (13), Japón (11), Brasil (11), EEUU (9,6), y la UE (2,7).

Dentro de la UE, los mayores productores son Italia con 1,4 millones de toneladas y España con 0,8 millones de toneladas, siendo sensiblemente menores las cantidades producidas por Grecia, Portugal y Francia. Las importaciones comunitarias son del orden de 700.000 toneladas de arroz blanco (casi 1,1 millones de arroz cáscara equivalente) y las exportaciones suponen un tercio de esa cifra.

En la Tabla 1.2 se pueden observar datos internacionales sobre producción de arroz.

**PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ARROZ (000T.) AÑO: 2000**

	<b>Producción T.</b>	<b>Rendimiento Ha.</b>
Europa	3.238	5,6
Australia	1.410	10,1
EEUU	9.546	6,6
Asia	540.621	3,9
America Latina	24.045	3,6
Africa	17.602	2,2
Mundo	596.485	3,8

*Tabla 1.2: Datos internacionales sobre producción de arroz. Fuente [3].*

Como ya se ha comentado anteriormente, España es una potencia a nivel mundial en la producción de arroz. En contraposición a lo que se cree, existen varias zonas de cultivo en España que incluso superan a las zonas de cultivo tradicional. Según el INE (Instituto Nacional de la Energía) la producción de arroz en España para el año 2000 fue de 827000 toneladas. [4]

La productividad por hectárea en España es una de las mayores del mundo gracias a la aplicación de las últimas tecnologías en cultivos y la constante labor de investigación y mejora en los procesos productivos.

En la Tabla 1.3 y en la Figura 1.3 es posible comprobar las zonas donde se cultiva arroz en España. Como se observa, Sevilla es la provincia con mayor producción de arroz, y consecuentemente de cascarilla de arroz, por ese motivo, he seleccionado como materia prima. A esta razón hay que sumar el reducido coste de la misma que es de 0,04 € cada kg.

Comunidad Autónoma	Superficie de regadío (ha)	Producción (t)
Andalucía	28952	325445
Aragón	14048	80815
Cataluña	21206	133036
Comunidad Valenciana	14741	109874
Extremadura	25664	165407

Tabla 1.3: Superficie cultivada y producción de arroz en España para el año 2000.[4]



Figura 1.3: El cultivo de Arroz en España. Fuente HERBA.

### **1.1.7 Destino actual de la cascarilla de arroz**

Nos podemos preguntar cuáles son las aplicaciones que se le da hoy en día a la cascarilla de arroz, entre otras podemos mencionar:

- Uso como aglomerado: la cascarilla de arroz no presenta propiedades nutritivas significativas, presenta un alto contenido de Dióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ), lo cual lo hace imposible de ingerir como alimento, también su valor es nulo por ser desecho y no se le ha dado un uso adecuado para conferirle un valor agregado, por todo esto existe la posibilidad de poder utilizarlo como carga o relleno en una matriz polimérica, la cual es el medio donde se inunda la cascarilla de arroz. Con todo esto, se puede utilizar como sustituto de la madera como en el caso de fabricación de tableros de aglomerado de cascarilla de arroz (India y México).
- También se emplea como cama para animales en virtud de sus propiedades adsorbentes.
- Se quema para obtener energía, en Latinoamérica se fabrican briquetas a partir de cascarilla de arroz que se emplean como combustible para la obtención de energía.

### **1.1.8 Selección de alternativas**

Como se ha comentado en el apartado dedicado a objeto y justificación del proyecto, se pretende obtener bioetanol a partir de un residuo lignocelulósico cuyo proceso consta de dos partes fundamentales:

- 1) Conversión de celulosa y hemicelulosa fundamentalmente en glucosa y pequeñas proporciones de xilosa.
- 2) Fermentación de dichos azúcares para obtener etanol.

El presente proyecto se va a centrar en la conversión a glucosa, dicha transformación se puede realizar mediante los siguientes tratamientos:

#### **1.1.8.1 Tratamientos físicos.**

- a. Reducción mecánica: el material a tratar va a sufrir una combinación de procesos de troceado y molido. El tamaño del material una vez que ha salido del molino es de 0,2-2 mm y generalmente se emplean molinos de bolas ya que han resultado más efectivos. Debido a las características de la cascarilla de arroz no es necesario realizar una reducción mecánica ya que el tamaño es el adecuado para su procesado.
- b. Pirolisis: cuando el material se trata a temperaturas superiores a 300 °C la celulosa se descompone rápidamente para producir sustancias gaseosas y cenizas.

Con una hidrólisis ácida suave del residuo del tratamiento de pirolisis se obtiene una conversión de celulosa a azúcares del 80-85% con más del 50 % de glucosa. Además, el proceso puede ser mejorado con la presencia de oxígeno. Otra mejora posible es añadir cloruro de zinc o bien carbonato sódico como catalizadores, con lo cual, la descomposición de celulosa se produce a temperaturas más bajas.

El problema de esta tecnología es medioambiental ya que se producen emisiones que es necesario tratar, a lo que se suma que las políticas medioambientales actuales y futuras no respaldan este tipo de procesos.

#### **1.1.8.2 Tratamientos físico-químicos.**

- a. Explosión de vapor, "Steam explosion" (Autohidrólisis): en este método la biomasa troceada se trata con vapor saturado a alta presión y a continuación la presión se disminuye rápidamente, lo cual hace que el material sufra una descompresión explosiva. La explosión de vapor se inicia generalmente a una temperatura entre 160-260 °C, correspondiente a una presión entre 0,69-4,83 Mpa, durante un periodo

de tiempo que va desde varios segundos a unos pocos minutos, exponiéndolo previamente a presión atmosférica. Este proceso causa la degradación de la hemicelulosa y la transformación de la lignina debido a la alta temperatura, aumentándose de esta manera el potencial de hidrólisis.

Los factores que afectan al proceso de explosión de vapor son: el tiempo de residencia, la temperatura, el tamaño de partículas y el contenido en humedad. Para obtener buenos resultados se deben emplear temperaturas altas y tiempos de residencia cortos, tales como 270° C y 1 minuto, o bien, bajas temperaturas y tiempos de residencia altos como 190° C y 10 minutos. La adición de ácido sulfúrico o dióxido de carbono en la explosión de vapor puede mejorar la hidrólisis enzimática y disminuir la producción de componentes inhibidores de la posterior etapa de fermentación.

Este tratamiento con vapor tiene una serie de ventajas frente al tratamiento mecánico, como son la baja energía requerida y los menores costes medioambientales. Los métodos mecánicos convencionales requieren un 70% más de energía que la explosión de vapor para alcanzar la misma reducción de tamaño. Desde el punto de vista de las limitaciones en la explosión de vapor, podemos destacar la destrucción de una porción de la fracción de xilosa y la generación de productos que pueden ser inhibidores para los microorganismos usados en los siguientes procesos. A causa de la formación de estos productos inhibidores del crecimiento microbiano, hidrólisis enzimática y de la fermentación posterior la biomasa debe ser lavada con agua. Sin embargo este lavado disminuye los rendimientos de la producción de azúcares debido a que se puede producir durante dicho lavado la hidrólisis de hemicelulosa cuyos productos son solubles y son eliminados con el lavado. Esta materia eliminada corresponde a un 20-25% de la materia seca inicial. Teniendo en cuenta los inconvenientes mencionados se descarta este proceso. [1]

**b. “Ammonia fiber explosion (AFEX)”.**

AFEX es otro tipo de tratamiento físico-químico en el cual los materiales lignocelulósicos en una primera fase son expuestos a amoníaco líquido a alta presión y temperatura durante un periodo de tiempo. En una segunda etapa la presión se reduce rápidamente. El resultado global es similar a la explosión de vapor. En este método la dosificación habitual de amoníaco líquido es de 1-2 Kg de amoníaco por cada kilogramo de biomasa seca a 90 °C y durante 30 minutos. Es importante señalar que este proceso no exige un tamaño pequeño de partícula para obtener una mayor eficacia.

Un aspecto importante de este tratamiento es la reducción de los costes y la protección del medio ambiente, para lo cual, el amoníaco debe ser reciclado después del tratamiento. [1]

Las limitaciones fundamentales estriban en que se trata de un proceso que se encuentra todavía en investigación y no se dispone de información suficiente para la escala de planta piloto.

- c. Explosión de CO<sub>2</sub>: este tratamiento es también similar a la explosión de vapor y de amoníaco. Se supone que se formaría ácido carbónico y que mejoraría la velocidad de la reacción de hidrólisis. Sin embargo los rendimientos obtenidos han sido relativamente bajos si los comparan con los dos anteriores, pero son altos si se comparan con la hidrólisis enzimática sin pretratamiento. [1]

**1.1.8.3 Tratamientos Químicos.**

- a. Ozonolisis: el ozono se puede usar para degradar la lignina y la hemicelulosa presentes en muchos materiales lignocelulósicos. La degradación está limitada para la lignina, la hemicelulosa es atacada ligeramente sin embargo la celulosa se ve atacada en gran medida. La velocidad de reacción de la hidrólisis enzimática aumenta unas 5 veces



debido al pretratamiento con ozono. Por tanto, las ventajas que presenta el tratamiento con ozono son:

- 1) Es efectivo a la hora de eliminar la lignina.
- 2) No produce residuos que pueden resultar tóxicos para los siguientes procesos.
- 3) Las reacciones se llevan a cabo a presión y temperatura ambiente

El principal inconveniente que presenta este tratamiento es la necesidad de una gran cantidad de ozono, lo cual hace que el proceso sea muy caro, por este motivo se descarta esta opción.

- b. Hidrólisis ácida: este proceso consiste en el tratamiento de los materiales lignocelulósicos con ácidos concentrados como ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. Dichos ácidos son agentes muy poderosos para llevar a cabo la hidrólisis de la celulosa, sin embargo hay que tener en cuenta que los ácidos concentrados son tóxicos, corrosivos y peligrosos. Debido a ello se necesitan reactores resistentes a la corrosión. Los ácidos van a actuar como catalizadores de la hidrólisis, por ese motivo no se van a consumir, resultando conveniente recuperarlos después de la etapa de hidrólisis para hacer el proceso viable económicamente.

La hidrólisis con ácidos diluidos ha sido desarrollada satisfactoriamente para el tratamiento de materiales lignocelulósicos. Así, el tratamiento con ácido sulfúrico diluido a altas temperaturas permite alcanzar altas velocidades de reacción y mejorar significativamente la hidrólisis de la celulosa.

Los procesos de hidrólisis con ácidos diluidos usan condiciones menos severas y alcanzan altos rendimientos de conversión de xylano a xilosa. Este hecho es importante debido a que para que el proceso resulte económicamente rentable se deben alcanzar altos rendimientos en la conversión a xilosa, puesto que el xylano constituye más de una tercera parte de los carbohidratos en la mayoría de los materiales lignocelulósicos.

Aunque el presente método mejora significativamente la hidrólisis de la celulosa, hay que tener en cuenta que sus costes son superiores a los de otros tratamientos físico-químicos tales como la explosión de vapor o AFEX.

También es importante señalar que una vez concluido el proceso de hidrólisis ácida resulta necesaria una etapa de neutralización del pH para que no se afecte el proceso de fermentación posterior.

- c. Hidrólisis alcalina: Es posible utilizar algunas bases para el tratamiento de materiales lignocelulósicos, siendo el efecto de dicho tratamiento dependiente del contenido en lignina de los materiales a tratar. Se cree que el mecanismo de la hidrólisis alcalina consiste en la saponificación de enlaces ésteres intramoleculares. El tratamiento más general consiste en utilizar hidróxido sódico diluido. [1]
- d. Proceso organosolv: se emplea un disolvente orgánico o bien acuoso con catálisis de un ácido inorgánico tal como ácido sulfúrico o clorhídrico, con ello se rompen los enlaces internos de la lignina y la hemicelulosa. Los disolventes que se emplean son metanol, etanol, acetona, etilenglicol, trietilenglicol entre otros. Si se emplean altas temperaturas ( $>185^{\circ}\text{C}$ ), no es necesaria la adición de un catalizador. La principal limitación es la eliminación de los disolventes del proceso ya que estos pueden inhibir los procesos de crecimiento de organismos, la hidrólisis enzimática y la fermentación.

#### **1.1.8.4 Tratamientos biológicos.**

Dicho tratamiento consiste en utilizar microorganismos para degradar lignina y hemicelulosa en residuos. Las ventajas del tratamiento biológico incluyen bajos requerimientos de energía y condiciones de operación ambientales. Sin embargo, la velocidad de reacción de hidrólisis en la mayoría de los procesos con tratamientos biológicos es enormemente baja. Como consecuencia del empleo de microorganismos el control del proceso es más difícil. [1]

#### **1.1.8.5 Selección final**

La decisión final es la elección de la hidrólisis ácida ya que el uso de disolventes orgánicos requiere también el empleo de catalizador ácido. De este modo con la hidrólisis ácida se ahorra la necesidad del uso del disolvente. Otro factor a su favor muy importante es la existencia de datos cinéticos del proceso de hidrólisis ácida de residuos lignocelulósicos, lo que permite el diseño del reactor de proceso.

#### **1.1.9 Conclusión**

Una vez conocido el objetivo del proyecto, la justificación del mismo y las alternativas posibles, se está en condiciones de afirmar que el proyecto es viable tecnológicamente con el actual estado de las tecnologías empleadas en el mismo.

### **1.2 Viabilidad legal**

El presente proyecto cumple todas las normativas vigentes vinculadas con los aspectos tratados en el mismo, no existiendo ninguna legislación que afecte al proyecto impidiendo su ejecución ni operación toda vez que la planta piloto esté en marcha.

### **1.3 Viabilidad económica**

De acuerdo con el Documento N° 4: Presupuesto, se puede afirmar que el presente proyecto es viable económicamente, aunque es necesario resaltar que por tratarse de una planta piloto la rentabilidad del proyecto es algo inferior a la rentabilidad mínima de una planta química que es del 15%.

El objeto de la planta piloto es el estudio del proceso a dicha escala con miras a su escalamiento a planta industrial. Al tratarse de un proyecto muy relacionado con la investigación, y teniendo en cuenta que trata de biocombustibles, es recomendable solicitar ayudas económicas al ministerio competente, de tal manera que la rentabilidad de la planta se incremente.

## 2 ANTECEDENTES DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS

Desde los albores de la química orgánica, los hombres de ciencia quedaron intrigados por el hecho de que la mayor parte de los residuos celulósicos está compuesta por hidratos de carbono que, sometidos a un tratamiento adecuado, pueden convertirse en azúcares útiles como alimento o para la síntesis de productos químicos. En la Figura 2.1 se puede ver un esquema de la reacción de hidrólisis.

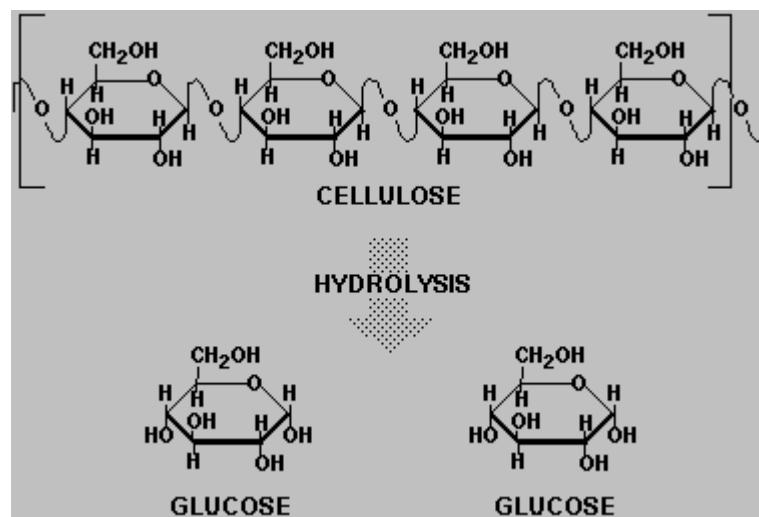


Figura 2.1: Esquema de la reacción de hidrólisis de la celulosa.[51]

Desde hace más de 100 años se conoce que los ácidos actúan como catalizadores para convertir (hidrolizar) la celulosa y hemicelulosa en azúcares simples. Alemanes y rusos usaban este proceso a principios del siglo XX para producir combustibles alcohólicos y productos químicos a partir de la madera, con objeto de poder cubrir sus necesidades durante la guerra. Sin embargo, al finalizar la II Guerra Mundial estos procesos se dejaron de utilizar.

A mediados de los años 70 aumentó el interés en la conversión de la biomasa en azúcares, sobre todo en EEUU que pretendía dejar de depender de combustibles procedentes del extranjero.

Las previsiones actuales indican que la hidrólisis de la celulosa para obtener glucosa y oligosacáridos simples se convertirá en un factor económico predominante en los próximos años. [5] y [6]

### **3 MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS**

#### **3.1 Introducción**

Como se ha comentado en el capítulo 1, la cascarilla de arroz es un residuo de la industria arrocera. Debido a la inexistencia de aplicaciones importantes, como todo residuo su acumulación resulta un problema para la industria que lo produce debido a que se generan grandes cantidades de difícil comercialización.

#### **3.2 Caracterización de la cascarilla de arroz**

Se trata de un sólido con la misma forma que un grano de arroz, con lo cual su tamaño puede oscilar entre los 5 y 7 mm de largo, aunque generalmente llega con menor tamaño debido a rotura. Es una materia muy ligera con una densidad muy baja ( $125\text{kg/m}^3$ ). En la Figura 3.1 se muestra una fotografía de una muestra de cascarilla de arroz.

La cascarilla de arroz no presenta propiedades nutritivas apreciables. Posee un alto contenido en sílice y un bajo contenido de celulosa (alrededor del 40%), es por tanto de difícil digestibilidad.

En la Tabla 3.1 se muestran las propiedades más relevantes de la cascarilla de arroz.



Figura 3.1: Fotografía de cascarilla de arroz. Autor: Prof.Dr.Luis E. Romero

PROPIEDAD	VALOR
Contenido de humedad	10%
Densidad a granel	100-150 kg/m <sup>3</sup>
Porosidad total	0,74
COMPOSICIÓN	
Celulosa	36,7%
Hemicelulosas	20,05%
Lignina	21,3%
Proteínas	2,51%
Cenizas	14,3%
Otros	5,14%

Tabla 3.1: Propiedades de la cascarilla de arroz. Fuente: [7],[8],[9].

### 3.3 La celulosa

La celulosa pertenece al grupo de las fibras insolubles, es además muy estable químicamente, por ello el tratamiento para lograr su hidrólisis es la hidrólisis ácida que es un tratamiento lo suficientemente agresivo.

La celulosa es una larga cadena lineal polimérica formada por la repetición de unidades del monosacárido glucosa, unidos por enlaces tipo  $\beta$ . Como todo polímero, no se puede decir que esté formada por un número exacto de monómeros, con lo que tampoco es posible hablar de un peso molecular exacto, sino que se suele trabajar con pesos moleculares promedios. En el caso que nos ocupa hemos realizado los cálculos tomando el valor medio del rango del peso molecular encontrado en la bibliografía [10], [11] (150000-1000000 g/mol). Su fórmula general es  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , pudiendo observarse su estructura en las Figuras 3.2 y 3.3.

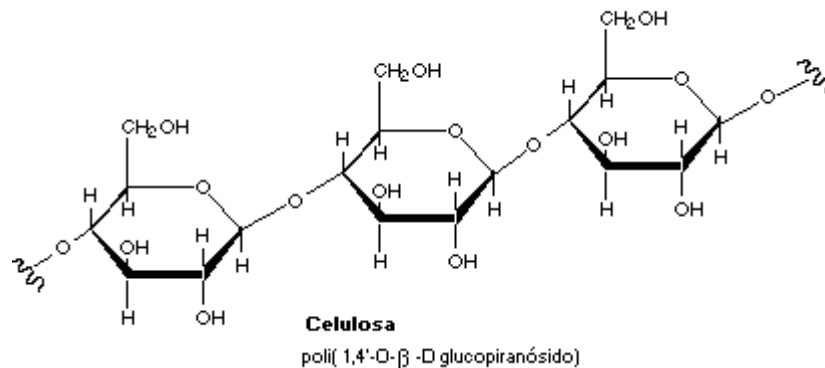


Figura 3.2: Esquema de las cadenas de celulosa [51]

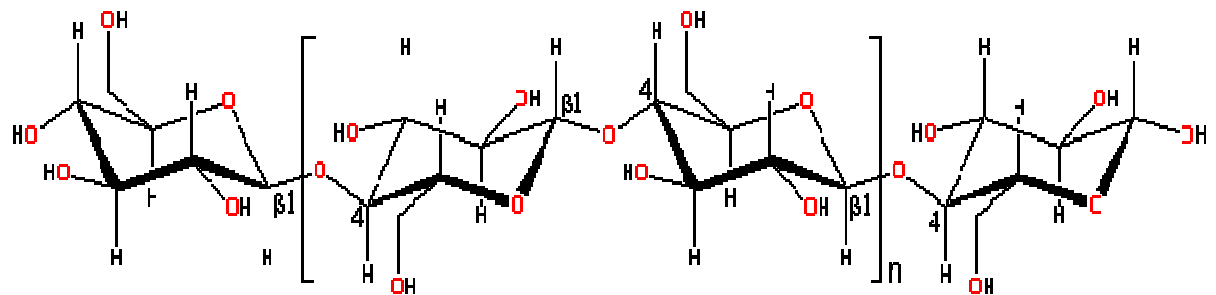


Figura 3.3: Esquema de las cadenas de celulosa [51]



Como se ha indicado previamente la celulosa es el principal constituyente de la cascarilla externa de semillas y cereales, entre los cuales se encuentra el arroz.

La celulosa puede sufrir una serie de reacciones químicas tales como esterificación, eterificación, degradación oxidativa, degradación térmica e hidrólisis.

### 3.4 La glucosa

La glucosa es el glúcido más importante siendo la fuente energética más utilizada por los seres vivos, que o bien obtienen energía de ella o bien la usan para almacenar energía. Esta energía está contenida en determinados enlaces que unen los átomos de estas moléculas, que son susceptibles de ser oxidados fácilmente.

La glucosa es un sólido cristalino de color blanco, algo menos dulce que el azúcar destinado al consumo. Este azúcar monosacárido de seis carbonos, de fórmula  $C_6H_{12}O_6$ , se caracteriza por tener una función hidroxilo (OH) (característica de los alcoholes) en cada uno de los carbonos, excepto en los primeros donde presenta una función aldehído. La glucosa se produce en la hidrólisis de numerosos glucósidos naturales. En la Figura 3.4 se muestra el esquema de una molécula de glucosa.

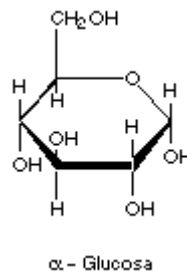


Figura 3.4: Esquema de la molécula de glucosa [51]

### 3.5 El catalizador: ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico de fórmula  $H_2SO_4$ , es un líquido corrosivo a temperatura y presión ambiente, más pesado que el agua e incoloro.

El ácido sulfúrico se caracteriza por su enorme reactividad, dado que además de atacar a muchos metales, concentrado es fuerte agente oxidante, así reacciona de forma exotérmica con el agua y tiene una gran afinidad por ella, produce la deshidratación de los compuestos orgánicos llegando a veces al extremo de carbonizarlos.

La corriente de ácido sulfúrico va a ser una disolución del mismo en agua al 5% en peso. Las propiedades de esta corriente se muestran en la Tabla 3.2.

<b>PROPIEDADES</b>	<b>VALOR</b>
Temperatura	150° C
Concentración	5%
Densidad* (a 100°C y 5%)	988,8 kg /m <sup>3</sup>

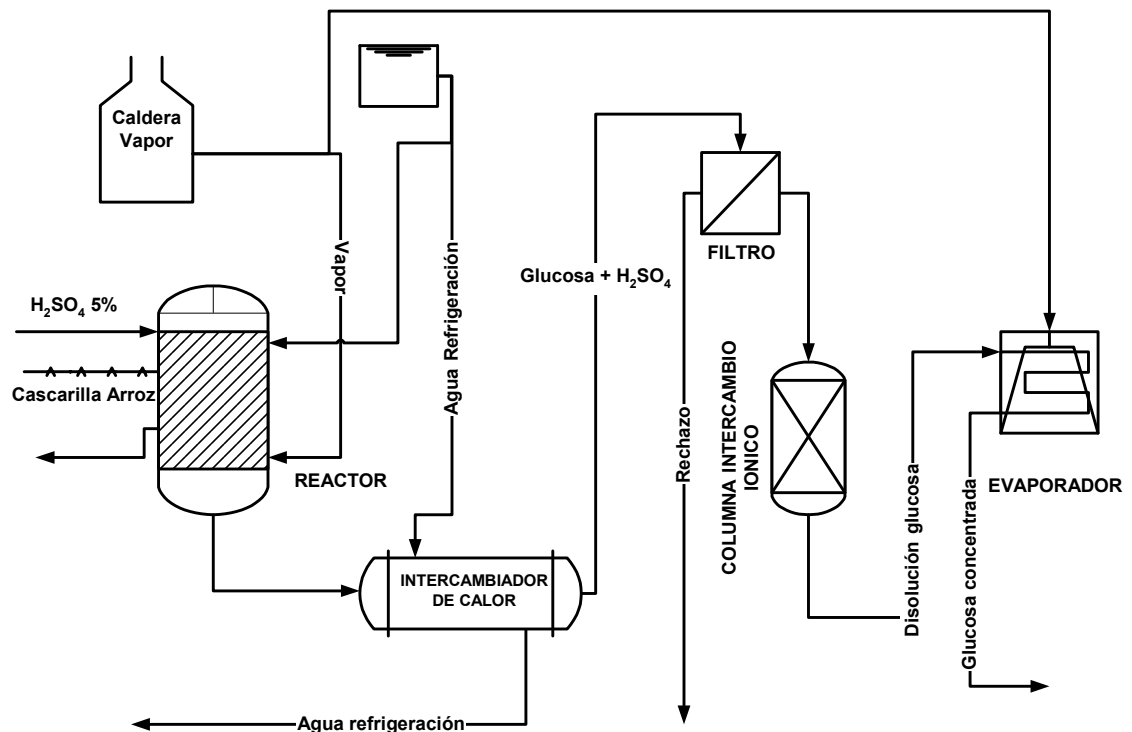
\* [12]

*Tabla 3.2: Propiedades de la corriente de ácido sulfúrico.*

## 4 PROCESADO DE CASCARILLA DE ARROZ POR HIDRÓLISIS ÁCIDA

### 4.1 Esquema de la planta piloto

En el plano número 1 se muestra la distribución de los equipos en planta. Como se puede observar, la planta piloto consta principalmente de 10 reactores discontinuos en los cuales se produce la reacción de hidrólisis ácida de la cascarilla de arroz. También se pueden apreciar un intercambiador de calor, un filtro, una columna de intercambio iónico y un evaporador. La planta procesará 4000 kg/día de cascarilla de arroz. En la Figura 4.1, que se muestra a continuación y en la Figura 4.2 que se muestra en el anexo 1, se muestran esquemas de la planta piloto de procesamiento de cascarilla de arroz por hidrólisis ácida.



Figuras 4.1 Esquema de la planta piloto

## 4.2 Recepción de la materia prima

La cascarilla de arroz llegará en camiones de 40t de manera que será necesario que llegue un camión de cascarilla de arroz cada 10 días a la planta piloto.

Desde el silo de almacenamiento de cascarilla de arroz se transportará la cascarilla hacia los reactores a través de un tornillo transportador que como se ha comentado anteriormente tendrá 0,23 m de diámetro.

El ácido sulfúrico llegará a la planta piloto en camiones cisternas y se almacenará en depósitos de acero inoxidable 304 con su superficie interior recubierta de teflón, según se indica en la tabla de compatibilidad de materiales [13] que se muestra en las Tablas 4.1 y 4.2 del anexo 1.

## 4.3 Almacenamiento de materias primas

La cascarilla de arroz se almacenará en 4 silos de 80 m<sup>3</sup> cada uno, cuyas dimensiones serán 8 metros de alto y 4 metros de diámetro fabricados en hormigón armado. Esta capacidad permite disponer de 40000 kg de cascarilla de arroz almacenados.

Desde los silos, la cascarilla de arroz se transportará a cada reactor mediante un tornillo transportador de sólidos de 0,23 m de diámetro.

El ácido sulfúrico se almacenará en depósitos de manera que cada reactor dispondrá de un depósito de ácido sulfúrico al 5%. Las dimensiones de cada depósito son 4 m de alto y 2 m de diámetro fabricado en acero inoxidable 304 con su superficie interior recubierta de teflón.

## 4.4 Reacción

El proceso de hidrólisis ácida en un reactor discontinuo va a tener varias etapas:

1. Carga de reactivos (cascarilla de arroz y ácido sulfúrico)
2. Establecimiento de las condiciones de operación
3. Reacción
4. Vuelta a condiciones ambientales

## 5. Descarga.

En el diagrama de Gantt que se muestra en el Anexo 1, Figuras 4.3 y 4.4 se puede apreciar la duración de cada etapa.

Los reactores se construirán en acero inoxidable 316 con su interior recubierto de teflón, como se detalla en el Apartado 5.2

Es importante señalar que los 10 reactores no van a operar simultáneamente sino con un desfase de 1 hora con la idea de que el proceso, a partir de la etapa de reacción se asemeje lo máximo posible a un proceso continuo.

## 4.5 Enfriamiento

Aunque una vez finalizada la reacción, se despresuriza el reactor y se enfría mediante agua que pasa a través de la camisa, se ha diseñado un intercambiador de calor para asegurar que el enfriamiento es efectivo, ya que es necesario trabajar a temperatura baja en los equipos que siguen al reactor debido a la presencia de ácido sulfúrico, fundamentalmente porque el filtro trabaja a vacío y la resina empaquetada en la columna de intercambio iónico no puede trabajar a temperaturas superiores a 60°C.

El citado intercambiador opera con agua de refrigeración por el lado de la carcasa y la corriente a enfriar circula por el lado de los tubos.

El material del intercambiador es acero inoxidable 316 tanto por el lado de los tubos como por el lado de la carcasa, como se detalla en el Apartado 6.1.

## 4.6 Filtración

La corriente producto del reactor lleva sólidos porque la degradación de la cascarilla de arroz no se produce en un 100%. De este modo el contenido en sólidos en la corriente es de un 7,6%. Esta pequeña cantidad de sólidos es necesario retirarla de la corriente, operación para la que se emplea el filtro rotatorio a vacío.

#### **4.7 Intercambio iónico**

En este punto del proceso se necesita concentrar la corriente de glucosa, pero la presencia de ácido sulfúrico presenta un inconveniente, por ello se procede a retirar el ácido sulfúrico mediante una columna de intercambio iónico. Dicha columna posee un lecho de resina con la capacidad de retener el ácido sulfúrico. Para regenerar la resina saturada, es necesario tratarla con hidróxido sódico. La corriente de salida de la regeneración de la resina se dirigirá hacia otra columna de intercambio iónico en la que se procederá a la recuperación del ácido, debido a que es un reactivo del que se emplean cantidades considerables en la planta piloto y que afecta al balance económico del proceso.

Concretamente, el diseño de la columna de regeneración de ácido formará parte de un futuro PFC.

#### **4.8 Evaporación**

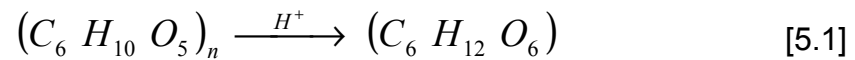
Esta va a ser la última operación de la planta piloto. Como se ha indicado previamente, es necesario incrementar la concentración de glucosa para proteger estos azúcares del ataque de hongos y evitar que ocurra una fermentación no deseada. Para ello, se dispone de un evaporador de triple efecto de película descendente construido en acero inoxidable 316, en el cual se realizará la concentración de la corriente de glucosa.

## 5 PROCESO DE REACCIÓN

A continuación, se va a desarrollar el punto principal del presente PFC, la reacción de hidrólisis ácida. En primer lugar, se va a realizar un breve estudio sobre la cinética de la reacción.

### 5.1 Cinética de la reacción.

La reacción que tiene lugar en el reactor se muestra en la Ecuación [5.1]:



Se trata de una reacción de hidrólisis ácida con lo cual, el ácido sulfúrico va a actuar como catalizador, permaneciendo en el medio al concluir la reacción.

Inicialmente, se considera que la reacción es de orden uno respecto a la concentración de celulosa, [5.2]:

$$(r_i) = k C_{Ai} \quad [5.2]$$

donde:

$r_i$ : es la velocidad de reacción de hidrólisis ácida de la celulosa

$k$ : es la constante de velocidad de la reacción de hidrólisis ácida de la celulosa

$C_{Ai}$ : es la concentración de celulosa para un instante  $i$  de tiempo

La constante de velocidad se ha tomado a partir de una ecuación experimental obtenida en laboratorio para la hidrólisis ácida de residuos lignocelulósicos [14] y se muestra en la ecuación [5.3]:

$$k = (964,39 + 7,69C^{2,08})10^{10} \exp\left(-\frac{101,31}{RT}\right) \quad [5.3]$$

El volumen necesario del reactor va a venir determinado por el volumen que va a ocupar el lecho de cascarilla de arroz en cada lote, que se obtiene en función de la masa de cascarilla de cada lote y su densidad. Así, el volumen resultante es de 3,2 m<sup>3</sup> (ver cálculos en el Anexo 2).

A partir del balance de materia realizado a la partícula (ver Anexo 2 y Anexo 3 sobre reactores de lecho fijo) y empleando las ecuaciones [5.4] y [5.5], se obtienen los perfiles de concentraciones de celulosa y glucosa, así como la influencia de la posición sobre la concentración de glucosa que se muestran en las Figuras 5.1, 5.2 y 5.3.

$$(C_{cel})_i = (C_{cel})_0 - (C_g)_i \frac{mol_{CELULOSA}}{mol_{GLUCOSA}} \quad [5.4]$$

$$C_A(i, j+1) = C_A(i, j) + \frac{k D_e}{h^2 \varepsilon_p} [C_A(i+1, j)] - 2C_A(i, j) + C_A(i-1, j) + \frac{\rho_p (r_A) k}{\varepsilon_p} \quad [5.5]$$

donde:

$A$ : es glucosa

$i$ : es la posición del punto cuyo valor es conocido

$j$ : es el instante de tiempo del punto cuyo valor es conocido

$h$ : es el ancho de paso de la posición (0,0011m)

$\varepsilon_p$ : es la porosidad de la partícula

$D_e$ : es la difusividad efectiva

$\rho_p$ : es la densidad de la partícula

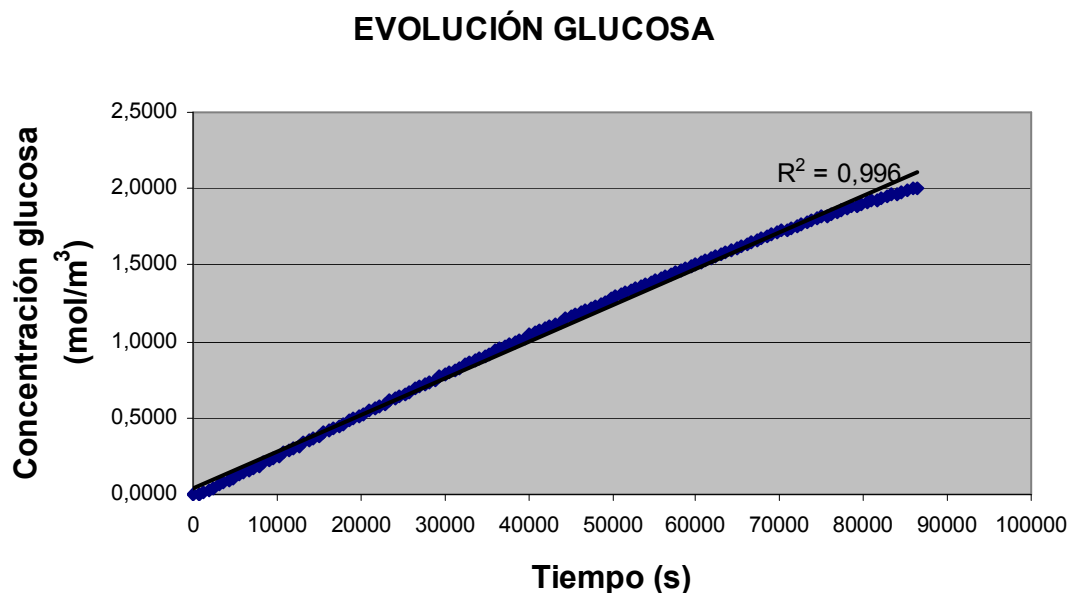
El tiempo durante el cual se produce la reacción es de 24 h, ya que a las 23 horas se produce el enfriamiento que dura 1 hora, por ello se considera que el tiempo de reacción es de 24 horas. Tras este tiempo de reacción se consigue un grado de degradación de la celulosa del 51,61% y una concentración de glucosa de 2,0073 mol /m<sup>3</sup>.



En el Anexo 1 se encuentran las Tablas 5.1 y 5.2 que muestran los resultados de velocidad de reacción y concentraciones de glucosa y celulosa.

A partir de las Figuras 5.1, 5.2, y 5.3, que se muestran a continuación, es posible deducir una serie de conclusiones sobre la reacción de hidrólisis ácida:

- La Figura 5.1, muestra la evolución de la concentración de glucosa en función del tiempo de proceso. Se observa una tendencia lineal de la misma con un coeficiente de regresión elevado ( $R^2=0,996$ ) que indica que la suposición que se realizó inicialmente (considerar que la reacción era de orden 1) es aceptable.



*Figura 5.1: Evolución de la concentración de glucosa a lo largo del tiempo.*

- La Figura 5.2 muestra la evolución de la concentración de glucosa en función de la posición en el interior de la partícula, para diferentes instantes de tiempo.

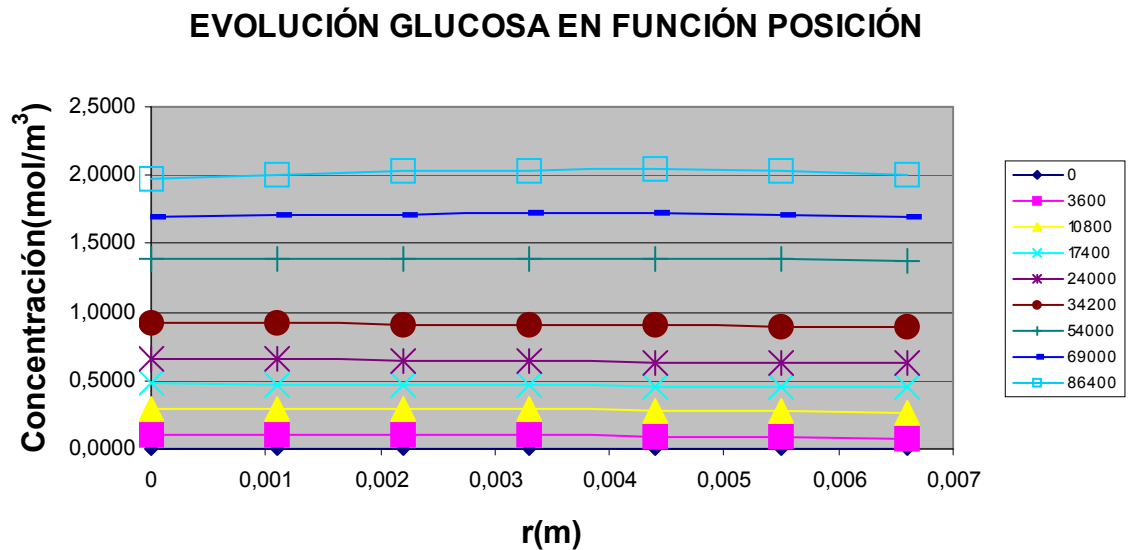


Figura 5.2: Evolución de la concentración de glucosa en el interior de cada partícula de cascarilla de arroz

Inicialmente es posible observar que la concentración de glucosa en cualquier posición en la partícula es cero, puesto que para el instante inicial ( $t=0$ ) la reacción no ha comenzado.

A medida que el tiempo transcurre se aprecia que se establece un perfil de concentraciones a lo largo de la partícula. Este perfil es prácticamente plano, con lo que se puede decir que la resistencia a la difusión de la glucosa a lo largo de la partícula es baja y las concentraciones entre una posición y otra difieren en pequeña medida. Sólo se produce, para posiciones cercanas a la superficie una pequeña disminución de la concentración, con lo cual se puede afirmar que los problemas difusionales son mayores en posiciones cercanas a la superficie de la partícula. Estos problemas difusionales se intensifican para tiempos elevados de reacción, principalmente en el centro y en la superficie de la partícula.

- En la Figura 5.3 se muestra la evolución de la concentración de la celulosa a lo largo del tiempo. Como se puede apreciar en la gráfica, la concentración va disminuyendo a lo largo del tiempo, debido a la degradación que van sufriendo las cadenas de celulosa. Por ello, la

Figura nos proporciona la resistencia estructural del medio. Como se menciona en el Anexo 2, una de las suposiciones para desarrollar el modelo del reactor es que la porosidad del lecho se mantiene constante. Debido a la degradación de la celulosa la porosidad va a ir aumentando, con lo cual es necesario realizar una compresión del lecho a lo largo del tiempo para mantener la porosidad constante. Esta Figura permite determinar las variaciones de presión que hay que realizar para mantener la porosidad constante a medida que va transcurriendo la reacción.

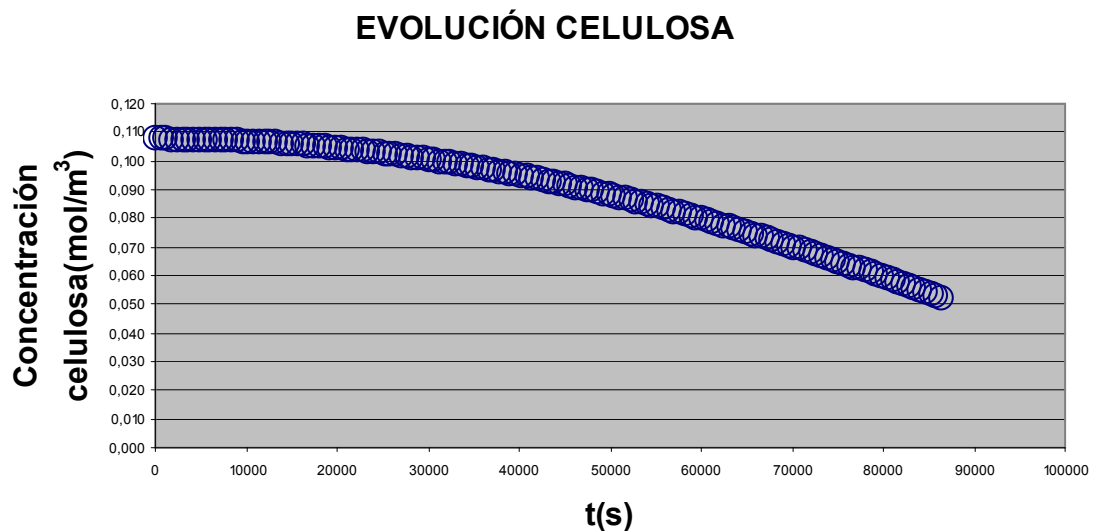


Figura 5.3: Evolución de la concentración de celulosa a lo largo del tiempo.

## 5.2 Diseño del reactor de lecho comprimido.

### 5.2.1 Aspectos generales de diseño

Una vez que se dispone de toda la información referente a la cinética de la reacción, se necesita diseñar un reactor en el cual se va a producir la reacción de hidrólisis ácida con la necesidad de un volumen mínimo de 3,2 m<sup>3</sup>, que es el volumen que va a ocupar cada lote de cascarilla de arroz a procesar, y un sistema de compresión para mantener la porosidad

constante. Debido a que las condiciones de operación van a ser 5 bar de presión y 150° C, para diseñar el depósito donde va a tener lugar la reacción es preciso acudir al Código ASME Sección VIII División1:Recipientes a Presión.

Se propone un reactor cilíndrico vertical formado por dos virolas de 1,4 m de diámetro interior, 1,5 m de longitud y dos tapas. La tapa superior del reactor se ha decidido que sea elipsoidal. Generalmente se suelen emplear tapas tipo Klopper, pero debido a que el proceso ocurre a presión, el Código de Recipientes a Presión (Código ASME Sección VIII División1) aconseja emplear tapa elipsoidal, ya que este tipo de tapas requiere un menor espesor para soportar la misma presión, lo cual implica una ventaja desde el punto de vista económico. Por otro lado, la tapa inferior va a ser cónica, ya que es la adecuada en el caso de que se pueda producir acumulación de sólidos en el fondo del recipiente, como es el caso. El código recomienda que el semiángulo sea inferior a 30°. Teniendo esto en cuenta va a ser de 29° ya que un mayor ángulo requiere un menor espesor, con lo cual obtenemos una ventaja desde el punto de vista económico.

### **5.2.2 Sistema de compresión del lecho.**

Como se ha comentado previamente, es necesario disponer de un émbolo que va actuar como elemento para mantener la compactación sobre el lecho de cascarilla. De esta manera al ir ejerciendo presión a lo largo del tiempo en función del perfil de degradación de celulosa obtenido, resultará posible asegurar que la porosidad del lecho se mantiene constante.

La presión que se va a ejercer será directamente proporcional a la degradación de la celulosa, así en la Tabla 5.3 que se encuentra en el anexo 1, se muestra la degradación de la celulosa y por consiguiente el desplazamiento que debe seguir el émbolo a lo largo del tiempo.

### **5.2.3 Calentamiento del reactor**

Para mantener la temperatura en 150° C va a ser necesario disponer de una camisa calefactora en la zona central que se hará coincidir con las dos

virolas, es decir que cubrirá los tres metros que ocupan las dos virolas. Asimismo el espacio que va a atravesar el vapor a través de la camisa, es decir la diferencia entre el diámetro exterior del reactor y el interior de la camisa será de 50 mm. En dicha camisa calefactora va a circular vapor saturado a 6 bar, que permitirá alcanzar 150°C en el interior del reactor. El procedimiento de cálculo se muestra en el Anexo 2.

El calentamiento con vapor se va a realizar en dos etapas. Inicialmente se parte de un reactor que se encuentra a temperatura ambiente (25°C). Para que la reacción pueda iniciarse es necesario que el reactor se encuentre a 150°C, con lo cual se necesita disponer de un aporte de vapor durante un determinado periodo de tiempo para alcanzar dicha temperatura. A este caudal de vapor se le denominará caudal de vapor de arranque, que como se puede ver en el Anexo 2 es de 745,70 kg/h para cada reactor, siendo el tiempo de arranque de 1 hora.

Una vez iniciado el proceso de reacción, es necesario mantener la temperatura en 150°C, ya que como consecuencia de las pérdidas de calor dicha temperatura va a tender a disminuir. De este modo, es necesario un aporte de calor mediante vapor a través de la camisa. A este caudal de vapor se le denomina caudal de vapor de operación. En el Anexo 2 se puede observar que el caudal de vapor de operación es de 2,20 kg/h, un valor muy pequeño gracias al aislamiento térmico del reactor que, como puede apreciarse, funciona correctamente.

#### **5.2.4 Enfriamiento del reactor**

Una vez que ha concluido el la reacción, es necesario volver a las condiciones ambientales, es decir se debe volver a presión atmosférica y temperatura moderada. No obstante no es preciso que la temperatura final sea de 25°C, con unos 50°C es suficiente, puesto que el objetivo es emplear bombas que no tengan que trabajar en condiciones extremas de presión y temperatura, dadas además las características del medio corrosivo en el que se trabaja.

Para el enfriamiento se empleará agua a temperatura ambiente que circulará durante una hora a través de la camisa calefactora con un caudal de 2378,52 kg/h.

### **5.2.5 Material de construcción del reactor**

Si se consultan las tablas de compatibilidad de materiales que se muestran en el Anexo 1 tablas 4.1 y 4.2, se puede observar que para ácido sulfúrico a una concentración entre 0 y 10% el acero inoxidable 316 es cuestionable en Serfilco, mientras Teflón y Hastelloy resultan adecuados. Por ello, se decide descartar Hastelloy debido a su elevado precio y optar por acero inoxidable 316L recubierto de Teflón.

### **5.2.6 Aislamiento térmico**

Resulta esencial aislar térmicamente el reactor por dos motivos fundamentales. En primer lugar, para evitar las pérdidas de calor a través de las paredes del mismo, lo que constituiría un serio inconveniente para poder alcanzar y mantener la temperatura deseada en el interior del mismo y repercutiendo en mayores caudales de vapor, aumentando los costes de operación. En segundo lugar, porque la superficie del reactor va a encontrarse a una elevada temperatura, y se podrían producir contactos accidentales de los operarios que provocarían graves consecuencias.

Para conseguir el aislamiento térmico se ha decidido cubrir el reactor con una capa de lana de roca [15] de 100 mm de espesor. La lana de roca pertenece al grupo de las lanas minerales, que son materiales aislantes constituidos por un entrelazado de fibras de origen pétreo, formando una estructura flexible y abierta que contiene aire inmóvil en su interior. Las lanas minerales son materiales de fibras minerales artificiales, por lo cual no contienen ni amianto ni asbesto en su composición puesto que son naturales. La lana de roca tiene como propiedades fundamentales:

- La capacidad de aislamiento térmico, gracias a que el aire inmóvil que contiene en su interior dificulta el flujo de calor a través del material.

- Propiedades de aislamiento acústico.
- Propiedades de aislamiento contra el fuego, gracias a su carácter inorgánico.

### **5.2.7 Espesores**

El espesor mínimo del reactor, calculado según Código ASME Sección VIII División1:Recipientes a Presión será de 20 mm para virolas, 7,94 mm para fondo cónico, 7,11 mm para fondo elipsoidal y 8,59 mm para la camisa calefactora. Todos los cálculos de los espesores se encuentran detallados en el Anexo 2: Cálculos para el diseño del reactor.

### **5.2.8 Registro de inspección**

Otro aspecto muy importante a la hora del diseño del recipiente reactor es el registro de inspección. El Código ASME Sección VIII División1 en el apartado UG-46 dice que todos los recipientes sometidos a presión, a corrosión interna, erosión o abrasión mecánica, deben proveerse de un registro para hombre, un registro para la mano u otras aberturas de inspección para ser revisados y limpiados. En el caso del presente proyecto, una vez finalizada cada etapa de reacción, se va a requerir la limpieza del reactor para retirar la cascarilla de arroz remanente una vez se haya procedido al vaciado del mismo. Con lo cual lo más adecuado será disponer de una boca o registro para hombre.

El código establece que para diámetros de recipiente mayores de 36", el registro de inspección requerido es un registro de hombre con un mínimo de 15" de diámetro interior, cuya ubicación preferible es en cada cabeza o cerca de cada cabeza. Respecto a la forma del registro, la norma indica que estos deben ser preferentemente circulares, elípticos u oblongos (formado por dos lados paralelos y extremos semicirculares).

El registro para hombre que se instalará en el reactor será de forma oblonga, con un diámetro interior de 500 mm (19,68") en cada extremo

semicircular y con 500 mm de distancia entre lados paralelos. En el Plano número 2 se puede ver el reactor.

### **5.2.9 Válvula de seguridad**

Debido a que el reactor, como se ha comentado anteriormente trabaja a presión, es necesario que disponga de una válvula de seguridad o alivio. Dicha válvula, se abrirá cuando se produzca una sobrepresión en el reactor liberando la misma y volviendo el sistema a condiciones seguras.



## 6 OTRAS UNIDADES DE PROCESO

### 6.1 INTERCAMBIADOR DE CALOR

#### 6.1.1 Introducción

Un intercambiador de calor es un dispositivo que facilita la transmisión de calor de una corriente de fluido a otra. Los procesos de producción de energía, refrigeración, calefacción y acondicionamiento de aire, elaboración de alimentos, elaboración de productos químicos, refinado del petróleo, y el funcionamiento de casi todos los vehículos dependen de diversos tipos de intercambiadores de calor.

Una primera clasificación de los intercambiadores de calor los divide en :

- Intercambiadores de una corriente: aquellos en los que sólo varía la temperatura de un fluido, tal es el caso de muchos tipos de evaporadores y condensadores.
- Intercambiadores de dos corrientes: aquellos en los que cambia la temperatura de dos fluidos.

En el presente Proyecto Fin de Carrera se precisa enfriar una corriente, de modo que se va a utilizar otro fluido y así aprovechar la energía retirada. Dentro de los intercambiadores de dos corrientes existen diversas configuraciones geométricas de flujo, las cuales se explican a continuación:

- Dos corrientes en flujo paralelo (intercambiador de corrientes paralelas): los dos fluidos fluyen en direcciones paralelas y en el mismo sentido. Este tipo de intercambiador puede constar de una coraza en el interior de la cual se disponen una gran número de tubos. Recibe el nombre de cambiador de calor de carcasa y tubos. Suele emplearse para el caso de líquidos y para altas presiones. Otro tipo es el cambiador de calor de placas consistente en placas separadas por juntas, este es adecuado para gases y bajas presiones.

- Dos corrientes en contracorriente (intercambiador de contracorriente): en este caso los fluidos se desplazan en direcciones paralelas pero en sentidos opuestos. Los más comunes son los de carcasa y tubo y los de placas. En la práctica se usan más este tipo debido a que presentan una eficacia mayor que la del de corrientes paralelas para un número dado de unidades de transferencia.
- Dos corrientes en flujo cruzado: las corrientes fluyen en direcciones perpendiculares. La corriente caliente puede fluir por el interior de los tubos de un haz y la corriente fría puede hacerlo a través del haz en una dirección perpendicular a los tubos. Esta configuración tiene una eficacia intermedia entre la de un intercambiador de corrientes paralelas y la de uno en contracorriente, aunque su construcción es más sencilla debido a la relativa simplicidad de los conductos de entrada y salida.
- Dos corrientes en contraflujo cruzado.
- Dos corrientes a pasos múltiples: cuando los tubos de un intercambiador de carcasa y tubos están dispuestos en uno o más pasos en el interior de la coraza, de tal manera que algunos de los pasos producen un flujo paralelo mientras que otros producen un flujo a contracorriente.

En el presente PFC se decide diseñar un cambiador a contracorriente tipo carcasa y tubo debido a que es el que tiene una mayor eficacia y es el más usado en la industria química, de manera que es más fácil de localizar un suministrador. [16]

### **6.1.2 Caracterización de la corriente de entrada**

Como se puede observar en el esquema de la planta (Figuras 4.1 y 4.2), la corriente de salida del reactor está formada por la cascarilla de arroz que no ha sufrido degradación durante el proceso de reacción, así como por la solución resultante, compuesta por la glucosa formada y el catalizador ácido en su totalidad. Para poder retirar la cascarilla de arroz se utilizará un filtro rotatorio a vacío, que se diseñará posteriormente. Dicho filtro no

puede operar a temperaturas elevadas, de manera que resulta necesario enfriar la corriente producto del reactor desde los 150°C a 50°C. Como consecuencia, el inconveniente que se plantea es la necesidad de enfriar una corriente que tiene un 7,64% de sólidos.

Como precedente y en base a la experiencia profesional de la autora, en la industria química, y particularmente en la planta GICC de ELCOGAS S.A. se enfrían aguas que poseen finos de escoria en porcentajes superiores al que posee la corriente que se procesa en este proyecto. Dicho enfriamiento se realiza en intercambiadores de panel de tubos fijos, por tanto se va a diseñar el mismo tipo de intercambiador, empleando agua de refrigeración.

### **6.1.3 Selección del tipo de intercambiador de calor**

El cambiador de calor que se va a emplear es del tipo carcasa y tubos, ya que es el más recomendado y empleado en la industria química. Dentro de este tipo de cambiadores se ha elegido el intercambiador de panel de tubos fijos, ya que éste es el que se emplea con mayor frecuencia en aplicaciones en las que existen sólidos.

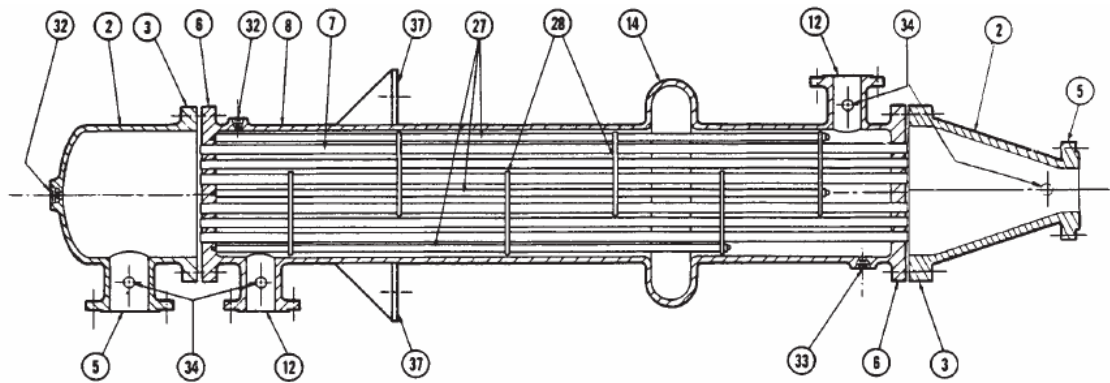
Los paneles de tubos van soldados a la carcasa. Aunque el haz no es reemplazable, es posible reemplazar los tubos individualmente. Desde el punto de vista de la limpieza, que en este equipo va a suponer un aspecto muy importante, este tipo de intercambiador permite la limpieza del interior de los tubos tanto de forma mecánica como con productos químicos.

Según TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) se describen mediante tres letras, que indican: el tipo de cabezal distribuidor, carcasa y cabezal de salida o retorno. El intercambiador que se va a diseñar va a ser del tipo BFM:

- B: distribuidor desmontable (requiere desconexión de tuberías de entrada y salida atornilladas al distribuidor) para acceso a los tubos. Es el tipo más usado junto con el tipo A y más económico que este último. Es adecuado para servicios que no requieran limpieza de carcasa frecuente.

- E: un paso por carcasa.
- M: panel de tubos fijos. Las placas tubulares están soldadas a la carcasa y por tanto el haz tubular no es extraíble. Se usa en el caso de fluidos muy limpios por carcasa.

En la Figura 6.1 del Anexo 1, se muestra la designación TEMA para intercambiadores de calor de carcasa y tubos y en la Figura 6.2 se muestra el intercambiador con su nomenclatura:



- |   |  |
|---|--|
| 1. Stationary Head—Channel                  | 20. Slip-on Backing Flange               |
| 2. Stationary Head—Bonnet                   | 21. Floating Head Cover—External         |
| 3. Stationary Head Flange—Channel or Bonnet | 22. Floating Tubesheet Skirt             |
| 4. Channel Cover                            | 23. Packing Box Flange                   |
| 5. Stationary Head Nozzle                   | 24. Packing                              |
| 6. Stationary Tubesheet                     | 25. Packing Gland                        |
| 7. Tubes                                    | 26. Lantern Ring                         |
| 8. Shell                                    | 27. Tie Rods and Spacers                 |
| 9. Shell Cover                              | 28. Transverse Baffles or Support Plates |
| 10. Shell Flange—Stationary Head End        | 29. Impingement Plate                    |
| 11. Shell Flange—Rear Head End              | 30. Longitudinal Baffle                  |
| 12. Shell Nozzle                            | 31. Pass Partition                       |
| 13. Shell Cover Flange                      | 32. Vent Connection                      |
| 14. Expansion Joint                         | 33. Drain Connection                     |
| 15. Floating Tubesheet                      | 34. Instrument Connection                |
| 16. Floating Head Cover                     | 35. Support Saddle                       |
| 17. Floating Head Flange                    | 36. Lifting Lug                          |
| 18. Floating Head Backing Device            | 37. Support Bracket                      |
| 19. Split Shear Ring                        | 38. Weir                                 |
|   | 39. Liquid Level Connection              |

Figura 6.2: Nomenclatura de los componentes del intercambiador BEM.[52]

#### 6.1.4 Criterios para determinar el fluido que circula por tubos y por carcasa.

Los criterios a tener en cuenta para decidir qué fluido circula por cada lado son:

- El fluido más sucio circulará por el interior de los tubos, donde la limpieza mecánica o por agua a presión es más sencilla.
- El fluido más corrosivo se tiende a situar por el lado de los tubos, ya que se minimiza el uso de una metalurgia más noble.
- Por igual motivo el fluido a mayor presión tiende a situarse también por el lado tubos.

De acuerdo con estos criterios se decide que la corriente producto vaya por el interior de los tubos, tanto por ser más sucio como por la presencia de  $H_2SO_4$ . Por tanto, por el lado de la carcasa irá el agua de refrigeración.

### **6.1.5 Diseño del intercambiador de calor**

Como se ha indicado en la introducción, el intercambiador será de carcasa y tubos. Los cálculos se detallan en el Anexo 4 y el intercambiador se muestra detalladamente en el Plano número 3.

Se ha acudido a un fabricante de intercambiadores de calor y se ha elegido de catálogo el modelo que se ajusta a los requerimientos del proceso. Como el área requerida es de  $152,085 \text{ ft}^2$ , se elige el modelo que proporcione esa área.

El intercambiador por tanto será el modelo 12-72 (o de similares características) para tubos de  $5/8''$  que posee un área de  $180,6 \text{ ft}^2$ , y un solo paso por tubos, para que sea contracorriente puro, ya que se ha considerado que  $F=1$ . En el Anexo 10 se muestra el catálogo del intercambiador, cuyas características son detalladas en el Plano 3.

Las principales características del intercambiador son:

#### **6.1.5.1 Carcasa.**

La carcasa del intercambiador de calor será de  $12,75''$  de diámetro, construida en acero inoxidable 316.

### **6.1.5.2 Tubos**

Los tubos del intercambiador de calor serán de acero inoxidable 316, ya que para una temperatura media de 100°C este material es aceptable, con diámetro de 5/8" y una longitud de 72"(1,83 m).

## **6.2 FILTRO**

La filtración es una operación unitaria física de separación de un sólido de un fluido, mediante el paso de la suspensión constituida por ambos a través de un medio poroso.

### **6.2.1 Objetivo del proceso de filtración**

El objetivo del proceso de filtración es retirar la cascarilla de arroz remanente de manera que no se produzcan obstrucciones a lo largo de toda la línea de tuberías de la planta y de los equipos, pudiendo así obtener la corriente de glucosa en condiciones adecuadas para su posterior fermentación, la que se desarrollará fuera de los límites de batería de la planta piloto objeto del presente PFC.

### **6.2.2 Caracterización de la corriente de entrada al filtro**

Una vez concluida la reacción, se obtiene una corriente que se encuentra a una temperatura de 150°C y 5 bar de presión. Esta corriente es enfriada en el reactor y en el intercambiador de calor, entrando al filtro a 50°C. La cascarilla de arroz va a sufrir durante la reacción una degradación debido a que así lo hacen las cadenas de celulosa que la componen, por ello se va a obtener una masa de cascarilla significativamente inferior a la inicial. De la misma manera, el tamaño de partícula disminuirá.

La corriente de salida del reactor y por ello del intercambiador estará constituida por 2,368 m<sup>3</sup> de disolución que contendrá el catalizador, la glucosa generada y 193,6 kg de cascarilla de arroz que contendrá la celulosa no convertida. Este sólido constituye el 7,64% en peso del total.

### **6.2.3 Selección del tipo de filtro**

Debido al bajo contenido en sólidos de la corriente a tratar, se va a optar por un filtro rotativo a vacío, (Figura 6.3) que se emplea en la industria alimentaria, concretamente para el caso de almidones y también se emplea

en la industria vitivinícola para filtrar el vino con levaduras, cuya concentración y características son también similares.

Al tratarse de aplicaciones similares, con un bajo contenido en sólidos, este tipo de filtro es el más adecuado para la instalación en la planta que nos ocupa.



*Figura 6.3: Tipo de filtro rotatorio a vacío. Fuente: GL&V/Dorr-Oliver Inc.*

Este tipo de filtros presenta la ventaja de tener bajo coste de mano de obra, una gran capacidad en relación al espacio que ocupa y flexibilidad en cuanto al espesor de la torta.

Debido a la presencia de ácido sulfúrico hay que prestar especial atención a los materiales en los que va a estar construido el filtro. El fabricante del filtro GL&V /Dorr-Oliver Inc.[17] indica en el catálogo (Anexo 10) que estos



filtros se pueden emplear para aplicaciones en medios corrosivos, estando disponibles en materiales resistentes a la corrosión; desde aceros inoxidables de distintas calidades, titanio, Hastelloy® e incluso con componentes de Polipropileno. Este último, como indica la tabla de compatibilidad de materiales (Tabla 4.2) es adecuado para soluciones de ácido sulfúrico hasta el 10%. Por ello, desde el punto de vista de la corrosión este tipo de filtro no va a presentar ningún inconveniente.

#### **6.2.4 Descripción del filtro rotatorio a vacío**

Este tipo de filtro está compuesto por un tambor rotatorio cilíndrico, que gira en torno a un eje horizontal. El diseño más común tiene la superficie del tambor formada por un cierto número de compartimentos poco profundos, formados entre tabiques de separación colocados a lo largo de todo el tambor. Cada compartimento está conectado por medio de una o más tuberías, a una válvula rotatoria automática, situada en posición central, en uno de los extremos del tambor. El tambor está sumergido parcialmente en un tanque abierto. El medio de filtración cubre toda la superficie del tambor y está soportado por placas perforadas, parrillas o alambres para proporcionar espacio de drenaje entre el medio y el fondo de cada compartimento. El tambor gira a velocidades entre 0,1 y 2 r.p.m.

#### **6.2.5 Funcionamiento del filtro rotatorio a vacío**

A medida que el tambor gira y cada compartimento se sumerge en el tanque, se hace el vacío en cada uno de ellos por medio de la válvula rotatoria automática. El filtrado fluye a través del medio y sale del compartimento por el tubo de drenaje, siendo dirigido por la válvula hacia el depósito de filtrado. En la superficie exterior del medio, se forma así, una torta que es liberada del filtrado por succión, cuando el compartimento emerge del tanque lleno de la solución a filtrar. Una vez avanzado el ciclo, el compartimento se desconecta de la fuente de vacío y se introduce aire comprimido durante un tiempo bajo el medio de filtración, con lo cual la torta se separa de la superficie del medio y se retira mediante una cuchilla.

El equipo de filtración dispone de un depósito donde, a medida que se va produciendo la filtración, se va almacenando el filtrado, de manera que desde este depósito se dirigirá la corriente a la columna de intercambio iónico.

Existe una gran variedad de filtros en función, principalmente de la forma de descarga de la torta. Como se puede apreciar en el catálogo del filtro del Anexo 10, el modelo seleccionado ha sido el de cuchilla ya que es el más simple y dada la aplicación de uso en este PFC no es necesario disponer de un filtro más complejo.

Debido al bajo contenido en sólidos se emplea una precapa, que es un recubrimiento de diatomeas, perlita o tierra de Lebrija, que se aplica antes de iniciarse el proceso de filtración. La dosificación es de 20 kg por cada m<sup>2</sup> de superficie de filtración, por ello en total se necesitarán 139,4 kg.

### 6.2.6 Selección del modelo y dimensiones del filtro

En el Anexo 5 se muestran los cálculos necesarios para determinar las dimensiones del filtro necesario y de esta manera cumplir los requerimientos del proceso de filtración.

El área requerida es de 5,62 m<sup>2</sup> (60,5 ft<sup>2</sup>), de modo que si se acude al catálogo del suministrador del filtro (Anexo 10) se observa que el modelo que se ajusta a las necesidades planteadas es el que tiene las dimensiones que se indican en la Tabla 6.4.

Diámetro de tambor	1,83 m (6 ft)
Longitud de tambor	1,22 m (4 ft)
Área	6,97 m <sup>2</sup> (75 ft <sup>2</sup> )

*Tabla 6.4: Dimensiones del filtro seleccionado.*

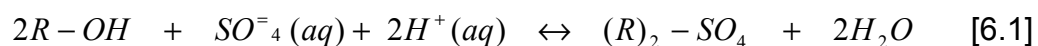
Las dimensiones del filtro, así como su geometría y disposición se muestran en el Plano n° 4.

## 6.3 RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO

### 6.3.1 Proceso de intercambio iónico

La corriente de salida del filtro se encuentra a 50°C exenta de partículas con el ácido sulfúrico que ha actuado como catalizador en la reacción de hidrólisis ácida. Para poder continuar con el tratamiento de la corriente de glucosa, que debe concentrarse en un evaporador, es necesario eliminar el ácido mediante intercambio iónico. La neutralización se va a producir al hacer pasar la disolución a través de una resina de intercambio iónico básica débil.

Los intercambiadores iónicos son matrices sólidas que contienen sitios activos con carga electrostática, positiva o negativa, neutralizadas por un ion de carga opuesta. En estos sitios activos tiene lugar la reacción de intercambio iónico. En el caso que nos ocupa, el ácido sulfúrico va a intercambiar su anión  $SO_4^-$  con los aniones  $OH^-$  de la resina, del modo que se muestra en la ecuación 6.1.



A medida que la disolución a tratar pasa a través de la resina situada en una columna, los iones presentes en dicha disolución desplazan a los que estaban inicialmente en los sitios activos.

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

Las etapas del proceso se describen a continuación:

- Empaquetamiento de la columna: consiste en introducir la resina de intercambio en el interior de la columna, evitando la formación de bolsas de aire entre sus partículas, para obtener un lecho uniforme. Esta

operación se realiza lavando el intercambiador con agua destilada, eliminando así las impurezas que pudieran aparecer.

- Etapa de carga: en esta etapa la disolución a tratar fluye gradualmente a través del intercambiador o resina, produciéndose el intercambio de iones entre ésta y la disolución. Las condiciones de operación dependen de la resina y es importante optimizarlas para obtener un buen rendimiento en cuanto a capacidad y selectividad. Cuando la resina comienza a estar saturada con los iones de la disolución, se observa un aumento de la concentración de dichos iones en la disolución a la salida de la columna. Es preciso evitar esta situación puesto que la corriente de salida no cumpliría con las condiciones de neutralidad necesarias para poder ser tratada en la siguiente unidad del proceso.
- Etapa de regeneración: una vez concluida la etapa de carga, se procede a devolverle a la resina su forma iónica inicial, empleando una disolución concentrada en el ion originariamente asociado al intercambiador. Es fundamental que la etapa de regeneración sea eficaz para lograr el buen funcionamiento de la posterior etapa de carga.

La resina de intercambio iónico operará en contracorriente, de manera que la disolución a tratar se introducirá por el extremo superior de la columna y durante del proceso de regeneración la disolución regenerante se introducirá en sentido opuesto, es decir, por la parte inferior de la columna. Con ello se consigue que el regenerante al pasar de abajo a arriba produzca la fluidificación del lecho, aumentando la superficie de contacto y en consecuencia la eficacia y velocidad de regeneración. De esta forma, se disminuyen los costes del proceso.[18] y [19]

### 6.3.2 Selección de la resina de intercambio iónico

Dadas las peculiaridades del presente PFC, se va a emplear una resina cambiadora de aniones, que reemplazará el anión  $\text{SO}_4^-$  por el  $\text{OH}^-$  de la resina según la Ecuación 6.1.

Concretamente se empleará una resina débilmente básica, que contiene un grupo funcional poliamino, que hace de absorbedor del ácido. Así, la resina seleccionada será DOWEX M-43 (o de similares propiedades y características). En el Anexo 10 se muestra la información proporcionada por el suministrador sobre la resina elegida, en la que se informa de que esta resina elimina el ácido de la disolución mediante neutralización. Concretamente la resina es eficaz en la eliminación de ácidos como HCl, HBr, HF, HI,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$ , ácidos acético, fórmico, propiónico y benzoico, entre otros.

La resina DOWEX M-43 (o similar) se regenera mediante lavado con soluciones básicas y puede ser regenerada cientos de veces operando con éxito en todos los ciclos.

### 6.3.3 Selección de la disolución regenerante

El fabricante de la resina sugiere varias soluciones regenerantes, de entre las cuales se va a elegir aquella que implique un menor coste económico. Inicialmente parece una buena opción el carbonato de sodio, aunque no existe como solución comercial en grandes volúmenes. Por el contrario sí se dispone de NaOH en soluciones comerciales con varias concentraciones. A tenor de estos motivos se decide emplear soluciones de NaOH para regenerar la resina.

Se partirá de una solución comercial 1N de NaOH para obtener la concentración indicada por el fabricante de la resina, (ver Anexo 6, cálculos de la resina de intercambio iónico).

### 6.3.4 Diseño del proceso de intercambio iónico

Para poder retirar la totalidad del ácido sulfúrico presente en la corriente de glucosa, se necesita un volumen de resina de 1,541 m<sup>3</sup>, equivalentes a 986,53 kg de la misma, teniendo en cuenta la densidad de ésta, 0,64 g/cm<sup>3</sup> (Tabla 6.5). El procedimiento de cálculo del volumen necesario, así como del resto de parámetros se muestra en el Anexo 6.

Product Name	Type	Matrix	Functional Group
DOWEX M-43	Weak Base Anion	Styrene-DVB, Macroporous	Tertiary Amine

Typical Physical and Chemical Properties	Units	FB(Free Base) Form
Total Exchange Capacity, min.	eq/L	1.55
Weak Base Capacity, min.	eq/L	1.35
Water Retention Capacity	%	40 - 50
<b>Particle Size Distribution</b>		
Range	µm	300 - 1200
>1200 µm, max. (16 mesh)	%	<2
<300 µm, max. (50 mesh)	%	<3
Shipping Weight, approx.	g/cc	0.64
Shipping Weight, approx.	lbs/ft <sup>3</sup>	40
Temperature Limit		150°F max.

Tabla 6.5: Propiedades de la resina DOWEX-43. Fuente: Dow Chemical Company.

Se dispondrá de una columna cuyas dimensiones se señalan posteriormente. Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del fabricante de la resina (ver catálogo resina en Anexo 10), se ha determinado el volumen de necesario. En función de este volumen, se han calculado las dimensiones de la columna.

Como consecuencia del fenómeno de “*swelling*” (hinchamiento) que sufre la resina durante el proceso de lavado, la columna donde se soportará la misma debe sobredimensionarse. De acuerdo con las propiedades de la

resina (Tabla 6.5) la expansión que presenta es del 50% como máximo, con lo que el volumen que ocupará será de  $2,31 \text{ m}^3$  y la altura de la columna será, como mínimo de 2,312 m. Teniendo esto en consideración, las dimensiones, cuyo cálculo se recoge en el Anexo 6 son 3 m de alto y 1m de diámetro.

En el Plano número 5 se muestra la columna de intercambio iónico.

El caudal máximo de operación, siguiendo las especificaciones proporcionadas por el fabricante (ver catálogo en Anexo 10), será de  $18,54 \text{ m}^3/\text{h}$  (aunque se trabajará a un caudal de  $2,368 \text{ m}^3/\text{h}$ ) y el caudal de regenerante será de  $4,12 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### **6.3.5 Material de construcción de la columna**

La columna se fabricará en acero inoxidable 316, ya que para la temperatura de operación ( $50^\circ\text{C}$ ), como se puede comprobar en la tabla de compatibilidad de materiales, dicho material es resistente a la corrosión del ácido.

### **6.3.6 Caída de presión a lo largo de cada columna**

Para la columna, debido a que la velocidad de flujo es muy baja se produce una pérdida de presión despreciable. Su valor es de  $1757,4 \text{ N/m}^2$ , cuyos cálculos se detallan en el Anexo 6.

### **6.3.7 Secuencia de operación de la resina de intercambio iónico**

En el Anexo 10 se muestra la forma de proceder para insertar la resina en la columna e iniciar el proceso de intercambio iónico.

El tiempo empleado en retirar el ácido de la disolución será de 1 hora, de manera que no es necesario disponer de más columnas para la regeneración de la resina puesto que el reactor tarda 23 horas en procesar un nuevo lote, y el periodo de regeneración de la resina, como se muestra en el Anexo 6 es inferior a 1 minuto.

### **6.3.8 Recuperación del ácido sulfúrico**

Debido al elevado coste del ácido sulfúrico, se tratará la corriente de salida de la regeneración de la resina en una columna de intercambio iónico en la que se recupere el ácido sulfúrico y se dirija nuevamente a su depósito correspondiente. Dicho proceso no será objeto del presente proyecto fin de carrera, ya que se abordará en el PFC que complete la producción de bioetanol.



## **6.4 EVAPORADOR**

### **6.4.1 Objetivo de la evaporación**

La corriente que sale de la resina de intercambio iónico, carece de ácido sulfúrico y se someterá a la etapa de evaporación parcial del disolvente, (agua). El objetivo de este proceso es proteger estos azúcares del ataque de hongos y evitar que ocurra una fermentación no deseada.

### **6.4.2 Caracterización de la corriente de entrada al evaporador.**

La corriente de entrada al evaporador (2224,4 kg/h) se encuentra a 50°C y presenta una concentración de glucosa de 0,361 g/l.

### **6.4.3 Selección del tipo de evaporador**

La evaporación consiste en la separación de un disolvente volátil de un soluto no volátil por vaporización del disolvente efectuándose la calefacción por medio del vapor condensante. Las partes esenciales de un evaporador son la cámara de calefacción y la cámara de ebullición, separadas por una superficie de calefacción [20]. La forma y disposición de ambas cámaras varían de unos evaporadores a otros.

Dentro de todos los tipos de evaporadores disponibles en el mercado se ha elegido el evaporador de tubos largos principalmente por ser el de menor coste, aunque además presenta las siguientes ventajas:

- 1) Superficie de calentamiento amplia en un solo cuerpo.
- 2) Baja retención.
- 3) Necesidad de poco espacio de terreno.
- 4) Buenos coeficientes de transmisión de calor en todas las diferencias de temperatura, en el caso de película descendente. [21]

El evaporador de tubos largos consiste en un intercambiador de calor tipo carcasa y tubo que se dispone verticalmente, de manera que por el interior

de los tubos circula la disolución a concentrar y por la carcasa el vapor de calefacción.

El evaporador de tubos largos puede ser de película ascendente o descendente. El principal problema de este último es la mala distribución del líquido, haciéndose necesaria una recirculación. Este problema se soluciona colocando unas placas metálicas perforadas sobre una placa tubular cuidadosamente nivelada, por medio de inserciones en los extremos de los tubos que generen un flujo uniforme en cada tubo o bien utilizar una boquilla individual de pulverización dentro de cada tubo.

Se va a emplear un evaporador de múltiples efectos, concretamente tres, de manera que el vapor entra en un efecto y el disolvente evaporado en ese efecto va a ser la calefacción del siguiente efecto y así sucesivamente.

El objetivo de emplear múltiples efectos es disminuir la cantidad de vapor necesaria para conseguir un grado de concentración determinado. Se ha calculado el consumo de vapor para dos y tres efectos, eligiéndose los tres efectos debido al menor consumo de vapor requerido. Esta decisión se ha tomado asumiendo el incremento de coste del equipo al pasar de dos a tres efectos, pero se le ha dado prioridad al consumo de vapor debido a los frecuentes periodos de sequía que se dan en la zona y que provocarían la parada de la planta.

Se distinguen varios sistemas de alimentación, entre los cuales destacan:

- Alimentación directa: la dirección de la corriente de líquido a concentrar y del vapor de calefacción es la misma, circulando en sentido de presiones decrecientes.
- Alimentación en contracorriente: el líquido entra en el último efecto, llevando sentido contrario al del vapor de calefacción. En este caso es necesario disponer de bombas entre cada efecto.

Debido a que la corriente de entrada no se encuentra a la temperatura de ebullición, se podría trabajar a contracorriente de manera que la alimentación entraría por el último efecto, disminuyéndose la energía necesaria para llevar la alimentación a la temperatura de evaporación y el

área de intercambio. El inconveniente es que esta configuración necesita bombas impulsoras entre cada efecto puesto que el fluido no circula en sentido de presiones decrecientes, lo cual encarecería tanto el coste inicial como los de operación y mantenimiento.

La elección del evaporador de película descendente está justificada debido a que proporciona buenos valores de los coeficientes globales de transmisión de calor para cualquier valor de diferencias de temperaturas. Además, hay que añadir que no tiene limitación en cuanto al número de efectos, de manera que resultaría posible una futura ampliación de la planta.[22]

#### **6.4.4 Diseño del evaporador**

En el Anexo 7 se detallan los cálculos del evaporador de triple efecto con alimentación directa. Como se puede comprobar, se realizan los balances de materia y energía para resolver el diseño del evaporador.

La corriente de concentrado del evaporador tendrá una temperatura de 50°C y la concentración de glucosa alcanzada es de 300 g/l (30,34%).

La concentración de cada una de las corrientes se pueden observar en la Figura 6.4, en la que también se observa que en el primer efecto se emplea como elemento calefactor vapor a 6 bar que será suministrado por la caldera de la planta de proceso.

El evaporador elegido se muestra en el Plano número 6 en el que se puede comprobar que posee tres efectos, cada uno con un área de 5,766 m<sup>2</sup>.

El diseño se corresponde con el modelo FFRV-05-3 suministrado por Bucher-Alimentech Ltd. (o cualquier otro de similares características). En el Anexo 10 se puede ver una foto del equipo.

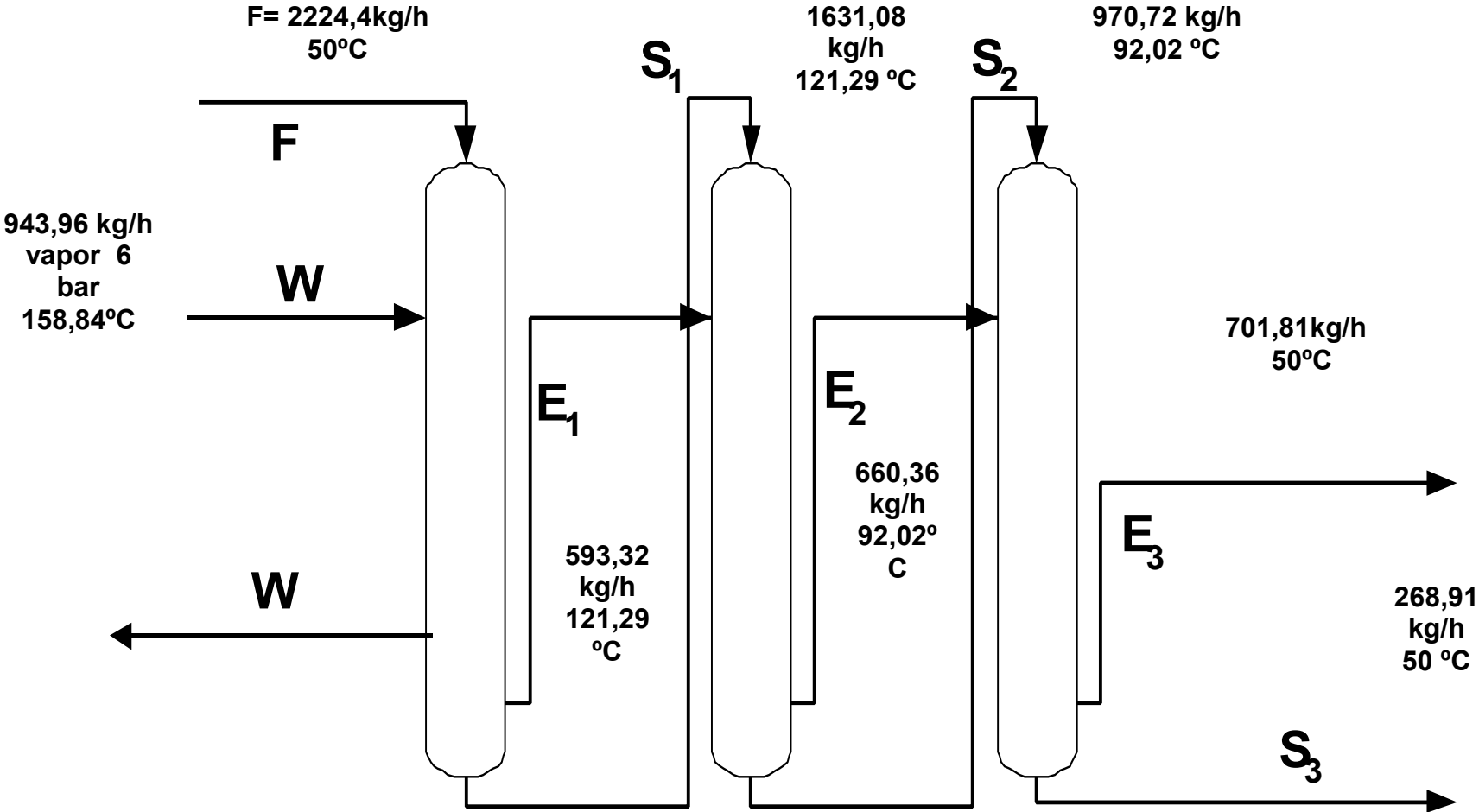


Figura 6.4: Esquema del proceso de evaporación con balance de materia.

## **7 SISTEMA DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS**

### **7.1 Introducción**

A continuación, se va a diseñar el sistema de tuberías de la planta piloto. Dicho diseño va a consistir en seleccionar el material de construcción de las tuberías, el diámetro y el espesor de las mismas así como la caída de presión que va a experimentar el fluido a lo largo de estas.

Para poder conducir el fluido por la planta, va a ser necesario impulsarlo en determinados puntos mediante bombas, por lo que se calculará la potencia necesaria y la altura máxima a la que se podrán colocar (ANSP).

En este punto también se van a indicar cuáles con las válvulas necesarias así como el tipo de cada una de ellas.

### **7.2 Diseño de tuberías**

Para realizar el diseño de tuberías se ha dividido la planta en 5 líneas principales, las cuales se pueden ver en la Figura 4.1 y son:

- 1) Depósito de disolución de ácido sulfúrico- reactor.
- 2) Reactor-intercambiador de calor
- 3) Intercambiador de calor-filtro
- 4) Filtro-columna de intercambio iónico
- 5) Columna de intercambio iónico-evaporador.

Debido a que por cada línea circula el fluido en distintas condiciones, tanto el material como el tamaño de las tuberías van a ser distintos. En el Anexo 8 se muestran los cálculos del diseño de tuberías.

#### **7.2.1 Material de construcción de las tuberías**

El material de construcción es en este caso una cuestión importante debido a la presencia de ácido sulfúrico al 5%. Así, el material más adecuado se obtiene a partir de la gráfica concentración-temperatura y la tabla de

materiales de NACE (*National Association of Corrosion Engineers*) en la sección "*Corrosion Data Survey. Metals Section*" [23].

Para ácido sulfúrico al 5% y temperaturas de 50 y 150°C los materiales recomendados son:

- Acero inoxidable Alloy 20 (20Cr-30Ni)
- Monel 400 (66Ni32Cu, standard ASTM B164)
- Hastelloy B

En la Figura 7.1 [24] se comprueba que el primero es el de menor coste. Por ello va a ser el acero inoxidable Alloy 20 el elegido para todas las líneas que trabajan con ácido sulfúrico, es decir los tramos hasta llegar a la columna de intercambio iónico.

Para el tramo de la columna de intercambio al evaporador se dispondrá de acero al carbono ASTM A106 grado B, ya que es el más utilizado en tuberías.

10-134 TRANSPORT AND STORAGE OF FLUIDS

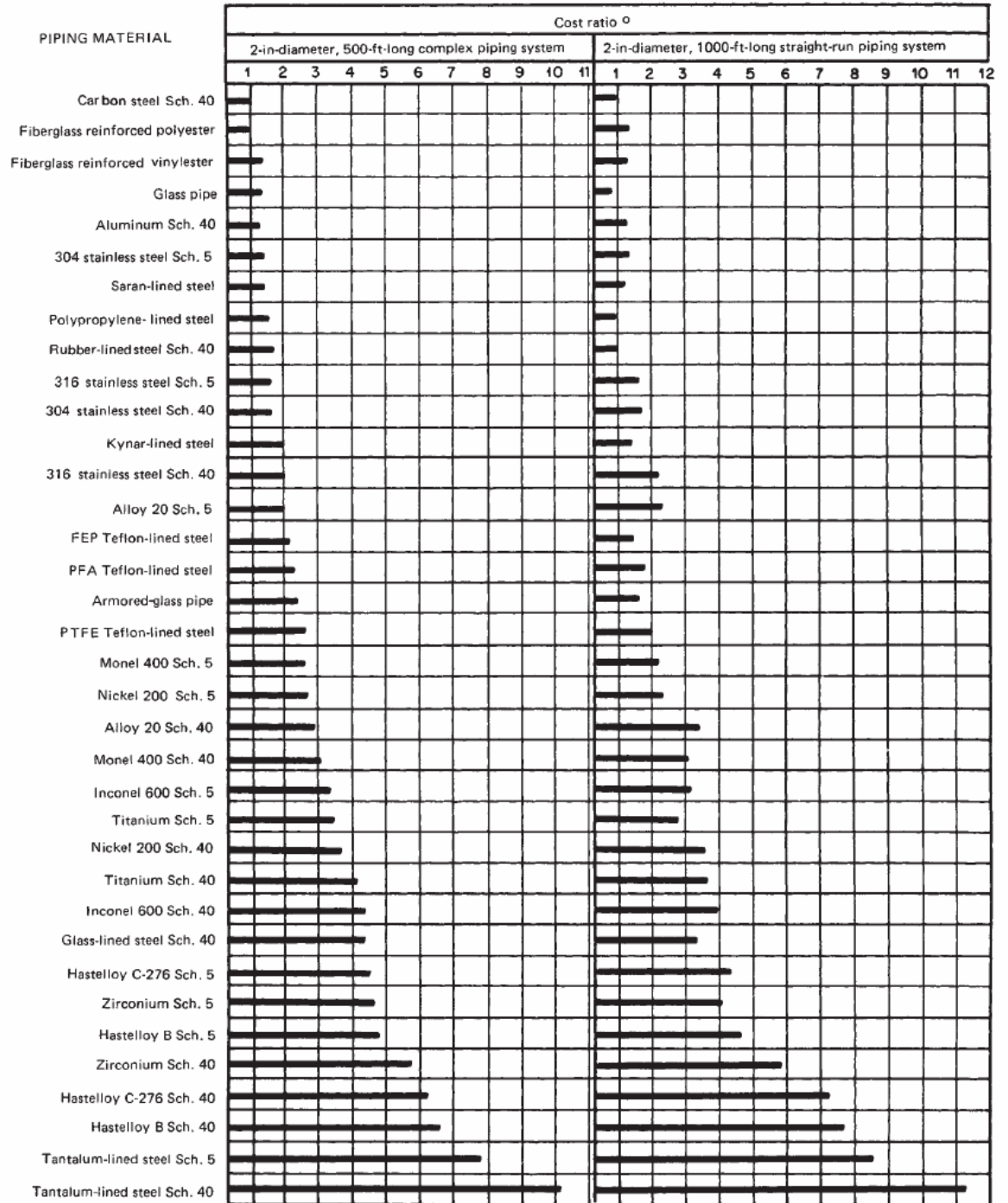


FIG. 10-176 Cost rankings and cost ratios for various piping materials. This figure is based on field-fabrication construction techniques using welding stubs, as this is the method most often employed by contractors. A considerably different ranking would result from using other construction methods, such as machined-formed lap joints, for the alloy pipe. °Cost ratio = (cost of listed item)/(cost of Schedule 40 carbon steel piping system, field-fabricated by using welding stubs). (Extracted with permission from Installed Cost of Corrosion Resistant Piping, copyright 1977, Dow Chemical Co.)

Figura 7.1: Relaciones de coste de diferentes materiales de tuberías.[53]

## 7.2.2 Dimensiones de las tuberías

En el Anexo 8 se detalla el procedimiento de cálculo del diámetro y espesor de las tuberías, y se muestra mediante el ejemplo de la línea de entrada del ácido al reactor. Los resultados para todas las líneas de la planta piloto se muestran en la Tabla 7.1.

Línea	Diámetro nominal (in)	Schedule	Diámetro exterior (in)	Espesor (in)	Diámetro interior (in)	Velocidad (m/s)
1. Depósito ácido-reactor	1	10S	1,315	0,109	1,097	1,08
2. Reactor-Intercambiador	1,5	40S	1,900	0,145	1,610	0,83
3. Intercambiador-filtro	1,25	10S	1,66	0,109	1,442	1,03
4. Filtro-Columna intercambio iónico	1	10S	1,315	0,109	1,097	1,08
5. Columna intercambio iónico-Evaporador	1	40	1,315	0,133	1,049	1,12

Tabla 7.1: Características de cada línea de tubería de la planta piloto.

## 7.3 Caída de presión

Se trata de líquidos, por tanto son fluidos con densidad constante, llamados fluidos incompresibles. Las caídas de presión se han calculado mediante balance de energía entre los dos puntos del sistema que se evalúa, el resultado del balance se muestra en la Ecuación 7.1.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} + h_f + \frac{\Delta v^2}{2g} + \Delta z = W \quad [7.1]$$

Donde:

$W$ : es el trabajo que hay que suministrar al fluido

$\Delta z$ : es la variación de altura que experimenta el fluido

$h_f$ : son las pérdidas de energía por fricción

$\Delta v$ : es la variación de velocidad entre ambos puntos

$\Delta P$ : es la variación de presión



$\rho$ : es la densidad del fluido

$g$ : es la aceleración de la gravedad

Todas las variables se expresan en unidades del SI.

En el Anexo 8 se muestra el cálculo detallado de la caída de presión, que como es sabido resulta necesario para poder determinar la potencia de las bombas.

#### **7.4 Diseño de las bombas**

Se van a instalar bombas en tres puntos de la planta piloto:

- Punto 1: en la descarga del depósito de ácido sulfúrico para poder llevarlo hasta la entrada del reactor, debido a que es necesario vencer la pérdida de carga producida y la altura, ya que entre el depósito y el reactor hay 5 metros de distancia. En el Anexo 8 se ha calculado la potencia de la bomba y la ANSP (Altura Neta de Succión Positiva). A esta bomba se le ha llamado bomba 1.
- Punto 2: a la salida de cada reactor para facilitar la descarga del mismo y hacer que el fluido atravesase el intercambiador de calor. La potencia de la bomba (bomba 2) y la ANSP se muestran en la Tabla 16.34 del Anexo 8.
- Punto 3: a la salida del filtro, para impulsar el fluido a través del sistema de tuberías y la columna de intercambio iónico y hacerlo llegar al evaporador con 2,7 kg/cm<sup>2</sup>. Al igual que en los anteriores casos se ha calculado la potencia necesaria para el fluido y la ANSP que se muestran en la Tabla 16.34 del Anexo 8.

En las Figuras 7.2 y 7.3 se puede observar la bomba elegida, cuya potencia será de 550W, de manera que sirva el mismo modelo para las tres localizaciones de la misma.

Las bombas, como se observa en la Figura 7.2, están disponibles en diversos materiales de construcción, pero para abaratar costes se instalarán de acero inoxidable. Del mismo modo se muestran las

aplicaciones, entre las que se citan sus posibilidades de operar con fluidos sucios.

En el Anexo 8 se muestra el cálculo de la potencia requerida por el fluido en cada punto, así como el cálculo de la ANSP, estos resultados se muestran en la Tabla 7.2.

	<b>Bomba 1</b>	<b>Bomba 2</b>	<b>Bomba 3</b>
<b>Potencia absorbida fluido (m)</b>	41,63	13,3	24,0
<b>Potencia absorbida fluido (W)</b>	274	140,4	153,18
<b>ANSP (m)</b>	12,29	7,66	9,23

*Tabla 7.2: Resultados obtenidos para cada una de las bombas.*

## BOMBAS

CENTRÍFUGAS DE ACCIONAMIENTO  
MAGNÉTICO**CARACTERÍSTICAS**

Trasvase de fluidos contaminantes. Exentas de cierre mecánico y empaquetaduras, garantizando la total estanqueidad del fluido.

- Diseño según DIN 24256 y API 685 • Densidades hasta 1,98Kg/dm<sup>3</sup>
- Materiales: acero inoxidable AISI-316, AISI-316L, acero fundido (cuerpo y rodete), Alloy 20, Monel 400, Hastelloy B ó C276.
- Otros diseños en polipropileno, PVDF y acero inoxidable AISI-316.
- Caudal hasta 300m<sup>3</sup>/h • Altura diferencial hasta 150 m.c.a.
- Temperatura desde -100 a +350...C.

**APLICACIONES DE BOMBEO**

Líquidos corrosivos, tóxicos, cancerígenos, hidrocarburos, pirofóricos y otros inflamables. Aceites térmicos. Refrigerantes criogénicos. Industria química, petroquímica, farmacéutica, papelera, textil, alimentaria y tratamiento de aguas.

*Figura 7.2: Características de la bomba centrífuga seleccionada. Fuente: Acomy Bombas S.A.*

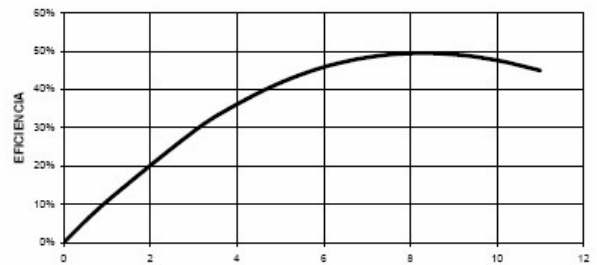
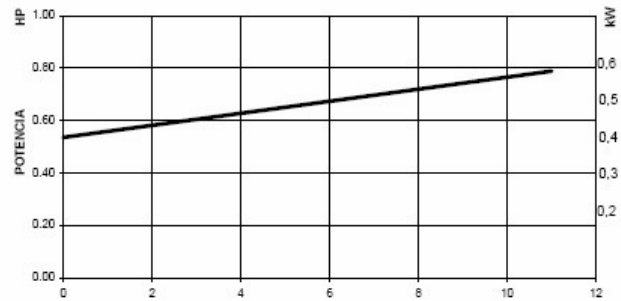
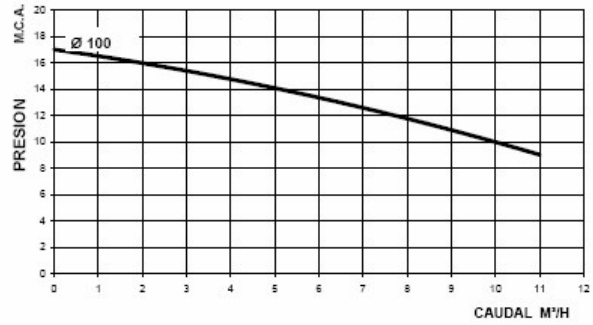
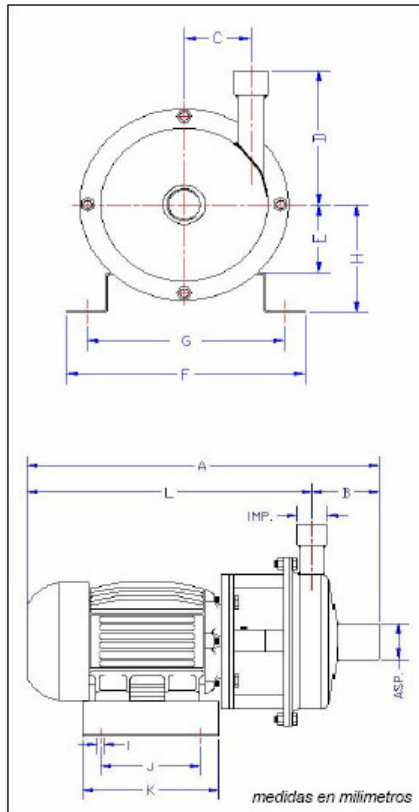


# ACOMY BOMBAS S.A.

## Bombas y Accesorios Industriales

**BOMBA MODELO Q-160**  
**ASP. 1" IMP. 3/4" (25)**

**0,75HP  $\cong$  2800 1/min**



MODELO	ASP.	IMP.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	PESO
Q-160	1"	3/4"	386	72	64	140	71	230	190	111	7	110	150	314	14 Kg.

MODELO	CARCAZA	DATOS ELECTRICOS				DATOS HIDRAULICOS			
		INTENSIDAD V	POTENCIA HP Kw	VELOCIDAD r.p.m.	In A	CAUDAL m³/Hr.	0	8	11
Q-160	71B	220 / 380	0,75 0,55	2,800	2,3 / 1,3	PRESION m.c.a.	17	12	9

N° 26.301

Las curvas estan basadas en parametros referidos a agua. Tolerancias en cumplimiento con norma ISO 9906.  
 Esta curva es propiedad de Acomy Bombas. No puede ser copiada ni modificada sin previa autorización.

Figura 7.3: Parámetros principales de la bomba. Fuente: Acomy Bombas S.A.

## **8 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO**

El objetivo de la instrumentación y control es:

- Conseguir una optimización operativa de la planta
- Aumentar la seguridad en la planta
- Reducir la mano de obra

En la figura 8.1 se muestra un esquema de la instrumentación y control del proceso.

### **8.1 INSTRUMENTACIÓN**

La instrumentación de la planta piloto es el conjunto de aparatos destinados a medir variables de proceso tales como caudales, temperaturas, presiones y niveles de recipientes.

Los instrumentos que se van a instalar en la planta serán:

#### **8.1.1 Instrumentos de caudal**

Se medirá el flujo de todas las corrientes de proceso necesarias para cerrar completamente los balances de materia y energía. Así, se medirá el caudal en las siguientes corrientes:

- Corriente de entrada de ácido a cada reactor.
- Corriente de salida de los reactores.
- Corriente de salida del filtro
- Corriente de salida de la columna de intercambio iónico.

De igual modo se medirá a la salida de los equipos en los que se produce una separación; filtro y columna de intercambio iónico, de tal manera que se conoce en todo momento el grado de separación obtenido. También se medirá el caudal a la salida del reactor, ya que se necesita establecer el caudal de operación para el que se han diseñado los equipos.

### **8.1.2 Instrumentos de temperatura**

Se medirá la temperatura a la entrada y la salida de equipos donde se produce una variación de temperatura y se miden los perfiles de temperatura en los reactores. Concretamente se medirá la temperatura en:

- Los reactores de hidrólisis ácida
- A la entrada y la salida del intercambiador de calor
- A la entrada de la corriente de proceso en el primer efecto del evaporador.

### **8.1.3 Instrumentos de presión**

La presión se medirá en la impulsión de las bombas, en los recipientes, torres y reactores y en los equipos donde se produzca una pérdida de carga significativa. Por tanto, se medirá la presión en:

- Impulsión de las bombas responsables del bombeo de la disolución de ácido sulfúrico a los reactores.
- Reactores de hidrólisis ácida.
- Impulsión de la bomba de descarga de los reactores.
- El filtro.
- Impulsión de la bomba que impulsa la corriente de glucosa desde la salida del filtro hacia el evaporador.
- A la salida de la columna de intercambio iónico
- A la entrada del primer efecto del evaporador

### **8.1.4 Instrumentos de nivel**

Es necesario medir el nivel de todos los recipientes, por tanto se medirá el nivel en:

- Depósitos de ácido sulfúrico
- Reactores

## **8.2 CONTROL**

### **8.2.1 Fundamentos de control**

El objetivo del control es mantener las variables de proceso en el punto de consigna (“*set point*”) deseado, empleando aparatos destinados a tal fin. Un lazo de control se compone de:

- Medidor, que es el instrumento que mide la variable que se quiere controlar
- Transmisor, que recibe la señal del medidor y la transforma en señal eléctrica proporcional a la variable medida.
- Controlador, aparato que calcula la diferencia respecto al valor de consigna (señal eléctrica).
- Convertidor electrónico neumático, el cual transforma una señal eléctrica en una señal neumática.
- Válvula o actuador, reciben la presión y se abre o cierra en función de ese valor de presión.

### **8.2.2 Control en la planta piloto**

En la planta piloto objeto del presente proyecto resulta esencial controlar una serie de variables. En el Plano número 7 se muestra el control y la instrumentación de la planta.

#### 1) Nivel de cascarilla en el reactor.

Durante el proceso de llenado del reactor de cascarilla de arroz se controlará el nivel de la misma en el interior del reactor, de tal manera que cuando se alcance el nivel deseado se detenga el tornillo transportador de cascarilla y deje de entrar en el reactor.

#### 2) Presión en el interior del reactor.

El reactor va a disponer de un lazo de control de la presión conectado tanto a la válvula de entrada de ácido como a la válvula de alivio, de tal manera que:

- Como el reactor trabaja a 5 bar, el ácido sulfúrico al 5% se va a introducir en el reactor a 5 bar. Se instalará un controlador de presión de forma que si se produce alguna disminución de la presión, la válvula de entrada de ácido, se abrirá para dejar entrar más ácido en función de dicho valor de presión.
- Si se produjera un aumento de la presión de tal manera que se alcanzara una presión cercana a la presión de diseño del reactor (8 bar), saltaría la alarma y se cerraría la válvula de entrada de ácido si estuviera abierta y se abriría la válvula de alivio.

### 3) Flujo de ácido que entra al reactor:

Se controlará el caudal de ácido que entra en el reactor de tal manera que cuando se haya introducido todo el volumen requerido dicho control haga que la válvula se cierre.

### 4) Temperatura del reactor.

El reactor trabaja a 150°C, de manera que para llegar a esa temperatura se emplea vapor de caldera a 6 bar que circulará a través de la camisa. La temperatura es una variable muy importante en este equipo, por ello para mantenerla en su punto de consigna durante la reacción se necesitará instalar un lazo de control de tal manera que la válvula de entrada a la camisa se abra o cierre en función de la temperatura del reactor para permitir la entrada de más o menos vapor.

### 5) Caudal de salida del reactor.

El caudal de salida del reactor es necesario fijarlo en el valor de consigna, de tal manera que cualquier variación respecto al valor fijado hará que la válvula se abra o cierre para alcanzar dicho valor.

### 6) Temperatura de entrada al intercambiador

Debido a que cuando el reactor finaliza su operación se vuelve a las condiciones iniciales de presión y temperatura, la función del intercambiador es únicamente asegurar que la temperatura a la salida del mismo no supere 50°C. Para ello, se medirá la temperatura a la entrada del



intercambiador y en función de la desviación del punto de consigna, que será 50°C, se variará el grado de apertura de la válvula del agua de refrigeración.

7) Presión en el filtro.

Se controlará la diferencia de presión en el filtro de tal manera que si se alcanza el valor de diseño que proporcionará el fabricante, salte una alarma que cierre la válvula rotatoria automática y se detenga el proceso de filtración.

8) Presión a la entrada del evaporador.

Es necesario fijar la presión a la entrada del evaporador ya que dicha corriente es la que va a fijar la presión en el primer efecto del evaporador. Para ello se dispone de un lazo de control con una válvula que será la responsable de corregir las posibles desviaciones del punto de consigna.

9) Presión en la caldera.

Se va a controlar la presión en la caldera, de tal manera que si la presión sobrepasa el punto de consigna se actúe sobre la válvula haciéndola volver a alcanzar dicho punto.

También se dispondrá de alarma de modo que si se alcanza la presión de diseño indicada por el suministrador o fabricante de la caldera, salte la alarma, se cierre la válvula de salida del vapor y se abra la válvula de seguridad.

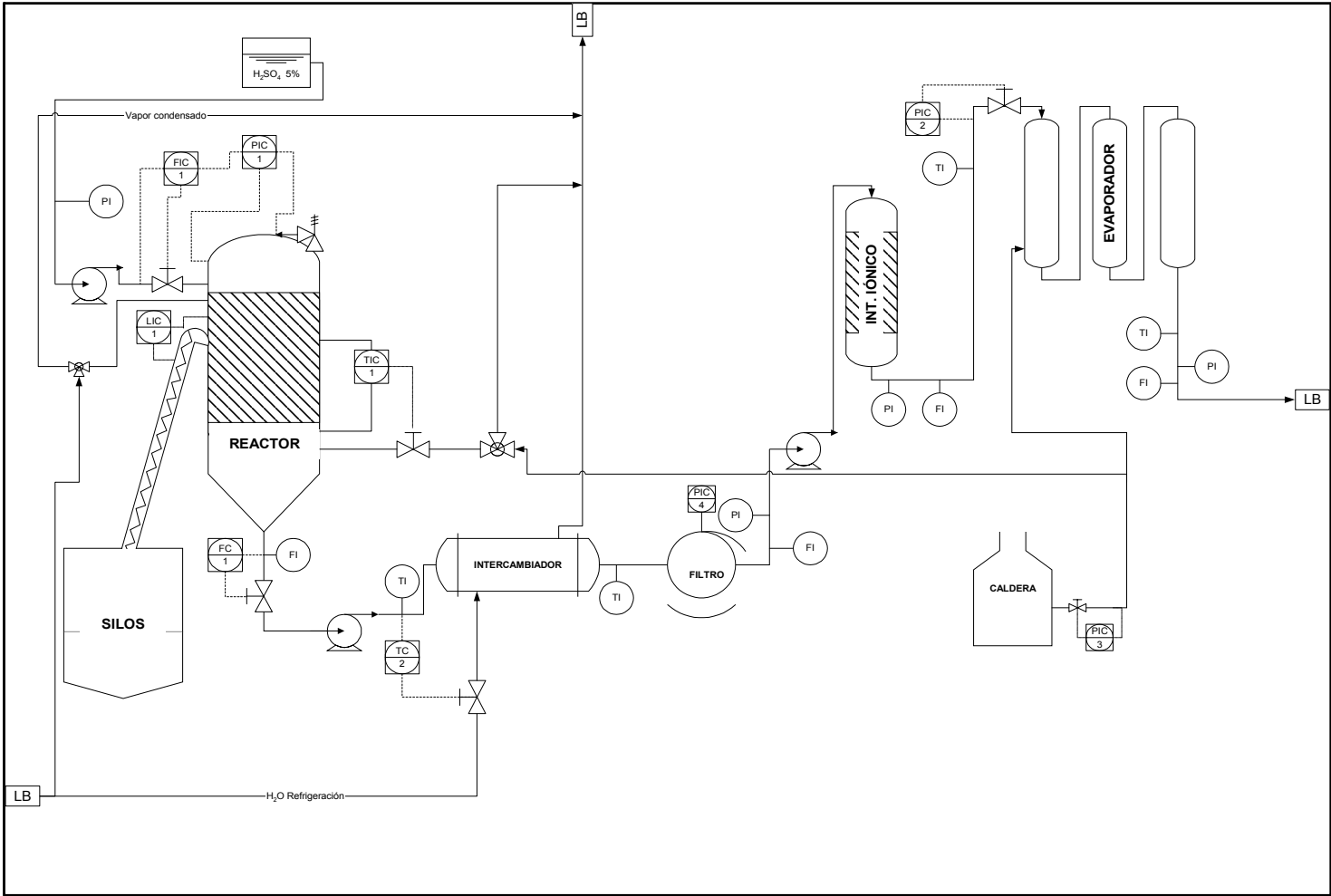


Figura 8.1: Esquema de la instrumentación y control de la planta de proceso

## 9 UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA PILOTO

### 9.1 Ubicación

La planta piloto de procesamiento de cascarilla de arroz se ubicará en Dos Hermanas, concretamente en el polígono industrial La Isla en la parcela indicada en la Figura 9.1. Dicha figura representa un plano de la distribución de parcelas y se señala la parcela en la que se ubicará la planta piloto.

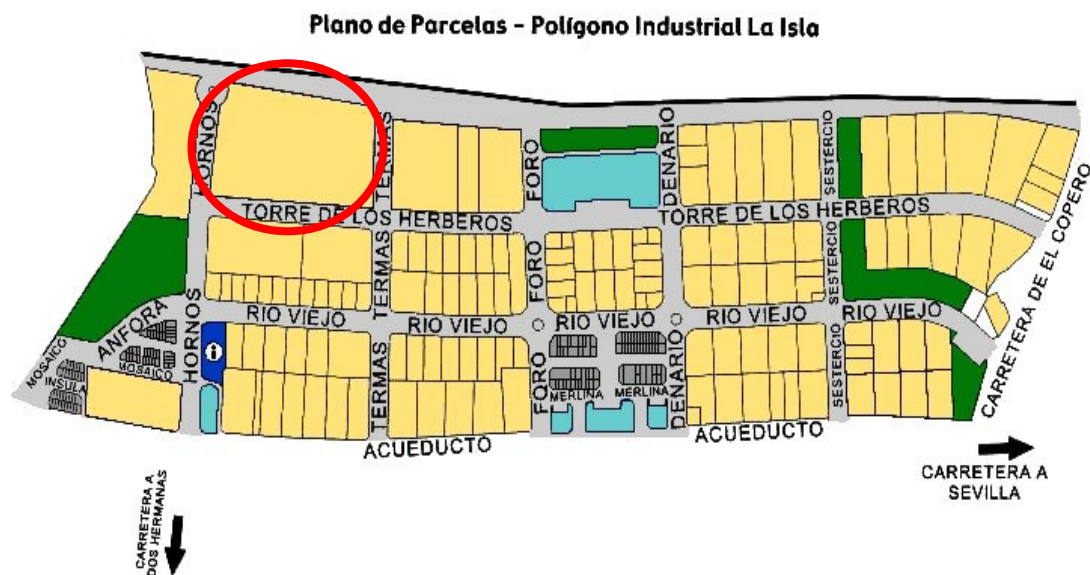


Figura 9.1: Plano de distribución de parcelas del polígono industrial La Isla. Fuente: Ayto. Dos Hermanas

## **9.2 Distribución de la planta piloto**

El Plano número 1 es el plano en el que se muestra la distribución en equipos de la planta piloto de procesamiento de cascarilla de arroz por hidrólisis ácida:

- 1) Silos para la recepción y el almacenamiento de la cascarilla de arroz. (4 unidades)
- 2) Depósitos de almacenamiento de ácido sulfúrico. (10 unidades)
- 3) Reactores discontinuos en los cuales tiene lugar la hidrólisis ácida. (10 unidades)
- 4) Intercambiador de calor.
- 5) Filtro rotatorio a vacío.
- 6) Columna de intercambio iónico
- 7) Evaporador de triple efecto.
- 8) Caldera para la producción de vapor de calefacción.

## 10 MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD

### 10.1 Medio ambiente

#### 10.1.1 Gestión de los residuos generados en la planta piloto

En la planta piloto objeto del presente PFC se generan principalmente dos tipos de residuos:

- Residuos sólidos: una vez separados en el filtro, se obtienen los sólidos que están constituidos por la cascarilla de arroz no convertida y una pequeña cantidad de ácido sulfúrico. Debido a la presencia del ácido sulfúrico, dichos sólidos constituyen un residuo peligroso. Por este motivo será necesario que una empresa gestora de residuos sea la encargada de retirarlos de planta y gestionarlos.
- Residuos líquidos: los residuos líquidos presentes en la planta piloto serán los resultantes de la regeneración de la resina de intercambio iónico con NaOH, en el caso de que no se pueda recuperar el ácido sulfúrico, de tal manera que la corriente de salida de la columna tras la regeneración estará constituida por  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Por ello, este residuo deberá ser gestionado de igual manera por la empresa especializada en gestión de residuos.

#### 10.1.2 Prevención y control integrados de la contaminación

La Ley 16/2002 incorpora la Directiva Europea 96/61/CE la cual tiene clasificados los procesos y operaciones unitarias en función de la producción de productos contaminantes.

Los aspectos medioambientales de los procesos de hidrólisis tratados por la directiva son aire y agua.

- Aire: la directiva considera que las emisiones de COV (compuestos orgánicos volátiles) desde los reactores son bajas, por tanto no es necesario prestarles especial atención.

- Agua: los productos de hidrólisis son biodegradables con lo cual no implican ningún tipo de problema además del tema de la gestión de residuos considerada en el apartado anterior. [49]

### **10.1.3 Impacto Ambiental de la Planta Piloto de Procesado de Cascarilla de Arroz por Hidrólisis ácida**

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento jurídico-administrativo de recogida de información, análisis y predicción destinado a anticipar, corregir y prevenir los posibles efectos directos e indirectos que la ejecución de una determinada obra o proyecto causa sobre el medio ambiente, permitiendo a la Administración adoptar las medidas adecuadas a su protección.

La Evaluación de Impacto Ambiental valorará los efectos directos e indirectos de cada propuesta de actuación sobre la población humana, la fauna, la flora, la gea, el suelo, el aire, el agua, el clima, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas previsiblemente afectados.

Asimismo, comprenderá la estimación de los efectos sobre los bienes materiales, el patrimonio cultural, las relaciones sociales y las condiciones de sosiego público, tales como ruidos, vibraciones, olores y emisiones luminosas, y la de cualquier otra incidencia ambiental relevante derivada del desarrollo de la actuación.

La planta objeto del presente proyecto deberá someterse a Evaluación de Impacto Ambiental debido a que pertenece al siguiente grupo ya que la glucosa es un producto químico orgánico básico:

#### **Industria química, petroquímica, textil y papelera:**

- a. Instalaciones químicas integradas, es decir, instalaciones para la fabricación a escala industrial de sustancias mediante transformación química, en las que se encuentran yuxtapuestas varias unidades vinculadas funcionalmente entre sí, y que se utilizan para:
  1. La producción de productos químicos orgánicos básicos.
  2. La producción de productos químicos inorgánicos básicos.

3. La producción de fertilizantes a base de fósforo, nitrógeno o potasio (fertilizantes simples o compuestos).
  4. La producción de productos fitosanitarios básicos y de biocidas.
  5. La producción de productos farmacéuticos básicos mediante un proceso químico o biológico.
  6. La producción de explosivos.
- b. Tuberías para el transporte de productos químicos con un diámetro de más de 800 milímetros y una longitud superior a 40 kilómetros.
  - c. Instalaciones para el almacenamiento de productos petroquímicos o químicos, con una capacidad de, al menos, 200.000 toneladas.
  - d. Plantas para el tratamiento previo (operaciones tales como el lavado o blanqueo) o para el teñido de fibras o productos textiles cuando la capacidad de tratamiento supere las 10 toneladas diarias.
  - e. Plantas para el curtido de pieles y cueros cuando la capacidad de tratamiento supere las 12 toneladas de productos acabados por día.
  - f. Plantas industriales para:
    1. La producción de pasta de papel a partir de madera o de otras materias fibrosa similares.
    2. La producción de papel y cartón, con una capacidad de producción superior a 200 toneladas diarias.
  - g. Instalaciones de producción y tratamiento de celulosa con una capacidad de producción superior a 20 toneladas diarias.

Respecto al organismo competente, como se trata de un proyecto cuya repercusión no sobrepasa el ámbito territorial de Andalucía, el órgano ambiental competente será el que determine la Comunidad Autónoma de Andalucía.

## 10.2 Seguridad

### 10.2.1 Objeto del estudio de seguridad

El presente Estudio de Seguridad establece, durante la ejecución de las obras y posterior operación de la **planta piloto de procesamiento de cascarilla de arroz por hidrólisis ácida** ubicada en el polígono industrial La Isla en Dos Hermanas, las previsiones respecto a la prevención de riesgos de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, así como las instalaciones comunes de higiene y bienestar de los trabajadores.

Su implantación y seguimiento es labor de los Técnicos responsables de la empresa en la obra, bajo el seguimiento y control de la Dirección Facultativa, de acuerdo con el **Real Decreto 1627/1997 de 24 de Octubre**, por el que se implanta la obligatoriedad de la inclusión de los Estudios y Planes de Seguridad e Higiene en el Trabajo en los Proyectos de Edificación y Obras Públicas.

La vigencia del Plan se inicia desde la fecha en que se produzca la aprobación del presente Plan, por el Servicio al que esté adscrita la obra, previo informe favorable de la Dirección Facultativa.

Su aplicación es vinculante para todo el personal propio y el dependiente de otras Empresas subcontratadas directamente por la Empresa principal ó por el cliente, para realizar sus trabajos en el interior del recinto de la Obra.

El plan puede ser modificado en función del proceso de ejecución de la obra y de las posibles incidencias que puedan surgir a lo largo del mismo, previa aprobación de la Dirección Facultativa, y cuando ello no suponga disminución del importe total del presupuesto económico, ni de los niveles de protección contenidos en dicho Estudio.

Las modificaciones aprobadas se incluyen en una nueva revisión del Plan, a la que se da la difusión necesaria, siendo, a partir de ese momento, de obligado cumplimiento en el interior del recinto de la obra, para todo el personal que realice su trabajo en ella.



El Estudio de Seguridad y Salud debe servir también de base para que la gerencia de la industria, así como los trabajadores que participen en la misma. Se podrán modificar algunos de los aspectos señalados en este estudio con los requisitos que establece la citada normativa.

### **10.2.2 Clasificación de sustancias**

En la planta objeto del presente proyecto se trabaja con dos sustancias peligrosas, ácido sulfúrico e hidróxido sódico además de la resina de intercambio iónico. Las dos primeras están catalogadas como corrosivas, en el Anexo 9 se muestran las fichas de seguridad de cada una de ellas.

### **10.2.3 Transporte y almacenamiento**

La compatibilidad entre sustancias químicas es muy importante, por ello es necesario mantener separados los productos químicos que, en caso de contacto, puedan reaccionar violentamente, dar lugar a productos inestables o nocivos o bien generando calor.

Otro aspecto importante es el tema del embalaje, ya que los recipientes que contengan sustancias peligrosas deben poseer las características adecuadas para dicha función, las cuales se pueden ver en la ficha de seguridad.

Tanto en el transporte como en el envase final, toda sustancia debe ir correctamente etiquetada para su perfecta identificación en todo momento. En la ficha de seguridad se muestra toda la información que debe llevar la etiqueta.

En caso de derrames o fugas se debe actuar según las indicaciones de la ficha de seguridad.

## **10.2.4 Condiciones generales de seguridad en los lugares de trabajo.**

### **10.2.4.1 Seguridad estructural**

Los edificios y locales de los lugares de trabajo poseen la estructura y solidez apropiadas a su tipo de utilización. Para las condiciones de uso previstas, todos sus elementos, estructurales o de servicio, incluidas las plataformas de trabajo, escaleras y escalas:

Tienen la solidez y resistencia necesarias para soportar las cargas o esfuerzos a que sean sometidos.

Disponen de un sistema de armado, sujeción o apoyo que asegure su estabilidad.

### **10.2.4.2 Espacios de trabajo y zonas peligrosas**

1) Las dimensiones de los locales de trabajo permiten que los trabajadores realicen su trabajo sin riesgos para su seguridad y salud y en condiciones ergonómicas aceptables. Sus dimensiones mínimas son las siguientes:

- 3 metros de altura desde el piso hasta el techo. No obstante, en locales de servicios, oficinas y despachos, la altura puede reducirse a 2,5 m.
- 2 m<sup>2</sup> de superficie libre por trabajador.
- 10 m<sup>3</sup>, no ocupados, por trabajador.

2) Se han tomado las medidas adecuadas para la protección de los trabajadores autorizados a acceder a las zonas de los lugares de trabajo donde los trabajadores puedan verse afectados por riesgos de caída, caída de objetos y contacto o exposición a elementos agresivos. Así mismo, se ha dispuesto, en la medida de lo posible, de un sistema que impida a los trabajadores no autorizados acceder a dichas zonas.

- 3) Las zonas de los lugares de trabajo en las que exista riesgo de caída, de caída de objetos o de contacto o exposición a elementos agresivos, deben estar claramente señalizadas.

#### **10.2.4.3 Suelos, aberturas y desniveles, y barandillas**

- 1) Los suelos de los locales son fijos, estables y no resbaladizos, sin irregularidades ni pendientes peligrosas.
- 2) Las aberturas o desniveles que supongan un riesgo de caída de personas se protegen mediante barandillas u otros sistemas de protección de seguridad equivalente, que tiene partes móviles cuando es necesario disponer de acceso a la abertura.

Se han protegido en particular las aberturas en los suelos:

- Las aberturas en paredes o tabiques, siempre que su situación y dimensiones suponga riesgo de caída de personas, y las plataformas, muelles o estructuras similares. La protección no será obligatoria, sin embargo, si la altura de caída es inferior a 2 m.
  - Los lados abiertos de las escaleras y rampas de más de 60 cm de altura. Los lados cerrados tienen un pasamanos, a una altura mínima de 90 cm, si la anchura de la escalera es mayor de 1,2 m; si es menor, pero ambos lados son cerrados, al menos uno de los dos lleva pasamanos.
- 3) Las barandillas son de materiales rígidos, tiene una altura mínima de 90 cm y disponen de una protección que impide el paso o deslizamiento por debajo de las mismas o la caída de objetos sobre personas.

#### **10.2.4.4 Vías de circulación**

Las vías de circulación de los lugares de trabajo, tanto las situadas en el exterior de los edificios y naves como en el interior de los mismos, incluidas las puertas, pasillos, escaleras, escalas fijas, rampas y muelles de carga, se utilizan conforme a su uso previsto, de forma fácil y con total seguridad

para los peatones o vehículos que circulan por ellas y para el personal que trabaja en sus proximidades.

La anchura mínima de las puertas exteriores y de los pasillos es de 80 cm y 1 m, respectivamente.

Las vías de circulación destinadas a vehículos pasan a una distancia suficiente de las puertas, portones, zonas de circulación de peatones, pasillos y escaleras.

#### **10.2.4.5 Vías y salidas de evacuación**

Las vías y salidas de evacuación, así como las vías de circulación y puertas que den acceso a ellas, se ajustan a lo dispuesto en la normativa específica.

Las vías y salidas de evacuación desembocan lo más directamente posible en el exterior o en una zona de seguridad.

En caso de avería de la iluminación, las vías y salidas de evacuación que requieran iluminación deberán estar equipadas con iluminación de seguridad de suficiente intensidad.

#### **10.2.4.6 Instalación eléctrica**

La instalación eléctrica de los lugares de trabajo se ajustan a lo dispuesto en su normativa específica.

La instalación eléctrica no entraña riesgos de incendio o explosión. Los trabajadores están debidamente protegidos contra los riesgos de accidente causados por contactos directos o indirectos.

La instalación eléctrica y los dispositivos de protección tienen en cuenta la tensión, los factores externos condicionantes y la competencia de las personas que tienen acceso a partes de la instalación.

### **10.2.5 Características de las obras**

#### **10.2.5.1 Datos generales de las obras.**

La obra comprendida en el presente proyecto consiste en la construcción de una planta piloto para procesado de cascarilla de arroz por hidrólisis

ácida, en la que se han considerado todas las obras necesarias para la correcta implantación de la misma, tanto de construcción de los correspondientes edificios industriales, como de la implantación de la maquinaria, equipos e instalaciones necesarias.

#### **10.2.5.2 Emplazamiento de la obra.**

La planta a construir se emplaza en las parcelas adquiridas para tal fin en el "**Polígono Industrial La Isla** " de la localidad de **Dos Hermanas** en la provincia de Sevilla.

#### **10.2.5.3 Clasificación de las obras.**

Las obras objeto de este estudio consiste en hacer los siguientes trabajos de construcción:

- Movimiento de tierras
- Cimentaciones
- Estructuras de hormigón armado
- Estructuras metálicas
- Albañilería
- Instalación de saneamiento
- Instalación de equipos y conducciones
- Instalación eléctrica
- Pintura
- Acabados y pavimentos
- Carpintería

#### **10.2.6 Análisis de riesgos en la planta piloto**

Los objetivos del análisis de riesgos son la prevención de la ocurrencia y la mitigación de los efectos de accidentes en instalaciones industriales potencialmente peligrosas. Dicho análisis consiste en:

- Identificar los riesgos que puede presentar una instalación para las personas, bienes y medio ambiente.

- Tipificarlos en una serie de accidentes mayores cuya ocurrencia es factible.
- Determinar los alcances que puedan tener estos accidentes.
- Definir las zonas vulnerables.
- Calcular los daños que puedan provocar.
- Analizar las causas de los accidentes, eventualmente cuantificando sus frecuencias.
- Determinar las medidas de protección y prevención para evitar su ocurrencia o mitigar las consecuencias.
- Determinar el nivel de riesgo asociado a las instalaciones.

En este proyecto se van a identificar los equipos más importantes desde el punto de vista de la seguridad.

- 1) Reactores: debido a que operan a presión mayor a la atmosférica y a temperatura elevada, presentan riesgo de explosión. Dicho riesgo es de nivel bajo, ya que la presión no es muy elevada y llevan instalados válvulas de seguridad para actuar en caso de sobrepresión.
- 2) Caldera: debido a que trabaja a presiones elevadas y con vapor a elevada temperatura, puede producirse una explosión con graves consecuencias, para disminuir el riesgo el fabricante la suministra con todas las medidas de seguridad que indica la legislación vigente. La medida de prevención tomada en el presente proyecto es la separación mediante distancia del resto de equipos.
- 3) Evaporador: el primer efecto del evaporador trabaja a presión elevada, por ello, se actuará de igual forma que con la caldera, separándolo del resto de equipos.
- 4) Otro riesgo importante es el relacionado con fugas de ácido sulfúrico a través de juntas en válvulas, bombas e incluso depósitos. Por ello, el mantenimiento de los equipos que operan con ácido es un factor primordial también desde el punto de vista de la seguridad.

## **10.2.7 Riesgos laborales**

### **10.2.7.1 Riesgos ajenos a la ejecución de la obra**

La obra se ubica en una zona donde el tráfico de vehículos es moderado, al igual que el de personas.

En todo momento se tienen las debidas precauciones para evitar daños a terceros, pero las tareas durante las cuales se extrema estos cuidados son: el vaciado y la ejecución de la estructura.

Se ha realizado el vallado del perímetro de la parcela antes del inicio de la obra. Las condiciones del vallado son:

- 2 metros de altura.
- Portón para acceso de vehículos de 4 metros de anchura mínima y puerta independiente para acceso de personal.

Se procede a la colocación de las señales de circulación pertinentes, advirtiendo de la salida de camiones y la prohibición de estacionamiento en las proximidades de la obra.

En los accesos a la obra, se ha colocado en lugar bien visible la señalización vertical de seguridad, que recuerda sin lugar a error, los riesgos existentes en el interior del recinto de la construcción.

### **10.2.7.2 Riesgos laborales y normas básicas de seguridad en el proceso constructivo**

#### **Movimiento de tierras**

La primera operación a realizar es cercar el perímetro afectado por la obra para impedir los accesos de personal ajeno a ella. Todos los accidentes ocasionados a terceros son responsabilidad del contratista.

Se realiza con maquinaria convencional, palas cargadoras, retroexcavadoras y camiones.

#### **Riesgos más frecuentes:**

- Desprendimientos por variación de la humedad de los terrenos.
- Atropellos, colisiones, vuelcos de la maquinaria.

- Caídas de altura.
- Generación de polvo.

Normas básicas de seguridad:

- Existirá un encargado permanente en la obra que dirigirá y será responsable de las maniobras de la maquinaria.
- Prohibir acopios al borde la excavación. Mínimo a 1 m del borde.
- Se vigilará las paredes de la excavación, sobre todo en caso de lluvias.
- Señalizar la excavación para evitar caídas.
- Tomar las medidas adecuadas para evitar la formación de polvo mediante riegos periódicos con agua.

**Cimentaciones**

Realizada la excavación de pozos se coloca el hormigón de limpieza. Sobre él se colocan las armaduras de zapatas y enanos. El hormigonado se realiza con camiones - hormigonera.

Riesgos más frecuentes:

- Caídas a zanjas ó pozos.
- Heridas producidas por las armaduras.
- Caídas de objetos desde la maquinaria.
- Contactos con el hormigón (dermatitis por cemento).

Normas básicas de seguridad:

- Emplear personal cualificado y experimentado.
- Se instalarán pasarelas de circulación de personas sobre las zanjas a hormigonar, formadas por un mínimo de tres tablones trabados (anchura de 60 cm).
- Se dispondrán de topes de seguridad cuando un vehículo durante el vertido se acerque a la zanja, comprobándose previamente la resistencia del terreno al peso del mismo. Estos topes se colocarán antes de las operaciones e vertido del hormigón y evitarán que las ruedas delanteras se acerquen más de 2 m.



- Nunca transportar ferralla de pilares en posición vertical, ni escalar por ella.
- Mantener una correcta limpieza, eliminar antes del vertido del hormigón puntas, restos de madera, redondos y alambres.

### **Estructuras de hormigón armado**

El encofrado de muros y pilares es metálico. Para encofrado de zunchos y vigas mixtas se utiliza la madera y para apuntalar las viguetas armadas se usan puntales metálicos telescópicos.

#### Riesgos más frecuentes:

- Caídas en altura de personas en fases de encofrado, hormigonado y desencofrado.
- Cortes y pinchazos en manos y pies.
- Caída de objetos originando golpes en diversas partes del cuerpo.
- Contactos con el hormigón (dermatitis por cemento).
- Atrapamientos.
- Rotura o reventón de encofrados.

#### Normas básicas de seguridad:

- Llevar sujetas las herramientas de mano en cinturón al efecto.
- El hormigonado de pilares se realizará desde torretas metálicas, correctamente protegidas.
- Antes del hormigonado, el encargado revisará el buen estado de seguridad de los encofrados. Cumplir las normas de desencofrado, acuíñamiento de puntales, etc.
- Durante el hormigonado no se pisarán las bovedillas. Se usarán tablonos para andar.
- Los materiales procedentes del encofrado se apilarán en lugar separado, desprovistos de puntas, y se transportarán lo mas rápido posible fuera de la obra.
- No se debe estar debajo de la grúa cuando se transporte ferralla u hormigón.

## **Estructuras metálicas**

La estructura metálica se fabrica en taller, así como la primera mano de pintura.

El montaje de la cubierta es también objeto de atención.

### Riesgos más frecuentes:

- Golpes y cortes en el personal por la descarga y ensamblaje de piezas prefabricadas.
- Quemaduras y radiaciones por la soldadura.
- Caídas al vacío.
- Partículas en los ojos.
- Incendios.
- Intoxicaciones.

### Normas básicas de seguridad:

- Señalar lugares adecuados para acopios.
- La colocación de perfiles se realizará por tres operarios, uno dirigiendo y dos guiando los extremos con cuerdas.
- Entre pilares se tenderán cables de seguridad a los que amarrar el mosquetón del cinturón de seguridad.
- Una vez montada una altura de pilares se tenderá bajo ésta redes horizontales de seguridad para proteger la caída al vacío.
- Su obligatoriedad se deriva de lo dispuesto en el R.D 1627/1997. Las redes deben ser de poliamida de alta tenacidad, formando malla de 75x75 mm.
- La cuerda perimetral de seguridad será como mínimo de 8 mm.
- Unidos a la cuerda perimetral y de igual diámetro irán cuerdas auxiliares de longitud suficiente para su atado a elementos fijos de la estructura cada 3 m máximo.
- Las redes se instalarán como máximo 2 m por debajo del plano de trabajo.
- El tamaño de los módulos será de 30 m<sup>2</sup> a 150 m<sup>2</sup>.

- Las redes se colocarán de forma que el cuerpo del trabajador no golpee con otro punto al caer.
- Para el montaje se preverán los cinturones de seguridad obligatorios, con el largo de cuerda adecuado, así como los puntos de anclaje necesarios para evitar en todo momento la caída libre. El montaje deberá ser controlado por el Vigilante de Seguridad.
- Las operaciones de soldadura en altura se realizarán dentro de una góndola de soldador de 1 m de altura, con barandilla, barra intermedia y rodapié, a parte del cinturón amarrado a cable de seguridad.
- Se prohíbe trepar directamente por la estructura y desplazarse sobre las alas de una viga, sin Cinturón de Seguridad convenientemente anclado.

### **Albañilería**

#### Riesgos más frecuentes:

- Caídas de personas y/u objetos sobre personas.
- Golpes contra objetos.
- Cortes y golpes por el manejo de objetos y herramientas manuales.
- Dermatitis por contacto con el cemento.
- Partículas en los ojos.
- Atrapamientos por los medios de elevación y transporte.
- Cortes en los pies por pisadas sobre cascotes y material con aristas cortantes.
- Sobreesfuerzos.

#### Normas básicas de seguridad:

- Las zonas de trabajo son limpiadas de escombros y recortes.
- El corte de las plaquetas y demás piezas cerámicas se ejecutan en locales abiertos para evitar respirar aire con gran cantidad de polvo.
- Los andamios sobre borriquetas a utilizar tienen plataformas de trabajo de anchura no inferior a 60 cm.
- Se prohíbe utilizar a modo de borriquetas para formar andamios bidones cajas de material.

- El acopio de material se dispone de forma que no obstaculice los lugares de paso, para evitar los accidentes por tropiezo.
- Se prohíbe el conexionado de cables eléctricos a los cuadros de alimentación sin la utilización de las clavijas macho-hembra.
- El transporte de sacos de aglomerado y áridos se realiza sobre carretillas de mano para evitar sobreesfuerzos.
- Es obligatorio el uso del casco en el lugar de trabajo y su utilización para realizar desplazamientos por la obra.

### **Instalación de saneamiento**

#### **Riesgos más frecuentes:**

- Caída del personal.
- Caída de objetos.
- Quemaduras por partículas incandescentes, ó por contacto con objetos calientes.
- Afecciones en la piel.
- Lumbalgia por sobreesfuerzo.
- Lesiones en pies y manos.
- Choques ó golpes contra objetos.
- Cuerpos extraños en los ojos.

#### **Normas básicas de seguridad:**

- Existe un encargado permanente en la obra que dirige y es responsable de las maniobras de la maquinaria.
- Prohibir acopios al borde la excavación. Mínimo a 1 m del borde.
- Se vigila las paredes de la excavación, sobre todo en caso de lluvias.
- Se señala la excavación para evitar caídas.
- Tomar las medidas adecuadas para evitar la formación de polvo mediante riegos periódicos con agua.

### **Instalación de equipos y conducciones**

#### **Riesgos más frecuentes:**

Los mismos que en la instalación de saneamiento.

Normas básicas de seguridad:

- El transporte de tramos de tubería a hombro por un solo operario se realizará inclinando la carga hacia atrás, de tal forma que el extremo que va por delante supere la altura de un hombre, para evitar golpes ó tropiezos con otros operarios.
- Se controlará la dirección de la llama durante las operaciones de soldadura en evitación de incendios.
- Se prohíbe el uso de mecheros ó sopletes junto a materiales inflamables.

**Instalación eléctrica**

Riesgos más frecuentes:

- Caídas de personas y/u objetos.
- Golpes contra objetos.
- Cortes y golpes por el manejo de objetos y herramientas manuales.
- Pinchazos en las manos por manejo de guías y conductores.
- Contactos eléctricos directos ó indirectos.
- Electrocuación ó quemaduras.
- Incendio por incorrecta instalación de la red eléctrica.
- Sobreesfuerzos por posturas forzadas.

Normas básicas de seguridad:

- Las pruebas de funcionamiento de la instalación eléctrica serán anunciadas a todo el personal de la obra antes de ser iniciadas.
- El montaje de aparatos eléctricos será ejecutado siempre por personal especialista, en prevención de los riesgos por montajes incorrectos.
- Se prohíbe el conexionado de cables eléctricos a los cuadros de alimentación sin la utilización de las clavijas macho-hembra.
- Las herramientas a utilizar por los electricistas instaladores, estarán protegidas con material aislante normalizado contra los contactos con la energía eléctrica.

- Es obligatorio el uso del casco en el lugar de trabajo y su utilización para realizar desplazamientos por la obra.

### **Maquinaria de obra general**

#### Riesgos más frecuentes:

- Vuelcos.
- Hundimientos.
- Choques.
- Formación de atmósferas agresivas o molestas.
- Ruido.
- Explosión e incendios.
- Atropellos.
- Caídas a cualquier nivel.
- Atrapamientos.
- Cortes.
- Golpes y proyecciones.
- Contactos con la energía eléctrica.

#### Normas básicas de seguridad:

- Los motores con transmisión a través de ejes y poleas estarán dotados de carcasas protectoras antiatrapamientos (cortadoras, sierras, compresores, etc.).
- Los motores eléctricos estarán cubiertos de carcasas protectoras eliminadoras del contacto directo con la energía eléctrica. Se prohíbe su funcionamiento sin carcasa o con deterioros importantes de éstas.
- Se prohíbe la manipulación de cualquier elemento componente de una máquina accionada mediante energía eléctrica estando conectada a la red de suministro.
- Los engranajes de cualquier tipo, de accionamiento mecánico, eléctrico o manual, estarán cubiertos por carcasas protectoras antiatrapamientos.
- Las máquinas de funcionamiento irregular o averiadas serán retiradas inmediatamente para su reparación.

- Las máquinas averiadas que no se puedan retirar se señalizarán con carteles de aviso con la leyenda: MAQUINA AVERIADA, NO CONECTAR.
- Se prohíbe la manipulación y operaciones de ajuste y arreglo de máquinas al personal no especializado específicamente en la máquina objeto de reparación.
- Como precaución adicional para evitar la puesta en servicio de máquinas averiadas o de funcionamiento irregular, se bloquearán los arrancadores, o en su caso, se extraerán los fusibles eléctricos.
- La misma persona que instale el letrero de aviso de MAQUINA AVERIADA será la encargada de retirarlo en prevención de conexiones o puestas en servicio fuera de control.
- Sólo el personal autorizado será el encargado de la utilización de una determinada máquina o máquina-herramienta.
- Las máquinas que no sean de sustentación manual se apoyarán siempre sobre elementos nivelados y firmes.
- La elevación o descenso a máquina de objetos se efectuará lentamente izándolos en directriz vertical. Se prohíben los tirones inclinados.
- Los ganchos de cuelgue de los aparatos de izar quedarán libres de cargas durante las fases de descenso.
- Las cargas en transporte suspendido estarán siempre a la vista con el fin de evitar los accidentes por falta de visibilidad de la trayectoria de la carga.
- Los ángulos sin visión de la trayectoria de carga se suplirán mediante operarios que utilizando señales preacordadas suplan la visión del citado trabajador.
- Se prohíbe la permanencia o el trabajo de operarios en zonas bajo la trayectoria de cargas suspendidas.
- Los aparatos de izar a emplear en esta obra estarán equipados con limitador de recorrido del carro y de los ganchos, carga punta giro por interferencia.

- Los motores eléctricos de grúas y de los montacargas estarán provistos de limitadores de altura y del peso a desplazar, que automáticamente corten el suministro eléctrico al motor cuando se llegue al punto en el que se debe detener el giro o desplazamiento de la carga.
- Los cables de izado y sustentación a emplear en los aparatos de elevación y transportes de cargas en esta obra estarán calculados expresamente en función de los solicitados para los que se los instala.
- La sustitución de cables deteriorados se efectuará mediante mano de obra especializada siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Los lazos de los cables estarán siempre protegidos interiormente mediante forrillos guardacabos metálicos para evitar deformaciones y cizalladuras.
- Los cables empleados directa o auxiliariamente para el transporte de cargas suspendidas se inspeccionarán como mínimo una vez a la semana por el Servicio de Prevención, que previa comunicación al Jefe de Obra, ordenará la sustitución de aquellos que tengan más del 10% de hilos rotos.
- Los ganchos de sujeción o sustentación serán de acero o de hierro forjado, provistos de pestillo de seguridad.
- Se prohíbe en esta obra la utilización de enganches artesanales contruidos a base de redondos doblados.
- Todos los aparatos de izado de cargas llevarán impresa la carga máxima que pueden soportar.
- Todos los aparatos de izar estarán sólidamente fundamentados apoyados según las normas del fabricante.
- Se prohíbe en esta obra el izado o transporte de personas en el interior de jaulones, bateas, cubilotes y asimilables.
- Todas las máquinas con alimentación a base de energía eléctrica estarán dotadas de toma de tierra.



- Los carriles para desplazamiento de grúas estarán limitados, a una distancia de 1 m de su término, mediante topes de seguridad de final de carrera.
- Se mantendrá en buen estado la grasa de los cables de las grúas (montacargas, etc.).
- Semanalmente, el Servicio de Prevención, revisará el buen estado del lastre y contrapeso de la grúa torre dando cuenta de ello al Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de obra.
- Semanalmente, por el Servicio de Prevención, se revisarán el buen estado de los cables contravientos existentes en la obra dando cuenta de ello al Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de obra.
- Los trabajos de izado, transporte y descenso de cargas suspendidas, quedarán interrumpidos bajo régimen de vientos superiores a los señalados para ello por el fabricante de la máquina.

### **Carpintería, Acristalamiento y Pintura**

Este apartado comprende todos aquellos trabajos necesarios para la instalación de la carpintería exterior (ventanas) que será esencialmente de aluminio, y la carpintería interior (puertas) que serán de madera; también comprende los trabajos de acristalamiento y de pintura de las zonas que lo requieran en el interior de la nave y de las paredes del exterior de la misma.

#### **Riesgos más frecuentes:**

En carpintería:

- Caídas de personas al mismo nivel.
- Caídas de personas a diferente nivel en la instalación en la carpintería de aluminio.
- Golpes con objetos.
- Heridas en extremidades inferiores y superiores.

- Riesgo de contacto directo en la conexión de las máquinas herramientas.

Acristalamientos:

- Caídas de materiales.
- Caídas de personas a diferente nivel.
- Cortes en las extremidades inferiores y superiores.
- Golpes contra vidrios ya colocados.

Pinturas:

- Intoxicaciones por emanaciones.
- Explosiones e incendios.
- Salpicaduras a la cara en su aplicación, sobre todo en techos.
- Caídas al mismo nivel por uso inadecuado de los medios auxiliares.

Normas básicas de seguridad:

Carpintería aluminio y madera:

Se comprobará al comienzo de cada jornada el estado de los medios auxiliares empleados en su colocación (andamios, así como los cinturones de seguridad y sus anclajes).

Acristalamientos:

Los vidrios de dimensiones grandes se manejarán con ventosas.

En las operaciones de almacenamiento, transporte y colocación, los vidrios se mantendrán en posición vertical, estando el lugar de almacenamiento señalizado y libre de otros materiales.

La colocación se realizará desde dentro del edificio.

Se pintarán los cristales una vez colocados.

Se quitarán los fragmentos de vidrio lo antes posible.

Pinturas:

- Ventilación adecuada de los lugares donde se realizan los trabajos.
- Los lugares estarán cerrados.
- Mantener limpia y ordenada la zona de trabajo.

## **Acabados y Pavimentos**

### Riesgos más frecuentes:

- Quemaduras por contacto con objetos calientes.
- Afecciones en la piel.
- Inhalación de sustancias tóxicas.
- Vibraciones.
- Lumbalgia por sobreesfuerzos.
- Lesiones en manos y pies.
- Choques, golpes ó atrapamientos.
- Cuerpos extraños en los ojos.

### Normas básicas de seguridad:

- Las zonas de trabajo se delimitarán con cintas de franjas alternas verticales de colores blanco y rojo.
- En las zonas en que sea necesario el paso de peatones sobre las zanjas, pequeños desniveles y obstáculos se realizaran mediante pasarelas.
- La maquinaria utilizada dispondrá de carcasas de protección y resguardos sobre las partes móviles, especialmente de las transmisiones que impidan el acceso involuntario de personas a dichos mecanismos para evitar el riesgo de atrapamiento.
- Siempre que se prevea interferencia entre los trabajos de asfaltado y las zonas de circulación de peatones ó vehículos, se ordenara y controlara por personal auxiliar debidamente adiestrado que vigile y dirija la circulación. Estarán debidamente señalizadas las zonas de paso de los vehículos tales como camiones, asfaltado, mantenimiento ó servicio. Siempre que sea previsible el paso de peatones ó vehículos junto al borde de la zona a asfaltar se dispondrá de vallas móviles que se iluminaran cada 10 metros con puntos de luz portátil.

### **10.2.7.3 Riesgos generales de la industria y normas básicas de seguridad**

Los riesgos generales de la planta piloto se deben a los edificios, a las estructuras, a la instalación eléctrica, a la maquinaria y los distintos depósitos existentes en la misma.

#### Riesgos más frecuentes:

- Caída por tropiezo con conducciones o maquinaria
- Peligro de atrapamiento en las máquinas
- Niveles de ruido considerables por funcionamiento de los distintos motores de las máquinas.

#### Normas básicas de seguridad:

- Limpieza y orden en la zona de trabajo.
- Limpieza y reparación de la maquinaria una vez parada.
- Los depósitos de almacenamiento de Materias Primas y Productos Terminados se sitúan sobre terreno nivelado y se realiza la cimentación que determine el suministrador. Si están próximos a lugares de paso de vehículos se protegerán, con vallas empotradas en el suelo, de posibles impactos que hagan peligrar su estabilidad.
- Los depósitos de almacenamiento de alcohol se señalarán con rótulos de “NO FUMAR” y “PELIGRO MATERIAL INFLAMABLE”. Se dispondrá de extintores.

#### **Trabajos de laboratorio**

En el laboratorio se realizan todos los estudios y análisis necesarios para comprobar que tanto las materias primas recibidas como los productos fabricados cumplen con las características descritas y pasan el control de calidad pertinente.

#### Riesgos más frecuentes:

- Caída por tropiezo
- Uso de materiales peligrosos
- Problemas respiratorios

#### Normas básicas de seguridad:

- Limpieza y orden en la zona de trabajo.
- Uso correcto de los equipos de manipulación.
- Evitar el contacto directo de agentes químicos con la piel.
- Extremar el cuidado con el uso de materiales auxiliares irritantes.

#### **10.2.7.4 Señalización e iluminación**

En el Real Decreto 485/1997, de 14 de Abril se establecen las disposiciones mínimas de carácter general relativas a la señalización de seguridad y salud a fin de:

- Llamar la atención de los trabajadores sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones u obligaciones.
- Alertar a los trabajadores cuando se produzca una determinada situación de emergencia que requiera medidas de protección ó evacuación.
- Orientar y guiar a los trabajadores que realicen determinadas maniobras peligrosas.

Tipos de señales:

- En forma de panel:

##### Señales de advertencia:

Poseen forma triangular con pictograma negro sobre fondo amarillo, excepto la señal de materias nocivas que lleva fondo naranja. Se colocarán señales de advertencia de:

- Materiales tóxicos en zonas en las que se opera con sustancias químicas.
- Materiales corrosivos en zonas de almacenamiento de ácidos y bases y en las zonas de operación con las mismas, debido a la posibilidad de fugas.
- Riesgo de tropezar
- Caídas a distinto nivel

##### Señales de prohibición:

Tienen forma redonda, pictograma negro sobre fondo blanco y bordes y bandas rojos.

Estará prohibido fumar y encender fuego en toda la planta química y edificios de la misma excepto en las zonas del exterior habilitadas para ello.

Se prohibirá la entrada a las instalaciones a toda persona no autorizada.

Señales de obligación:

Tienen forma redonda, el pictograma es blanco sobre fondo azul.

Principalmente son las relacionadas con las protecciones personales, por ello se tratarán en el siguiente punto.

Señales relativas a lucha contra incendio: tiene forma rectangular o cuadrada, con pictograma blanco sobre fondo rojo.

Los extintores y las BIE's deberán tener señales indicativas de su presencia en lugares visibles.

También se indicará la dirección que deberá seguirse en caso de evacuación.

Señales de salvamento o socorro:

Forma rectangular o cuadrada con pictograma blanco sobre fondo verde.

Se dispondrá de señalización de salida de socorro y teléfono de salvamento.

Las duchas de seguridad así como los lavaojos dispondrán de su señal en un lugar visible.

Se indicará con la señal correspondiente la ubicación del botiquín y/o servicio médico.

– Es necesario la existencia de alumbrado de emergencia.

– Cintas de señalización:

Para señalar obstáculos, zonas de caídas de objetos, caída de personas a distinto nivel etc, se señalizan con los paneles anteriores ó bien se delimita la zona de exposición al riesgo con cintas de tela ó

materiales plásticos con franjas alternadas oblicuas en color amarillo y negro, inclinadas 45°.

- Cinta de delimitación de la zona de trabajo:  
Las zonas de trabajo se delimitan con cintas de franjas alternas verticales de colores blanco y rojo.
- Señales acústicas de emergencia que deberán conocer todos los operarios de la planta química.
- Señales óptico-acústicas de vehículos de obra:  
Las máquinas autoportantes que puedan intervenir en las operaciones de manutención disponen de:
  - Una bocina cuyo nivel sonoro es superior al ruido ambiental, de manera que sea claramente audible (Anexo IV del R.D 485/97 de 14/4/97).
  - Señales luminosas ó sonoras para indicación de maniobra de marcha atrás (Anexo I del R.D 1215/97 de 18/7/97).
  - En la parte más alta de la cabina disponen de un señalizado rotativo luminoso destellante de color ámbar para alertar de su presencia en circulación viaria.

### **10.2.8 Protección contra incendio y explosión.**

Llegados al punto en el cual el incendio no ha podido ser evitado, es necesario disponer de sistemas de extinción de incendios. Debido a las características de la planta, estos van a ser extintores y bocas de incendio equipadas (BIE).

El diseño de las instalaciones de protección contra incendios se hace según lo especificado tanto en la norma NBE-CPI-96, R.D. 786/2001, de 6 de julio, como en la ordenanza Municipal de Prevención contra incendios. De acuerdo con ésta, la instalación se compone de extintores y equipos de manguera.

### **10.2.8.1 Extintores**

Los extintores son aparatos autónomos que contienen un agente de extinción, que puede ser proyectado y dirigido sobre un fuego por la acción de una presión interior.

Es importante señalar que son de eficacia limitada, por ello sólo se pueden emplear en los primeros momentos del fuego.

El agente de extinción debe ser el adecuado para el fuego previsible.

Se dispondrá de extintores junto a los aparatos de mayor riesgo que son:

CALDERA

EVAPORADOR

REACTORES

CUADROS ELÉCTRICOS (extintor seco).

También se dispondrá de extintores en las salidas de los edificios de oficinas, laboratorio, etc.

La altura máxima de colocación de los mismos es de 1,70 m, su acceso debe estar libre de obstáculos y tener una señalización adecuada.

Un aspecto muy importante en este punto es la formación a los empleados. Todo trabajador de la planta química debe recibir formación sobre extinción de incendios, desde el uso del extintor al empleo de mangueras en el caso de trabajadores de campo.

### **10.2.8.2 Bocas de incendio equipadas**

A diferencia de los extintores, no son autónomas ya que dependen de una fuente externa de suministro de agua, pero puede dirigirse manualmente su punto de aplicación.

Está formada por un armario, una manguera, una boquilla, una válvula de apertura y un manómetro para comprobar la presión de servicio.

Se instalarán dos bocas de incendio equipadas, la primera en la zona de recepción de la materia prima (silos) y la segunda en el otro extremo de la planta, es decir en la zona de evaporación.



La justificación está en que las BIE's pueden actuar hasta 25 m, que es la longitud de la manguera.

Las BIE's se colocarán a una altura máxima de 1,5 m con fácil accesibilidad y libre de obstáculos y señalización adecuada.

#### **10.2.8.3 Elementos de compartimentación horizontal**

Su finalidad es dificultar la propagación horizontal del fuego y de los humos, delimitando los sectores del incendio.

En la planta objeto del proyecto se ha tenido en cuenta la distancia entre equipos y cada recipiente de productos químicos contará con un cubeto de tal manera que se limite el derrame de los mismos.

#### **10.2.8.4 Protección contra explosiones químicas**

Reduciendo el volumen de sustancia peligrosa almacenada o en proceso se disminuye la magnitud del riesgo, por ello se han diseñado en la planta 10 reactores de menor tamaño en vez de una sola unidad de gran tamaño.

#### **10.2.8.5 Protección contra explosiones físicas**

Debido a la presencia de recipientes a presión en la planta (reactores y caldera) se pueden producir explosiones físicas.

Las medidas de seguridad que se han tomado en este caso han sido la distancia entre la zona de reacción y las restantes, así como entre la caldera y los demás equipos y la instalación de válvulas de seguridad en cada uno de los reactores.

En el caso de los reactores la presión de operación no es elevada, con lo cual no se prevé que se produzcan daños elevados.

#### **10.2.9 Protecciones personales**

Se entiende por equipo de protección personal (EPI) "cualquier equipo destinado a ser llevado o sujeto por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar a su seguridad o salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin".

Toda persona que se encuentre en la planta deberá llevar:

- Casco de protección.
- Gafas de seguridad
- Calzado de seguridad

Los operarios de la planta, además de las anteriores deberán llevar:

- Protectores de oídos
- Ropa de seguridad

Cuando se realicen trabajos en altura tendrán la obligación de llevar dispositivos anti-caídas y, en su caso, dispositivo de descenso con velocidad de bajada limitada.

Los trabajadores de se encuentren manejando las sustancias corrosivas o que operen en las zonas en las que se encuentran almacenados o en proceso deberán llevar:

- Gafas de seguridad o pantallas.
- Chalecos, chaquetas y mandiles de protección contra agresiones químicas.

En el caso de producirse fugas de dichas sustancias químicas a todos los EPI's anteriores habrá que añadir:

- Un equipo respiratorio autónomo
- Guantes
- Ropa de protección contra agresiones químicas.

#### **10.2.10 Servicios de prevención**

Conforme a lo previsto en Real Decreto 39/1.997, de 17 de enero, que aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, la empresa dispone de la organización adecuada en este sentido.

El empresario ha designado uno o varios trabajadores para ocuparse de dicha actividad.

De acuerdo con lo previsto en el artículo 35 de la Ley 31/95, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, los trabajadores designan entre sus representantes al/a **los Delegado/s de Prevención de**

acuerdo con las condiciones recogidas en el citado artículo o bien aplicando lo prescrito en la Disposición Adicional cuarta de la Ley. Sus competencias, facultades y demás aspectos, se recogen en los artículos 36 y 37 de la citada ley.

Se designan entre los representantes del personal un Delegado de Prevención, que es el representante de los trabajadores con funciones específicas en materia de prevención de riesgos en el trabajo.

Tanto las empresas constructoras como posteriormente la destilería dispone de **Servicio Médico** de Empresa y de un **Vigilante de Seguridad** de la obra, a quien se le dan funciones las cuales se encuentran recogidas en el artículo 9º de la O.G.S.H.T.

También se dispone de un **Botiquín de primeros auxilios**. La empresa Constructora designa por escrito a uno de sus operarios como Socorrista, el cual recibe formación adecuada que le habilite para atender las pequeñas curas que se requieran a pie de obra y asegurar su reposición y mantenimiento del contenido del armario botiquín.

### **10.2.11 Plan de emergencia**

Cuando se produce un accidente, es necesario disponer de un plan de emergencia (PE), cuyo objetivo es coordinar los esfuerzos de todas las personas que se puedan ver afectadas por el accidente.

Los accidentes generan una situación de emergencia, la cual se puede clasificar según los recursos necesarios para su supresión en los niveles siguientes:

- Nivel de emergencia 1: la supresión de la emergencia se consigue con los medios internos de la empresa.
- Nivel de emergencia 2: para conseguir la supresión de la emergencia es necesario además de los medios de la empresa la presencia de los bomberos.

- Nivel de emergencia 3: son necesarios los medios internos de la empresa, bomberos y otras ayudas externas. Sería la situación más grave.

Una vez que se han clasificado las emergencias se debe determinar las acciones a emprender en cada caso: alerta, alarma, intervención o apoyo.

En los planes de emergencia es muy importante que cada persona de la organización tenga claro cuál es su papel. Existen varios equipos de emergencia, cada uno de los cuales tiene asignada una función:

- Equipos de alarma y evacuación (EAE).
- Equipos de primeros auxilios (EPA).
- Equipos de primera y segunda intervención, (EPI, ESI).
- Jefe de intervención
- Jefe de Emergencia.

Todo Plan debe disponer también de un esquema de operaciones para el desarrollo del mismo.

Una vez que el Plan de Emergencia está elaborado es necesario implantarlo, para ello se nombra:

- Un responsable del Plan
- Comité de autoprotección, en el que se deben implicar el mayor número de personas.

Dentro de la implantación se debe realizar:

- El mantenimiento y mejora de factores técnicos
- Adiestramiento de los medios humanos
- Simulacros de emergencia.
- Programa de mantenimiento.
- Investigación de siniestros.

## **11 PLANIFICACIÓN**

Una vez que la planta piloto objeto del proyecto está construida, se procederá a su puesta en marcha y operación habitual.

### **11.1 Operación**

Como se ha comentado en capítulos anteriores de la memoria la planta está diseñada para procesar 4000 kg/día de cascarilla de arroz mediante 10 reactores discontinuos, los cuales no funcionarán simultáneamente sino con un desfase de 1 hora, de tal manera que al descargar con una hora de diferencia el proceso, desde el punto de vista de la descarga de los reactores se asemejará a un proceso continuo.

En las Figuras 4.3 se muestra el diagrama de Gantt desglosado en las operaciones unitarias para cada lote de cada reactor y en la Figura 4.4 se muestra el diagrama de Gantt general de todo el proceso. Ambas figuras se encuentran en el Anexo 1.

### **11.2 Mantenimiento**

En la Figura 4.4 se puede ver con claridad todo el proceso y se observa además las horas en las que los equipos que funcionarán en continuo, es decir, intercambiador de calor, filtro, columna de intercambio iónico y evaporador, estarán sin operación. Estas horas serán las destinadas a operaciones de mantenimiento de la planta piloto de tal manera que no sea necesario parar la planta y no se modifique la planificación de la producción.

## **12 LEGISLACIÓN**

### **12.1 Legislación de seguridad**

- Planes de emergencia: RD-1254/1999
- Plan de autoprotección: RD-1196/2004
- Señalización de seguridad: RD- 485/1997
- Clasificación de sustancias RD 363/1995

### **12.2 Legislación de medio ambiente**

- Ley 10/98 de Gestión de Residuos
- Ley 18/2002 que incorpora la Directiva Europea 96/61/CE

### **12.3 Legislación sobre biocombustibles**

#### **12.3.1 Legislación en Europa**

##### **12.3.1.1 Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios. Energía para el futuro: fuentes de energía renovables (1997)**

Consideraba este Plan que “los únicos medios de que se dispone para aumentar la utilización de biocombustibles líquidos son la concesión de considerables reducciones fiscales y la subvención de la producción de materias primas.” Asimismo, se planteaba establecer un objetivo de producción de 18 Mtep de biocarburantes líquidos en 2010.

### **12.3.1.2 Libro Verde "Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético"**

Establece que el desarrollo los biocombustibles permitiría sustituir en 2020 el 20% del carburante diesel y la gasolina por estos productos para el transporte por carretera.

### **12.3.1.3 El VI Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente**

A nivel europeo, el sector de los biocarburantes se relaciona con el VI Programa Marco de Medio Ambiente (6PM) de forma multisectorial ya que incide en la integración de consideraciones ambientales en las políticas de transporte, energía y agricultura (objetivos prioritarios para dicho Programa), contribuyendo positivamente a la desvinculación entre crecimiento económico y daños al medio ambiente ya que son más respetuosos con el mismo que los combustibles fósiles tradicionales. En relación con los impactos medioambientales, los biocarburantes son especialmente relevantes para la lucha contra el cambio climático y la contaminación atmosférica. El desarrollo de la utilización de biocarburantes incide sobre el área A del 6PM (una de las cuatro grandes áreas principales): *"Resolver el problema del cambio climático"*. Es interesante destacar a este respecto que uno de los cuatro objetivos prioritarios de la UE a corto plazo es alcanzar los objetivos del protocolo de Kyoto, donde el transporte entrará con especial relevancia a partir de 2008.

### **12.3.1.4 Directiva 2003/96/CE**

Con respecto a los biocarburantes, esta Directiva, que reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad, aconseja establecer un marco comunitario que permita a los Estados miembros *"eximir de o reducir los impuestos especiales para los biocarburantes que favorezca un mejor funcionamiento del mercado interior y ofrezca una seguridad jurídica adecuada a los Estados miembros y a los agentes económicos. Conviene limitar las distorsiones de la competencia y mantener un efecto de incentivo para los productores y distribuidores de*

*biocarburantes mediante una reducción de los costes de producción, en particular a través de las adaptaciones, por parte de los Estados miembros, que tengan en cuenta los cambios de los precios de las materias primas.”*

#### **12.3.1.5 Directiva 2003/30/CE**

Esta Directiva establece qué productos se consideran biocarburantes y obliga a los Estados Miembros a velar por que se comercialice en sus respectivos mercados una proporción mínima de biocarburantes, estableciendo objetivos indicativos nacionales. Define como biocarburante “*el combustible líquido o gaseoso para transporte producido a partir de biomasa*”, entendiéndose por biomasa “*la fracción biodegradable de los productos, desechos, y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales*”. Concretamente, se establecen como valor de referencia para estos objetivos el 2% de toda la gasolina y gasóleo a finales de 2005 y el 5,75% a finales de 2010.

#### **12.3.1.6 Directiva 2003/17/CE**

Transpuesta a través del RD 1700/2003, esta norma modifica la Directiva 98/70/CE fijando fundamentalmente el contenido de azufre máximo para gasolinas y gasóleo de automoción (clase A), a partir del 1 de enero de 2009, lo que tiene implicaciones para los biocarburantes debido a su menor contenido en azufre. Igualmente, dentro de las especificaciones para la gasolina recogidas en sus anexos ya se especifica en las mismas el límite máximo del 5% (%v/v) de mezcla de bioetanol.

### **12.3.2 Legislación en España**

#### **12.3.2.1 Plan de Fomento de las Energías Renovables**

El Plan de Fomento de las Energías Renovables, elaborado por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), recogía una



previsión para los próximos años (2000-2010) en materia de consumo de energías renovables, así como las medidas y mecanismos de financiación para asegurar los objetivos plasmados en dicho Plan.

En relación con los biocombustibles, la primera consideración a realizar es que en este documento se plantean unos objetivos respecto a los biocarburantes inferiores a los establecidos en la actual Directiva.

Las medidas propuestas por dicho Plan en materia de promoción de los biocarburantes consisten principalmente en exenciones fiscales, ayudas a la distribución en la red, desarrollo de procesos de hidrólisis de la lignocelulosa, plantas de demostración y ayudas a la inversión.

#### **12.3.2.2 Real Decreto 6/2000**

En el artículo 6 del este Real Decreto de Medidas Urgentes de Intensificación de la Competencia en Mercados de Bienes y Servicios, se señalaba que *“El Gobierno promoverá la utilización de los biocombustibles a que se refiere la disposición adicional decimosexta de la Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, garantizando, en todo caso, la calidad final de los productos comercializados.”* Mediante dicho Real Decreto se creó la Comisión para el estudio del uso de biocombustibles, presidida por el Ministerio de Economía. A través de esta Comisión se elaboró un informe en el que se abordaban las implicaciones fiscales, medioambientales y económicas derivadas de la utilización de los biocombustibles. Asimismo, se recogían una serie de medidas e incentivos necesarios para el desarrollo de los biocombustibles.

#### **12.3.2.3 Ley 53/2002**

La Ley 53/2002 supuso un notable incentivo fiscal de cara a la promoción del uso de los biocarburantes.

#### **12.3.2.4 Real Decreto 1700/2003**

El Real Decreto 1700/2003 transpone las Directivas 2003/17/CE y 2003/30/CE, esta última relativa al fomento el uso de los biocarburantes en

el transporte. Fija las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos, GLP (y parcialmente de biocarburantes), así como el límite del 5% (en volumen) de biocarburantes en mezclas por debajo del cual pueden comercializarse como combustible estándar. La transposición, sin embargo, puede considerarse solamente parcial. La definición de los biocarburantes incluida en la Directiva es más amplia que la establecida en el Real Decreto, que únicamente define como biocarburantes al bioetanol y al biodiesel, cuando en la Directiva se considera biocarburantes también al biogás, el biometanol, el bioETBE, los biocarburantes sintéticos, el biohidrógeno y el aceite vegetal puro.

#### **12.3.2.5 Ley 36/2003**

A través de esta Ley se estableció en el Capítulo II Artículo 81 una deducción del 10% de la cuota íntegra en el impuesto de Sociedades para aquellas inversiones realizadas en instalaciones y equipos destinados al tratamiento de productos agrícolas, forestales o aceites usados para su transformación en biocarburantes.

## 13 ESTUDIO ECONÓMICO

### 13.1 Introducción

Los objetivos de la estimación de costes son:

- Conocer los conceptos contables a tener en cuenta en el proyecto.
- Estimar el capital total invertido en el mismo.
- Estimar los costes de fabricación
- Conocer cómo debe valorarse la inversión inicial con el tiempo.
- Valorar la rentabilidad de la instalación.

A continuación se muestran los términos que intervienen en la estimación del valor económico del proyecto.

### 13.2 Capital fijo invertido, I

El capital total se divide en tres partes (ver Ecuación 13.1) según el grado de riesgo y se muestran a continuación en orden decreciente de riesgo:

$$I = I_F + I_A + I_W \quad [13.1]$$

- Capital inmovilizado en el área del proceso,  $I_F$ .

Es el capital invertido en todo el equipo situado dentro de los límites del área de proceso.

Para calcular el capital inmovilizado se ha empleado el Método de Estimación Factorial (ver Figura 13.1), que se basa en los costes de los elementos principales, que son los costes de los equipos sin instalar. A partir de estos valores, aplicando los factores de la Figura 13.1, se obtienen los valores de todos los equipos ya instalados en planta en condiciones de operar.

TABLA 13. Factores experimentales típicos para sistemas de proceso en los que predominan fluidos \*

COSTE DEL EQUIPO PRINCIPAL SIN INSTALAR	$I_E$
COSTES DIRECTOS ADICIONALES COMO FRACCIÓN DE $I_E$	
Mano de obra para la instalación del equipo principal	0,10-0,20
Aislamiento	0,10-0,25
Conducciones (acero al carbono)	0,50-1,00
Cimientos	0,03-0,13
Edificios	0,07
Estructuras	0,05
Protección contra incendios	0,06-0,10
Instalación eléctrica	0,07-0,15
Pintura y limpieza	0,06-0,10
	$\Sigma f_i$ 1,09-2,05
COSTE DIRECTO TOTAL $(1 + \Sigma f_i)I_E$	
COSTES INDIRECTOS COMO FRACCIÓN DE LOS COSTES DIRECTOS	
Gastos generales, Gerencia	0,30
Servicios técnicos, honorarios de ingeniería	0,13
Imprevistos	0,13
	$f_I = 1 + 0,56 = 1,56$
COSTE TOTAL $I_F = (1 + \Sigma f_i)f_I I_E = (3,1-4,8)I_E$	

\* Adaptado de J. HAPPEL: *Chemical Process Economics*. Wiley, Nueva York, 1958.

Figura 13.1: Tabla de factores del Método de Estimación Factorial [25]

Para calcular el inmovilizado de los elementos principales se ha hecho uso de gráficas para cada tipo de equipo (a excepción del reactor, cuyo precio se ha consultado con la empresa HERPASUR S.A.), que se muestran en el Anexo 11 en función de las dimensiones de los equipos. En ellas se ha determinado el valor para las características de cada equipo en el año de construcción de las gráficas. Para tener en cuenta el aumento del valor del dinero, se ha empleado el Índice de Marshall Swift del tercer trimestre de 2005, que es el último valor disponible gratuitamente y el del año de cada gráfica. Estos valores se muestran en la Figura 13.2.

El valor del capital inmovilizado total es de **2.839.818,05 €**.

Figura -MARSHALL & SWITH ANUAL INDEX	
1987	813.6
1988	852.0
1989	895.1
1990	915.1
1991	930.6
1992	943.1
1993	964.2
1994	993.4
1995	1027.5
1996	1039.2
1997	1056.8
1998	1061.9

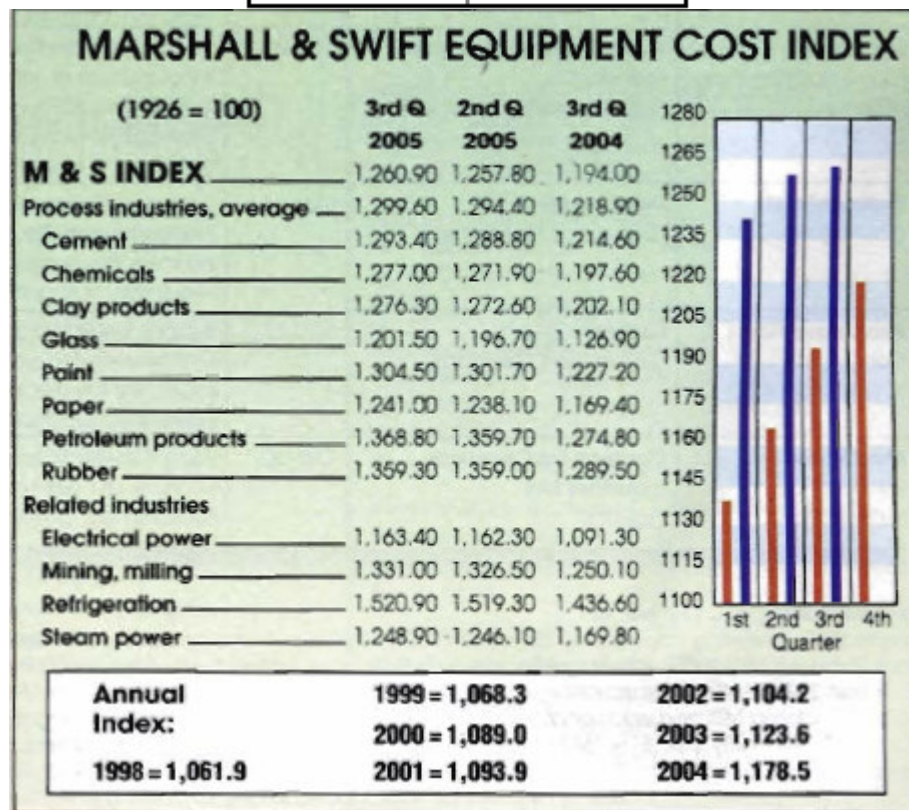


Figura 13.2: Índices de Marshall Swift. [28]

– Capital invertido en servicios auxiliares, I<sub>A</sub>.

Los elementos tales como generadores de vapor, depósitos de combustible, servicios de protección contra incendios están situados fuera del área de procesos y en general son utilizados simultáneamente por diversos sistemas de proceso que forman parte de un gran complejo.



En el caso del presente proyecto, la planta no se encuentra en un complejo químico, con lo cual los costes de los servicios auxiliares se calculan a partir de la Figura 13.3 para plantas aisladas en función del coste total de la planta instalada ( $I_F$ ). Los factores que indica la Figura 13.3 se han dividido entre dos para tener en cuenta que se trata de una planta piloto, con lo cual los servicios auxiliares son menores.

El valor del capital invertido en servicios auxiliares es **264.103,08 €**.

ESTIMACION DE COSTES

TABLA 15. Valores típicos de los costes de los servicios auxiliares expresados como porcentaje del coste total de la planta instalada (plantas aisladas o grandes adiciones de servicios) \*

Servicio	Intervalo	Valor medio (%)
Edificios auxiliares	3,0-9,0	5,0
Generación de vapor	2,6-6,0	3,0
Refrigeración (incluye su distribución)	1,0-3,0	2,0
Refrigeración y bombeo de agua	0,4-3,7	1,8
Almacenamiento de producto terminado	0,7-2,4	1,8
Subestación eléctrica principal	0,9-2,6	1,5
Sistema de evacuación de residuos	0,4-1,8	1,1
Almacenamiento de materias primas	0,3-3,2	1,1
Distribución de vapor	0,2-2,0	1,0
Distribución de electricidad	0,4-2,1	1,0
Compresión y distribución de aire	0,2-3,0	1,0
Distribución de agua	0,1-2,0	0,9
Sistema de protección contra incendios	0,3-1,0	0,7
Tratamiento de aguas	0,2-1,1	0,6
Ferrocarril	0,3-0,9	0,6
Carreteras y aceras	0,2-1,2	0,6
Suministro y distribución de gas	0,2-0,4	0,3
Tratamiento sanitario de residuos	0,1-0,4	0,3
Comunicaciones	0,1-0,3	0,2
Alumbrado de planta y zonas limítrofes	0,1-0,3	0,2

\* De H. C. BAUMAN: *Chem. Eng. Progr.*, 1, 51 (1955).

Figura 13.3: Costes de servicios auxiliares. [29]

– Capital circulante,  $I_w$ .

Es el capital invertido en el sistema en forma de dinero en efectivo, para prevenir gastos de operación y mantener el almacén de materias primas y productos.

Se debe considerar un mes de materias primas, además del dinero pendiente de cobro y el disponible en caja y banco.

Por tratarse de una planta piloto, se ha considerado el capital invertido en una reserva de cascarilla de arroz para 10 días, el coste de tener que cambiar el catalizador por pérdida de propiedades debido a demasiadas regeneraciones de igual manera que ocurre con el NaOH.

El valor del capital circulante es **18.978,40 €**.

Por tanto el valor del capital fijo invertido asciende a **3.122.899,53 €**.

### **13.3 Costes de producción, C.**

Los costes de producción son los que sirven para mantener en funcionamiento el sistema en la forma prevista. Se dividen en:

– Término proporcional al capital inmovilizado,  $F_I$ :

Se refiere a factores que son normalmente independientes del volumen de producción, siendo proporcionales al capital inmovilizado de la planta, y son:

- Mantenimiento: mano de obra y materiales, impuestos sobre la propiedad y seguros.
- Gastos de seguridad: protección contra incendios, vigilancia, primeros auxilios, etc.
- Servicios generales: laboratorio, vías de circulación, transportes, etc.
- Servicios administrativos: oficinas, contabilidad, servicio jurídico, etc.

Se han calculado a partir de la Figura 13.4 como fracción del inmovilizado. No se han considerado gastos referidos a patentes y el resto que se muestran en la Figura 13.4 se han dividido entre dos para considerar que la escala es de planta piloto.

El valor del coste proporcional al inmovilizado es de **184.588,17 €**.

**TABLA 16. Costes indirectos que intervienen en el coste de fabricación**

<i>Partida</i>	<i>Coste anual como fracción de inmovilizado</i>
Mantenimiento y reparaciones	
Procesos sencillos	0,02-0,06
Procesos altamente corrosivos o a presiones o temperaturas elevadas	0,07-0,11
Patentes	0,01-0,04
Seguros	0,01
Servicios generales	0,02-0,10
Factor total razonable para costes indirectos	$\alpha = 0,10-0,20$

Figura 13.4: Costes indirectos que intervienen en el coste de fabricación. [30]

– Término proporcional al volumen de producción,  $F_Q$ :

Dependen de la velocidad con la que los productos son fabricados por el sistema, son factores proporcionales a:

- Costes de las materias primas
- Costes de los servicios generales: energía eléctrica, combustible, agua de refrigeración, agua de proceso, vapor, etc.
- Costes de mantenimiento motivados por el funcionamiento.
- Productos químicos, catalizadores y materias consumidas en la fabricación distintos de materias primas.
- Costes de almacenamiento y expedición, control de calidad y análisis rutinarios, regalías y patentes.

Se han considerado los costes de cascarilla de arroz para un año de funcionamiento, así como una carga de catalizador y de regenerante de la resina de intercambio iónico. Los costes de mantenimiento debido a la operación se han considerado como un 1% del inmovilizado total (que



se corresponde con la mitad de lo que indica [45], ya que es una planta piloto. Por último se ha considerado el coste de la electricidad consumida teniendo en cuenta el precio del kWh en tarifa reducida por ser una empresa, a razón de un consumo de 0,25 kWh/kg producto. Por ser industria química le corresponde 0,5 kWh/kg pero al ser planta piloto se considera la mitad. [45]

Con todas estas consideraciones se obtiene un valor de **114.053,31 €**.

- Término proporcional a la mano de obra,  $F_L$ .

Costes relacionados con el mantenimiento del personal que interviene en la operación:

- Mano de obra
- Gerencia
- Gastos adicionales: vacaciones pagadas, seguridad social, etc.

Se ha considerado según la referencia [45], que el término proporcional a la mano de obra es un 10% del total de los costes de producción. Resultando un valor de **33.182,39 €**.

Por tanto, los costes anuales de fabricación ascienden a **331.823,87 €**.

### 13.4 Beneficios

- 1) Beneficio bruto anual,  $R$ .

Es la diferencia entre el ingreso neto por ventas anuales,  $S$  (€/año) y los costes de fabricación anuales,  $C$  (€/año).

Para calcular el ingreso neto por ventas anuales se ha considerado que se vende todo lo que se produce y que la producción de 1L de bioetanol exige 3 kg de cascarilla de arroz. [46]

El resultado es de un beneficio bruto de **154.842,80 €**.

- 2) Beneficios netos anuales,  $P$ .

Se definen como la cantidad que resta del beneficio bruto después de deducir la amortización y los impuestos, según la Ecuación 13.2:

$$P = R - eI_F - (R - dI_F)t \quad [13.2]$$

siendo:

e: factor anual de amortización calculado para recuperar la inversión hecha en inmovilizado (€/€ año)

t: impuestos (€/€ recibido)

Según la Directiva 2003/96/CE, a los productores de biocombustibles se les eximirá de los impuestos especiales, por esta razón sólo se han considerado 0,1 €/€ recibido, en vez de 0,35 que indica la referencia [48] .

Se ha considerado una amortización no lineal según la ecuación 13.3:

$$e = \frac{i}{\exp(i \times n) - 1} \quad [13.3]$$

siendo:

i: rentabilidad promedia ( 0,11 €/€ año) [47]

n: vida esperada para el proyecto desde el punto de vista de la amortización (10 años)

El valor obtenido es de 0,05 €/€ año.

Finalmente se obtiene un valor de **P = 25.765,80 €**

Este valor del beneficio neto se corresponde con el periodo de amortización de la planta, es decir para los 10 primeros años, para los siguientes años, al no tener amortización el beneficio será de **28.398,18€**.

### 13.5 Rentabilidad

Por último, se va a estudiar la rentabilidad o tasa de retorno.

Para calcular la rentabilidad, se va a considerar que la planta piloto va tener una vida de 15 años, por ello, se va a usar el capital fijo invertido promedio en esos 15 años. Usando la Ecuación 13.4 se obtiene:

$$i = \frac{\text{Beneficio neto obtenido}}{\text{Capital fijo invertido promedio}} \times 100 \quad [13.4]$$

Debido a que la amortización se realiza en 10 años, se va a distinguir entre un valor de rentabilidad inicial, durante el periodo de amortización de la

planta y otro valor para los 5 años siguientes. Para calcular cada valor de rentabilidad se tendrán en cuenta los beneficios obtenidos en cada periodo.

– Rentabilidad inicial:

$$i = \frac{25.765,80}{208.193,30} \times 100 = 12,38\%$$

– Rentabilidad final:

$$i = \frac{28.398,18}{208.193,30} \times 100 = 13,64\%$$

La rentabilidad mínima que se debe exigir en una planta química es del 15%, aunque el valor obtenido es menor, considerando que se trata de una planta piloto, se puede concluir con que la planta es rentable dentro de sus características específicas.

## **14 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO EN LA PLANTA**

### **14.1 Introducción**

Antes de exponer las acciones de mantenimiento, que se deberán llevar a cabo en la planta objeto del presente proyecto, es necesario diferenciar los tipos de mantenimiento que se pueden realizar en los procesos.

#### **14.1.1 Mantenimiento Preventivo**

La programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario; también es conocido como Mantenimiento Preventivo Planificado - MPP.

Su propósito es prever los fallos manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos. Siendo la característica principal de este tipo de mantenimiento inspeccionar los equipos y detectar los fallos en su fase inicial, y corregirlos en el momento oportuno. Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtienen experiencias en la determinación de causas de los fallos repetitivos o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.

#### Ventajas del Mantenimiento Preventivo:

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- Mayor duración, de los equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias en almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.

- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor coste de las reparaciones.

#### Fases del Mantenimiento Preventivo:

- Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
- Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuar periódicamente,
- Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo.
- Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar.

### **14.1.2 Mantenimiento Predictivo**

Mantenimiento basado fundamentalmente en detectar un fallo antes de que suceda, para dar tiempo a corregirlo sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción, etc. Estos controles pueden llevarse a cabo de forma periódica o continua, en función de tipos de equipo, sistema productivo, etc. Para ello, se usan instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas, como análisis de lubricantes, comprobaciones de temperatura de equipos eléctricos, etc.

#### Ventajas del Mantenimiento Predictivo:

- Reduce los tiempos de parada.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, lo que permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.

- Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones para ser utilizado en el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de las averías.
- Permite el análisis estadístico del sistema.

### **14.1.3 Mantenimiento Correctivo**

- No planificado:

Corrección de las averías o fallos, cuando éstos se presentan, y no planificadamente, al contrario del caso de Mantenimiento Preventivo.

Esta forma de mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.

El ejemplo de este tipo de Mantenimiento Correctivo No Planificado es la habitual reparación urgente tras una avería que obligó a detener el equipo o máquina dañada.

- Planificado:

El Mantenimiento Correctivo Planificado consiste la reparación de un equipo o máquina cuando se dispone del personal, repuestos, y documentos técnicos necesarios para efectuarlo

### **14.1.4 El Mantenimiento Autónomo**

El Mantenimiento Autónomo es una parte fundamental en el Mantenimiento Productivo Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) junto con otros como el Mantenimiento Preventivo, la Mejora Continua, la Capacitación-Formación del Personal, los Equipos e Instalaciones.

El personal más interesado en el Mantenimiento Autónomo, obviamente será los Directores y jefes de producción y mantenimiento, profesionales que tengan bajo su responsabilidad áreas de gestión humana, entrenamiento y capacitación-formación; pero es imprescindible la

implicación de TODOS los estamentos de la Empresa en los Procesos de Implantación de un Sistema de Mantenimiento Productivo Total.

El Mantenimiento Autónomo es, básicamente prevención del deterioro de los equipos y componentes de los mismos. El mantenimiento llevado a cabo por los operadores y preparadores del equipo, puede y debe contribuir significativamente a la eficacia del equipo. Este Mantenimiento Autónomo incluye:

- Limpieza diaria, que se tomará como un proceso de inspección.
- Inspección de los puntos claves del equipo, en busca de fugas, fuentes de contaminación, exceso o defecto de lubricación, etc.
- Lubricación básica periódica de los puntos claves del equipo.
- Pequeños ajustes
- Formación - Capacitación técnica.
- Registrar todos los fallos que no puedan repararse en el momento de su detección y que requieren una programación para solucionarse.

## **14.2 Operaciones de mantenimiento para cada equipo**

El tema del mantenimiento de la planta se va a tratar en función del equipo destino del mismo y del tipo de mantenimiento a llevar a cabo.

### **14.2.1 Mantenimiento de los reactores.**

Preventivo: a cada reactor se le realizará una inspección anual. De manera que se abrirán las bocas de hombre y se realizará la inspección y limpieza de elementos internos.

Predictivo: debido a las altas temperaturas y a la presencia de ácido sulfúrico en el reactor se realizarán medidas de espesores semestrales por ultrasonidos para estudiar la evolución y comprobar si se produce pérdida de espesor por corrosión.

### **14.2.2 Mantenimiento del Intercambiador de calor**

Debido a la presencia de sólidos en la corriente que procesa el intercambiador de calor hay que prestarle especial atención al mantenimiento de este equipo.

Predictivo: medidas de *fouling* y/o caída de presión a lo largo del intercambiador.

Preventivo: se le realizará una inspección anual en la cual se llevarán a cabo las siguientes operaciones:

- Apertura del cabezal e inspección de la placa.
- Limpieza con agua a presión de los tubos para retirar las posibles incrustaciones y los sólidos que pudieran quedar retenidos.
- Medida de los espesores de los tubos mediante corrientes inducidas, debido a la posible corrosión por el ácido sulfúrico.
- Limpieza de la zona de carcasa con productos químicos debido a que el agua de refrigeración forma incrustaciones sobre los tubos.
- Prueba de presión.

### **14.2.3 Mantenimiento del Filtro rotatorio a vacío.**

Preventivo: inspección anual, limpieza del tanque que contiene la suspensión a filtrar.

Predictivo: estudio de vibraciones debido al movimiento giratorio.

### **14.2.4 Columna de intercambio iónico**

Preventivo: inspección anual o trianual, mediante apertura de bocas de hombre y la limpieza e inspección de elementos internos.

Cambio del lecho de resina cuando la capacidad de la misma sea tal que no se consiga la separación deseada.

### **14.2.5 Mantenimiento del Evaporador**

Preventivo: se realizará una inspección anual o trianual en la cual se realizarán medidas de espesores y una prueba de presión a los tubos.



### **14.2.6 Mantenimiento del Sistema de tuberías**

Predictivo: debido a la presencia de ácido sulfúrico por varias líneas de la planta se efectuarán medidas de espesores de las mismas por ultrasonidos semestrales o anuales para estudiar la evolución y ver si se produce un deterioro o pérdida de espesor por corrosión.

### **14.2.7 Mantenimiento de Bombas centrífugas**

Predictivo: se tomarán medidas de vibraciones mensuales, con la máquina en servicio. También se tomará una muestra de aceite, con periodicidad mensual.

Preventivo: anualmente se realizarán a bomba y motor las siguientes acciones:

#### Mantenimiento mecánico de bomba.

- 1) Comprobar el estado de la máquina: comprobar que la bomba se encuentra aislada y drenada, así como el circuito de agua de refrigeración. Comprobar que el motor está aislado eléctricamente.
- 2) Limpieza de la bancada: antes del comienzo de los trabajos, limpiar la bancada de restos de aceites y agua para evitar posibles accidentes por deslizamientos.
- 3) Limpieza de los separadores magnéticos: desmontar el separador magnético. Inspeccionar y soplar el elemento magnético eliminando las partículas captadas. Montar el separador con juntas nuevas.
- 4) Revisión del acoplamiento: desmontar la protección del acoplamiento. Desmontar el carrete intermedio. Inspeccionar posibles roces o daños en las láminas y casquillos. Montar el acoplamiento después de la comprobación de la alineación. Montar protección.
- 5) Revisión de la alineación: una vez desmontado el acoplamiento, se debe comprobar la alineación en bomba-motor. La distancia entre caras de ejes bomba-motor debe ser de 180 mm +/- 1 mm. Las caras frontales de los acoplamientos deben ser paralelos con un error inferior a 0,025 mm de lectura total del comparador. Los diámetros exteriores

de los acoplamientos deben quedar alineados con un error inferior a 0,075 mm de lectura total del comparador.

- 6) Cambio de aceite: desmontar los tapones de llenado. Vaciar lo cárteres de aceite por lo tapones de drenaje. Inspeccionar el estado del aceite y la ausencia de partículas. Reponer el aceite hasta el nivel indicado. Rellenar el vaso del engrasador a un nivel constante. Comprobar la ausencia de fugas de aceite.
- 7) Limpieza de los enfriadores de agua de sellos.
- 8) Engrase de los rodamientos del motor.
- 9) Limpieza de las mirillas de agua de refrigeración: desmontar y limpiar las mirillas de salida del agua de refrigeración montar con juntas nuevas y cambiar los elementos deteriorados por el agua.

#### Revisión del motor.

Inspección visual del motor

- 1) Comprobar el estado del exterior del motor verificando su integridad física, estado de la pintura e inexistencia de oxidación, estado del ventilador, etc.
- 2) Comprobar el estado interior de las cajas de bornas verificando la ausencia de condensación, oxidación, recalentamiento de bables, estanqueidad, estado de terminales, etc.
- 3) Comprobar el estado de los prensas de los cables.

Ensayos eléctricos

- 1) Medida de la resistencia óhmica de los devanados.
- 2) Medida de la resistencia óhmica de la resistencia de caldeo.
- 3) Medida de la resistencia de aislamiento del estator.
- 4) Calcular el índice de polarización
- 5) Si dicho índice no es igual o mayor que 2 los devanados estarán sucios o húmedos y tiene un aislamiento no adecuado. Por lo tanto, se deberá secar los devanados con aire caliente y en caso de que este índice no aumente o no llegue a 2, se deberá desmontar el motor.

- 6) Finalizada la prueba descargar los devanados uniéndolos a tierra, o a través del medidor.
- 7) Medir la resistencia de aislamiento de la resistencia de caldeo con tierra y con las bobinas del estátor durante un minuto o estabilización, a una tensión de 500Vdc.

#### **14.2.8 Mantenimiento de Válvulas**

En la planta se dispone de dos tipos de válvulas, de bloqueo y de control. Como se ha comentado en el capítulo del sistema de tuberías, las de bloqueo son de compuerta y las de control de globo. Estas últimas son más complejas y requieren más atención desde el punto de vista del mantenimiento.

- 1) Válvulas de compuerta: se les realizará mantenimiento preventivo que consistirá en un engrase manual de todas ellas con una periodicidad mensual.
- 2) Válvulas de globo: al igual que la anterior dentro del preventivo se realizará el engrase manual mensual además de la verificación del ajuste y calibración.

#### **14.2.9 Mantenimiento de los extintores**

Cada tres meses:

- Es necesario comprobar su accesibilidad.
- Comprobación de carga (peso y presión).
- Estado de las partes mecánicas y comprobación del precinto.

El personal de planta será el encargado de realizar estas actividades de mantenimiento.

Cada año:

- Verificación de carga y presión
- Estado completo: manguera, boquilla, válvula etc.

Estas comprobaciones las realizará el fabricante de los extintores.

Cada cuatro años:

Prueba hidráulica (retimbrado), la cual será llevada a cabo por el fabricante.

## 15 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ye Sun, Jiayang Cheng, Department of Agricultural Engineering, North Carolina State University. (2001) Hydrolysis of lignocellulosic materials form etanol production: a review. *Bioresource Technology* 83 (2002), pags. 1-11.
- [2] Luis Echarri, (1998), *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente: Tema 7. Petróleo y gas natural*. Editorial Teide.
- [3] *Una Estrategia de Biocarburantes para España (2005-2010), Adaptación a los objetivos de la Directiva 2003/30/CE*. APPA & PricewaterhouseCoopers (junio, 2005).
- [4] X Gómez, A Morán, AI García y LF Calvo. Dpto. IQ. Instituto de Recursos Naturales Univ. León. (2005) Gasificación experimental de la paja de arroz en un reactor de lecho fluidizado. *Revista Energía* nº 188, pags.75-79.
- [5] [www.arkenol.com](http://www.arkenol.com); Arkenol Inc. Our Technology: Concentrated Acid Hydrolisis.
- [6] *La sacarificación de la madera*. Informe preparado a solicitud de la FAO en relación con la labor del Cuadro Técnico sobre Química de la madera. J.A.may, F.SAEMAN, JF HARRIS Servicio Forestal de la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos.
- [7] Lesme Antonio Corredor Martíniez, (2002), Universidad del Norte. Desarrollo de un sistema de cogeneración de baja potencia accionado mediante gasificación de cascarilla de arroz o gas manufacturado.
- [8] J.C. Parajó, G. Garrote, J.M. Cruz and H. Domínguez. Department of Chemical Engineering, University of Vigo (2004). Production of xylooligosaccharides by autohydrolysis of

- lignocellulosic materials. Trends in Food Science & Technology, 15, pags. 115-120.
- [9] O. García C., G. Alcántar G. Instituto de Recursos Naturales, Estado de México. (1999). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra, Volumen 19, Número 3, pags. 249-258.
- [10] Streitweiser and Heathcock, 1992. Introduction to Organic Chemistry. Ed. MacMillan, New York.
- [11] Vasinee Limwong, Narueporn Sutan, Department of Industrial Pharmacy, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Bangkok. (2004). Spherical Composites Particles of Rice Starch and Microcrystalline Cellulose: A new coprocessed excipient for directcompression. AAPS PharmSciTech. Art.30. ([www.aapspharmscitech.org/articles](http://www.aapspharmscitech.org/articles)).
- [12] Robert H. Perry. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7<sup>th</sup> Edition), pag. 2-108. Ed. McGraw Hill. New York.
- [13] Serfilco Ltd. General Chemical Resistance Guide. ([www.serfilco.com](http://www.serfilco.com))
- [14] L. Jiménez & J.L. Bonilla. Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Universidad de Córdoba. (1992) Acid Hydrolysis of Sunflower Residue Biomass. Process Biochemistry 0032-9592/93, pags. 243-247.
- [15] Preguntas frecuentes sobre lanas minerales de la empresa ACH Paneles S.A. ([www.achpaneles.com](http://www.achpaneles.com)).
- [16] Mills, Anthony F, (1995). Transferencia de Calor. Ed. Irwin, México.
- [17] Cortesía de la empresa GL&V/Dorr-Oliver Inc.
- [18] F.X. McGarvey, Dowex ion exchange resins and glossary of terms; Introduction to industrial ion exchange. Dow Chemical Company.

- [19] IQ Beatriz Cuartas Gia (UPB). Tecnologías de membrana, marco teórico.
- [20] Ángel Vián y Joaquín Ocón, 1988, Elementos de Ingeniería Química (Operaciones Básicas), Ed. Aguilar. Barcelona.
- [21] Robert H. Perry. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7<sup>th</sup> Edition), pag. 11-109. Ed. McGraw Hill. New York.
- [22] Sección Evaporadores, Swenson Technology Inc. ([www.swensontechnology.com](http://www.swensontechnology.com))
- [23] "Corrosion Data Survey. Metals Section". Sixth Edition, 1985 Edited by NACE (National Association of Corrosion Engineers).
- [24] Robert H. Perry. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7<sup>th</sup> Edition), Figura 10-176. Ed. McGraw Hill. New York.
- [25] D.F. Rudd, Ch. C. Watson, (1976), Estrategia en Ingeniería de procesos. Tabla 13 Tema 4. Ed. Alhambra. Madrid.
- [26] Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus, Ronald E. West, (1991) Plant Design and Economics for Chemical Engineers, pag. 628. Ed. McGraw Hill. New York.
- [27] J. M. Coulson, J. F. Richardson, (1988), Ingeniería Química, Figura 6.3. Ed. Reverté, Barcelona.
- [28] Página 64, Chemical Engineering. December 2005
- [29] D.F. Rudd, Ch. C. Watson, (1976), Estrategia en Ingeniería de procesos. Tabla 15 Tema 4. Ed. Alhambra. Madrid.
- [30] D.F. Rudd, Ch. C. Watson, (1976), Estrategia en Ingeniería de procesos. Tabla 16 Tema 4. Ed. Alambra, Madrid.
- [31] Carlos Vila, Gil Garrote, Herminia Domínguez and Juan Carlos Parajó. Department of Chemical Engineering, University of Vigo, (2001). Hydrolytic Processing of rice husks in aqueous media: a kinetic assessment. Collect. Czech. Chem. Commun, Vol. 67, pags. 509-530.

- [32] Hanna Ingesson, Guido Zacchi (Department of Chemical Engineering Lund University Sweden), Bin Yang (Faculty of Forestry, Forest Products Biotechnology, The University of British Columbia Vancouver, Canada), (2000). The effect of shaking regime on the rate and extent of enzymatic hydrolysis of cellulose. *Journal of Biotechnology*, 88, (2001) pags. 177-182.
- [33] Código ASME Sección VIII División 1: Recipientes a Presión.
- [34] Spirax Sarco, "The steam and condensate loop", Block 2: Steam Engineering Principles and Heat Transfer, Module 2.10: Heating with coils and jackets.
- [35] Robert H. Perry. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7<sup>th</sup> Edition), Tabla 2-217 (Para H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5% y 20°C). Ed. McGraw Hill. New York.
- [36] "High performance Stainless Steel", report prepared by Curtis W. Kovach, Technical Marketing Resources Inc. Pittsburgh, USA.
- [37] "The steam and condensate loop" Spirax Sarco, Block 2: Steam Engineering Principles and Heat Transfer, Module 2.9: Energy Consumption of tanks and vats.
- [38] Material suministrado por el profesor de Tecnología Energética de 4º de Ingeniería Química de la UCA.
- [39] Mills, Anthony F, (1995). *Transferencia de Calor*, Tabla A.8. Ed. Irwin, México.
- [40] Apuntes Máster en Petroquímica del Instituto Superior de la Energía (ISE).
- [41] Robert H. Perry. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7<sup>th</sup> Edition), Chapter 18. Ed. McGraw Hill. New York.
- [42] Catálogo comercial de la firma MERCK, pags. 127, 924.
- [43] Ing. Antonio Valdés Delgado. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. Curso Internacional: Energía en la Industria Azucarera y del alcohol. Eficiencia en el uso del vapor de proceso, (presentación power point).



- [44] Apuntes de la asignatura de Operaciones Básicas de Flujo de Fluidos de 3º de Ingeniería Química de la Universidad de Cadiz.
- [45] D.F. Rudd, Ch. C. Watson, (1976), Estrategia en Ingeniería de procesos. Tema 4. Ed. Alambra, Madrid.
- [46] Felipe Manuel Campo Heredero. Universidad Pontificia de Comillas. Evaluación técnico-económica de la introducción de biocarburantes en España a partir de cultivos energéticos, ([www.upc.es](http://www.upc.es))
- [47] D.F. Rudd, Ch. C. Watson, (1976), Estrategia en Ingeniería de procesos. Tabla 1 Tema 4. Ed. Alambra, Madrid.
- [48] Robert H. Perry. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7<sup>th</sup> Edition), Chapter 9. Ed. McGraw Hill. New York.
- [49] Documento elaborado por la Unión Europea, Integrated Pollution Prevention And Control (IPPC) Reference Document On Best Available Techniques In The Large Volume Organic Chemical Industry.
- [50] Norman P. Lieberman, Elizabeth T. Lieberman, (2003), Working Guide to Process Equipment, pag. 250, Ed. McGraw Hill, New York.
- [51] Humphrey, A.E. "Chapter 2: The Hydrolysis of Cellulosic Materials to Useful Products". In Hydrolysis of Cellulose: Mechanisms of Enzymatic and Acid Catalysis. Advances in Chemistry Series N° 181, American Chemical Society, Washington D.C., 1979 p.p.25-52.
- [52] Robert H. Perry. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7<sup>th</sup> Edition), Pag. 11-34. Ed. McGraw Hill. New York.
- [53] Robert H. Perry. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7<sup>th</sup> Edition), pag. 10-134. Ed. McGraw Hill. New York.
- [54] Robert H. Perry. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7<sup>th</sup> Edition), pag. 11-36, 11-37. Ed. McGraw Hill. New York.

- [55] Apuntes de la asignatura de Operaciones Básicas de Flujo de Fluidos de 3° de Ingeniería Química de la Universidad de Cadiz.
- [56] Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus, Ronald E. West, (1991) Plant Design and Economics for Chemical Engineers, pag. 573. Ed. McGraw Hill. New York.
- [57] Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus, Ronald E. West, (1991) Plant Design and Economics for Chemical Engineers, pag. 864. Ed. McGraw Hill. New York.
- [58] Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus, Ronald E. West, (1991) Plant Design and Economics for Chemical Engineers, pag. 690. Ed. McGraw Hill. New York.
- [59] Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus, Ronald E. West, (1991) Plant Design and Economics for Chemical Engineers, pag. 519. Ed. McGraw Hill. New York.
- [60] J. M. Coulson, J. F. Richardson, (1988), Ingeniería Química, Ed. Reverté, Barcelona.

## **16 ANEXOS**

### **16.1 ANEXO 1: FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS**

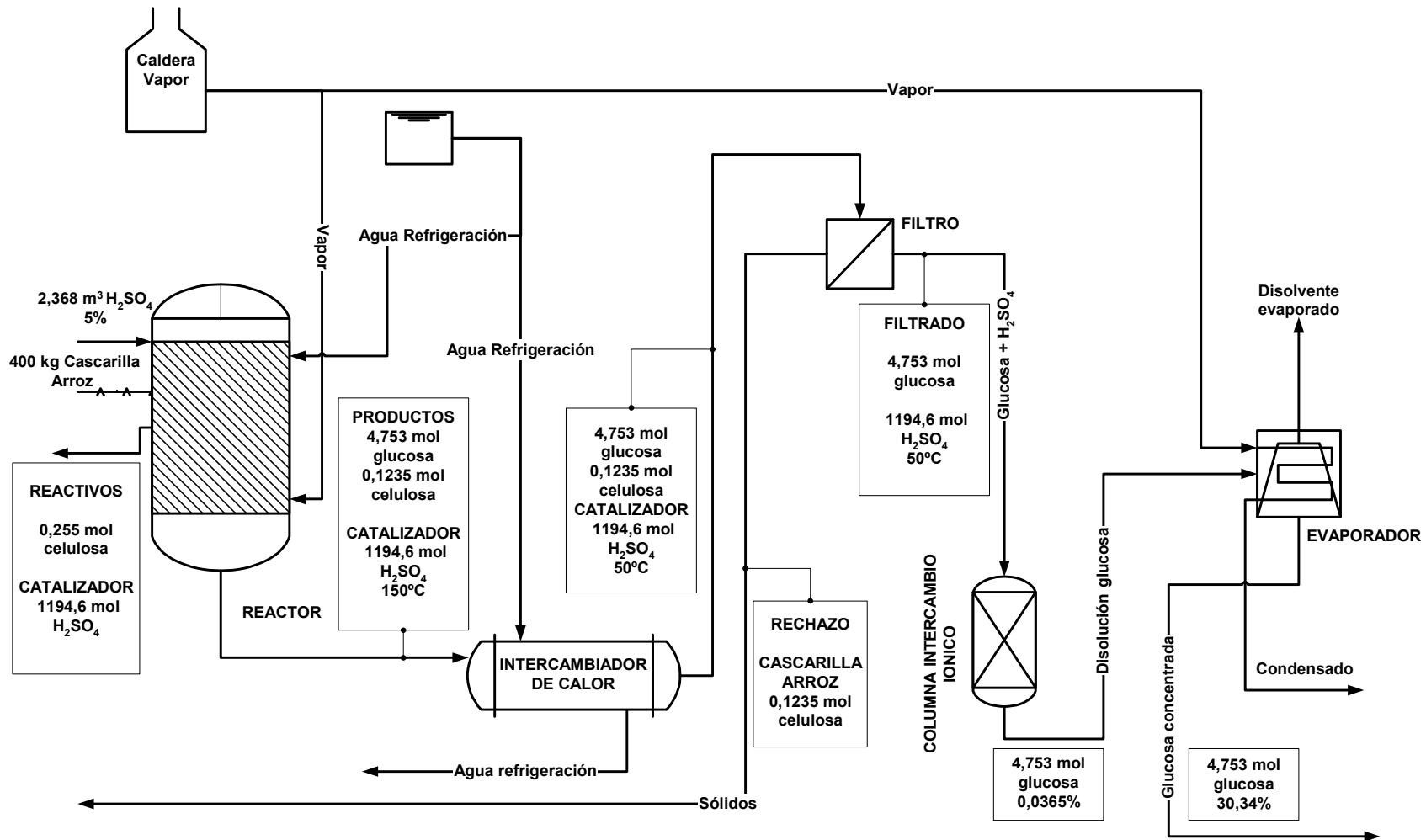


Figura 4.2: Esquema de la planta piloto con balance de materia.







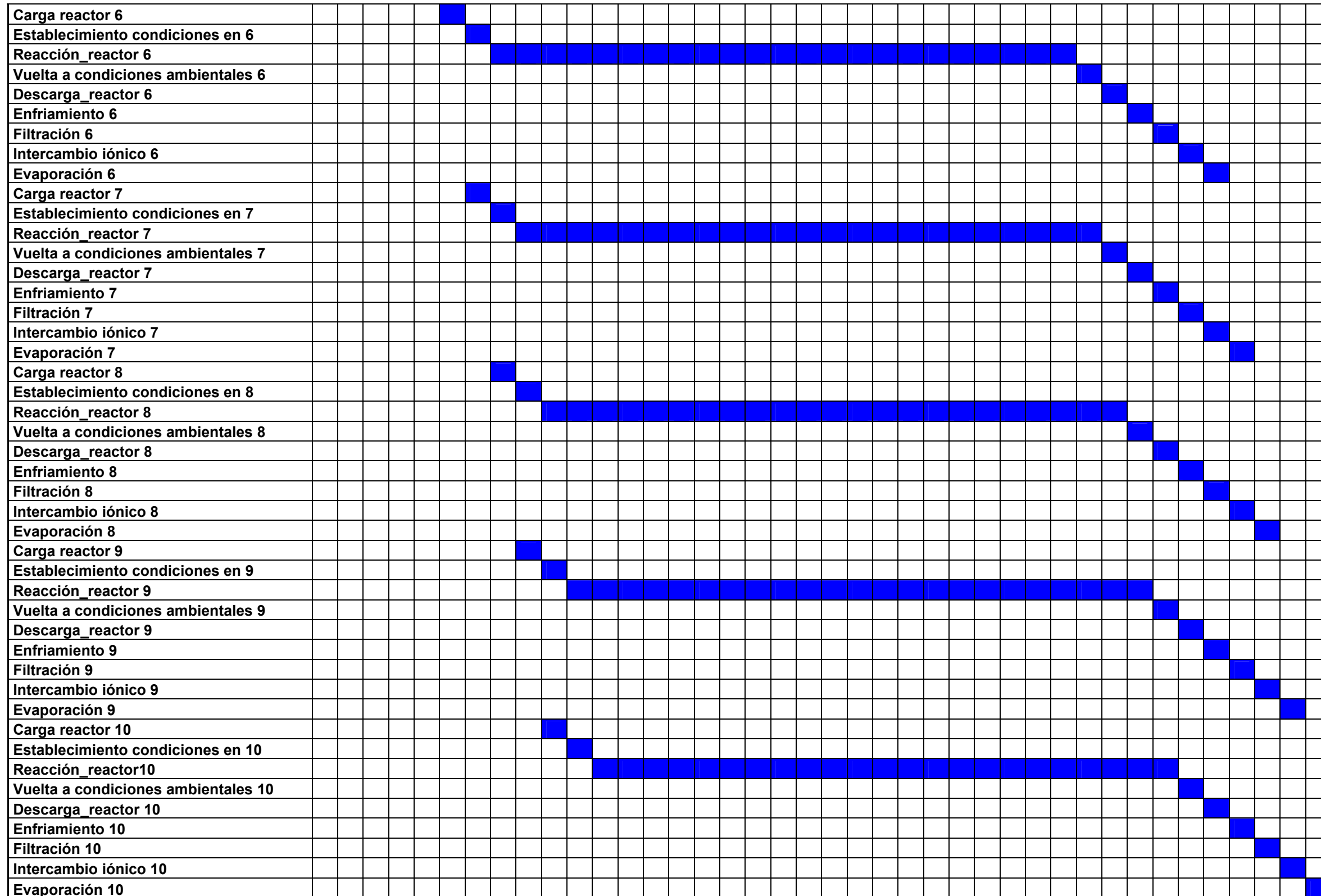


Figura 4.3: Diagrama de Gantt general.(2)



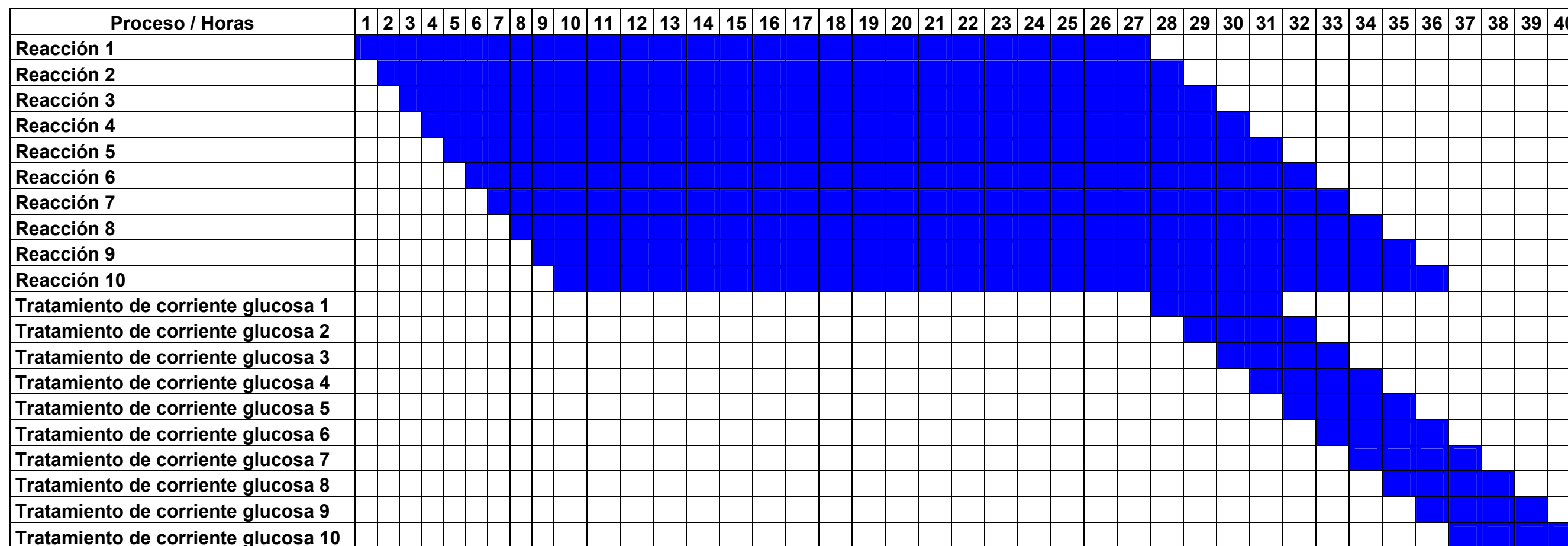


Figura 4.4: Diagrama de Gantt desglosado.

**Tabla 5.1: TABLA DE VELOCIDADES DE REACCIÓN**

tiempo(s)	tiempo(h)	[celulosa] (mol/m <sup>3</sup> )	Velocidad Formación glucosa (mol/m <sup>3</sup> h)	velocidad formación glucosa (mol/Kg s)
0	0,00	0,1078143	0,58421136	1,64119E-07
600	0,17	0,1078093	0,58418415	1,64111E-07
1200	0,33	0,1077989	0,58412797	1,64096E-07
1800	0,50	0,1077831	0,58404188	1,64071E-07
2400	0,67	0,1077616	0,58392573	1,64039E-07
3000	0,83	0,1077346	0,58377930	1,63998E-07
3600	1,00	0,1077020	0,58360255	1,63948E-07
4200	1,17	0,1076637	0,58339535	1,6389E-07
4800	1,33	0,1076199	0,58315764	1,63823E-07
5400	1,50	0,1075704	0,58288934	1,63748E-07
6000	1,67	0,1075152	0,58259039	1,63664E-07
6600	1,83	0,1074544	0,58226072	1,63571E-07
7200	2,00	0,1073878	0,58190030	1,6347E-07
7800	2,17	0,1073156	0,58150907	1,6336E-07
8400	2,33	0,1072377	0,58108700	1,63241E-07
9000	2,50	0,1071542	0,58063405	1,63114E-07
9600	2,67	0,1070649	0,58015020	1,62978E-07
10200	2,83	0,1069699	0,57963543	1,62834E-07
10800	3,00	0,1068692	0,57908971	1,6268E-07
11400	3,17	0,1067627	0,57851305	1,62518E-07
12000	3,33	0,1066506	0,57790542	1,62348E-07
12600	3,50	0,1065327	0,57726683	1,62168E-07
13200	3,67	0,1064092	0,57659728	1,6198E-07
13800	3,83	0,1062799	0,57589677	1,61783E-07
14400	4,00	0,1061449	0,57516531	1,61578E-07
15000	4,17	0,1060042	0,57440291	1,61364E-07
15600	4,33	0,1058578	0,57360960	1,61141E-07
16200	4,50	0,1057057	0,57278538	1,60909E-07
16800	4,67	0,1055479	0,57193028	1,60669E-07
17400	4,83	0,1053844	0,57104433	1,6042E-07
18000	5,00	0,1052152	0,57012756	1,60163E-07
18600	5,17	0,1050403	0,56917999	1,59896E-07
19200	5,33	0,1048598	0,56820166	1,59622E-07
19800	5,50	0,1046736	0,56719262	1,59338E-07
20400	5,67	0,1044817	0,56615289	1,59046E-07
21000	5,83	0,1042842	0,56508252	1,58745E-07
21600	6,00	0,1040810	0,56398156	1,58436E-07
22200	6,17	0,1038722	0,56285005	1,58118E-07
22800	6,33	0,1036577	0,56168804	1,57792E-07
23400	6,50	0,1034377	0,56049559	1,57457E-07
24000	6,67	0,1032120	0,55927275	1,57113E-07
24600	6,83	0,1029807	0,55801957	1,56761E-07
25200	7,00	0,1027439	0,55673612	1,56401E-07
25800	7,17	0,1025014	0,55542246	1,56032E-07
26400	7,33	0,1022534	0,55407865	1,55654E-07
27000	7,50	0,1019999	0,55270476	1,55268E-07

tiempo(s)	tiempo(h)	[celulosa] (mol/m <sup>3</sup> )	Velocidad Formación glucosa (mol/m <sup>3</sup> h)	velocidad formación glucosa (mol/Kg s)
27600	7,67	0,1017408	0,55130085	1,54874E-07
28200	7,83	0,1014762	0,54986699	1,54471E-07
28800	8,00	0,1012061	0,54840325	1,5406E-07
29400	8,17	0,1009304	0,54690972	1,5364E-07
30000	8,33	0,1006493	0,54538645	1,53212E-07
30600	8,50	0,1003627	0,54383354	1,52776E-07
31200	8,67	0,1000707	0,54225106	1,52331E-07
31800	8,83	0,0997732	0,54063909	1,51879E-07
32400	9,00	0,0994703	0,53899771	1,51417E-07
33000	9,17	0,0991620	0,53732701	1,50948E-07
33600	9,33	0,0988483	0,53562707	1,50471E-07
34200	9,50	0,0985292	0,53389799	1,49985E-07
34800	9,67	0,0982047	0,53213985	1,49491E-07
35400	9,83	0,0978749	0,53035275	1,48989E-07
36000	10,00	0,0975398	0,52853677	1,48479E-07
36600	10,17	0,0971993	0,52669196	1,4796E-07
37200	10,33	0,0968535	0,52481836	1,47434E-07
37800	10,50	0,0965025	0,52291601	1,469E-07
38400	10,67	0,0961461	0,52098494	1,46357E-07
39000	10,83	0,0957844	0,51902523	1,45807E-07
39600	11,00	0,0954175	0,51703691	1,45248E-07
40200	11,17	0,0950453	0,51502004	1,44682E-07
40800	11,33	0,0946678	0,51297470	1,44107E-07
41400	11,50	0,0942851	0,51090094	1,43524E-07
42000	11,67	0,0938972	0,50879884	1,42934E-07
42600	11,83	0,0935040	0,50666846	1,42335E-07
43200	12,00	0,0931057	0,50450990	1,41729E-07
43800	12,17	0,0927021	0,50232321	1,41115E-07
44400	12,33	0,0922934	0,50010850	1,40493E-07
45000	12,50	0,0918795	0,49786585	1,39863E-07
45600	12,67	0,0914605	0,49559533	1,39225E-07
46200	12,83	0,0910364	0,49329706	1,38579E-07
46800	13,00	0,0906071	0,49097111	1,37926E-07
47400	13,17	0,0901728	0,48861759	1,37264E-07
48000	13,33	0,0897334	0,48623660	1,36596E-07
48600	13,50	0,0892890	0,48382823	1,35919E-07
49200	13,67	0,0888395	0,48139260	1,35235E-07
49800	13,83	0,0883850	0,47892980	1,34543E-07
50400	14,00	0,0879255	0,47643996	1,33843E-07
51000	14,17	0,0874610	0,47392317	1,33136E-07
51600	14,33	0,0869916	0,47137955	1,32422E-07
52200	14,50	0,0865172	0,46880922	1,317E-07
52800	14,67	0,0860380	0,46621230	1,3097E-07
53400	14,83	0,0855538	0,46358890	1,30233E-07
54000	15,00	0,0850648	0,46093914	1,29489E-07
54600	15,17	0,0845710	0,45826315	1,28737E-07
55200	15,33	0,0840723	0,45556105	1,27978E-07

tiempo(s)	tiempo(h)	[celulosa] (mol/m <sup>3</sup> )	Velocidad Formación glucosa (mol/m <sup>3</sup> h)	velocidad formación glucosa (mol/Kg s)
55800	15,50	0,0835689	0,45283297	1,27212E-07
56400	15,67	0,0830606	0,45007904	1,26438E-07
57000	15,83	0,0825477	0,44729939	1,25657E-07
57600	16,00	0,0820300	0,44449415	1,24869E-07
58200	16,17	0,0815076	0,44166346	1,24074E-07
58800	16,33	0,0809805	0,43880744	1,23272E-07
59400	16,50	0,0804488	0,43592624	1,22462E-07
60000	16,67	0,0799125	0,43302000	1,21646E-07
60600	16,83	0,0793715	0,43008885	1,20822E-07
61200	17,00	0,0788260	0,42713295	1,19992E-07
61800	17,17	0,0782760	0,42415242	1,19155E-07
62400	17,33	0,0777214	0,42114743	1,1831E-07
63000	17,50	0,0771624	0,41811811	1,17459E-07
63600	17,67	0,0765988	0,41506461	1,16602E-07
64200	17,83	0,0760309	0,41198708	1,15737E-07
64800	18,00	0,0754585	0,40888569	1,14866E-07
65400	18,17	0,0748818	0,40576057	1,13988E-07
66000	18,33	0,0743007	0,40261188	1,13103E-07
66600	18,50	0,0737153	0,39943978	1,12212E-07
67200	18,67	0,0731256	0,39624442	1,11315E-07
67800	18,83	0,0725317	0,39302597	1,1041E-07
68400	19,00	0,0719335	0,38978458	1,095E-07
69000	19,17	0,0713311	0,38652042	1,08583E-07
69600	19,33	0,0707245	0,38323365	1,0766E-07
70200	19,50	0,0701138	0,37992443	1,0673E-07
70800	19,67	0,0694990	0,37659293	1,05794E-07
71400	19,83	0,0688801	0,37323931	1,04852E-07
72000	20,00	0,0682572	0,36986375	1,03904E-07
72600	20,17	0,0676302	0,36646641	1,02949E-07
73200	20,33	0,0669992	0,36304747	1,01989E-07
73800	20,50	0,0663643	0,35960709	1,01022E-07
74400	20,67	0,0657255	0,35614545	1,0005E-07
75000	20,83	0,0650828	0,35266273	9,90715E-08
75600	21,00	0,0644362	0,34915910	9,80872E-08
76200	21,17	0,0637858	0,34563474	9,70971E-08
76800	21,33	0,0631316	0,34208982	9,61013E-08
77400	21,50	0,0624736	0,33852453	9,50997E-08
78000	21,67	0,0618119	0,33493905	9,40925E-08
78600	21,83	0,0611465	0,33133356	9,30796E-08
79200	22,00	0,0604775	0,32770824	9,20612E-08
79800	22,17	0,0598048	0,32406328	9,10372E-08
80400	22,33	0,0591286	0,32039887	9,00078E-08
81000	22,50	0,0584488	0,31671518	8,89729E-08
81600	22,67	0,0577654	0,31301242	8,79327E-08
82200	22,83	0,0570786	0,30929076	8,68872E-08
82800	23,00	0,0563883	0,30555040	8,58365E-08
83400	23,17	0,0556947	0,30179153	8,47805E-08

tiempo(s)	tiempo(h)	[celulosa] (mol/m <sup>3</sup> )	Velocidad Formación glucosa (mol/m <sup>3</sup> h)	velocidad formación glucosa (mol/Kg s)
84000	23,33	0,0549976	0,29801435	8,37194E-08
84600	23,50	0,0542972	0,29421904	8,26532E-08
85200	23,67	0,0535935	0,29040580	8,1582E-08
85800	23,83	0,0528865	0,28657483	8,05058E-08
86400	24,00	0,0521762	0,28272632	7,94246E-08

Tabla 5.1: Tabla de velocidad de reacción (cont.)

Tabla 5.2: Concentración de glucosa (mol/m<sup>3</sup>) por el método de las diferencias finitas

		POSICIÓN (m)							
		0 → r							
TIEMPO (S)	t, r	0	0,0011	0,0022	0,0033	0,0044	0,0055	0,0066	
	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	600	0,0166	0,0166	0,0166	0,0166	0,0166	0,0166	0,0166	0,0000
	1200	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0255	0,0143
	1800	0,0499	0,0499	0,0499	0,0499	0,0499	0,0462	0,0405	0,0294
	2400	0,0665	0,0665	0,0665	0,0648	0,0619	0,0546	0,0451	0,0451
	3000	0,0832	0,0832	0,0823	0,0809	0,0765	0,0702	0,0609	0,0609
	3600	0,0998	0,0994	0,0987	0,0961	0,0922	0,0854	0,0767	0,0767
	4200	0,1164	0,1158	0,1144	0,1121	0,1075	0,1011	0,0926	0,0926
	4800	0,1330	0,1320	0,1306	0,1276	0,1233	0,1167	0,1086	0,1086
	5400	0,1496	0,1484	0,1465	0,1436	0,1388	0,1326	0,1245	0,1245
	6000	0,1662	0,1647	0,1626	0,1593	0,1547	0,1483	0,1406	0,1406
	6600	0,1828	0,1810	0,1786	0,1753	0,1705	0,1643	0,1566	0,1566
	7200	0,1994	0,1973	0,1948	0,1912	0,1864	0,1802	0,1727	0,1727
	7800	0,2159	0,2136	0,2108	0,2072	0,2023	0,1962	0,1888	0,1888
	8400	0,2325	0,2300	0,2270	0,2232	0,2183	0,2122	0,2050	0,2050
	9000	0,2490	0,2463	0,2431	0,2392	0,2342	0,2282	0,2212	0,2212
	9600	0,2656	0,2626	0,2593	0,2553	0,2503	0,2443	0,2373	0,2373
	10200	0,2821	0,2790	0,2755	0,2713	0,2663	0,2604	0,2535	0,2535
10800	0,2986	0,2953	0,2917	0,2874	0,2824	0,2764	0,2697	0,2697	
11400	0,3151	0,3116	0,3079	0,3035	0,2985	0,2926	0,2859	0,2859	
12000	0,3315	0,3280	0,3241	0,3197	0,3146	0,3087	0,3022	0,3022	
12600	0,3480	0,3443	0,3403	0,3358	0,3306	0,3248	0,3184	0,3184	

		POSICIÓN (m)						
TIEMPO (S)	t, r	0	0,0011	0,0022	0,0033	0,0044	0,0055	0,0066
	13200	0,3644	0,3606	0,3565	0,3519	0,3468	0,3410	0,3346
	13800	0,3809	0,3769	0,3727	0,3681	0,3629	0,3571	0,3508
	14400	0,3973	0,3932	0,3889	0,3842	0,3790	0,3733	0,3670
	15000	0,4136	0,4094	0,4051	0,4003	0,3951	0,3894	0,3833
	15600	0,4300	0,4257	0,4213	0,4165	0,4112	0,4056	0,3995
	16200	0,4463	0,4420	0,4374	0,4326	0,4274	0,4217	0,4157
	16800	0,4626	0,4582	0,4536	0,4487	0,4435	0,4378	0,4319
	17400	0,4789	0,4744	0,4697	0,4648	0,4596	0,4540	0,4480
	18000	0,4952	0,4906	0,4859	0,4809	0,4757	0,4701	0,4642
	18600	0,5114	0,5068	0,5020	0,4970	0,4917	0,4862	0,4804
	19200	0,5276	0,5229	0,5181	0,5131	0,5078	0,5023	0,4965
	19800	0,5438	0,5390	0,5342	0,5291	0,5239	0,5183	0,5126
	20400	0,5599	0,5551	0,5502	0,5452	0,5399	0,5344	0,5287
	21000	0,5761	0,5712	0,5663	0,5612	0,5559	0,5504	0,5448
	21600	0,5921	0,5873	0,5823	0,5772	0,5719	0,5664	0,5608
	22200	0,6082	0,6033	0,5983	0,5932	0,5879	0,5824	0,5769
	22800	0,6242	0,6193	0,6143	0,6091	0,6038	0,5984	0,5929
	23400	0,6402	0,6352	0,6302	0,6250	0,6198	0,6143	0,6089
	24000	0,6562	0,6512	0,6461	0,6409	0,6357	0,6303	0,6248
	24600	0,6721	0,6671	0,6620	0,6568	0,6515	0,6462	0,6407
	25200	0,6880	0,6829	0,6778	0,6726	0,6674	0,6620	0,6566
	25800	0,7038	0,6988	0,6936	0,6884	0,6832	0,6778	0,6725
	26400	0,7197	0,7146	0,7094	0,7042	0,6990	0,6936	0,6883
	27000	0,7354	0,7303	0,7252	0,7200	0,7147	0,7094	0,7041
	27600	0,7512	0,7460	0,7409	0,7357	0,7304	0,7251	0,7199
	28200	0,7669	0,7617	0,7566	0,7514	0,7461	0,7408	0,7356
	28800	0,7825	0,7774	0,7722	0,7670	0,7618	0,7565	0,7513
29400	0,7981	0,7930	0,7878	0,7826	0,7774	0,7721	0,7669	
30000	0,8137	0,8085	0,8034	0,7982	0,7929	0,7877	0,7826	
30600	0,8292	0,8241	0,8189	0,8137	0,8085	0,8033	0,7981	
31200	0,8447	0,8395	0,8343	0,8292	0,8240	0,8188	0,8137	
31800	0,8602	0,8550	0,8498	0,8446	0,8394	0,8343	0,8292	
32400	0,8755	0,8704	0,8652	0,8600	0,8548	0,8497	0,8446	

	POSICIÓN (m)							
	t, r	0	0,0011	0,0022	0,0033	0,0044	0,0055	0,0066
	33000	0,8909	0,8857	0,8805	0,8753	0,8702	0,8651	0,8600
TIEMPO (s)	33600	0,9062	0,9010	0,8958	0,8906	0,8855	0,8804	0,8754
	34200	0,9214	0,9163	0,9111	0,9059	0,9008	0,8957	0,8907
	34800	0,9366	0,9315	0,9263	0,9211	0,9160	0,9109	0,9060
	35400	0,9518	0,9466	0,9414	0,9363	0,9312	0,9261	0,9212
	36000	0,9669	0,9617	0,9566	0,9514	0,9463	0,9413	0,9364
	36600	0,9819	0,9768	0,9717	0,9665	0,9614	0,9564	0,9515
	37200	0,9969	0,9918	0,9868	0,9817	0,9766	0,9716	0,9666
	37800	1,0119	1,0068	1,0018	0,9968	0,9917	0,9867	0,9817
	38400	1,0268	1,0217	1,0169	1,0119	1,0068	1,0018	0,9968
	39000	1,0416	1,0367	1,0319	1,0270	1,0219	1,0169	1,0118
	39600	1,0564	1,0515	1,0469	1,0420	1,0370	1,0320	1,0268
	40200	1,0711	1,0664	1,0619	1,0571	1,0521	1,0470	1,0418
	40800	1,0858	1,0811	1,0768	1,0721	1,0672	1,0621	1,0568
	41400	1,1004	1,0959	1,0917	1,0871	1,0822	1,0771	1,0717
	42000	1,1149	1,1106	1,1066	1,1021	1,0972	1,0920	1,0866
	42600	1,1294	1,1252	1,1214	1,1170	1,1122	1,1070	1,1014
	43200	1,1438	1,1398	1,1362	1,1319	1,1271	1,1219	1,1162
	43800	1,1582	1,1544	1,1510	1,1468	1,1420	1,1368	1,1310
	44400	1,1725	1,1689	1,1657	1,1616	1,1569	1,1516	1,1457
	45000	1,1867	1,1833	1,1804	1,1764	1,1718	1,1664	1,1604
	45600	1,2009	1,1977	1,1950	1,1912	1,1866	1,1812	1,1751
	46200	1,2150	1,2121	1,2096	1,2059	1,2013	1,1959	1,1897
	46800	1,2291	1,2263	1,2241	1,2206	1,2161	1,2106	1,2042
	47400	1,2430	1,2406	1,2386	1,2352	1,2307	1,2253	1,2187
	48000	1,2570	1,2547	1,2530	1,2498	1,2454	1,2399	1,2332
	48600	1,2708	1,2688	1,2674	1,2643	1,2600	1,2544	1,2476
49200	1,2846	1,2829	1,2817	1,2788	1,2745	1,2689	1,2619	
49800	1,2983	1,2968	1,2960	1,2933	1,2890	1,2833	1,2762	
50400	1,3119	1,3108	1,3102	1,3076	1,3034	1,2977	1,2904	
51000	1,3255	1,3246	1,3244	1,3220	1,3178	1,3121	1,3046	
51600	1,3390	1,3384	1,3385	1,3363	1,3322	1,3264	1,3187	
52200	1,3524	1,3521	1,3525	1,3505	1,3465	1,3406	1,3328	

	POSICIÓN (m)							
	t, r	0	0,0011	0,0022	0,0033	0,0044	0,0055	0,0066
	52800	1,3657	1,3658	1,3665	1,3646	1,3607	1,3548	1,3468
	53400	1,3790	1,3794	1,3804	1,3788	1,3749	1,3689	1,3607
TIEMPO (S)	54000	1,3922	1,3929	1,3942	1,3928	1,3890	1,3830	1,3746
	54600	1,4053	1,4063	1,4080	1,4068	1,4030	1,3970	1,3884
	55200	1,4184	1,4197	1,4218	1,4207	1,4170	1,4109	1,4021
	55800	1,4314	1,4330	1,4354	1,4346	1,4310	1,4248	1,4158
	56400	1,4443	1,4463	1,4490	1,4484	1,4449	1,4386	1,4294
	57000	1,4571	1,4594	1,4625	1,4621	1,4587	1,4523	1,4430
	57600	1,4698	1,4725	1,4760	1,4758	1,4724	1,4660	1,4564
	58200	1,4825	1,4855	1,4894	1,4894	1,4861	1,4796	1,4698
	58800	1,4950	1,4985	1,5027	1,5029	1,4997	1,4932	1,4832
	59400	1,5075	1,5113	1,5159	1,5164	1,5133	1,5067	1,4965
	60000	1,5199	1,5241	1,5291	1,5298	1,5267	1,5201	1,5096
	60600	1,5323	1,5368	1,5422	1,5431	1,5401	1,5334	1,5228
	61200	1,5445	1,5494	1,5552	1,5564	1,5535	1,5467	1,5358
	61800	1,5567	1,5620	1,5682	1,5696	1,5668	1,5599	1,5488
	62400	1,5688	1,5745	1,5810	1,5827	1,5800	1,5730	1,5617
	63000	1,5807	1,5869	1,5938	1,5957	1,5931	1,5861	1,5745
	63600	1,5927	1,5992	1,6066	1,6087	1,6061	1,5990	1,5873
	64200	1,6045	1,6114	1,6192	1,6216	1,6191	1,6119	1,5999
	64800	1,6162	1,6235	1,6318	1,6344	1,6320	1,6248	1,6125
	65400	1,6278	1,6356	1,6442	1,6471	1,6448	1,6375	1,6250
	66000	1,6394	1,6476	1,6566	1,6598	1,6576	1,6502	1,6375
	66600	1,6509	1,6595	1,6690	1,6724	1,6703	1,6628	1,6498
	67200	1,6622	1,6713	1,6812	1,6849	1,6828	1,6753	1,6621
	67800	1,6735	1,6830	1,6934	1,6973	1,6954	1,6877	1,6743
68400	1,6847	1,6946	1,7054	1,7096	1,7078	1,7001	1,6864	
69000	1,6958	1,7061	1,7174	1,7219	1,7201	1,7124	1,6984	
69600	1,7068	1,7176	1,7293	1,7341	1,7324	1,7246	1,7103	
70200	1,7177	1,7289	1,7412	1,7462	1,7446	1,7367	1,7222	
70800	1,7285	1,7402	1,7529	1,7582	1,7567	1,7487	1,7339	
71400	1,7393	1,7514	1,7645	1,7701	1,7687	1,7606	1,7456	
72000	1,7499	1,7625	1,7761	1,7819	1,7807	1,7725	1,7572	



		POSICIÓN (m)						
t, r	0	0,0011	0,0022	0,0033	0,0044	0,0055	0,0066	
72600	1,7604	1,7735	1,7876	1,7937	1,7925	1,7842	1,7687	
73200	1,7708	1,7844	1,7989	1,8054	1,8043	1,7959	1,7801	
73800	1,7812	1,7952	1,8102	1,8169	1,8160	1,8075	1,7914	
		POSICIÓN (m)						
74400	1,7914	1,8059	1,8214	1,8284	1,8276	1,8190	1,8026	
75000	1,8016	1,8165	1,8325	1,8398	1,8391	1,8304	1,8138	
75600	1,8116	1,8271	1,8436	1,8512	1,8505	1,8418	1,8248	
76200	1,8215	1,8375	1,8545	1,8624	1,8618	1,8530	1,8358	
76800	1,8314	1,8478	1,8653	1,8735	1,8731	1,8642	1,8466	
77400	1,8411	1,8581	1,8761	1,8846	1,8842	1,8752	1,8574	
78000	1,8508	1,8682	1,8867	1,8955	1,8952	1,8862	1,8681	
78600	1,8603	1,8782	1,8972	1,9064	1,9062	1,8970	1,8787	
79200	1,8697	1,8882	1,9077	1,9171	1,9171	1,9078	1,8892	
79800	1,8791	1,8980	1,9181	1,9278	1,9279	1,9185	1,8995	
80400	1,8883	1,9078	1,9283	1,9384	1,9385	1,9291	1,9098	
81000	1,8974	1,9174	1,9385	1,9488	1,9491	1,9396	1,9200	
81600	1,9064	1,9269	1,9485	1,9592	1,9596	1,9500	1,9301	
82200	1,9153	1,9364	1,9585	1,9695	1,9700	1,9603	1,9401	
82800	1,9241	1,9457	1,9684	1,9797	1,9803	1,9705	1,9500	
83400	1,9328	1,9549	1,9781	1,9898	1,9905	1,9806	1,9598	
84000	1,9414	1,9641	1,9878	1,9998	2,0006	1,9906	1,9695	
84600	1,9499	1,9731	1,9974	2,0097	2,0106	2,0005	1,9791	
85200	1,9583	1,9820	2,0068	2,0194	2,0205	2,0103	1,9886	
85800	1,9666	1,9908	2,0162	2,0291	2,0303	2,0200	1,9980	
86400	1,9747	1,9995	2,0255	2,0387	2,0400	2,0296	2,0073	

Tabla 5.3: Variación de altura del lecho.

tiempo (h)	% degradación celulosa	Volumen resultante (m <sup>3</sup> )	Altura resultante (m)	Disminución altura en reactor (m)	Disminución altura en reactor acumulada (m)
0,000	0,0000	3,2000	1,8108	0,0000	0,00000000
0,167	0,0047	3,1999	1,8107	0,00008434	0,00008434

<b>tiempo (h)</b>	<b>% degradación celulosa</b>	<b>Volumen resultante (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Altura resultante (m)</b>	<b>Disminución altura en reactor (m)</b>	<b>Disminución altura en reactor acumulada (m)</b>
0,333	0,0143	3,1995	1,8106	0,0001741	0,00025848
0,500	0,0290	3,1991	1,8103	0,0003	0,00052533
0,667	0,0489	3,1984	1,8099	0,0004	0,00088536
0,833	0,0740	3,1976	1,8095	0,0005	0,00133923
1,000	0,1042	3,1967	1,8089	0,0005	0,00188708
1,167	0,1397	3,1955	1,8083	0,0006	0,00252933
1,333	0,1804	3,1942	1,8076	0,0007	0,00326612
1,500	0,2263	3,1928	1,8067	0,0008	0,00409776
1,667	0,2775	3,1911	1,8058	0,0009	0,00502439
1,833	0,3339	3,1893	1,8048	0,0010	0,00604622
2,000	0,3956	3,1873	1,8037	0,0011	0,00716339
2,167	0,4626	3,1852	1,8024	0,0012	0,00837605
2,333	0,5348	3,1829	1,8011	0,0013	0,00968430
2,500	0,6123	3,1804	1,7997	0,0014	0,01108826
2,667	0,6952	3,1778	1,7982	0,0015	0,01258800
2,833	0,7833	3,1749	1,7966	0,0016	0,01418360
3,000	0,8767	3,1719	1,7950	0,0017	0,01587510
3,167	0,9754	3,1688	1,7932	0,0018	0,01766254
3,333	1,0794	3,1655	1,7913	0,0019	0,01954594
3,500	1,1887	3,1620	1,7893	0,0020	0,02152532
3,667	1,3033	3,1583	1,7872	0,0021	0,02360067
3,833	1,4232	3,1545	1,7851	0,0022	0,02577197
4,000	1,5484	3,1505	1,7828	0,0023	0,02803921
4,167	1,6789	3,1463	1,7804	0,0024	0,03040233
4,333	1,8147	3,1419	1,7780	0,0025	0,03286130
4,500	1,9558	3,1374	1,7754	0,0026	0,03541605
4,667	2,1022	3,1327	1,7728	0,0027	0,03806651
4,833	2,2538	3,1279	1,7700	0,0027	0,04081261
5,000	2,4107	3,1229	1,7672	0,0028	0,04365425
5,167	2,5729	3,1177	1,7642	0,0029	0,04659134
5,333	2,7404	3,1123	1,7612	0,0030	0,04962376
5,500	2,9131	3,1068	1,7581	0,0031	0,05275141
5,667	3,0911	3,1011	1,7549	0,0032	0,05597417
5,833	3,2743	3,0952	1,7515	0,0033	0,05929189
6,000	3,4628	3,0892	1,7481	0,0034	0,06270444
6,167	3,6564	3,0830	1,7446	0,0035	0,06621167
6,333	3,8553	3,0766	1,7410	0,0036	0,06981344
6,500	4,0595	3,0701	1,7373	0,0037	0,07350957
6,667	4,2688	3,0634	1,7335	0,0038	0,07729989
6,833	4,4833	3,0565	1,7296	0,0039	0,08118424

tiempo (h)	% degradación celulosa	Volumen resultante (m <sup>3</sup> )	Altura resultante (m)	Disminución altura en reactor (m)	Disminución altura en reactor acumulada (m)
7,000	4,7030	3,0495	1,7257	0,0040	0,08516242
7,167	4,9278	3,0423	1,7216	0,0041	0,08923426
7,333	5,1578	3,0349	1,7174	0,0042	0,09339954
7,500	5,3930	3,0274	1,7132	0,0043	0,09765807
7,667	5,6333	3,0197	1,7088	0,0044	0,10200965
7,833	5,8788	3,0119	1,7044	0,0044	0,10645405
8,000	6,1293	3,0039	1,6998	0,0045	0,11099105
8,167	6,3850	2,9957	1,6952	0,0046	0,11562042
8,333	6,6457	2,9873	1,6905	0,0047	0,12034194
8,500	6,9115	2,9788	1,6857	0,0048	0,12515536
8,667	7,1824	2,9702	1,6808	0,0049	0,13006043
8,833	7,4583	2,9613	1,6758	0,0050	0,13505691
9,000	7,7393	2,9523	1,6707	0,0051	0,14014454
9,167	8,0252	2,9432	1,6655	0,0052	0,14532305
9,333	8,3162	2,9339	1,6602	0,0053	0,15059218
9,500	8,6122	2,9244	1,6549	0,0054	0,15595166
9,667	8,9131	2,9148	1,6494	0,0054	0,16140120
9,833	9,2190	2,9050	1,6439	0,0055	0,16694051
10,000	9,5299	2,8950	1,6383	0,0056	0,17256932
10,167	9,8456	2,8849	1,6325	0,0057	0,17828750
10,333	10,1664	2,8747	1,6267	0,0058	0,18409493
10,500	10,4920	2,8643	1,6208	0,0059	0,18999148
10,667	10,8225	2,8537	1,6148	0,0060	0,19597702
10,833	11,1580	2,8429	1,6088	0,0061	0,20205137
11,000	11,4983	2,8321	1,6026	0,0062	0,20821438
11,167	11,8435	2,8210	1,5964	0,0063	0,21446587
11,333	12,1936	2,8098	1,5900	0,0063	0,22080563
11,500	12,5486	2,7984	1,5836	0,0064	0,22723346
11,667	12,9084	2,7869	1,5771	0,0065	0,23374915
11,833	13,2731	2,7753	1,5705	0,0066	0,24035247
12,000	13,6426	2,7634	1,5638	0,0067	0,24704318
12,167	14,0169	2,7515	1,5570	0,0068	0,25382103
12,333	14,3960	2,7393	1,5501	0,0069	0,26068577
12,500	14,7798	2,7270	1,5432	0,0070	0,26763712
12,667	15,1685	2,7146	1,5362	0,0070	0,27467482
12,833	15,5619	2,7020	1,5290	0,0071	0,28179857
13,000	15,9600	2,6893	1,5218	0,0072	0,28900809
13,167	16,3629	2,6764	1,5145	0,0073	0,29630308
13,333	16,7704	2,6633	1,5071	0,0074	0,30368322
13,500	17,1827	2,6502	1,4997	0,0075	0,31114820

tiempo (h)	% degradación celulosa	Volumen resultante (m <sup>3</sup> )	Altura resultante (m)	Disminución altura en reactor (m)	Disminución altura en reactor acumulada (m)
13,667	17,5996	2,6368	1,4921	0,0075	0,31869771
13,833	18,0211	2,6233	1,4845	0,0076	0,32633140
14,000	18,4473	2,6097	1,4768	0,0077	0,33404895
14,167	18,8781	2,5959	1,4690	0,0078	0,34185000
14,333	19,3135	2,5820	1,4611	0,0079	0,34973421
14,500	19,7535	2,5679	1,4531	0,0080	0,35770122
14,667	20,1980	2,5537	1,4451	0,0080	0,36575066
14,833	20,6471	2,5393	1,4369	0,0081	0,37388218
15,000	21,1006	2,5248	1,4287	0,0082	0,38209538
15,167	21,5587	2,5101	1,4204	0,0083	0,39038990
15,333	22,0212	2,4953	1,4121	0,0084	0,39876534
15,500	22,4882	2,4804	1,4036	0,0085	0,40722130
15,667	22,9596	2,4653	1,3951	0,0085	0,41575740
15,833	23,4353	2,4501	1,3865	0,0086	0,42437323
16,000	23,9155	2,4347	1,3778	0,0087	0,43306837
16,167	24,4001	2,4192	1,3690	0,0088	0,44184242
16,333	24,8889	2,4036	1,3601	0,0089	0,45069494
16,500	25,3821	2,3878	1,3512	0,0089	0,45962553
16,667	25,8796	2,3719	1,3422	0,0090	0,46863374
16,833	26,3813	2,3558	1,3331	0,0091	0,47771913
17,000	26,8873	2,3396	1,3239	0,0092	0,48688128
17,167	27,3974	2,3233	1,3147	0,0092	0,49611973
17,333	27,9118	2,3068	1,3054	0,0093	0,50543404
17,500	28,4303	2,2902	1,2960	0,0094	0,51482374
17,667	28,9530	2,2735	1,2865	0,0095	0,52428838
17,833	29,4798	2,2566	1,2770	0,0095	0,53382749
18,000	30,0107	2,2397	1,2674	0,0096	0,54344061
18,167	30,5456	2,2225	1,2577	0,0097	0,55312725
18,333	31,0846	2,2053	1,2479	0,0098	0,56288695
18,500	31,6275	2,1879	1,2381	0,0098	0,57271921
18,667	32,1745	2,1704	1,2282	0,0099	0,58262355
18,833	32,7254	2,1528	1,2182	0,0100	0,59259949
19,000	33,2802	2,1350	1,2082	0,0100	0,60264651
19,167	33,8389	2,1172	1,1981	0,0101	0,61276413
19,333	34,4015	2,0992	1,1879	0,0102	0,62295183
19,500	34,9680	2,0810	1,1776	0,0103	0,63320911
19,667	35,5382	2,0628	1,1673	0,0103	0,64353545
19,833	36,1123	2,0444	1,1569	0,0104	0,65393034
20,000	36,6901	2,0259	1,1464	0,0105	0,66439325
20,167	37,2716	2,0073	1,1359	0,0105	0,67492366

tiempo (h)	% degradación celulosa	Volumen resultante (m <sup>3</sup> )	Altura resultante (m)	Disminución altura en reactor (m)	Disminución altura en reactor acumulada (m)
20,333	37,8568	1,9886	1,1253	0,0106	0,68552104
20,500	38,4457	1,9697	1,1146	0,0107	0,69618486
20,667	39,0383	1,9508	1,1039	0,0107	0,70691457
20,833	39,6344	1,9317	1,0931	0,0108	0,71770964
21,000	40,2341	1,9125	1,0823	0,0109	0,72856952
21,167	40,8374	1,8932	1,0713	0,0109	0,73949366
21,333	41,4442	1,8738	1,0603	0,0110	0,75048150
21,500	42,0544	1,8543	1,0493	0,0111	0,76153249
21,667	42,6682	1,8346	1,0382	0,0111	0,77264607
21,833	43,2853	1,8149	1,0270	0,0112	0,78382168
22,000	43,9059	1,7950	1,0158	0,0112	0,79505874
22,167	44,5298	1,7750	1,0045	0,0113	0,80635668
22,333	45,1570	1,7550	0,9931	0,0114	0,81771492
22,500	45,7876	1,7348	0,9817	0,0114	0,82913290
22,667	46,4214	1,7145	0,9702	0,0115	0,84061001
22,833	47,0584	1,6941	0,9587	0,0115	0,85214569
23,000	47,6987	1,6736	0,9471	0,0116	0,86373933
23,167	48,3421	1,6531	0,9354	0,0117	0,87539035
23,333	48,9886	1,6324	0,9237	0,0117	0,88709814
23,500	49,6383	1,6116	0,9120	0,0118	0,89886210
23,667	50,2910	1,5907	0,9001	0,0118	0,91068164
23,833	50,9467	1,5697	0,8883	0,0119	0,92255614
24,000	51,6055	1,5486	0,8763	0,0119	0,93448500

Tabla 5.3: Variación de altura del lecho.

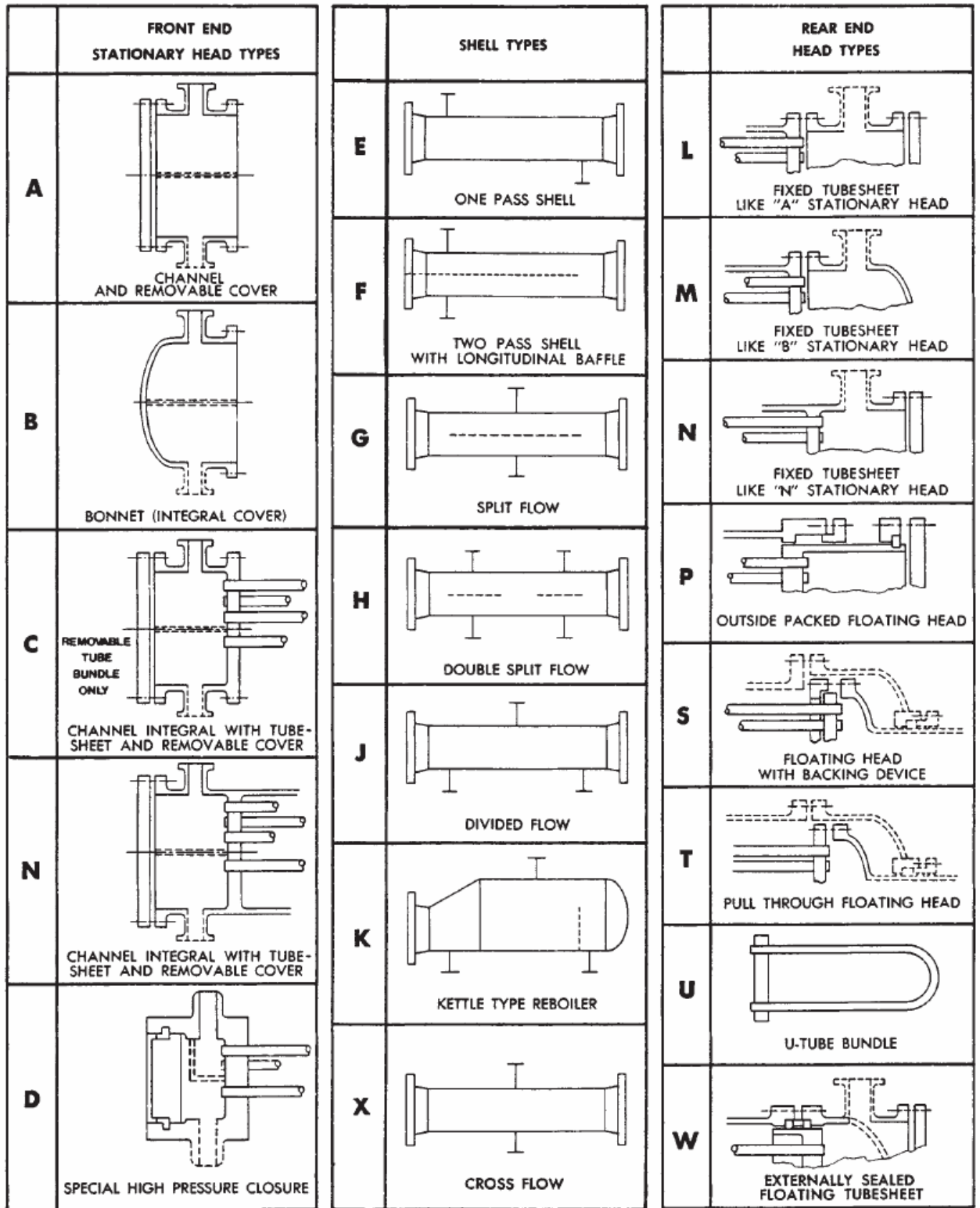


FIG. 11-35 TEMA-type designations for shell-and-tube heat exchangers. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 6th ed., 1978.)

Figura 6.1: Designación TEMA para intercambiadores de calor de carcasa y tubos [54]

**Fórmulas generales para recipientes**

Parte	Fórmula del esfuerzo	Espesor, t		Presión, P		Esfuerzo, S	
		Diámetro interior	Diámetro exterior	Diámetro interior	Diámetro exterior	Diámetro interior	Diámetro exterior
<b>Casco</b>							
Longitudinal [Sección UG-27(c)(2)]*	$\sigma_z = \frac{PR_m}{2t}$	$\frac{PR_i}{2SE + .4P}$	$\frac{PR_o}{2SE + 1.4P}$	$\frac{2SEt}{R_i - .4t}$	$\frac{2SEt}{R_o - 1.4t}$	$\frac{P(R_i - .4t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - 1.4t)}{2Et}$
Circunferencial [Sección UG-27(c)(1); Sección 1-1 (a)(1)]*	$\sigma_\theta = \frac{PR_m}{t}$	$\frac{PR_i}{SE - .8P}$	$\frac{PR_o}{SE + .4P}$	$\frac{SEt}{R_i + .8t}$	$\frac{SEt}{R_o - .4t}$	$\frac{P(R_i + .8t)}{Et}$	$\frac{P(R_o - .4t)}{Et}$
<b>Cabezas</b>							
Semiesférico [Sección 1-1(a)(2); Sección UG-27(d)]*	$\sigma_x = \sigma_\theta = \frac{PR_m}{2t}$	$\frac{PR_i}{2SE - .2P}$	$\frac{PR_o}{2SE + .8P}$	$\frac{2SEt}{R_i + .2t}$	$\frac{2SEt}{R_o - .8t}$	$\frac{P(R_i + .2t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - .8t)}{2Et}$
Elipsooidal [Sección 1-4(c)]*	Véase PROCEDIMIENTO 2	$\frac{PD_i K}{2SE - .2P}$	$\frac{PD_o K}{2SE + 2P(K - 1)}$	$\frac{2SEt}{KD_i + .2t}$	$\frac{2SEt}{KD_o - 2t(K - 1)}$	Véase PROCEDIMIENTO 2	
2:1 SE [Sección UG-32d)]*	-	$\frac{PD_i}{2SE - .2P}$	$\frac{PD_o}{2SE + 1.0P}$	$\frac{2SEt}{D_i + .2t}$	$\frac{2SEt}{D_o - 1.0t}$	-	
100% - 6% Torisférica [Sección UG-32(e)]* (L = D)	-	$\frac{.886PL_i}{SE - .1P}$	$\frac{.886PL_o}{SE + .8P}$	$\frac{SEt}{.886L_i + .1t}$	$\frac{SEt}{.886L_o - .8t}$	-	
Torisférica $\frac{L}{D} < 16.66$ [Sección 1-4(d)]*	-	$\frac{PL_M}{2SE - .2P}$	$\frac{PL_M}{2SE + P(M - 2)}$	$\frac{2SEt}{L_M + .2t}$	$\frac{2SEt}{L_M - t(M - 2)}$	-	
<b>Cone</b>							
Longitudinal	$\sigma_z = \frac{PR_m}{2t \cos \alpha}$	$\frac{PD_i}{4 \cos \alpha (SE + .4P)}$	$\frac{PD_o}{4 \cos \alpha (SE + 1.4P)}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_i - .8t \cos \alpha}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_o - 2.8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i - .8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - 2.8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$
Circunferencial [Sección 1-4(e); Sección UG-32(g)]*	$\sigma_\theta = \frac{PR_m}{t \cos \alpha}$	$\frac{PD_i}{2 \cos \alpha (SE - .8P)}$	$\frac{PD_o}{2 \cos \alpha (SE + .4P)}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_i + 1.2t \cos \alpha}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_o - .8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i + 1.2t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - .8t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$

\* ASME Boiler and Pressure Vessel Code, sección VIII, división 1, edición de 1983, American Society of Mechanical Engineers.

Tabla 16.2: Fórmulas para el cálculo de espesores [33]



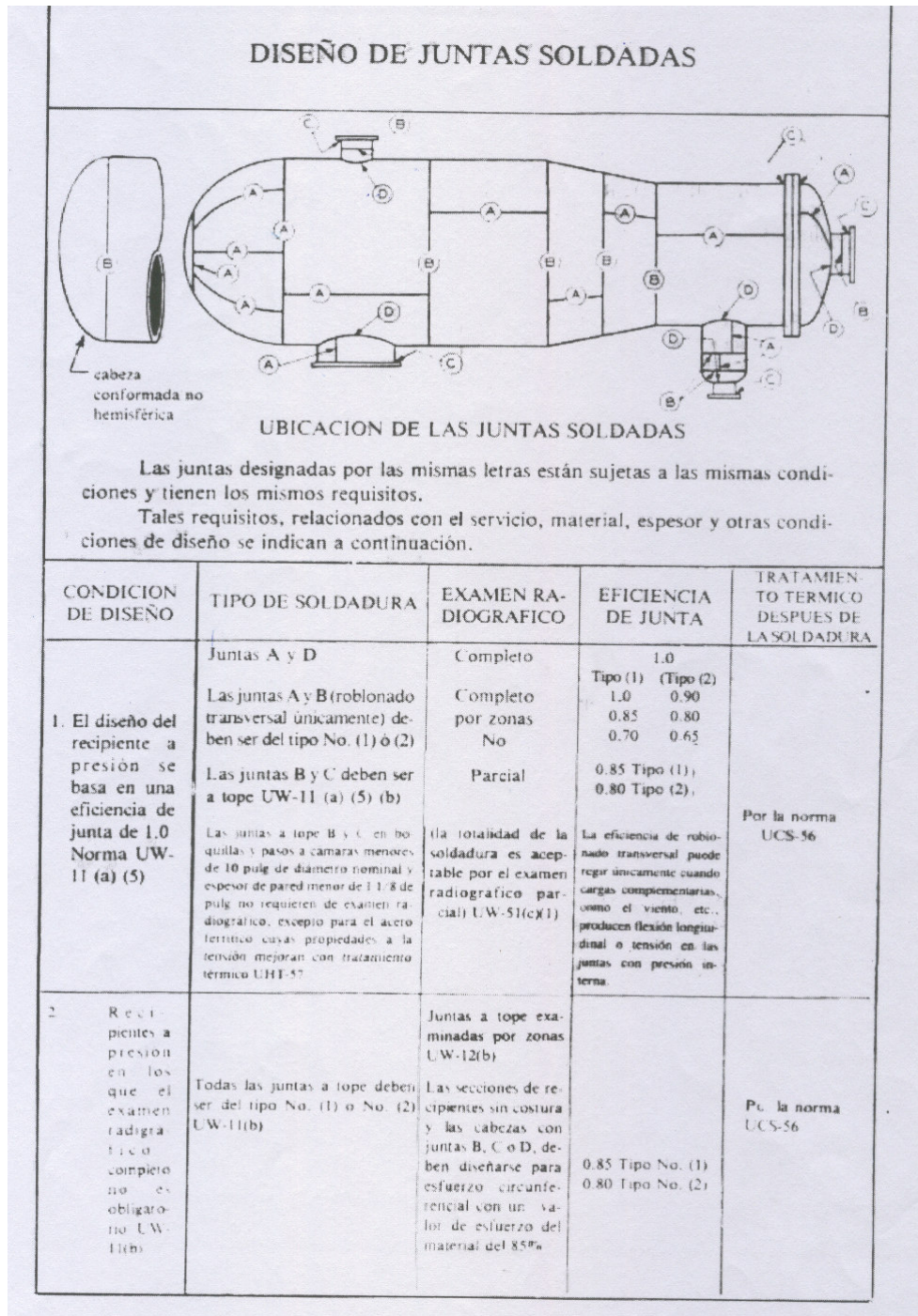


Tabla 16.4: Eficiencias de la soldadura, (1) [33]



DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS (CONT.)				
CONDICION DE DISEÑO	TIPO DE SOLDADURA	EXAMEN RADIOGRAFICO	EFICIENCIA DE JUNTA	TRATAMIENTO TERMICO DESPUES DE LA SOLDADURA
3. El recipiente se diseña para presión externa únicamente o el diseño está basado en UW-12(c) (ver tabla).	Cualquier junta soldada UW-1(c).	No se requiere examen radiográfico.	0.70 Tipo (1) 0.65 Tipo (2) 0.60 Tipo (3) 0.55 Tipo (4) 0.50 Tipo (5) 0.45 Tipo (6) En todos los demás cálculos de diseño se usará el 80% del valor de esfuerzo del material.	Por la norma UCS-56.
4. Recipientes que contengan sustancias tóxicas y peligrosas UW-2(a).	Las juntas A serán del tipo (1) UW-2(a)(1)(a). Las juntas B y C serán del tipo No. (1) o No. (2) UW-2(a)(1)(b). Las juntas D llevarán soldadura de penetración total a través de todo el espesor de la pared del recipiente o la boquilla UW-2(a)(1)(c).	Completo  Todas las juntas a tope en cascos y cabezas deben examinarse radiográficamente por completo, excepto los tubos de intercambiadores y los intercambiadores UW-2(a)(2), (3) y UW-11(a)(4)	1.0  1.0 0.9*	Los recipientes fabricados de aceros al carbono o con bajo contenido de elementos de aleación deben tratarse térmicamente después de haberse soldado. UW-2(c).  * para usarse en cálculos de esfuerzo longitudinal (roblando transversal).
5. Los recipientes que operen a menos de - 20°F se requiere prueba de impacto del material o del metal de aporte UW-2(b)	Las juntas A serán del tipo No. (1) (excepto para acero inoxidable 304) Las juntas B serán del tipo No. (1) o del No. (2), UW-2(b) (1) y (2) Las juntas C llevarán soldaduras de penetración completa que se extiendan a toda la sección de la junta. Las juntas D llevarán soldaduras de penetración completa que se extiendan por toda la sección de la junta UW-2(b) (2) y (3)	Completo Por zonas No	Tipo (1) Tipo (2) 1.0 0.90 0.85 0.80 0.70 0.65	Por la norma UCS-56.
6. Calderas con presión de diseño mayor de 50 lb/pulg <sup>2</sup>	Las juntas A serán del tipo No. (1) Las juntas B serán del tipo No. (1) o (2) UW-2(c)	Todas las juntas a tope en cascos y cabezeras deben ser radiografiadas por completo excepto cuando así lo indican las normas UW-11 (a) (4) UW-2(c)	1.0  1.0 Tipo (1) 0.9 Tipo (2)	Los recipientes fabricados con acero al carbono o de acero con bajo contenido de elementos de aleación deberán tratarse térmicamente después de haberse soldado. UW-2(c).

Tabla 16.4: Eficiencias de la soldadura, (2) [33]

DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS (CONT.)					
CONDICION DE DISEÑO	TIPO DE SOLDADURA	EXAMEN RADIOGRAFICO	EFICIENCIA DE LA JUNTA		TRATAMIENTO TERMICO DESPUES DE LA SOLDADURA
7. Recipientes a presión sujetos a fuego directo	Las juntas A serán del tipo No (1) Las juntas B serán del tipo No. (1) o No. (2) cuando el espesor sea mayor de 5/8 de pulg UW-2(d)	Completo Por zonas No	Tipo (1) Tipo (2) 1.0 0.90 0.85 0.80 0.70 0.65	Cuando el espesor en las juntas soldadas en aceros al carbono (P-No. 1) sea mayor de 5/8 de pulg, así como cualquier espesor para aceros con bajo contenido de elementos de aleación (diferentes del P-No. 1), es obligatorio el tratamiento térmico después de la soldadura.	
8. Soldadura de electroescoria.	Todas las soldaduras a tope UW-11(a)(6) Cualquier soldadura	Completo Examen por ultrasonido en lugar de radiografiado	1.0 Tipo (1) 0.9 Tipo (2)	Por código UCS-56	
9. Cierre final de recipientes	Cualquier tipo de soldadura UW-11(a)(7)	Completo Examen por ultrasonido cuando la construcción impide el radiografiado.	1.0 Tipo (1) 0.9 Tipo (2)	Por código UCS-56	

Tabla 16.4: Eficiencias de la soldadura, (3) [33]



**VI**  
**PROPIEDADES DEL AGUA Y DEL VAPOR DE AGUA SATURADO**  
**(SEGUN LA PRESION)**

p (bar)	t (°C)	v' (m <sup>3</sup> /kg)	v'' (m <sup>3</sup> /kg)	ρ'' (kg/m <sup>3</sup> )	h' (kJ/kg)	h'' (kJ/kg)	r (kJ/kg)	s' (kJ/kg·K)	s'' (kJ/kg·K)
0,010	6,9828	0,0010001	129,20	0,007739	29,34	2514,4	2485,0	0,1060	8,9767
0,015	13,036	0,0010006	87,98	0,01137	54,71	2525,5	2470,7	0,1957	8,8288
0,020	17,513	0,0010012	67,01	0,01492	73,46	2533,6	2460,2	0,2607	8,7246
0,025	21,096	0,0010020	54,26	0,01843	88,45	2540,2	2451,7	0,3119	8,6440
0,030	24,100	0,0010027	45,67	0,02190	101,00	2545,6	2444,6	0,3544	8,5785
0,035	26,694	0,0010033	39,48	0,02533	111,85	2550,4	2438,5	0,3907	8,5232
0,040	28,983	0,0010040	34,80	0,02873	121,41	2554,5	2433,1	0,4225	8,4755
0,045	31,035	0,0010046	31,14	0,03211	129,99	2558,2	2428,2	0,4507	8,4335
0,050	32,898	0,0010052	28,19	0,03547	137,77	2561,6	2423,8	0,4763	8,3960
0,055	34,605	0,0010058	25,77	0,03880	144,91	2564,7	2419,8	0,4995	8,3621
0,060	36,183	0,0010064	23,74	0,04212	151,50	2567,5	2416,0	0,5209	8,3312
0,065	37,651	0,0010069	22,02	0,04871	157,64	2570,2	2412,5	0,5407	8,3029
0,070	39,025	0,0010074	20,53	0,04871	163,38	2572,6	2409,2	0,5591	8,2767
0,085	42,689	0,0010089	17,10	0,05848	178,69	2579,2	2400,5	0,6079	8,2082
0,10	45,813	0,0010102	14,67	0,06814	191,83	2584,8	2392,9	0,6493	8,1511
0,15	53,997	0,0010140	10,02	0,09977	225,97	2599,2	2373,2	0,7549	8,0093
0,20	60,086	0,0010172	7,650	0,1307	251,45	2609,9	2358,4	0,8321	7,9094
0,25	64,992	0,0010199	6,204	0,1612	271,99	2618,3	2346,4	0,8932	7,8323
0,30	69,124	0,0010223	5,229	0,1912	289,30	2625,4	2336,1	0,9441	7,7695
0,40	75,886	0,0010265	3,993	0,2504	317,65	2636,9	2319,2	1,0261	7,6709
0,50	81,345	0,0010301	3,240	0,3086	340,56	2646,0	2305,4	1,0912	7,5947
0,60	85,954	0,0010333	2,732	0,3661	359,93	2653,6	2293,6	1,1454	7,5327
0,70	89,959	0,0010361	2,365	0,4229	376,77	2660,1	2283,3	1,1921	7,4804
0,80	93,512	0,0010387	2,087	0,4792	391,72	2665,8	2274,0	1,2330	7,4352
0,90	96,713	0,0010412	1,869	0,5350	405,21	2670,9	2265,6	1,2696	7,3954
1,0	99,632	0,0010434	1,694	0,5904	417,51	2675,4	2257,9	1,3027	7,3598
1,5	111,37	0,0010530	1,159	0,8628	467,13	2693,4	2226,2	1,4336	7,2234
2,0	120,23	0,0010608	0,8854	1,129	504,70	2706,3	2201,6	1,5301	7,1268
2,5	127,43	0,0010675	0,7184	1,392	535,34	2716,4	2181,0	1,6071	7,0520
3,0	133,54	0,0010735	0,6056	1,651	561,43	2724,7	2163,2	1,6716	6,9909
3,5	138,87	0,0010789	0,5240	1,908	584,27	2731,6	2147,4	1,7273	6,9392
4,0	143,62	0,0010839	0,4622	2,163	604,67	2737,6	2133,0	1,7764	6,8943
4,5	147,92	0,0010885	0,4138	2,417	623,16	2742,9	2119,7	1,8204	6,8547
5,0	151,84	0,0010928	0,3747	2,669	640,12	2747,5	2107,4	1,8604	6,8192
5,6	156,16	0,0010977	0,3367	2,970	658,81	2752,5	2093,7	1,9040	6,7809
6,0	158,84	0,0011009	0,3155	3,170	670,42	2755,5	2085,0	1,9308	6,7575
6,6	162,60	0,0011053	0,2883	3,469	686,78	2759,5	2072,7	1,9684	6,7252
7,0	164,96	0,0011082	0,2727	3,667	697,06	2762,0	2064,9	1,9918	6,7052
7,6	168,30	0,0011123	0,2522	3,964	711,68	2765,4	2053,7	2,0249	6,6771
8,0	170,41	0,0011150	0,2403	4,162	720,94	2767,5	2046,5	2,0457	6,6596
8,6	173,44	0,0011188	0,2243	4,458	734,19	2770,4	2036,2	2,0753	6,6348
9,0	175,36	0,0011213	0,2148	4,655	742,64	2772,1	2029,5	2,0941	6,6192
9,6	178,12	0,0011250	0,2020	4,950	754,81	2774,6	2019,8	2,1210	6,5969
10,0	179,88	0,0011274	0,1943	5,147	762,61	2776,2	2013,6	2,1382	6,5828

Tabla 16.6: Propiedades del agua y del vapor saturado según la presión.[38]



ANEXO V - 2.b

COEFICIENTES TÍPICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Enfriadores sin cambio de fase:

Fluido caliente		Fluido frío		Resistencia total de ensuciamiento (hft <sup>2</sup> F/Btu)	Coeficiente global de transferencia de calor (Stu/hft <sup>2</sup> F)
Nombre	Coeficiente de película (Btu/hft <sup>2</sup> F)		Coeficiente de película (Btu/hft <sup>2</sup> F)		
Hidrocarb. viscosidad menor de 1 cp	300	Agua de enfriam.	1000	0,002	165
				0,004	125
				0,01	70
Hidrocarb. viscosidad 1 + 5 cp	150	Agua de enfriam.	1000	0,002	100
				0,004	85
				0,01	55
Hidrocarb. viscosidad 6 + 10	60	Agua de enfriam.	1000	0,002	45
				0,004	40
				0,01	35
Agua	1000	Agua de enfriam.	1000	0,002	250
				0,004	165
				0,01	80
Gases a 1 atm.	20	Agua de enfriam.	1000	0,002	20
				0,004	18
				0,01	16
Gases a 5 atm.	50	Agua de enfriam.	1000	0,002	45
				0,004	40
				0,01	30
Gases a 10 atm.	100	Agua de enfriam.	1000	0,002	75
				0,004	65
				0,01	45
Gases a 20 atm.	150	Agua de enfriam.	1000	0,002	100
				0,004	85
				0,01	55
Ejemplos					
Agua de proceso	-	Agua de enfriam.	-	0,006	110
Propano. Visc. 0,1 cp	-	Agua de enfriam.	-	0,0034	130
Pentano Visc. 0,3 cp	-	Agua de enfriam.	-	0,0022	150
Metano 3 atm.	-	Agua de enfriam.	-	0,0023	30
Aire 8 atm.	-	Agua de enfriam.	-	0,0038	45

Tabla 16.10: Valor del coeficiente de transmisión de calor [40]

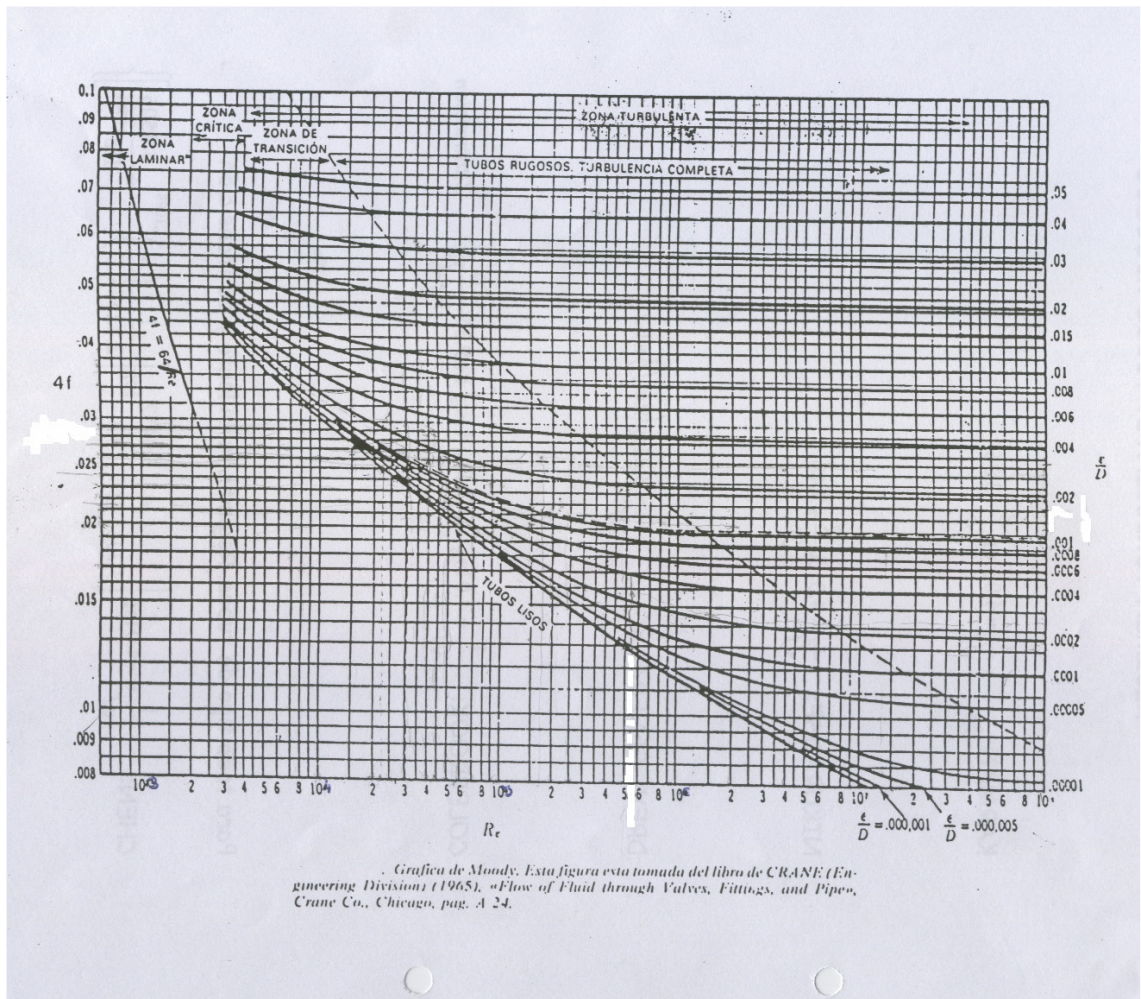


Figura 16.12: Gráfica de Moody para calcular el factor de Fricción de Darcy.[55]



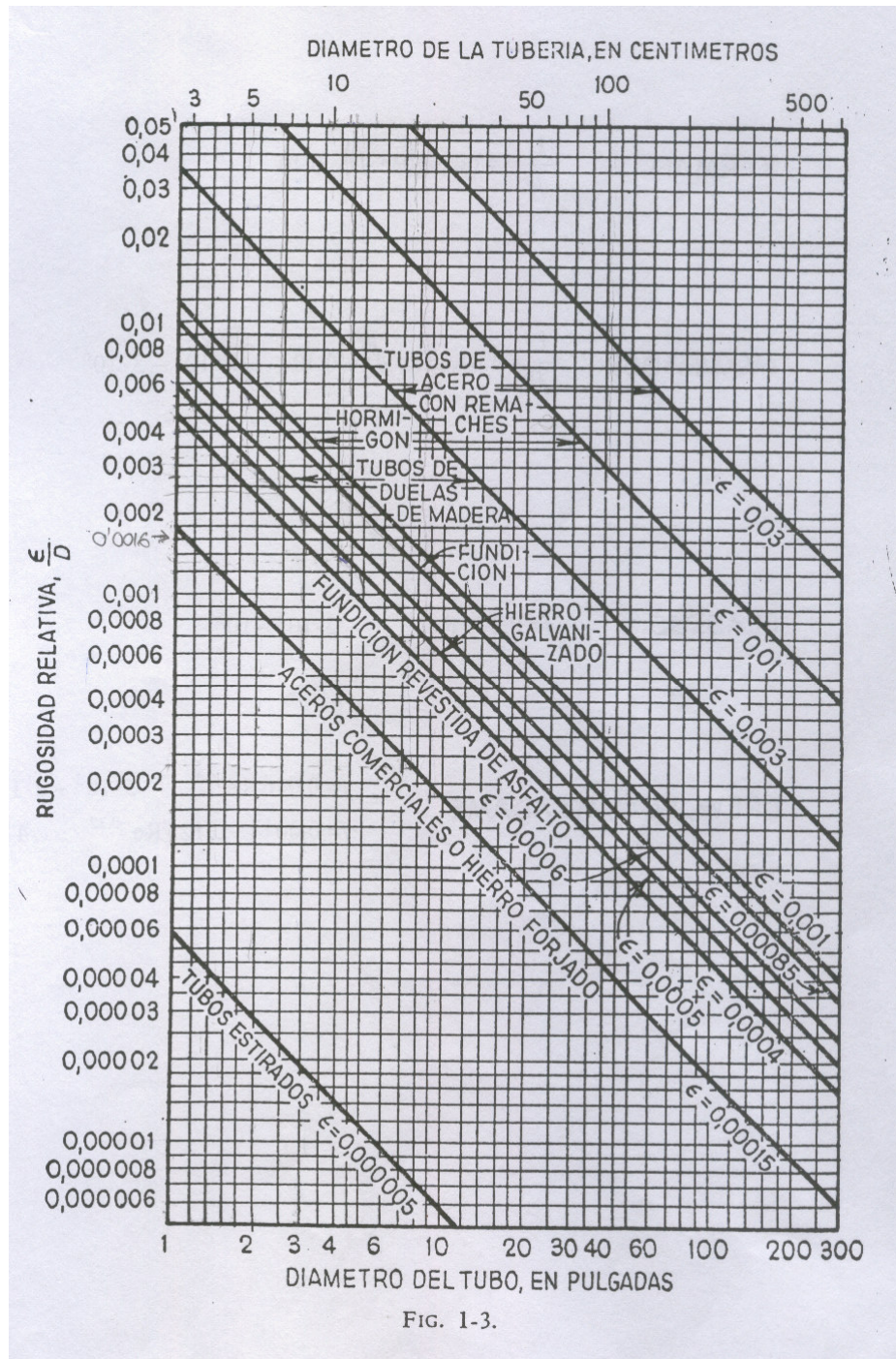


Figura 16.13: Rugosidad Relativa.[55]

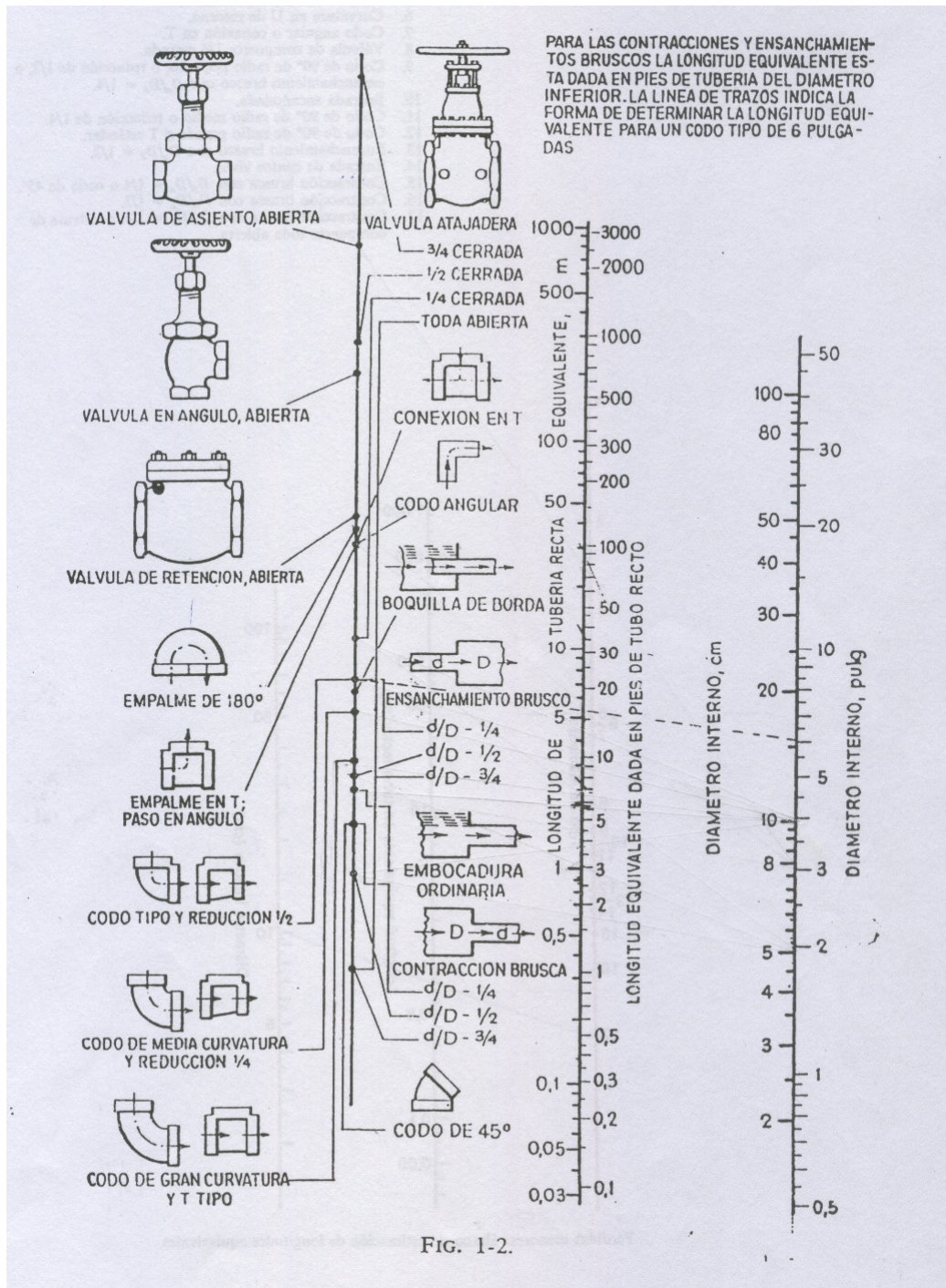


Figura 16.14: Nomograma para cálculo de longitudes equivalentes.[44]

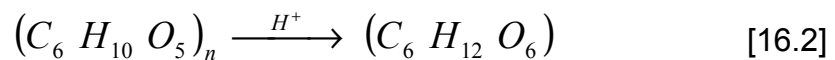
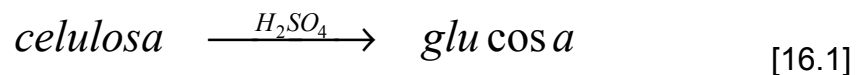


## 16.2 ANEXO 2: CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL REACTOR

### 16.2.1 Cinética de la reacción

El objetivo es obtener el perfil de reactivos y productos que se va a establecer en el interior de nuestro reactor a lo largo de cada ciclo de reacción.

La cascarilla de arroz tiene una composición de 36,7% de celulosa [31], y considerando que el peso molecular promedio de la celulosa es de 575000 g/mol y su número de monómeros es 3549 aproximadamente [10] se tiene que la reacción será la indicada en las Ecuaciones 16.1 y 16.2.



pero esta reacción no se produce al 100% es decir, no todos los enlaces se rompen por lo que al final el rendimiento de esta conversión es aproximadamente del 80%. Por tanto, por cada macromolécula se formarían 2839,2 monómeros de glucosa. [32]

Para poder diseñar el reactor más adecuado, es preciso conocer el perfil de glucosa que se establece en el interior de la partícula.

En primer lugar debe calcularse la velocidad de formación de glucosa (Ecuación 16.3 y 16.4).

- Para  $t = 0$  se tiene:

$$(r_{g0}) = k C_{A0} \quad [16.3]$$

- Para cualquier instante  $t=t_i$  se tiene:

$$(r_{gi}) = k C_{Ai} \quad [16.4]$$



donde  $C_{A0}$  es la concentración inicial de celulosa y  $C_{Ai}$  es la concentración de celulosa para cualquier instante  $t = t_i$ .

La constante de velocidad  $k$ , se obtiene a partir de una ecuación experimental (Ecuación 16.5) para la hidrólisis ácida de residuos lignocelulósicos en función de la concentración de catalizador ácido y la temperatura.[14]

$$k = (964,39 + 7,69C^{2,08})10^{10} \exp\left(-\frac{101,31}{RT}\right) \quad [16.5]$$

La concentración de celulosa en cada instante no es posible conocerla pero sí puede calcularse la concentración de glucosa a partir del balance de materia a la partícula aislada (Ecuación 16.6 y Figura 16.1), de esta forma se cumplirá:

$$(C_{cel})_i = (C_{cel})_0 - (C_g)_i \frac{\text{mol}_{CELULOSA}}{\text{mol}_{GLUCOSA}} \quad [16.6]$$

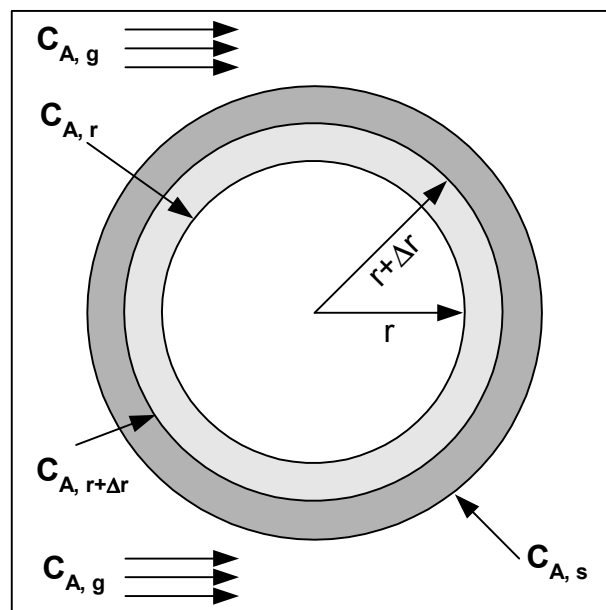


Figura 16.1: Esquema de la partícula

## CÁLCULOS

- Determinación de la **concentración inicial de celulosa**: se ha calculado la concentración inicial de celulosa partiendo de la masa de cascarilla de arroz a tratar en cada lote, teniendo en cuenta el

porcentaje de celulosa presente en la cascarilla [31], su peso molecular promedio [10] y la densidad de la disolución de ácido sulfúrico [12]. Esta última permite junto con la porosidad de la cascarilla conocer el volumen de ácido que es necesario añadir. Así se tiene el valor de concentración (Ecuación 16.7).

$$(C_{cel})_0 = \frac{\text{moles celulosa iniciales}}{\text{volumen disolución ácido}} \quad [16.7]$$

$$\text{moles celulosa iniciales} = 400\text{kg cascarilla} \times \frac{36,7\text{kg celulosa}}{100\text{kg cascarilla}} \times \frac{1\text{kmol celulosa}}{575000\text{kg celulosa}}$$

$$\text{Volumen disolución ácido} = \varepsilon_{\text{cascarilla}} \times \text{Volumen}_{\text{cascarilla}} = \varepsilon_{\text{cascarilla}} \times \frac{\text{masa cascarilla}}{\rho_{\text{cascarilla}}}$$

- La relación entre los moles convertidos de celulosa y los generados de glucosa se obtiene partiendo del peso molecular promedio de la celulosa y de la consideración de que la conversión va a tener un máximo de un 80% de conversión [32].

$$\text{Relación} \frac{\text{mol celulosa}}{\text{mol glucosa}} = \frac{\text{Peso molecular promedio}}{\text{Peso monómero celulosa}} \times 0,8$$

- Volumen de reactor necesario: El volumen necesario del reactor va a venir determinado por el volumen que va a ocupar el lecho de cascarilla de arroz en cada lote, que se calcula en función de la masa de cascarilla de cada lote y su densidad (Ecuación 16.8).

$$V = 400\text{kg} \times \frac{1\text{m}^3}{125\text{kg}} = 3,2\text{m}^3 \quad [16.8]$$

Una vez calculada la concentración inicial de celulosa, se va a utilizar el modelo de reactor de lecho fijo en el cual, realizando el balance de materia a una partícula aislada y realizando una serie de suposiciones de las cuales destacamos que la porosidad del lecho de partículas debe mantenerse constante (ver Anexo 3), se obtiene la Ecuación 16.9:

$$D_e \frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2} + \rho_p (r_A) = \varepsilon_p \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad [16.9]$$

Para poder resolverla, se procederá aplicando el método de las diferencias finitas y se obtiene, después de operar, la Ecuación 16.10 (ver Anexo 3):

$$C_A(i, j+1) = C_A(i, j) + \frac{k D_e}{h^2 \varepsilon_p} [C_A(i+1, j)] - 2C_A(i, j) + C_A(i-1, j) + \frac{\rho_p(r_A)k}{\varepsilon_p} \quad [16.10]$$

A partir de la Ecuación 16.10 y de los datos iniciales que se muestran en la Tabla 16.1 se obtiene los perfiles de glucosa y celulosa en el reactor. Los resultados se ven en las Tablas 5.1, 5.2 y 5.3 del Anexo 1 y en las figuras 5.1, 5.2 y 5.3 incluidas y comentadas previamente en el Capítulo 5.

VARIABLE	VALOR
Masa cascarilla por lote y reactor	400 kg
% celulosa en la cascarilla	36,7
Peso molecular promedio de la celulosa	575000 g/mol
Temperatura	423 K
Concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5% peso
Constante velocidad reacción k	5,419 h <sup>-1</sup>
Ancho paso h para método diferencias finitas	0,0011
Ancho paso k para método diferencias finitas	600
Difusividad	7.10 <sup>-10</sup> m <sup>2</sup> /s
Densidad cascarilla de arroz	125 kg/m <sup>3</sup>
Porosidad cascarilla de arroz	0,74
Volumen de disolución de ácido	2,368m <sup>3</sup>
Moles iniciales de celulosa	0,255304348
Concentración inicial de celulosa	0,108 mol/m <sup>3</sup>
Densidad disolución ácido sulfúrico al 5% y 100°C	988,8 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 16.1: Datos iniciales de la reacción de hidrólisis

### 16.2.2 Diseño del reactor

El cálculo de espesores del reactor es necesario abordarlo desde dos puntos de vista. La camisa exterior se ve sometida a una presión interna de 6 bar, y el reactor ejerce una presión interna sobre sus paredes de 5 bar y éstas van a sufrir presión externa de 6 bar debido al vapor que va a circular por el interior de la camisa. Por ello, se procederá a calcular el espesor de la pared exterior de la camisa para una presión interna de operación de 6 bar. El espesor de la pared interior del reactor se calculará para una presión externa de operación de 6 bar y por último el espesor de los fondos se calculará para una presión interna de operación de 6 bar.

El Código de Recipientes a Presión [33] define una temperatura y presión de diseño para el cálculo de los espesores:

- TEMPERATURA DE DISEÑO: va a ser igual a la máxima temperatura de operación más 20° C. En este caso será de 170° C.
- PRESIÓN DE DISEÑO: debe ser mayor a la presión máxima de operación y además será el mayor valor de los siguientes:

$$P \geq 1,1 \times P \text{ máxima operación } (kg / cm^2) \quad [16.11]$$

$$P \geq P \text{ máxima operación} + 2 kg / cm^2 \quad [16.12]$$

$$P \geq 3,5 kg / cm^2 \quad [16.13]$$

En el caso de no conocer la presión máxima de operación el Código de Recipientes a Presión indica que para valores de presión de operación que se encuentren entre 1,6-13,5 kg/cm<sup>2</sup> la presión de diseño será la presión de operación más 2 kg/cm<sup>2</sup>.

### CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE PARED

El espesor mínimo de pared, excluido el sobreespesor por corrosión será el mayor de los siguientes valores:

$$t_{\min} = 2,5 + c \text{ (mm)} \quad [16.14]$$

$$t_{\min} = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c \text{ (mm)} \quad [16.15]$$

$$t_{\min} = 3 \text{ (mm)} \text{ para acero inoxidable,} \quad [16.16]$$

o bien el calculado según Código ASME Sección VIII División1:Recipientes a Presión. Generalmente este valor suele ser

superior a todos los anteriores, por ello es un cálculo fundamental en el diseño, (ver Tabla 16.2 de fórmulas de espesores para virolas y fondos del Anexo 1).

Para realizar estos cálculos es necesario conocer el valor de la tensión máxima admisible del material a la temperatura de diseño. Para el material del reactor, acero inoxidable AISI 316L, el valor es de 12700 psi, como se puede observar en la Tabla 16.3.

**Table 6 High-performance austenitic stainless steels ASME allowable design stress values (ksi)**  
*Boiler Pressure Vessel Code, Section VIII, Division I, 1999 Addenda (lowest values for sheet, plate or tube)*

Name	UNS Number	ASME Specification	38°C (100°F)	93°C (200°F)	149°C (300°F)	204°C (400°F)	260°C (500°F)	316°C (600°F)	371°C (700°F)	427°C (800°F)
Type 316L	S31603	SA-240	16.7	14.2	12.7	11.7	10.9	10.4	10.0	9.6
Type 317L	S31703	SA-240	20.0	17.0	15.2	14.0	13.1	12.5	12.0	11.5
Alloy 20	N06020	SB-463	22.9	20.6	19.7	18.9	18.2	17.7	17.4	16.8
Alloy 825	N06025	SB-424	23.3	21.4	20.3	19.4	18.5	17.8	17.3	17.0
317LM	S31725	SA-240	20.0	16.9	15.2	14.0	-	-	-	-
317LMN	S31726	A 240	20.5	18.9	16.7	15.6	15.1	-	-	-
310MoLN	S31050	SA-240	22.9	19.9	18.1	16.8	15.9	15.1	-	-
700	N06700	SB-599	22.9	21.0	19.0	17.7	17.1	16.5	-	-
904L	N08904	SB-625	20.3	16.7	15.1	13.8	12.7	11.9	11.4	-
20Mo-4	N08024	SB-463	22.9	20.6	19.2	18.1	17.0	16.0	15.2	14.6
20 Mod	N08320	SB-620	18.7	17.3	16.3	15.4	14.5	13.8	13.2	12.7
Alloy 28	N08028	SB-709	20.7	18.9	17.7	16.5	15.4	14.4	13.6	12.8
20Mo-8	N08026	SB-463	22.9	20.7	19.0	17.5	16.3	15.3	14.5	13.9
25-CMO	N06925	SB-625	24.9	23.2	21.3	19.8	18.3	17.3	16.9	16.9
1925 hMo	N06925	SB-625	24.9	23.5	21.3	19.8	18.3	17.3	16.9	16.9
254 SMO	S31254	SA-240	23.9	23.5	21.4	19.8	18.6	17.9	17.4	-
AL-6XN	N06067	SB-688	27.1	26.2	23.8	21.9	20.5	19.4	18.6	18.0
654 SMO	S32654	SA-240	31.1	31.1	30.3	28.5	27.3	26.6	26.3	25.9
3127 hMo	N06031	B 625	23.5	22.0	19.7	18.3	17.2	16.4	15.7	15.2

Tabla 16.3: Valores de la tensión máxima admisible. [33]

En primer lugar, se calculará el espesor requerido por la presión interna y posteriormente, se procederá a calcular el espesor de la virolas del reactor debido a la presión externa ejercida por el vapor a su paso a través de la camisa calefactora.

Presión de diseño = 8bar

$$P_D = 8\text{bar} \times \frac{10^5 \text{Pa}}{1\text{bar}} \times \frac{1,45 \cdot 10^{-4} \text{psi}}{1\text{Pa}} = 116,03 \text{psi}$$

– Espesor debido al esfuerzo longitudinal, se considera eficiencia de soldadura de 0,9 (ver Tabla 16.4 del Anexo 1).

$$t_{\min} = \frac{P R_i}{2SE + 0,4P} \quad [16.17]$$

donde:

P: presión interna en psi

Ri: radio interior en pulgadas (700 mm;27,56") con la corrosión admisible incluida, en nuestro caso es de 1,5mm (0,059")

S: tensión máxima admisible del material en psi

E: eficiencia de la soldadura

$$t_{\min} = \frac{P R_i}{2SE + 0,4P} = \frac{116,1 \times (27,56 + 0,059)}{2 \times 12700 \times 0,9 + 0,4 \times 116,1} = 0,13998 + 0,059 = 0,19898" = 5,054mm$$

- Espesor debido al esfuerzo circunferencial, en este caso la eficiencia de la soldadura es de la unidad. (ver Tabla 16.4 del Anexo 1)

$$t_{\min} = \frac{P R_i}{SE - 0,6P} \quad [16.18]$$

$$t_{\min} = \frac{P R_i}{SE - 0,6P} = \frac{116,1 \times (27,56 + 0,059)}{12700 \times 1 - 0,6 \times 116,1} = 0,254 + 0,059 = 0,313" = 7,95mm$$

Por tanto, el espesor de la virola para soportar la presión interna sería como mínimo de **7,95 mm**.

En el caso de los fondos, se calculará su espesor para una presión interna de 5 bar que es la presión de operación, ya que no van a estar en contacto con la camisa calefactora, la cual sólo ocupará la región cilíndrica de las virolas.

Presión de diseño = 7bar

Temperatura de diseño = 150° C + 20° C = 170° C

$$P_D = 7bar \times \frac{10^5 Pa}{1bar} \times \frac{1,45 \cdot 10^{-4} psi}{1Pa} = 101,5psi$$

- Para el caso de la tapa superior elipsoidal (2:1) de la Tabla 16.2 se obtiene la Ecuación 16.19:

$$t_{\min} = \frac{P D_i}{2SE - 0,2P} \quad [16.19]$$

$$t_{\min} = \frac{P D_i}{2SE - 0,2P} = \frac{101,5 \times (55,11 + 2 \times 0,059)}{2 \times 12700 \times 1 - 0,2 \times 101,5} = 0,221 + 0,059 = 0,2798" = 7,11mm$$

- Para el caso de la tapa inferior cónica:

$$t_{\min} = \frac{P D_i}{2 \cos \alpha (SE - 0,6P)} \quad [16.20]$$

$$t_{\min} = \frac{P D_i}{2 \cos \alpha (SE - 0,6P)} = \frac{101,5 \times (55,11 + 2 \times 0,059)}{2 \cos 29 (12700 - 0,6 \times 101,5)} = 0,253 + 0,059 = 0,312'' = 7,94 \text{ mm}$$

A continuación, el objetivo es comprobar, partiendo del espesor calculado para presión interna, si la presión admisible por el material es superior a la presión de diseño. Para ello, es necesario determinar una serie de parámetros:

- Diámetro exterior:

$$D_0 = D_i + 2t \quad [16.21]$$

$$D_0 = 1400 + 2 \times 7,95 = 1415,9 + 2 \times 1,5 = 1418,9 \text{ mm}$$

- Longitud total:

$$L = H_1 + L_{tt} + H_2 \quad [16.22]$$

Donde  $H_1$  y  $H_2$  son las alturas de los fondos bombeados y  $L_{tt}$  es la distancia entre las líneas de tangencia. Para calcularla, es necesario calcular las pestañas de los fondos ( $h$ ) que será el mayor de los siguientes valores:

$$h \geq 0,3 \sqrt{D_0 t_f} \quad [16.23]$$

$$h \geq 3 t_f \quad [16.24]$$

$$h \geq 25 \text{ mm} \quad [16.25]$$

- Fondo superior:

$$h \geq 0,3 \sqrt{1418,9 \times 7,11} \geq 30,13 \text{ mm}$$

$$h \geq 3 \times 7,11 \geq 21,33 \text{ mm}$$

por tanto  $h = 30,13 \text{ mm}$  para fondo superior.

- Fondo inferior:

$$h \geq 0,3 \sqrt{1418,9 \times 7,94} \geq 31,84 \text{ mm}$$

$$h \geq 3 \times 7,94 \geq 23,82 \text{ mm}$$

por tanto  $h = 31,84 \text{ mm}$  para fondo inferior.

$L_{tt} = \text{longitud virola} + h_{\text{superior}} + h_{\text{inferior}}$

$$L_{tt} = 3000 + 30,13 + 31,84 = 3061,97 \text{ mm.}$$

$$H_1 = \frac{700}{2} + 1,5 = 351,5 \text{ mm}$$

El fondo cónico al no ser bombeado no se considera.

$$L = 3061,97 + \frac{1}{3} 351,5 = 3179,14 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 2,24$$

$$\frac{D_0}{t} = 178$$

Una vez que se tienen todos los datos, la presión admisible de trabajo viene dada por la Ecuación 16.26:

$$P_{\text{admisible de trabajo}} = \frac{4B}{3 \left( \frac{D_0}{t} \right)} \quad [16.26]$$

Para hallar el valor de B, hay que calcular previamente el valor de A mediante la Figura 16.2, y con este valor se acude a la Figura 16.3 y obtiene el valor de B.



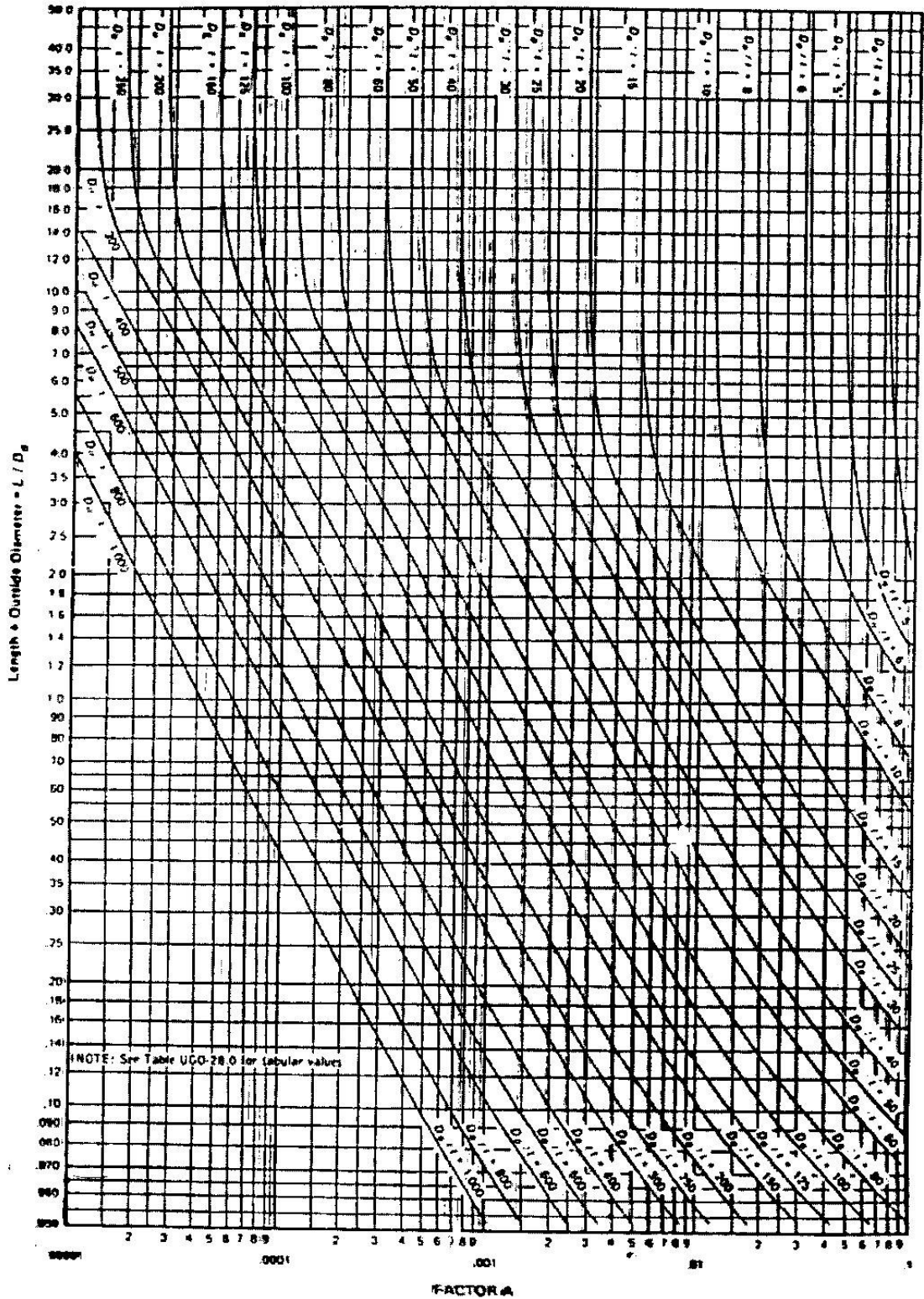
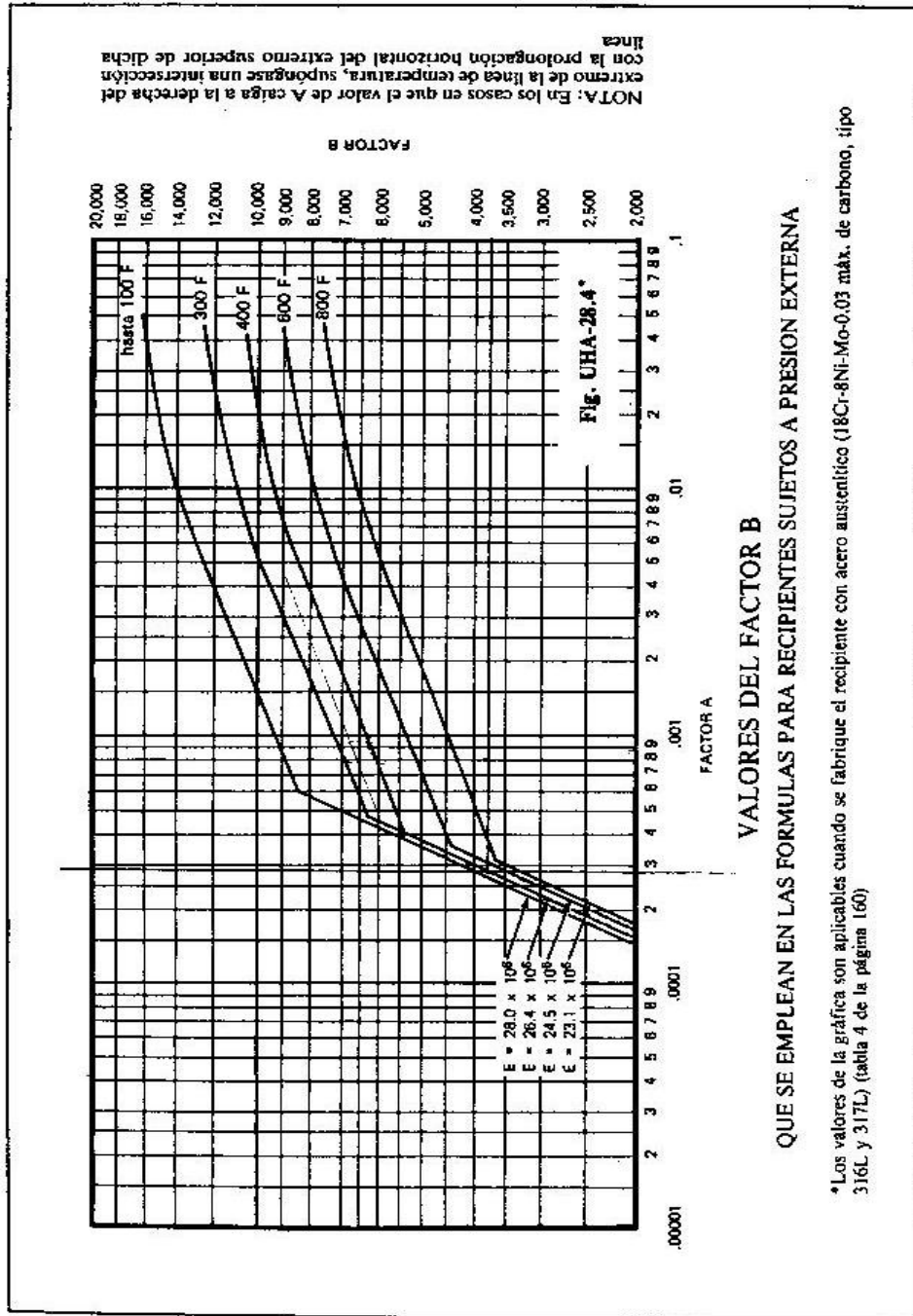


Fig. 5-UGO-28.0 Geometric Chart for Cylindrical Vessels Under External or Compressive Loading (For all Materials)

Figura 16.2: Valor del parámetro A. [33]



\*Los valores de la gráfica son aplicables cuando se fabrica el recipiente con acero austenítico (18Cr-8Ni-Mo-0.03 máx. de carbono, tipo 316L y 317L) (tabla 4 de la página 160)

Figura 16.3: Valor del parámetro B. [33]

Con los valores de  $\frac{L}{D_0}$  y  $\frac{D_0}{t}$  se va a la Figura 16.2 y se obtiene un valor de A de 0,00025, con el cual en la Figura 16.3 obtenemos para la curva de temperatura hasta 400 °F un valor de B de 3250.

Si lo metemos ahora en la ecuación 16.26:

$$P_{\text{admisible de trabajo}} = \frac{4 \times 3250}{3 \times (178)} = 24,34 \text{ psi}$$

Como el espesor no es adecuado, debido a que la presión de diseño es mayor a la presión admisible obtenida, es necesario aumentarlo. El nuevo espesor va a ser de 20mm. Procediendo de la misma manera, se obtiene un nuevo valor de  $D_0$ :

$$D_0 = 1400 + 2 \times 20 = 1440 + 2 \times 1,5 = 1443 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 2,2$$

$$\frac{D_0}{t} = 72,15$$

De las Figuras 16.2 y 16.3 se vuelve a calcular A = 0,00095 y B = 6750; si ahora se introduce el valor de B en la Ecuación 16.26 se obtiene:

$$P_{\text{admisible de trabajo}} = \frac{4 \times 6750}{3 \times 72,15} = 125 \text{ psi}$$

como es superior a la presión de diseño (116,1 psi), el valor del espesor es admisible. Por ello, el espesor del reactor será de **20mm**.

Por último, se va a calcular el espesor de la camisa calefactora debido a la presión interna de 6 bar ejercida por el vapor. De acuerdo con la referencia [34] las dimensiones de la camisa de vapor dependen del tamaño del reactor, pero generalmente se encuentran entre los 50 mm y los 300 mm. En este caso, al tratarse el reactor de un recipiente pequeño, se va a considerar que el espacio a través del cual va a circular el vapor va a ser de 50 mm. Por consiguiente, el diámetro de la camisa será de 1540 mm (60,63”).

Presión de diseño = 8bar

$$P_D = 8 \text{ bar} \times \frac{10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}} \times \frac{1,45 \cdot 10^{-4} \text{ psi}}{1 \text{ Pa}} = 116,03 \text{ psi}$$

Temperatura de diseño = 158,84° C + 20° C = 178,84° C = 354 F

- Cálculo del espesor debido al esfuerzo longitudinal, para lo cual se considera que la eficiencia de soldadura es de 0,9 (ver Tabla 16.4 del Anexo 1).

$$t_{\min} = \frac{P R_i}{2SE + 0,4P} \quad [16.27]$$

donde:

P: presión interna en psi

R<sub>i</sub>: radio interior en pulgadas con la corrosión admisible incluida, en nuestro caso es de 1,5mm (0,059")

S: tensión máxima admisible del material en psi

E: eficiencia de la soldadura

$$t_{\min} = \frac{P R_i}{2SE + 0,4P} = \frac{116,1 \times (30,32 + 0,059)}{2 \times 12700 \times 0,9 + 0,4 \times 116,1} = 0,153974 + 0,059 = 0,21297" = 5,409mm$$

- Cálculo del espesor debido al esfuerzo circunferencial, en este caso la eficiencia de la soldadura es de la unidad (ver Tabla 16.4 del Anexo 1).

$$t_{\min} = \frac{P R_i}{SE - 0,6P} \quad [16.28]$$

$$t_{\min} = \frac{P R_i}{SE - 0,6P} = \frac{116,1 \times (30,32 + 0,059)}{12700 \times 1 - 0,6 \times 116,1} = 0,2792 + 0,059 = 0,3382" = 8,59mm$$

Por tanto, el espesor de la camisa calefactora será como mínimo de **8,59 mm**.

### 16.2.3 Cálculo del vapor requerido para calentamiento del reactor a través de camisa durante arranque.

Para determinar el calor requerido por el reactor ( $Q_{\text{start-up}}$ ) para alcanzar la temperatura de operación (150°C) durante el proceso de arranque y como consecuencia, el requerimiento de vapor a través de la camisa, es necesario distinguir:

- 1) Calor requerido para llevar el contenido del reactor a la temperatura de operación. ( $Q_1$ )
- 2) Calor requerido para llevar el material del reactor a dicha temperatura. ( $Q_2$ )
- 3) Calor perdido desde la superficie del reactor a la atmósfera. ( $Q_3$ )

Por tanto el calor necesario para llevar al reactor desde la temperatura ambiente a la temperatura de operación será la suma de estos tres:

$$Q_{start-up} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad [16.29]$$

Es necesario señalar que todos los cálculos se han realizado suponiendo que tanto las pérdidas como el calor absorbido por los fondos del reactor son despreciables.

1) Calor requerido para llevar el contenido del reactor a la temperatura de operación ( $Q_1$ ).

Se considera que inicialmente el reactor está a temperatura ambiente (25°C)

$$Q_1 = \frac{m C_p \Delta T}{t} \quad [16.30]$$

donde:

$m$ : es la masa del contenido del reactor, en este caso será la suma de la masa de cascarilla y la masa de disolución de ácido sulfúrico ( 2741,48 kg)

$C_p$ : es la capacidad calorífica del contenido del reactor ( 3995,30 J/kg K) [35]

$\Delta T$ : es el incremento de temperatura que va a sufrir el contenido del reactor (125 K)

$t$ : es el tiempo durante el cual se va a producir dicho incremento de temperatura (3600 s)

$$Q_1 = \frac{2741,48 \times 3995,30 \times 125}{3600} = 380313,49 \text{ J/s}$$

2) Calor requerido para llevar el material del reactor a dicha temperatura ( $Q_2$ ).

$$Q_2 = \frac{m C_p \Delta T}{t} \quad [16.31]$$

donde:

$m$ : es la masa del material del reactor, en este caso será la suma de la masa del material que rodea al espacio anular por el que va a circular el vapor. Calculada a partir del volumen del material en contacto con el

vapor usando la densidad del acero inoxidable 316L (7950 kg/m<sup>3</sup>), (3124,64 kg), (Tabla 16.5)

C<sub>p</sub>: es la capacidad calorífica del material del reactor, es decir del Acero inoxidable AISI 316L ( 469 J/kg K) (Tabla 16.5).

ΔT: es el incremento de temperatura que va a sufrir el material del reactor (125 K)

t: es el tiempo durante el cual se va a producir dicho incremento de temperatura ( 3600 s)

$$Q_2 = \frac{3124,64 \times 469 \times 125}{3600} = 50883,92 \text{ J/s}$$

**Table 11 Ambient temperature physical properties of high-performance austenitic stainless steels**

Name	UNS Number	Density		Specific Heat		Electrical Resistivity		Magnetic Permeability	Young's Modulus	
		g/cm <sup>3</sup>	lb/in <sup>3</sup>	J/kg°K	Btu/lb°F	micro ohm-m	micro ohm-in.	Oerst.(mu 200H)	GPa	ksi x 1000
Type 316L	S31603	7.95	0.287	469	0.112	0.74	445	1.004	200	29.0
Type 317L	S31703	7.95	0.287	—	—	0.79	475	—	—	—
Alloy 20	N08020	8.08	0.292	502	0.120	1.08	651	1.002	193	28.0
Alloy 825	N08825	8.14	0.294	—	—	1.12	678	1.005	—	28.3
20Mo-6	N08026	8.13	0.294	461	0.110	1.08	651	1.006	186	27.0
317LMN	S31726	8.02	0.290	502	0.112	0.85	512	—	200	29.0
310MoLN	S31050	—	—	—	—	—	—	—	—	—
700	N08700	8.03	0.290	—	—	—	—	—	—	—
904L	N08904	7.95	0.287	461	0.110	0.95	572	<1.02	190	28.0
20Mo-4	N08024	8.11	0.293	456	0.109	1.06	635	—	186	27.0
20 Mod	N08320	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Alloy 28	N08028	8.03	0.290	448	0.107	0.99	468	—	200	29.0
SB8	N08932	—	—	—	—	—	—	—	—	—
254 SMO	S31254	7.95	0.287	498	0.119	—	—	1.003	200	29.0
25-6Mo	N08925 /	8.15	0.294	461	0.110	0.88	528	<1.01	192	27.8
1925 hMo	N08926									
AL-6XN	N08367	8.06	0.291	461	0.110	—	—	1.003	195	28.2
YUS 170	—	7.98	0.288	—	—	0.86	518	—	192	27.8
4565S	S34565	8.00	0.290	510	0.122	0.92	554	—	190	28.0
3127 hMo	N08031	8.03	0.290	440	0.105	1.00	602	—	195	28.3
654 SMO	S32654	8.00	0.290	510	0.122	0.78	470	—	188	27.6

Tabla 16.5: Propiedades físicas de los aceros. [36]

3) Calor perdido desde la superficie del reactor a la atmósfera (Q<sub>3</sub>).

Debido a que el reactor está en contacto con el aire exterior que se encuentra a temperatura ambiente, es necesario calcular el calor que se pierde durante el proceso de arranque. Para ello, acudimos a la Ecuación 16.32.

$$Q_3 = U A \Delta T \quad [16.32]$$

Donde:

$U$ : es el coeficiente global de transmisión de calor desde el reactor al exterior  $\left(0,75 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$ . Su valor se ha obtenido a partir de la Figura 16.4 para la diferencia de temperatura entre el reactor y el exterior, y multiplicado por 0,05 debido a que posee 100 mm de aislamiento.

$A$ : es el área en contacto con el aislamiento, es decir el área lateral correspondiente a  $D = 1,557$  m. ( $14,68$  m<sup>2</sup>)

$\Delta T$ : es la diferencia media de temperatura:

$$T_m = \frac{T_0 + T_F}{2} = \frac{25 + 150}{2} = 87,5^\circ C$$

$$\Delta T = T_m - T_{amb} = 87,5 - 25 = 62,5^\circ C$$

$$Q_3 = 0,75 \times 14,68 \times 62,5 = 687,94 J/s$$

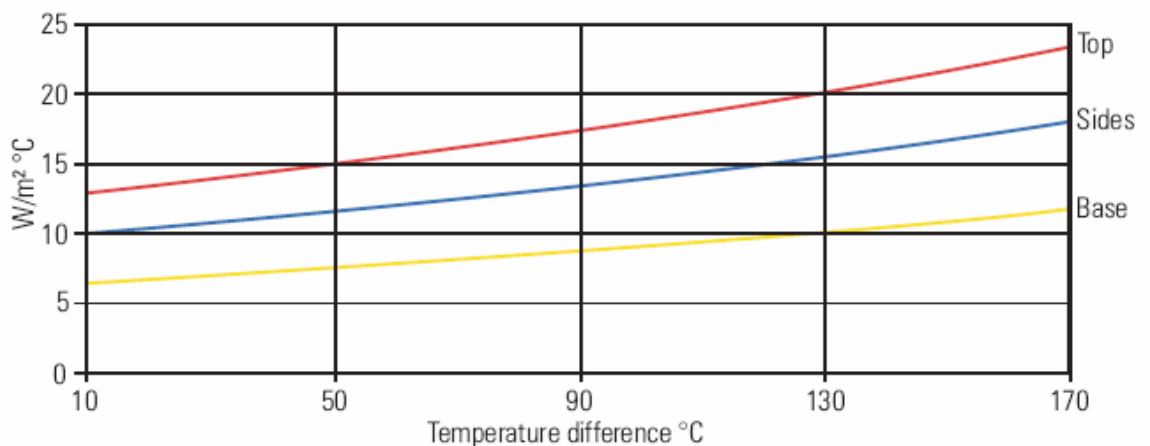


Fig. 2.9.1 Typical overall heat transfer coefficients from flat steel surfaces

Figura 16.4: Valor del coeficiente de transmisión de calor.[37]

Por tanto el calor necesario para el proceso de arranque será:

$$Q_{start-up} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_{start-up} = 380313,49 + 50883,92 + 687,94 = 431885,36 J/s$$

Este calor debe ser aportado por el vapor que va a atravesar la camisa calefactora, por tanto el caudal de vapor necesario será:

$$Q_{start-up} = m_v \lambda \quad [16.33]$$

$$m_v = \frac{Q_{start-up}}{\lambda}$$

donde:

$\lambda$  es el calor latente del vapor a 6 bar (2085 kJ/kg) (Tabla 16.6 del Anexo 1).

$$m_v = \frac{431885,36}{2085000} = 0,21 \text{ kg} / \text{s} = 745,70 \text{ kg} / \text{h}$$

#### 16.2.4 Cálculo del vapor requerido para calentamiento del reactor a través de camisa durante operación.

El objetivo es mantener la temperatura del reactor en los 150°C necesarios para la reacción. Para lo cual será necesario aportar vapor a través de la camisa calefactora.

Al igual que en el caso anterior, las pérdidas únicamente se producirán a través de la superficie de la camisa calefactora.

$$Q_{\text{pérdidas}} = U A \Delta T \quad [16.34]$$

Donde:

$U$ : es el coeficiente global de transmisión de calor desde el reactor al exterior  $\left(0,75 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$ . Su valor se ha obtenido a partir de la Figura 16.4

para la diferencia de temperatura en el reactor y el exterior, multiplicado por 0,05 debido a que posee 100 mm de aislamiento.

$A$ : es el área en contacto con el aislamiento, es decir el área lateral correspondiente a  $D = 1,557 \text{ m}$ . ( $14,68 \text{ m}^2$ )

$\Delta T$ : es la diferencia de temperatura:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_f - T_{\text{amb}} = 150 - 25 = 125^\circ C \\ Q_{\text{pérdidas}} &= 0,75 \times 14,68 \times 125 = 1272,35 \text{ J} / \text{s} \\ Q_{\text{pérdidas}} &= Q_{\text{operación}} \end{aligned}$$

Por tanto el vapor que habrá que aportar continuamente durante la reacción será:

$$\begin{aligned} Q_{\text{operación}} &= m_v \lambda \quad [16.35] \\ m_v &= \frac{Q_{\text{operación}}}{\lambda} \\ m_v &= \frac{1272,35}{2085000} = 0,00061 \text{ kg} / \text{s} = 2,20 \text{ kg} / \text{h} \end{aligned}$$



### 16.2.5 Diseño del proceso de enfriamiento del reactor

Una vez que la reacción ha concluido, es necesario enfriar despresurizar el reactor y enfriarlo para evitar problemas a la hora de la descarga debido a que las condiciones a las que trabaja el reactor son condiciones muy severas a las cuales hay que añadirle el efecto corrosivo del ácido sulfúrico.

Para enfriar el reactor se va a utilizar la camisa que se ha empleado previamente para calentar el reactor.

El tiempo estimado de enfriamiento será de una hora, con lo cual el calor que es necesario retirar del reactor será:

$$Q = \frac{m C_p \Delta T}{t} \quad [16.36]$$

donde:

$m$ : es la masa del contenido del reactor, en este caso será la suma de la masa de cascarilla no reaccionada y la masa de disolución producto de la reacción (2535,1kg)

$C_p$ : es la capacidad calorífica del contenido del reactor a una temperatura media entre la entrada y la salida ( 4212 J/kg K) [39]

$\Delta T$ : es el incremento de temperatura que va a sufrir el contenido del reactor (100 K)

$t$ : es el tiempo durante el cual se va a producir dicho incremento de temperatura ( 3600 s)

Por tanto el calor que es necesario retirar será:

$$Q = \frac{2535,1 \times 4212 \times (423 - 323)}{3600} = 296606,7 \frac{J}{s}$$

Este flujo de calor será el que deberá retirar el agua de refrigeración a 25°C, por ello se va a calcular el caudal que se necesita de la misma. Fijando un *approach* de temperaturas de 20°C, se va a fijar la temperatura de salida del agua de refrigeración en 403K.

$$Q = \dot{m}_F C_{p_F} \Delta T_F \quad [16.37]$$

$$\dot{m}_F = \frac{Q}{C_{p_F} \Delta T_F}$$

$$\dot{m}_F = \frac{296606,7}{4190 \times (403 - 298)} = 2427,06 \frac{kg}{s}$$

A continuación, se debe comprobar si el área de intercambio disponible en la camisa del reactor es suficiente para conseguir este intercambio de calor. Para ello, se va a calcular el área requerida y se comprobará si es mayor o menor que el área de la cual disponemos. Se emplea la ecuación general para la transmisión de calor, Ecuación 16.38.

$$Q = U A DTML \quad [16.38]$$

donde:

Q: es el calor intercambiado entre ambos fluidos (J/s)

U: es el coeficiente global de transmisión de calor (W/m<sup>2</sup>K).

A: es el área de intercambio de calor (m<sup>2</sup>).

DTML: es la Diferencia de Temperaturas Media Logarítmica y se calcula mediante la Ecuación 16.39:

$$DTML = \frac{(T_f - T_{F,L}) - (T_i - T_{F,0})}{\ln\left(\frac{(T_f - T_{F,L})}{(T_i - T_{F,0})}\right)} \quad [16.39]$$

$$DTML = \frac{(323 - 298) - (423 - 403)}{\ln\left(\frac{(323 - 298)}{(423 - 403)}\right)} = 22,41K$$

Por tanto el área necesaria será:

$$A = \frac{Q}{U DTML}$$

el valor de U será el mismo que el empleado en el diseño del intercambiador de calor, ya que son procesos muy similares.

$$A = \frac{296606,7}{936,87 \cdot 22,41} = 14,13 \text{ m}^2$$

Como se puede comprobar, el área requerida es ligeramente superior al área de la que dispone el reactor mediante la camisa, 13,57 m<sup>2</sup>. Por ello, se puede deducir que la temperatura final del reactor será ligeramente superior a 50°C. Para comprobarlo, se repiten los cálculos considerando una temperatura final de 52°C. Los resultados se muestran en la Tabla 16.7, en la que se puede comprobar, para una temperatura de salida de

52°C el área requerida es de 13,3 m<sup>2</sup> que es inferior a la que posee la camisa, por ello se puede concluir que el reactor se enfriará hasta una temperatura que será un valor intermedio entre los 50 y los 52°C. El valor exacto no es necesario calcularlo ya que como se ha comentado previamente el objetivo del enfriamiento del reactor es poder realizar la descarga sin problemas, es decir, con bombas que no tengan que funcionar en condiciones extremas.

<b>CAMBIO DE LA TEMPERATURA DE SALIDA A 52°C</b>	<b>CONTENIDO REACTOR</b>	<b>CORRIENTE FRÍA</b>
<b>CAUDAL (kg)/(kg/h)</b>	2535,1	2378,52
<b>T<sub>ENTRADA</sub> (K)</b>	423	298
<b>T<sub>SALIDA</sub> (K)</b>	325	403
<b>T<sub>m</sub> (°C)</b>	374	351
<b>Tiempo de enfriamiento (s)</b>	3600	
<b>CALOR ESPECÍFICO (J/Kg K)</b>	4212	4190
<b>Q(J/s)</b>	290674,57	
<b>DTML (K)</b>	23,33	
<b>U(BTU/°Fft<sup>2</sup>h)</b>	165	
<b>U(W/m<sup>2</sup>K)</b>	936,87	
<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	13,30	

*Tabla 16.7: Tabla resultados para temperatura final de 52°C.*

### 16.3 ANEXO 3: REACTOR DE LECHO FIJO

La mayor parte de los procesos catalíticos industriales se llevan a cabo en reactores de lecho fijo.

Desde el comienzo de su utilización, en la década de los 40, hasta la actualidad, su desarrollo ha sido espectacular y más si se tiene en cuenta que dicho desarrollo ha tenido lugar, en gran parte, en los últimos 20 años.

El reactor de lecho fijo se caracteriza por la presencia de partículas sólidas inmóviles (lecho empaquetado), a través del cual se mueve una corriente de fluido.

#### 16.3.1 Balance de materia en el interior de una partícula aislada.

Se considera una partícula esférica e isobárica. En la superficie de la partícula (distancia radial  $R$ ) la concentración de una especie dada  $A$  (reactante o producto) es  $C_{As}$  y la temperatura  $T_s$ . Para una distancia  $r$ , la concentración será  $C_{Ar}$  y la temperatura  $T_r$ . A lo largo de un espesor  $\Delta r$  todos estos valores sufrirán variación. A esto hay que añadir que la partícula está inmersa en un fluido cuya concentración de  $A$  es  $C_{Ag}$ , distinta de la existente en la superficie por causa de la resistencia externa a la transferencia de materia. El balance de materia aplicado al recinto (corona esférica de espesor  $\Delta r$ ) es el que se muestra a continuación como Ecuación 16.40.

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Entrada de } A \\ \text{por difusión} \\ \text{en el elemento} \\ \text{de control} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Generación de } A \\ \text{en el elemento} \\ \text{de control} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Salida de } A \\ \text{por difusión} \\ \text{en el elemento} \\ \text{de control} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Acumulación de } A \\ \text{en el interior} \\ \text{del elemento} \\ \text{de control} \end{array} \right] \quad [16.40]$$

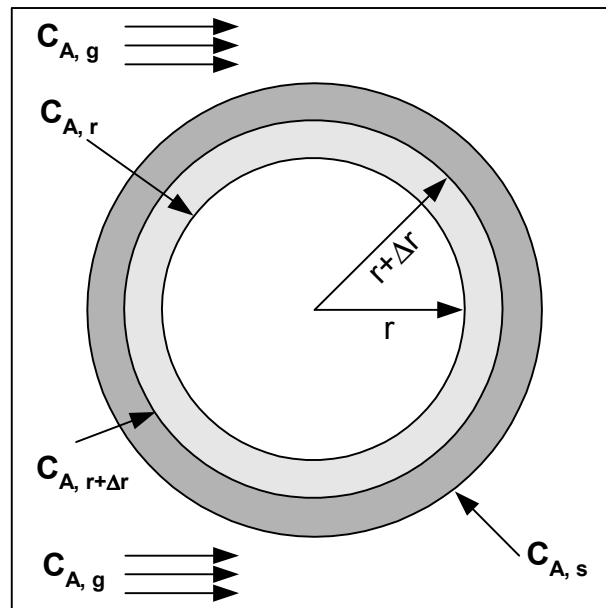


Figura 16.5: Esquema de la partícula

La Expresión matemática de dicho balance es la que se muestra en la ecuación 16.41.

$$\left[ -4\pi r^2 D_e \frac{\partial C_A}{\partial r} \right]_r + (4\pi r^2 \Delta r) \rho_p (r_A) = \left[ -4\pi r^2 D_e \frac{\partial C_A}{\partial r} \right]_{r+\Delta r} + \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_p 4\pi r^2 \Delta r C_A) \quad [16.41]$$

Donde:

- $4\pi r^2$ : área de la cara interna del recinto ( $m^2$ ).
- $\varepsilon_p$ : porosidad de la partícula.
- $D_e$ : difusividad efectiva ( $m^2/s$ ).
- $r_A$ : velocidad neta de aparición por reacción química de la especie A (mol/sKg catalizador).
- $C_A$ : concentración de la especie A en un punto dado (mol A/  $m^3$ ).
- $D_p$ : densidad de la partícula ( $kg/m^3$ ).

Si se supone que la difusividad efectiva no varía con el radio, se puede expresar la ecuación de forma que muestra la Ecuación 16.42.

$$-4\pi D_e \left[ r^2 \frac{\partial C_A}{\partial r} \right]_r + (4\pi r^2 \Delta r) \rho_p(r_A) = -4\pi D_e \left[ r^2 \frac{\partial C_A}{\partial r} \right]_{r+\Delta r} + 4\pi \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_p r^2 \Delta r C_A) \quad [16.42]$$

si  $\Delta r \rightarrow 0$ :

$$\left[ r^2 \frac{\partial C_A}{\partial r} \right]_{r+\Delta r} = \left[ r^2 \frac{\partial C_A}{\partial r} \right]_r + \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^2 \frac{\partial C_A}{\partial r} \right] dr \quad [16.43]$$

por tanto la ecuación queda de la siguiente forma:

$$D_e \nabla^2 C_A + \rho_p(r_A) = \varepsilon_p \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad [16.44]$$

$$D_e \frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2} + \rho_p(r_A) = \varepsilon_p \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad [16.45]$$

en nuestro caso A es el producto de reacción, es decir, la glucosa.

Las condiciones límite y condiciones de contorno para resolver la Ecuación 16.45 se muestran a continuación:

- Para  $t=0$  y  $r=r$ , la concentración de glucosa es cero, debido a que no ha comenzado la reacción y no se ha producido difusión desde el interior a la superficie de la partícula.
- Por la misma razón, para  $t=0$  y  $r=R$ , la concentración de glucosa es cero, debido a que no ha comenzado la reacción y en el medio no hay producto.
- En la superficie exterior de la partícula se cumple que la concentración de reactivo o producto va a ser igual a la del medio en el que se encuentra, en nuestro caso será la concentración del fluido en el interior del reactor.

$$C_A = C_{AR}$$

- En cualquier instante  $t=t$  y en el centro de la partícula, es decir,  $r=0$  la simetría esférica requiere que la concentración de glucosa posea un máximo, por lo que en  $r=0$  se cumple:

$$\frac{\partial C_{glucosa}}{\partial r} = 0$$

si  $\frac{\partial C_A}{\partial r}=0$  entonces  $\frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2}=0$  sustituyendo en 16.45 se obtiene la Ecuación 16.46:

$$\rho_p(r_A)=\varepsilon_p \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad [16.46]$$

pasamos a derivadas totales y obtenemos la Ecuación 16.47.

$$\rho_p(r_A)=\varepsilon_p \frac{dC_A}{dt} \quad [16.47]$$

si integramos entre un instante inicial  $t_0$  y final  $t$  obtenemos la Ecuación 16.48

$$\int_{t_0}^t \rho_p(r_A) = \int_{C_{A_0}}^{C_A} \varepsilon_p \frac{dC_A}{dt} \quad [16.48]$$

operando se obtiene la Ecuación 16.49

$$\int_{C_{A_0}}^{C_A} dC_A = \frac{\rho_p(r_A)}{\varepsilon_p} \int_{t_0}^t dt \quad [16.49]$$

y finalmente se llega a la Ecuación 16.50.

$$C_A = C_{A_0} + \frac{\rho_p(r_A)}{\varepsilon_p} \Delta t \quad [16.50]$$

Para resolver la Ecuación 16.45 en derivadas parciales es necesario realizar la integración aplicando un método numérico. Se aplicará el Método de las Diferencias Finitas, cuyo fundamento matemático se resume a continuación:

Dada una ecuación diferencial en derivadas parciales como la del caso que nos ocupa:

$$D_e \frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2} + \rho_p(r_A) = \varepsilon_p \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad [16.45]$$

donde  $r$  y  $t$  son las variables independientes,  $C_A$  es la función buscada,  $\frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2}$  es la derivada parcial segunda respecto a  $r$  y  $\frac{\partial C_A}{\partial t}$  su derivada parcial primera respecto a  $t$ . Se dice que  $C_A = C_A(r, t)$  es solución de la ecuación diferencial 16.45 si la transforma en una identidad. En el método de las diferencias finitas se sustituye cada derivada por las diferencias correspondientes (incrementos), por tanto se tendrá:

$$\frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2} \cong \frac{C_A(r+h, t) - 2C_A(r, t) + C_A(r-h, t)}{h^2} \quad [16.51]$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} \cong \frac{C_A(r, t+k) - C_A(r, t)}{k} \quad [16.52]$$

$$D_e \left[ \frac{C_A(r+h, t) - 2C_A(r, t) + C_A(r-h, t)}{h^2} \right] + \rho_p(r_A) = \varepsilon_p \left[ \frac{C_A(r, t+k) - C_A(r, t)}{k} \right] \quad [16.53]$$

agrupando términos, sustituyendo  $r$  y  $t$  por  $i$  y  $j$  respectivamente, y despejando se llega a la Ecuación 16.54, que será la ecuación empleada para obtener los perfiles de concentración en la partícula durante la reacción.

$$C_A(i, j+1) = C_A(i, j) + \frac{k D_e}{h^2 \varepsilon_p} [C_A(i+1, j)] - 2C_A(i, j) + C_A(i-1, j) + \frac{\rho_p(r_A) k}{\varepsilon_p} \quad [16.54]$$



## **16.4 ANEXO 4: CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR**

### **16.4.1 Caracterización de las corrientes.**

La corriente a enfriar se encuentra a 150°C y se precisa que a la salida del intercambiador su temperatura sea de 50°C. Para ello se va a emplear agua de refrigeración.

Por el lado de los tubos se tendrá la corriente producto del reactor que posee ácido sulfúrico al 5% peso y 193,6 kg de cascarilla de arroz. Por el lado de la carcasa se empleará agua de refrigeración a 25°C.

### **16.4.2 Cálculo del calor intercambiado y del caudal de refrigerante.**

Aplicando un balance de energía al intercambiador de calor, se obtiene la Ecuación 16.55:

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T \quad [16.55]$$

para el fluido caliente se obtiene la Ecuación 16.56:

$$Q = \dot{m}_C C_{p_C} \Delta T_C \quad [16.56]$$

y para el fluido frío la Ecuación 16.57

$$Q = \dot{m}_F C_{p_F} \Delta T_F \quad [16.57]$$

donde:

Q: es el calor intercambiado entre ambos fluidos (J/h)

$\dot{m}_C$ : es el caudal másico del fluido caliente (kg/h)

$\dot{m}_F$ : es el caudal másico del fluido frío (kg/h)

$\Delta T_C$ : es la diferencia de temperatura experimentada por el fluido caliente (K)

$\Delta T_F$ : es la diferencia de temperatura experimentada por el fluido frío (K)

$C_{p_C}$  y  $C_{p_F}$  son respectivamente, los calores específicos de los fluidos caliente y frío (J/kgK)

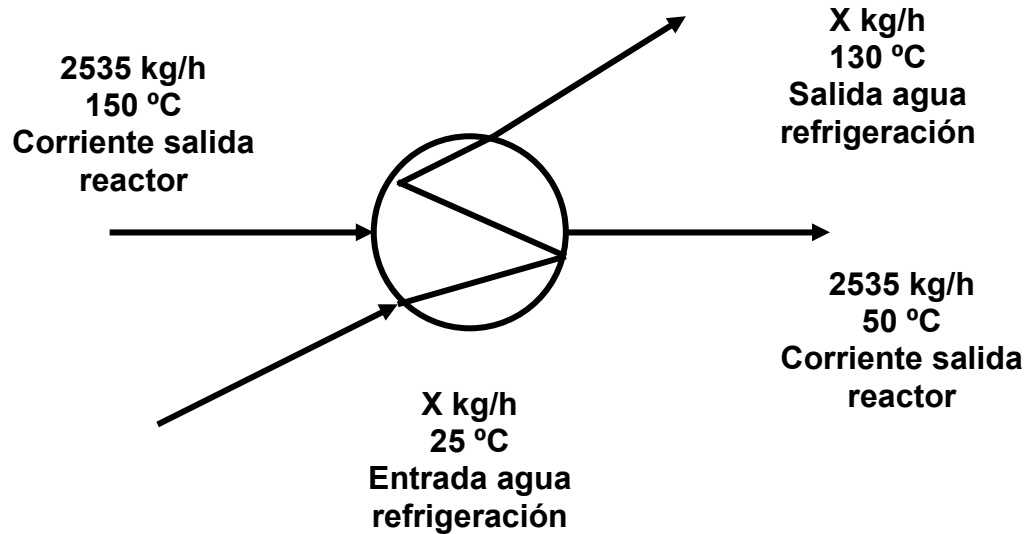


Figura 16.6: Esquema del proceso de intercambio de calor

Como se observa en el esquema del proceso de intercambio de calor de la Figura 16.6, no se conoce el caudal de agua de refrigeración necesario, ni tampoco la temperatura a la que va a salir la corriente de agua de refrigeración. Este valor es necesario fijarlo para poder diseñar el intercambiador, para ello el criterio que se emplea es el de mantener un “*approach*” de temperaturas entre  $20$  y  $30 \text{ °C}$  [40]. Se conoce como “*approach*” de temperaturas del intercambiador a la diferencia entre la temperatura de salida de la corriente caliente y de entrada de la corriente fría, así como a la diferencia entre la temperatura de la entrada de la corriente caliente y la de salida de la fría. Este “*approach*” debe mantenerse en ese rango para que el área de intercambio de calor necesaria no tienda a infinito. Por ello, se consideran  $20 \text{ °C}$  de “*approach*” y se fija la temperatura de la corriente de salida del agua de refrigeración a  $130 \text{ °C}$ .

Por tanto, realizando las consideraciones anteriores se puede calcular el calor puesto en juego en el proceso así como el caudal de agua de refrigeración que se requiere.

Las propiedades de los fluidos necesarias se encuentran en la Tabla 16.8, y los datos de cada corriente se muestran en la Tabla 16.9.

PROPIEDADES	AGUA 373K	AGUA 350K
K(W/mk)	0,681	0,669
$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	958	973
Cp (J/KgK)	4212	4190
$\mu$ (Kg/ms)	2,85E-04	3,79E-04
v (m/s)	3,00E-07	3,90E-07
Pr	1,76	2,4

Tabla 16.8: Propiedades de las corrientes. [39]

	CORRIENTE CALIENTE	CORRIENTE FRÍA
CAUDAL (Kg/h)	2535,1	2427,06
T <sub>ENTRADA</sub> (K)	423	298
T <sub>SALIDA</sub> (K)	323	403
T <sub>m</sub> (°C)	373	351

Tabla 16.9: Caracterización de las corrientes caliente y fría.

Para realizar el balance energético en el intercambiador se van a tomar las propiedades de los fluidos a la temperatura media entre la entrada y la salida.

Si se calcula el calor necesario para conseguir el enfriamiento deseado de la corriente producto del reactor según la Ecuación 16.56 se obtiene:

$$Q = \dot{m}_c C_{p_c} \Delta T_c = 2535,1 \times 4212 \times (150 - 50) = 1,068 \cdot 10^9 \text{ J/h} = 296606,7 \text{ W}$$

como este calor es el que tiene que retirar la corriente de agua de refrigeración, se puede calcular el valor del caudal de refrigeración necesario despejando de la Ecuación 16.57:

$$m_f = \frac{Q}{C_{p_f} \times (T_{S,F} - T_{E,F})} = \frac{1,068 \times 10^9}{4190 \times (130 - 25)} = 2427,06 \text{ kg/h}$$

### 16.4.3 Determinación de la media logarítmica de temperaturas

Para determinar DTML, se considera en primer lugar un intercambiador de corrientes paralelas. La media logarítmica de temperaturas viene dada por la ecuación 16.58, por lo tanto para los valores de temperaturas de las corrientes se obtiene:

$$DTML = \frac{(T_{C,L} - T_{F,L}) - (T_{C,0} - T_{F,0})}{Ln\left(\frac{(T_{C,L} - T_{F,L})}{(T_{C,0} - T_{F,0})}\right)} \quad [16.58]$$

donde los subíndices C y F se corresponden con las corrientes caliente y fría y el 0 y el L se refieren a un intercambiador de calor de longitud L.

$$DTML = \frac{(50 - 25) - (150 - 130)}{Ln\left(\frac{(50 - 25)}{(150 - 130)}\right)} = \frac{5}{\ln \frac{25}{20}} = 22,41K$$

Como resultado de aplicar un balance energético a un elemento del intercambiador de calor, se obtiene la Ecuación 16.59:

$$Q = U A DTML \quad [16.59]$$

donde:

Q: es el calor intercambiado entre ambos fluidos (J/s)

U: es el coeficiente global de transmisión de calor (W/m<sup>2</sup>K).

A: es el área de intercambio de calor (m<sup>2</sup>).

El factor de corrección de la media logarítmica de temperaturas no se considera, puesto que se trata de un solo paso por tubos, siendo por tanto un intercambiador de contracorriente puro.

#### 16.4.4 Coeficiente global de transmisión de calor

El coeficiente global de transmisión de calor se va a tomar de la bibliografía, en concreto de la Tabla 16.10 del Anexo 1, para fluido caliente agua y agua de refrigeración, y para una resistencia total por ensuciamiento alta debido a la presencia de cascarilla de arroz, se toma el valor de U de:

$$U = 165 \frac{BTU}{^{\circ}F \text{ ft}^2 \text{ h}}$$

$$R = 0,004 \frac{^{\circ}F \text{ ft}^2 \text{ h}}{BTU}$$

En unidades del S.I. sería:

$$U = 936,87 \frac{W}{m^2 K}$$

Una vez que la planta piloto esté en operación, será posible determinar con exactitud el valor del coeficiente de transmisión de calor, que también debe ser proporcionado por el fabricante para las condiciones de diseño.

#### 16.4.5 Cálculo del área de intercambio necesaria

Aplicando la ecuación 16.59 obtenemos el valor del área requerida:

$$Q = U A DTML \quad [16.59]$$

$$A = \frac{Q}{U \times DTML} = \frac{296606,7}{936,87 \times 22,41} = 14,13 \text{ m}^2 = 152,085 \text{ ft}^2$$

## **16.5 ANEXO 5: DISEÑO DEL FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO A VACIO**

### **16.5.1 Introducción**

Para determinar el área de filtración requerida para el proceso que nos ocupa, se va a partir de correlaciones de datos obtenidos a escala de laboratorio, que se llevarán a la escala de planta piloto mediante factores de escalamiento [41].

El factor de escalamiento global, se emplea para convertir la velocidad de filtración calculada a escala de laboratorio, de manera que se pueda emplear para el diseño a escala industrial. Este factor global es el resultado del producto de varios factores de escala que son:

- Factor de escalamiento de la velocidad: este factor es de 0,8 para todos los filtros comerciales que no emplean lavado continuo del medio de filtración.
- Factor de escalamiento relacionado con la descarga de la torta: cuando se selecciona un filtro se supone que la descarga de la torta va a ser del 100%, en función del tipo de mecanismo de descarga, esta será más o menos efectiva. En nuestro caso se supondrá que la descarga será del 100%, por ello este factor valdrá la unidad.
- Factor de escalamiento del área real: puede ocurrir que el área real de funcionamiento del filtro no sea igual al área nominal de la cual dispone. Para la mayoría de las aplicaciones el área real de este tipo de filtros no es menor del 94-97% del área nominal. En el presente PFC se tomará el valor de 0,94, como estimación conservadora.

Por tanto el factor global de escalamiento será el producto de estos tres factores tal como se calcula en la Ecuación 16.60.

$$F = 0,8 \times 1,0 \times 0,94 = 0,752 \quad [16.60]$$

### **16.5.2 Caracterización de la corriente de entrada al filtro**

En la Tabla 16.11 se muestran los valores de las propiedades la corriente de entrada al filtro.

<b>Caudal volumétrico</b>	3,92 m <sup>3</sup>
<b>Caudal másico</b>	2535,08 kg
<b>Contenido de sólidos</b>	7,64%
<b>Temperatura</b>	50°C

Tabla 16.11: Propiedades corriente entrada al filtro

### 16.5.3 Cálculo del área requerida

En primer lugar es necesario conocer las características del filtro, para ello se acude a la Tabla 16.12 y se toman los valores para el tipo de filtro a emplear, que es un filtro rotatorio a vacío de cuchilla estándar.

TABLE 18-9 Typical Equipment Factors for Cycle Design

Filter type	% of cycle					Req'd. for cake discharge
	Submergence		Total under active vac. or pres.	Max. for washing	Max. for dewatering only	
	Apparent	Mat. effective				
Drum						
Standard scraper	35	30	80	20	50-60	20
Roll discharge	35	30	80	20	50-60	20
Belt	35	30	75	20	45-50	25
Coil or string	35	30	75	20	45-50	25
Precoat	35,55	35,55	93	30	60,40	5
Horizontal belt	As req'd.	As req'd.	Lengthen as req'd.	As req'd.	As req'd.	0
Horizontal table	As req'd.	As req'd.	80	As req'd.	As req'd.	20
Tilting pan	As req'd.	As req'd.	75	As req'd.	As req'd.	25
Disk	35	28	75	None	45	25

Tabla 16.12: Parámetros característicos de cada filtro [41]

A continuación hay que determinar el espesor de la torta, para ello se acude a la Tabla 16.13 y se observa que el valor mínimo de diseño para el espesor de la torta es de 6 mm, pero al ser valor mínimo se va a aumentar este valor un 25% de manera que el espesor de la torta será de 7,5 mm.

**TABLE 18-8 Minimum Cake Thickness for Discharge**

Filter type	Minimum design thickness	
	mm	in
Drum		
Belt	3-5	1/8-3/16
Roll discharge	1	1/32
Std. scraper	6	1/4
Coil	3-5	1/8-3/16
String discharge	6	1/4
Precoat	0-3 mat.	0-1/8 mat.
Horizontal belt	3-5	1/8-3/16
Horizontal table	20	3/4
Tilting pan	20-25	3/4-1
Disk	10-13	3/8-1/2

Tabla 16.13: Espesor de la torta para cada tipo de filtro. [41]

A continuación, es necesario calcular el peso de torta seca por unidad de área y por ciclo,  $W$  en función del espesor de la torta mediante la Figura 16.7. Para el valor de espesor de torta de 7,5 mm se obtiene que:

$$W = 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ ciclo}}$$

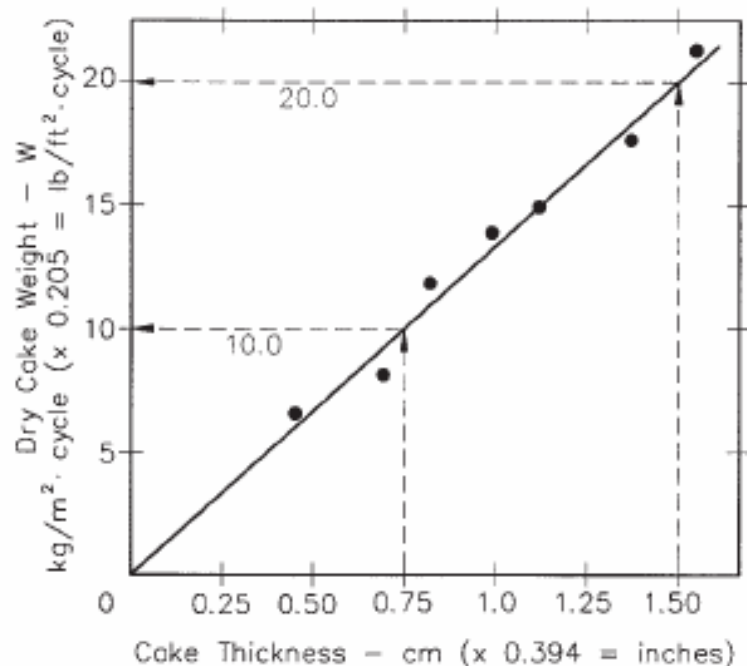
**FIG. 18-98** Dry cake weight vs. cake thickness.

Figura 16.7: Peso de torta seca por unidad de área y por ciclo. [41]



El siguiente cálculo es determinar el tiempo de formación de la torta. A partir de la Figura 16.8 y en función del peso de la torta seca (W), se tiene para el valor de  $W=10 \text{ kg/m}^2$  ciclo que:

$$\theta_f = 0,3 \text{ min}$$

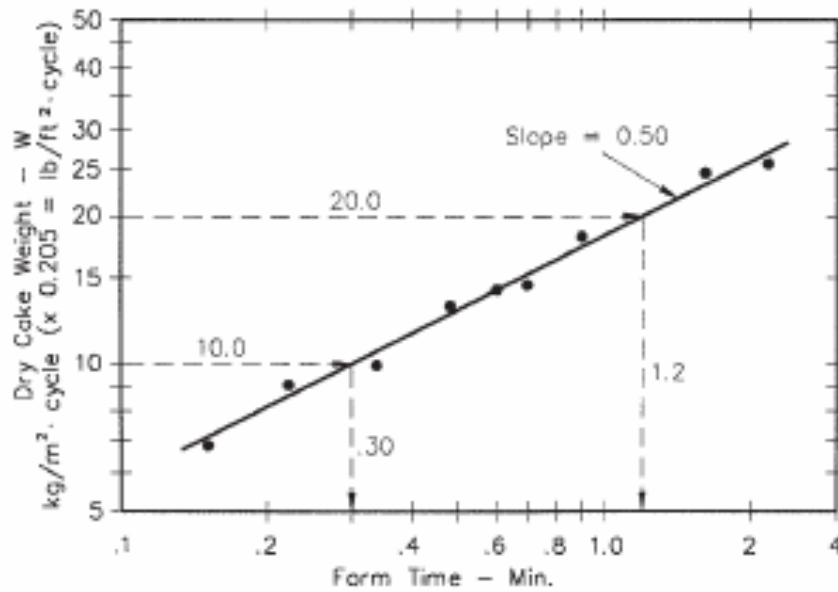


FIG. 18-99 Dry cake weight vs. form time.

Figura 16.8: Tiempo de formación de la torta. [41]

Para calcular el tiempo de secado de la torta es necesario emplear una correlación del contenido en humedad, que se muestra en la Figura 16.9.

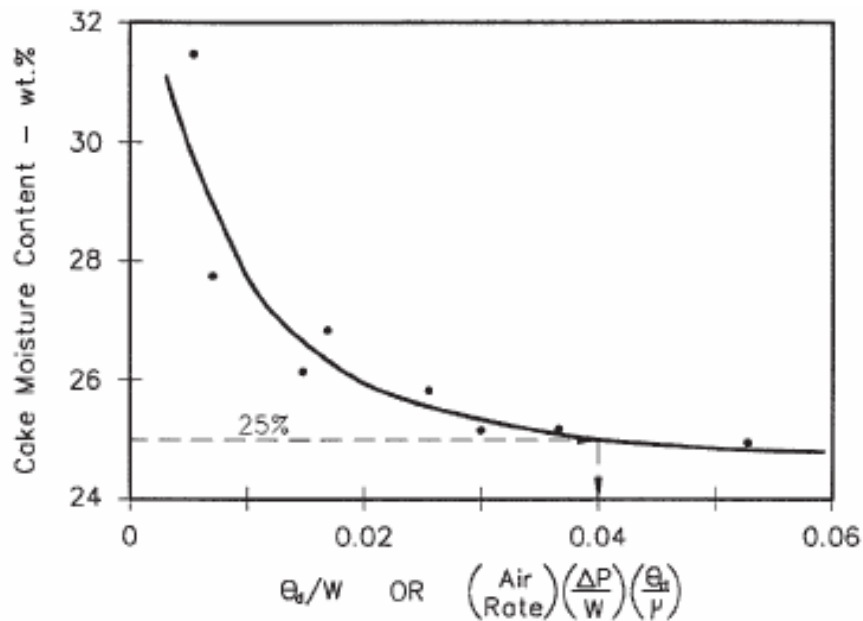


FIG. 18-102 Cake moisture correlation.

Figura 16.9: Tiempo de secado de la torta. [41]

Si se considera que el máximo contenido de humedad de la torta va a ser un 25%, se obtiene:

$$\frac{\theta_d}{W} = 0,04$$

$$\theta_d = 0,04 \times W$$

$$\theta_d = 0,04 \times 10 = 0,4 \text{ min}$$

El tiempo de duración del ciclo (CT) se puede calcular en función del tiempo de secado de la torta o bien del tiempo de formación de la misma. Por ello se van a calcular ambos y se tomará el mayor de los valores:

- 1) Tiempo de duración del ciclo en función del tiempo de formación de la torta. Para calcularlo se tiene en cuenta el porcentaje del tiempo de duración del ciclo que la torta se está formando (Ecuación 16.61), en la Tabla 16.12 es “*max. effective submergence*” y para el filtro rotatorio a vacío de cuchilla estándar es de 30%.

$$CT_{form} = \frac{\theta_f}{\text{max. effective submergence}} \quad [16.61]$$

$$CT_{form} = \frac{0,3 \text{ min}}{0,3} = 1 \text{ min/ ciclo}$$

- 2) Tiempo de duración del ciclo en función del tiempo de secado de la torta. Se necesita conocer el porcentaje del ciclo durante el cual se encuentra secando la torta (Ecuación 16.62), según la Tabla 16.12 es de 50-60%, por tanto se toma el mayor.

$$CT_{dry} = \frac{\theta_d}{\text{max. for dewatering}} \quad [16.62]$$

$$CT_{dry} = \frac{0,4}{0,6} = 0,67 \text{ min/ ciclo}$$

Se va a determinar la duración del ciclo en función del tiempo de formación de la torta, ya que es la etapa que controla todo el proceso. Por tanto, la duración del ciclo será de 1 minuto.

Ya se puede calcular la velocidad de diseño de filtración y será la que se obtenga de aplicar la Ecuación 16.63.

$$\text{Velocidad de filtración} = \frac{W}{CT} \times F \quad [16.63]$$

$$\text{Velocidad de filtración} = \frac{10}{1 \text{ min}} \times 0,752 \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 451,2 \frac{\text{kg}}{\text{h m}^2}$$

Por último, se puede determinar el área teniendo en cuenta el caudal de filtración de 2535,08 kg/h.

$$\text{Área de filtración} = \frac{2535,08 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{451,2 \frac{\text{kg}}{\text{h m}^2}} = 5,62 \text{m}^2$$

## 16.6 ANEXO 6: CÁLCULOS DE LA COLUMNA DE INTERCAMBIO IÓNICO

### 16.6.1 Selección de la solución regenerante

Las recomendaciones del fabricante de la resina de intercambio iónico son emplear una solución básica. Las recomendadas son NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub>OH todas entre 2 y 4%.

Para decidir la solución que se va a emplear en la regeneración se acude a un catálogo de productos químicos [42], en el que se comprueba que el Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> no lo suministran en grandes volúmenes en solución comercial. Por ello, se decide finalmente NaOH de la que se pueden disponer de una gran variedad de soluciones, entre las que puede observarse las de la Tabla 16.14.

	Nº identificación	Concentración (N)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Cantidad (l)	Precio (€)
NaOH	109137	1	1,05	25	170
	109136	2	1,09	25	315
	109141	0,1	1,00	25	285

Tabla 16.14: Soluciones de NaOH.

La solución elegida será la de menor coste, ya que su concentración 1N está dentro del rango recomendado por el fabricante, con lo que no es necesario realizar dilución.

$$1N(\text{NaOH}) = 1 \frac{\text{mol NaOH}}{\text{l disolución}} \times \frac{10^{-3} \text{ l disolución}}{1,05 \text{ g disolución}} \times \frac{40,01 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} \times 100 = 3,81\% \text{ NaOH}$$

### 16.6.2 Cálculo del volumen de resina necesario

El objetivo es retirar el 5% de ácido sulfúrico contenido en los 2,368 m<sup>3</sup> de la corriente producto del reactor. Así, la cantidad de ácido será:

$$2,368m^3 \times \frac{988,8kg}{1m^3} = 2341,5kg \text{ disolución.}$$

Si se considera la densidad de una disolución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5% [12] como la densidad de la corriente producto del reactor y se tiene en cuenta que la concentración es de un 5% de ácido.

$$kg H_2SO_4 = 0,05 \times 2341,5kg \text{ disolución} = 117,1kg H_2SO_4$$

Por tanto los equivalentes de ácido sulfúrico serán:

$$117,1 kg H_2SO_4 \times \frac{1kmol H_2SO_4}{98kg H_2SO_4} \times \frac{2 \times 10^3 \text{ equivalentes } H_2SO_4}{1kmol H_2SO_4} = 2389,3 \text{ equivalentes } H_2SO_4$$

En el Anexo 10 se muestra el catálogo con las características de la resina, y se observa que su capacidad de neutralización del ácido es de 1,55 equivalentes por cada litro de resina. A partir de la capacidad se obtiene el volumen de resina necesario:

$$2389,3 \text{ equivalentes} \times \frac{1l}{1,55 \text{ equivalentes}} \times \frac{1m^3}{1000l} = 1,541 m^3 \text{ resina}$$

### 16.6.3 Diseño de la columna de intercambio iónico

Una vez calculado el volumen de resina es necesario determinar las dimensiones de la columna que va a soportar este lecho.

A partir del volumen de resina necesario se va a determinar las dimensiones de la columna. Por tanto, conocido el volumen de resina, se parte de un área transversal de 1m<sup>2</sup> para determinar la altura de la columna:

$$S = \pi R^2 \quad V = S h \quad h = \frac{V}{S} \quad [16.64]$$

donde:

S: es el área transversal del lecho de resina en  $m^2$

R: es el radio del lecho de resina, y de la columna de intercambio en m

V: es el volumen de resina en  $m^3$ .

H: es la altura del lecho de resina en m

$\phi$ : es el diámetro del lecho y columna de resina en m

Usando la Ecuación 16.64 se obtiene la altura.

$$h = \frac{1,541m^3}{1m^2} = 1,541m$$

$$R = \sqrt{\frac{1m^2}{\pi}} = 0,56m$$

$$\phi = 1,13m$$

Debido a que las resinas sufren un hinchamiento al entrar en contacto con agua, fenómeno conocido como “*swelling*”, es necesario que la columna tenga una mayor longitud. De no ser así la resina podría salirse de la misma. En las características de la resina proporcionada por el fabricante (ver Anexo 10), se indica que el aumento de volumen que sufre la resina es del 50%, con lo que la longitud de la columna deberá ser un 50% superior a la longitud del lecho de resina (ver ecuación 16.65).

$$H \geq 1,5 \times h \quad [16.65]$$

$$H \geq 1,5 \times 1,54m \geq 2,312m$$

siendo H la altura mínima de la columna de intercambio iónico en m.

Por tanto, las dimensiones de la columna serán:

$$\phi = 1,13m$$

$$H = 3m$$

Para que las dimensiones sean estándares se diseñará la columna con 1 metro de diámetro y 3 metros de altura:

$$\phi = 1m \quad H = 3m$$

#### 16.6.4 Determinación de los caudales de operación de disolución y de regenerante

En el Anexo 10, el fabricante ofrece los caudales de disolución máximos que pueden circular a través de la columna, tanto de alimentación, como de regenerante en función del volumen de resina.

– Para la columna, la disolución a tratar:

$$Q_{d,máximo} = 1,5 \frac{gpm}{ft^3} \times 54,44 ft^3 (1,54m^3) = 81,654 gpm$$

$$Q_{d,máximo} = 81,654 gpm \times \frac{3,7853 l}{1 galón} \times \frac{60 min}{1 h} \times \frac{1 m^3}{1000 l} = 18,54 m^3 / h$$

– Para la solución de regenerante:

$$Q_r = 1,0 \frac{gpm}{ft^3} \times 54,44 ft^3 (1,54m^3) = 54,44 gpm$$

$$Q_r = 54,44 gpm \times \frac{3,7853 l}{1 galón} \times \frac{60 min}{1 h} \times \frac{1 m^3}{1000 l} = 12,36 m^3 / h$$

Con este caudal de regenerante, según las condiciones que indica el fabricante (ver Anexo 10), el tiempo de regeneración se calcula a continuación:

Teniendo en cuenta que se necesitan 5 lb/ft<sup>3</sup> de resina,

$$5 \frac{lb}{ft^3} \times 54,44 ft^3 \times \frac{0,4536 kg}{1 lb} = 123,5 kg NaOH al 4\%.$$

$$123,5 kg \times \frac{1 l}{1,05 kg} \times \frac{1 m^3}{1000 l} = 0,1176 m^3$$

y considerando la densidad de la solución de NaOH al 4% que es 1,05 g/ml. Por tanto, se necesitan 118 litros de NaOH al 4% para la columna por lote del reactor. Además, como el caudal es de 4,12 m<sup>3</sup>/h, se obtiene:

$$0,1176 m^3 \times \frac{1 h}{12,36 m^3} = 0,0095 h = 34,25 s$$

### 16.6.5 Cálculo de la caída de presión a través de la columna de intercambio iónico.

Para calcular la caída de presión a lo largo de la columna de intercambio iónico se va a emplear el método analítico, para lo cual es necesario realizar previamente una serie de suposiciones:

- El relleno es uniforme en todo el lecho.
- Los efectos de pared son despreciables, ya que el diámetro y la altura de la columna son grandes en comparación con el diámetro de las partículas.
- El diámetro de la columna es constante.
- Las partículas se distribuyen al azar.
- La longitud del camino que recorre el fluido es la longitud del lecho.

Una vez que se cumplen las suposiciones, como ocurre en este caso, es preciso conocer el régimen de circulación del fluido porque si es laminar se emplea una ecuación y si es turbulento otra, dichas Ecuaciones son 16.66, 16.67 y 16.68.

$$v = \frac{\Delta P}{\mu L} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \frac{D_p^2}{150} \quad \text{Ecuación de Blake - Kozeny} \quad [16.66]$$

Esta ecuación es válida para  $\varepsilon < 0,5$  y número de Reynolds menor de 10, es decir para régimen laminar.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = 3,5 \frac{L}{D_p} \frac{v^2}{2g} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \quad \text{Ecuación de Burke - Plummer} \quad [16.67]$$

Válida para régimen turbulento, es decir para valores del número de Reynolds mayores de 1000.

Existe otra ecuación que también proporciona buenas estimaciones, que es la ecuación de Ergún, y será la que se emplee:

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{v \mu (1-\varepsilon)^2}{D_p^2 \varepsilon^3} + 1,75 \frac{v^2 \rho (1-\varepsilon)}{D_p \varepsilon^3} \quad \text{Ecuación de Ergún} \quad [16.68]$$

Para estas ecuaciones:

$\Delta P$ : es la caída de presión

$\mu$ : es la viscosidad del fluido a la temperatura de operación

$L$ : es la longitud del lecho



$\varepsilon$  : es la porosidad del lecho

$D_p$ : es el diámetro de partícula

$v$ : es la velocidad del fluido

$\rho$ : es la densidad del fluido a la temperatura de operación

$g$  : es la aceleración de la gravedad

Todas las variables se expresan en unidades del SI.

Por tanto, el primer paso será calcular el número de Reynolds, que en el caso de flujo de fluidos a través de lechos porosos se calcula mediante la Ecuación 16.69:

$$\text{Re} = \frac{\rho v D_p}{\mu} \left( \frac{1}{1 - \varepsilon} \right) \quad [16.69]$$

Teniendo en cuenta que el caudal se divide en partes iguales entre las tres columnas, y que la sección de cada columna es la misma, y se calculó previamente:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{2,368 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600s}}{0,785 m^2} = 8,4 \cdot 10^{-4} m/s$$

Se toman las propiedades del fluido como agua a 50°C [39]. El tamaño de partículas se calcula haciendo una media promediada de acuerdo con el porcentaje de cada tamaño que ofrece el fabricante (ver Anexo 10).

$$\text{Re} = \frac{989 \times 8,410^{-4} \times 745,510^{-6}}{5,84 \cdot 10^{-4}} \left( \frac{1}{1 - 0,4} \right) = 1,77 < 10$$

Por tanto, es posible aplicar la Ecuación de Ergun o la ecuación de Blake-Kozeny. En este caso se utilizará la primera debido a que es la más empleada para calcular caídas de presión en sistemas similares al utilizado en este proyecto:

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{v \mu (1 - \varepsilon)^2}{D_p^2 \varepsilon^3} + 1,75 \frac{v^2 \rho (1 - \varepsilon)}{D_p \varepsilon^3} \quad \text{Ecuación de Ergún}$$

$$\Delta P = 150 \frac{8,410^{-4} \times 5,84 \cdot 10^{-4} \times 2,312 (1 - 0,4)^2}{(745,5 \cdot 10^{-6})^2} \frac{1}{0,4^3} + 1,75 \frac{(8,4 \cdot 10^{-4})^2 \times 989 \times 2,312 (1 - 0,4)}{745,5 \cdot 10^{-6}} \frac{1}{0,4^3}$$

$$\Delta P = 1757,4 \frac{N}{m^2}$$

Como se puede comprobar debido a que la velocidad de flujo es baja, la caída de presión es despreciable.

## 16.7 ANEXO 7: CÁLCULOS EVAPORADOR

### 16.7.1 Introducción

Para resolver el diseño del evaporador, es necesario aplicar los conceptos generales de transmisión de calor.

La cantidad de calor que se trasmite desde el vapor condensante hasta la solución a concentrar viene dada por la Ecuación 16.70.

$$Q = U A \Delta t \quad [16.70]$$

donde:

Q: es el calor transmitido, kcal/h.

U: es el coeficiente global de transmisión de calor, kcal/hm<sup>2</sup>°C.

A: es la superficie de evaporación, m<sup>2</sup>.

Δt: es la diferencia de temperaturas entre la cámara de calefacción y la cámara de evaporación, °C.

### 16.7.2 Balances en el evaporador

Para llevar a cabo el cálculo, se va a considerar que no existe elevación del punto de ebullición, ya que la concentración inicial de glucosa es baja.

El evaporador de múltiples efectos se va a calcular a partir de cada efecto considerándolos evaporadores simples. El balance de materia en un evaporador simple será el que se muestra a continuación:

$$\text{Balance global} \quad F = S + E$$

$$\text{Balance al líquido} \quad F(1 - x_f) = S(1 - x_s) + E$$

$$\text{Balance a la glucosa} \quad F x_f = S x_s$$

En la Figura 16.10 se muestra un esquema del evaporador de simple efecto.

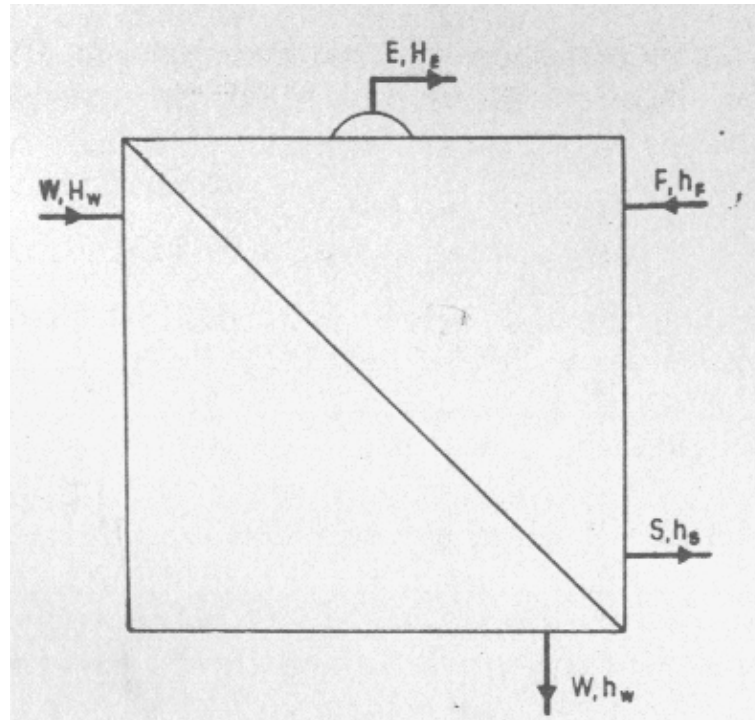


Figura 16.10: Esquema de un evaporador simple.

En el caso que nos ocupa, el balance nos queda como se indica en la Tabla 16.15.

BALANCE DE MATERIA	TOTAL	SOLUTO	LÍQUIDO
Solución diluida	F	Fxf	F(1-Xf)
Solución concentrada	S	SXs	S(1-Xs)
Disolvente evaporado	E	-	E

Tabla 16.15: Planteamiento del balance de materia al evaporador

Teniendo en cuenta los datos iniciales que muestra la Tabla 16.16, la resolución de dicho balance se obtiene en la Tabla 16.17.

DATOS INICIALES	
Caudal de alimentación (kg/h)	2224,4
Concentración inicial de glucosa (%)	0,0365
Concentración final de glucosa (%)	30,34
Temperatura de la alimentación (°C)	50,00
Presión vapor calefacción (bar)	6,00
Temperatura del vapor de calefacción (°C)	158,84

Tabla 16.16: Datos iniciales

BALANCE DE MATERIA	TOTAL	SOLUTO	LÍQUIDO
Solución diluida	<b>2224,40</b>	<b>81,28</b>	<b>2143,12</b>
Solución concentrada	<b>267,90</b>	<b>81,28</b>	<b>186,62</b>
Disolvente evaporado	<b>1956,50</b>	-	<b>1956,50</b>

Tabla 16.17: Solución del balance de materia en el evaporador

A continuación, es necesario realizar el balance entálpico, el cual se muestra en la Ecuación 16.71:

$$W H_w + F h_F = W h_w + E H_E + S h_S + q \text{ (pérdidas)} \quad [16.71]$$

Para resolverlo se va a considerar que tanto las pérdidas de calor como el calor de dilución son despreciables, calculándose de esa forma las entalpías a partir de los calores específicos. Para ello es preciso tomar una temperatura de referencia.

Si el vapor condensado abandona la cámara a la temperatura de condensación se obtiene la Ecuación 16.72:

$$W \lambda_w + F h_F = E H_E + S h_S \quad [16.72]$$

Tomando como temperatura de referencia la temperatura del líquido concentrado, que es la misma que la del disolvente evaporado, la entalpía de la corriente de líquido concentrado se anula, y  $H_E$  será igual al calor latente de vaporización de la disolución a la temperatura  $t_S$  y obtenemos la Ecuación 16.73:

$$W \lambda_w = E \lambda_S - F C_p (t_F - t_S) \quad [16.73]$$

En este proyecto se diseña un evaporador de 3 efectos, por tanto hay que plantear 3 balances de energía, uno por efecto, además del balance de materia de la Ecuación 16.74:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 \quad [16.74]$$

Para resolver el múltiple efecto se va a partir de la suposición de que las áreas son iguales para todos los efectos. Así, se supone que la cantidad de calor que se intercambia en cada efecto es la misma, lo que equivale a distribuir la diferencia útil de temperaturas entre todos los efectos de modo inverso a los coeficientes globales de transmisión de calor, siguiendo las Ecuaciones 16.75 y 16.76.

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{U_2}{U_1}, \frac{\Delta t_2}{\Delta t_3} = \frac{U_3}{U_2} \quad [16.75]$$

$$\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = \Delta t \quad [16.76]$$

La diferencia útil de temperaturas es la diferencia de la temperatura de condensación del vapor vivo (efecto1) y la temperatura de condensación del vapor procedente del último efecto, ya que se ha considerado que no hay elevación en el punto de ebullición.

Para continuar es necesario establecer la presión en el último efecto que será tal que la temperatura de ebullición sea de 50°C.

Los coeficientes de transmisión de calor no se conocen, puesto que no se conocen las características del equipo.

Un análisis de la bibliografía relevante [43] permite conocer que para tubos largos U oscila entre 1000 y 3000 kcal/m<sup>2</sup>h°C. En este mismo sentido la referencia [20] proporciona los valores para un triple efecto en el que el último efecto opera a una temperatura de 50°C, estos son:

$$U_1 = 2200 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ \text{C}}; U_2 = 1800 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ \text{C}}; U_3 = 1500 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ \text{C}}$$

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones se calculan los valores de los calores latentes en cada efecto (Tabla 16.18). Si además se considera la capacidad calorífica del agua como 1 kcal/kg °C de acuerdo con el esquema del proceso de evaporación (Figura 6.4), se deducen las ecuaciones para cada efecto (Tabla 16.19).

	t(°C)	$\lambda$ (kcal/kg)	$h_{liq}$	Hvap
Vapor al efecto 1	158,84	497,88	160,09	657,97
$\Delta t_1$	29,50			
Ebullición en 1 y calefacción a 2	129,34	519,36	129,73	649,09
$\Delta t_2$	36,06			
Ebullición en 2 y calefacción a 3	93,27	543,07	93,27	636,34
$\Delta t_3$	43,27			
Ebullición en 3 y vapor al condensador	50,00	569,05	49,95	619,00
Alimentación	50			

Tabla 16.18: Calores latentes y temperaturas en cada efecto

BALANCE ENERGÍA	ECUACIÓN
EFEECTO 1	$497,88W=519,36E_1-(2224,40)(50-129,34)$
EFEECTO 2	$519,36E_1=543,07E_2-(2224,40-E_1)(129,34-93,27)$
EFEECTO 3	$543,07E_2=569,05E_3-(2224,40-E_1-E_2)(93,27-50)$
DEL BM	$E_1+E_2+E_3=1956,50$

Tabla 16.19: Balance en cada efecto.

Se trata de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas, con lo que es posible resolver el sistema de ecuaciones, cuyos resultados se muestran en la Tabla 16.20.

SOLUCIÓN (kg/h)	
W	951,28
$E_1$	581,71
$E_2$	665,42
$E_3$	709,35

Tabla 16.20: Valores de cada corriente.

Una vez calculados los valores de las corrientes, se puede calcular el área de intercambio de calor requerida en cada efecto (Tabla 16.21). Como se puede comprobar no se cumple la suposición de igualdad de

área en cada uno de los efectos. Por tanto es necesario volver a calcular los balances, ya que se deben cambiar las diferencias útiles de temperatura en cada efecto. Para ello se calcula un valor medio del área de intercambio de calor según la Ecuación 16.77:

$$A_m = \frac{\sum \frac{q}{U}}{\Delta t} \quad [16.77]$$

EFEECTO	CALOR TRANSMITIDO EN CADA EFECTO(Kcal)	Área resultante(m <sup>2</sup> )
1	473623,29	7,297
2	302116,91	4,654
3	361369,64	5,567

Tabla 16.21: Valores del área en cada efecto.

A partir de este valor es posible determinar los nuevos valores de las diferencias útiles de temperatura en cada efecto siguiendo las Ecuaciones [16.78]:

$$\Delta t'_1 = \frac{q/U_1}{A_m}; \Delta t'_2 = \frac{q/U_2}{A_m}; \Delta t'_3 = \frac{q/U_3}{A_m} \quad [16.78]$$

Siguiendo el mismo procedimiento, se obtienen los nuevos valores de los calores latentes (Tabla 16.22) y de forma análoga a la anterior se recalculan los valores de las corrientes y finalmente el área en cada efecto (Tablas 16.23, 16.24 y 16.25).

<b>A<sub>m</sub>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>5,73</b>
<b>Δt1'(°C)</b>	<b>37,55</b>
<b>Δt2'(°C)</b>	<b>29,27</b>
<b>Δt3'(°C)</b>	<b>42,02</b>

Tabla 16.22: Valor medio de área y diferencias útiles de temperatura en cada efecto.



	t(°C)	$\lambda$ (kcal/kg)	$h_{liq}$	Hvap
Vapor al efecto 1	158,84	497,88	160,09	657,97
$\Delta t_1$	37,55			
Ebullición en 1 y calefacción a 2	121,29	524,85	121,59	646,44
$\Delta t_2$	29,27			
Ebullición en 2 y calefacción a 3	92,02	543,86	92,01	635,87
$\Delta t_3$	42,02			
Ebullición en 3 y vapor al condensador	50,00	569,05	49,95	619,00
Alimentación	50			

Tabla 16.23: Calores latentes y temperaturas en cada efecto.

BALANCE ENERGÍA	ECUACIÓN	SOLUCIÓN	
EFEECTO 1	$497,88W=524,85E_1-(2224,4)(50-121,29)$	W	943,96
EFEECTO 2	$524,85E_1=543,86E_2-(2224,4-E_1)(121,29-92,02)$	E1	593,32
EFEECTO 3	$543,86E_2=569,05E_3-(2224,4-E_1-E_2)(92,02-50)$	E2	660,36
DEL BM	$E_1+E_2+E_3=1956,5$	E3	701,81

Tabla 16.24: : Balance en cada efecto y solución de cada corriente.

EFEECTO	CALOR TRANSMITIDO EN CADA EFECTO(Kcal)	Área resultante(m <sup>2</sup> )
1	469978,80	5,689
2	311404,00	5,910
3	359143,39	5,698
Valor medio del área de cada efecto (m <sup>2</sup> )		5,766

Tabla 16.25: Valores de calor transmitido y área en cada efecto.

## 16.8 ANEXO 8: DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS

### 16.8.1 Cálculo del diámetro de cada línea

#### 1) Depósito ácido sulfúrico al 5%- reactor

Esta línea va a conducir un caudal de 2,368 m<sup>3</sup>/h. Se va a considerar como temperatura del fluido 25°C. Las condiciones de diseño serán:

- T<sub>D</sub>: 25°C+20°C=45°C
- P<sub>D</sub>= 5 bar + 20%=6 bar

Para determinar el diámetro de la tubería se tendrá en cuenta el caudal, y se fijará una velocidad para el fluido de 1 m/s que es la velocidad típica de los líquidos.[50]

$$Q = v S$$

siendo:

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

v: velocidad del líquido (m/s)

S :sección de paso del fluido (m<sup>2</sup>)

Por tanto:

$$S = \frac{Q}{v}$$

$$S = \frac{2,368 \text{ m}^3/\text{h} \times 1\text{h}/3600\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 6,58 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4\pi}{S}} = \sqrt{\frac{4\pi}{6,58 \cdot 10^{-4}}} = 0,029 \text{ m} = 28,95 \text{ mm} = 1,139''$$

Tras la consulta de la Tabla de diámetros de tuberías y espesores según ASME/ANSI B36.10/19 para tuberías de aceros al carbono, inoxidables y aleaciones, se selecciona la tubería de diámetro nominal 1".

### 16.8.2 Cálculo del espesor de tubería

El espesor mínimo de diseño vendrá dado por la Ecuación 16.80.

$$t_{\min} = \frac{P_D D_o}{2(S E + Y P_D)} \quad [16.80]$$

donde:

$P_D$ : es la presión de diseño ( $lb/in^2$ )

$D_o$ : es el diámetro exterior de la tubería (in)

$S$ : es la tensión máxima admisible del material a la temperatura de diseño.

$E$ : es el factor de calidad de la soldadura, para tuberías sin costura  $E=1$ .

$Y$ : es un factor que depende de la temperatura y cuyo valor es de 0,4 hasta temperaturas de 700°F.

En la Tabla 16.3 se muestran los valores de la tensión máxima admisible para los materiales en función de la temperatura. En el caso del acero inoxidable Alloy 20 se han representado gráficamente y se ha calculado la ecuación que más se ajusta a los datos de la Tabla para determinar así el valor de esta a la temperatura requerida, (ver Figura 16.11). A 45°C el valor corresponde con 22500 psi.

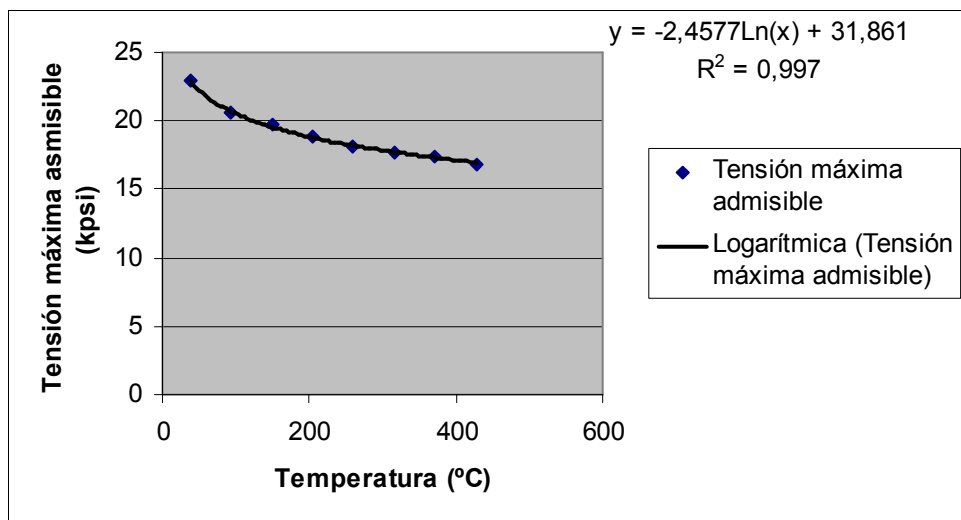


Figura 16.11: Gráfico Tensión Máxima admisible para Alloy20.

$$t = \frac{87,02 (lb / in^2) 1,315in}{2(22500 \times 1 + 0,4 \times 87,02)} = 0,0025''$$

A este valor de espesor es necesario sumarle la corrosión admisible, que para aceros inoxidables es de 1,5 mm (0,06"), y añadirle el 12,5% de la tolerancia de fabricación.

En el caso concreto de la línea que va a 150°C se va a considerar un valor de corrosión de 3 mm, debido a que a temperatura elevada el fenómeno de corrosión es más importante. Así, el valor se calcula mediante la ecuación 16.81.

$$t = (t_{\min} + c)1,125 \quad [16.81]$$

$$t = (0,0025 + 0,06)1,125 = 0,070''$$

Considerando este valor de espesor se consulta la tabla y se estima que el *schedule* para la tubería de 1" de diámetro nominal es 10, que corresponde a un espesor de 0,109".

El *schedule* es una denominación comercial del espesor que se rige por la norma ANSI B36.10 con el objeto de unificar las dimensiones de tuberías. Con todas las líneas se procederá de la misma forma, los resultados obtenidos se encuentran en las tablas 16.26, 16.27 y 16.28.

Línea	Temperatura de diseño (°C)	Presión de diseño (bar)	Material	Tensión máxima admisible (S)
1.Depósito ácido-reactor	45	6	Acero inoxidable Alloy 20	22500
2.Reactor-Intercambiador	170	6	Acero inoxidable Alloy 20	19200
3.Intercambiador-filtro	70	4,8	Acero inoxidable Alloy 20	21400
4.Filtro-Columna intercambio iónico	70	3,6	Acero inoxidable Alloy 20	21400
5.Columna intercambio iónico-Evaporador	70	3,6	Acero al carbono ASTM A106 grado B	15000

Tabla 16.26: Características de cada línea de tubería de la planta piloto. (1)

Línea	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Velocidad supuesta (m/s)	Diámetro calculado (in)	Espesor mínimo (in)
1. Depósito ácido-reactor	2,368	1	1,139	0,07
2. Reactor-Intercambiador	3,9168	1	1,465	0,145
3. Intercambiador-filtro	3,9168	1	1,465	0,07
4. Filtro-Columna intercambio iónico	2,368	1	1,139	0,07
5. Columna intercambio iónico-Evaporador	2,25	1	1,11	0,07

Tabla 16.27: Características de cada línea de tubería de la planta piloto. (2)

Línea	Diámetro nominal (in)	Schedule	Diámetro exterior (in)	Espesor (in)	Diámetro interior (in)	Velocidad (m/s)
1. Depósito ácido-reactor	1	10S	1,315	0,109	1,097	1,08
2. Reactor-Intercambiador	1,5	40S	1,900	0,145	1,610	0,83
3. Intercambiador-filtro	1,25	10S	1,66	0,109	1,442	1,03
4. Filtro-Columna intercambio iónico	1	10S	1,315	0,109	1,097	1,08
5. Columna intercambio iónico-Evaporador	1	40	1,315	0,133	1,049	1,12

Tabla 16.28: Características de cada línea de tubería de la planta piloto. (3)

### 16.8.3 Cálculo de la caída de presión

El balance de energía aplicado entre dos puntos de fluidos compresibles viene dado por la Ecuación 16.82:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} + h_f + \frac{\Delta v^2}{2g} + \Delta z = W \quad [16.82]$$

Donde:

$W$ : es el trabajo que hay que suministrar al fluido

$\Delta z$ : es la variación de altura que experimenta el fluido

$h_f$ : son las pérdidas de energía por fricción

$\Delta v$ : es la variación de velocidad entre ambos puntos

$\Delta P$ : es la variación de presión

$\rho$ : es la densidad del fluido

$g$ : es la aceleración de la gravedad

Todas las variables se expresan en unidades del SI.

Las pérdidas de energía mecánica debido a la fricción del fluido a su paso a través de la tubería se calculan mediante la Ecuación de Fanning (Ecuación 16.83):

$$h_f = (4f) \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad [16.83]$$

donde:

$4f$ : es el factor de fricción de Darcy

$L$ : es la longitud de la tubería en metros

$D$ : es el diámetro interior de la tubería en metros

$v$ : es la velocidad del fluido en m/s

$g$ : es la aceleración de la gravedad en  $m/s^2$ .

El factor de fricción de Darcy se calcula mediante la Figura 16.12 del Anexo 1 en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería, que depende del material de construcción y se estima empleando la Figura 16.13 que de la misma forma se encuentra en el Anexo 1.

Para poder determinar la caída de presión debido a la presencia de accesorios en la tubería tales como válvulas, codos, ensanchamientos bruscos, reducciones bruscas se va a emplear el concepto de longitud equivalente. Dicha longitud equivalente hace referencia a la longitud de tubería recta de igual diámetro que el accesorio, que produciría una pérdida de carga igual a la del accesorio. De esta manera, se considera al accesorio como si fuera un tramo de tubería, siendo la expresión a utilizar la Ecuación 16.84:

$$h_f = (4f) \frac{L_{equiv}}{D} \frac{v^2}{2g} \quad [16.84]$$

donde  $L_{equiv}$  es la longitud de tubería de igual diámetro que produciría la misma pérdida de carga que el accesorio.

La longitud equivalente se calcula mediante el nomograma de la Figura 16.14 del Anexo 1, a partir del diámetro interior de la tubería.

Por tanto, en un sistema con distintos accesorios las pérdidas globales vendrán dadas por las Ecuaciones 16.85 y 16.86:

$$h_f = h_{f,conducción} + \sum h_{f,accesorios} \quad [16.85]$$

$$h_f = (4f) \frac{L + \sum L_{equiv}}{D} \frac{v^2}{2g} \quad [16.86]$$

El procedimiento para calcular la pérdida de carga en cada línea de tubería de la planta piloto es el siguiente:

- 1) A partir del nomograma (Figura 16.14), conocido el diámetro interior, el número y tipo de accesorios de cada tramo de tubería se determina la longitud equivalente de cada accesorio.
- 2) A partir del punto anterior, se determina la longitud total que es suma de la longitud de tubería y de la longitud equivalente de todos los accesorios.
- 3) Conocidos los datos de diámetro interior y velocidad (calculados en el punto anterior) se determina el Número de Reynolds.
- 4) Con el material y el diámetro de la tubería se determina la rugosidad relativa haciendo uso de la Figura 16.13.
- 5) Conocidas la rugosidad relativa y el Número de Reynolds se estimará el factor de fricción de Darcy  $4f$ , haciendo uso de la gráfica de Moody, Figura 16.12.
- 6) Al disponer del valor del factor de fricción y de la longitud total, se calcula la pérdida de presión por fricción debido al paso del fluido por la tubería.

En la Tabla 16.29 se muestran los accesorios de cada tramo y la longitud equivalente de cada uno de ellos, mientras la pérdida de carga calculada puede observarse en la Tabla 16.30.

1.Depósito ácido-reactor		Longitud equivalente (m)	
Accesorio	Unidades	Unidad	Total
Válvula bloqueo	2	0,183	0,366
Válvula control	1	8	8
Codo largo 90°	4	0,35	1,4
Tubería (m)		11	
Total (m)		20,766	

<b>2.Reactor-Intercambiador</b>		<b>Longitud equivalente (m)</b>	
<b>Accesorio</b>	<b>Unidades</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Válvula bloqueo	3	0,29	0,87
Válvula control	1	11,8	11,8
Codo largo 90°	1	0,9	0,9
T	1	2,44	2,44
Reducción 1/4	1	0,76	0,76
Reducción 3/4	1	0,29	0,29
Ensanchamiento brusco 1/4	1	1,34	1,34
Tubería (m)	20		
Total (m)	38,4		
<b>3.Intercambiador-filtro</b>		<b>Longitud equivalente (m)</b>	
<b>Accesorio</b>	<b>Unidades</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Válvula bloqueo	2	0,24	0,48
Válvula control	0	11,8	0
Codo largo 90°	1	0,8	0,8
T	0	2,44	0
Reducción 1/4	1	0,6	0,6
Tubería (m)	4,5		
Total (m)	6,38		
<b>4.Filtro-Columna intercambio iónico</b>		<b>Longitud equivalente (m)</b>	
<b>Accesorio</b>	<b>Unidades</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Válvula bloqueo	2	0,183	0,366
Válvula control	0	11,8	0
Codo largo 90°	3	0,35	1,05
T	0	2,44	0
Ensanchamiento brusco 1/4	1	0,84	0,84
Tubería (m)	6,6		
Total (m)	8,856		
<b>5.Columna intercambio iónico-Evaporador</b>		<b>Longitud equivalente (m)</b>	
<b>Accesorio</b>	<b>Unidades</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Válvula bloqueo	2	0,183	0,366
Válvula control	1	9,144	9,144
Codo largo 90°	4	0,35	1,4
T	0	2,44	0
Reducción 1/4	1	0,4	0,4
Tubería (m)	10,6		
Total (m)	21,91		

Tabla 16.29: Longitudes equivalentes de los accesorios de cada tramos de tubería.



Línea	Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (in)	Velocidad (m/s)	Longitud total	Re	Rugosidad relativa	4f	hf
1.Depósito ácido-reactor	1	1,097	1,08	20,766	5,30E+04	0,0018	0,026	1,15
2.Reactor-Intercambiador	1,5	1,610	0,83	38,4	1,60E+05	0,0011	0,021	0,69
3.Intercambiador-filtro	1,25	1,442	1,03	6,38	6,30E+04	0,0011	0,024	0,23
4.Filtro-Columna intercambio iónico	1	1,097	1,08	8,856	4,40E+04	0,0018	0,026	0,49
5.Columna intercambio iónico-Evaporador	1	1,049	1,12	21,91	5,30E+04	0,0018	0,026	1,37

Tabla 16.30: Pérdida de carga debido a la fricción en las tuberías.

## 16.8.4 Diseño de las bombas

### 16.8.4.1 Bomba 1 para llevar el ácido sulfúrico al reactor.

Para calcular la bomba 1 es preciso realizar un balance de energía entre dos puntos:

- Punto 1: salida del depósito, justo en la entrada de la conducción.
- Punto 2: final de la conducción en la entrada al reactor.

La expresión del citado balance es la Ecuación 16.87:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} + h_f + \frac{\Delta v^2}{2g} + \Delta z = W \quad [16.87]$$

Donde:

$W$ : es el trabajo que hay que suministrar al fluido

$\Delta z$ : es la diferencia de altura que experimenta el fluido entre el punto 1 y 2.

$h_f$ : son las pérdidas de energía por fricción entre los puntos 1 y 2

$\Delta v$ : es la diferencia de velocidad entre ambos puntos

$\Delta P$ : es la diferencia de presión entre los puntos 1 y 2.

$\rho$ : es la densidad del fluido

$g$ : es la aceleración de la gravedad

(todas las magnitudes se expresan en unidades del SI.

Si se desglosa para cada punto se tiene la Ecuación 16.88:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_f + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + z_2 - z_1 = W_{1 \rightarrow 2} \quad [16.88]$$

Bomba 1	
Presión 1(atm)	1,4
Presión 2 (atm)	5
Velocidad 1 (m/s)	1,08
Velocidad 2 (m/s)	1,08
Altura 1 (m)	0
Altura 2 (m)	4
Pérdida por fricción (m)	1,15

Tabla 16.31: Valores para el cálculo de la bomba 1.

Todos los valores necesarios para realizar los cálculos se muestran en la Tabla 16.31. Sustituyendo en la Ecuación 16.88 se obtiene:

$$\frac{506625 - 141855}{1019,2 \times 9,81} + 1,15 + 0 + (4 - 0) = W_{1 \rightarrow 2}$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = 41,63 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que la diferencia de velocidad es cero puesto que se ha tomado ambos puntos en la misma conducción, y que la presión en el punto 1 es la presión atmosférica más la debida a una altura de 4 metros de líquido que contiene el depósito, se concluye que la potencia de bombeo que es preciso suministrar al fluido es:

$$W_{\text{absorbida}} = \rho Q g W = 1019,2 \times 6,58 \cdot 10^{-4} \times 9,81 \times 41,63 = 274 \text{ W}$$

Si se consideran las pérdidas de potencia que se producen en la propia bomba, resulta necesario disponer de una bomba con una potencia superior.

Un aspecto muy importante en el diseño de bombas es la llamada Altura Neta de Succión Positiva (ANSP), que es la máxima altura a la cual se puede colocar la bomba. Si se colocase a mayor altura, la bomba cavitaria.

Para calcular la ANSP se vuelve a realizar un balance entre los puntos 1 y 2, considerando la presión en 2 como la presión de vapor del líquido. Así, la diferencia de altura es la ANSP, resultando la ecuación 16.89.

$$ANSP = \frac{P_1 - P^v}{\rho g} - h_f - \frac{\Delta v^2}{2g} \quad [16.89]$$

para realizar el citado cálculo se va a considerar la presión de vapor del agua pura a 40°C que sería la máxima temperatura que podría alcanzar el fluido en verano. De este modo y teniendo en cuenta la Tabla 16.6:

$$ANSP = \frac{141855 - 7374,64}{1019,2 \times 9,81} - 1,15 - 0 = 12,29 \text{ m}$$

Por tanto la bomba se deberá colocar por debajo de 12 metros de altura.

#### 16.8.4.2 Bomba 2 para la descarga del reactor

Para calcular la bomba 2 es preciso realizar un balance entre los puntos 1 y 2:

- Punto 1: Superficie de líquido del reactor
- Punto 2: Tubería a la entrada del intercambiador

En la Tabla 16.32 se muestran los valores necesarios para realizar el cálculo de la bomba 2.

<b>Bomba 2</b>	
Presión 1 (atm)	1
Presión 2 (atm)	2,5
Velocidad 1 (m/s)	0,83
Velocidad 2 (m/s)	0,83
Altura 1 (m)	3,1
Altura 2 (m)	0
Pérdida por fricción (m)	0,69

Tabla 16.32: Valores para el cálculo de la bomba 2.

En este caso el valor de la presión de vapor para determinar la ANSP se ha tomado a 60°C, para considerar los efectos de un posible fallo en el enfriamiento del reactor.

#### 16.8.4.3 Bomba 3 para llevar el fluido desde el filtro hasta la entrada del evaporador

Para llevar el fluido desde el filtro en el que se encuentra a presión atmosférica, hasta la entrada del evaporador que opera a 2,7 kg/cm<sup>2</sup> se precisa una bomba. En este caso los puntos que se van a estudiar son:

- Punto 1: Conducción a la salida del filtro.
- Punto 2: Conducción de entrada al evaporador.

En la Tabla 16.33 se muestran los valores necesarios para el cálculo de la bomba 3.

<b>Bomba 3</b>	
Presión 1(atm)	1
Presión 2 (atm)	2,7
Velocidad 1 (m/s)	1,08
Velocidad 2 (m/s)	1,12
Altura 1 (m)	0
Altura 2 (m)	5,1
Pérdida por fricción (m)	2,04

Tabla 16.33: Valores para el cálculo de la bomba 3.

En este caso concreto se ha tomado la presión de vapor a 50°C que será la máxima temperatura a la que circulará el fluido.

A modo de resumen en la Tabla 16.34 se muestran los resultados calculados para cada una de las bombas.

	<b>Bomba 1</b>	<b>Bomba 2</b>	<b>Bomba 3</b>
<b>Potencia absorbida fluido (m)</b>	41,63	13,3	24,0
<b>Potencia absorbida fluido (W)</b>	274	140,4	153,18
<b>ANSP (m)</b>	12,29	7,66	9,23


Tabla 16.34: Resultados obtenidos para cada una de las bombas

## 16.9 ANEXO 9: FICHAS DE SEGURIDAD DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS


### Fichas Internacionales de Seguridad Química

#### **HIDROXIDO DE SODIO**

**ICSC:  
0360**

			
<p>HIDROXIDO DE SODIO Hidróxido sódico Sosa cáustica Sosa NaOH Masa molecular: 40.0</p>			
N°	CAS	1310-73-2	
N°	RTECS	WB4900000	
N°	ICSC	0360	
N°	NU	1823	
N° CE 011-002-00-6			


TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar el suficiente calor para producir la ignición de sustancias combustibles.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
<b>EXPLOSION</b>			
<b>EXPOSICION</b>		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
<input type="checkbox"/> <b>INHALACION</b>	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado,

			respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
<input type="checkbox"/> PIEL	Corrosivo. Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
<input type="checkbox"/> OJOS	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
<input type="checkbox"/> INGESTION	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.	No comer, ni beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.
<b>DERRAMAS Y FUGAS</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>	
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente adecuado, eliminar el residuo con agua abundante. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de ácidos fuertes, metales, alimentos y piensos, materiales combustibles. Mantener en lugar seco y bien cerrado (véanse Notas).	 <p>No transportar con alimentos y piensos.          Símbolo C          R: 35          S: (1/2-)26-37/39-45          Clasificación de Peligros          NU: 8          Grupo de Envasado NU: II</p>	
<b>VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE</b>			
<b>ICSC: 0360</b>	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994		

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

**HIDROXIDO DE SODIO****ICSC:  
0360**

<b>D A T O S</b>	<b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Sólido blanco, deliquescente en diversas formas e inodoro.	<b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.
	<b>PELIGROS FISICOS</b>	<b>RIESGO DE INHALACION</b> La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.
	<b>PELIGROS QUIMICOS</b> La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva en	

<b>I M P O R T A N T E S</b>	<p>ambientes húmedos para metales tales como cinc, aluminio, estaño y plomo originando hidrógeno (combustible y explosivo). Ataca a algunas formas de plástico, de caucho y de recubrimientos. Absorbe rápidamente dióxido de carbono y agua del aire. Puede generar calor en contacto con la humedad o el agua.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV: 2 mg/m<sup>3</sup> (valor techo) (ACGIH 1992-1993). PDK no establecido. MAK: clase G</p>	<p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p>
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	<p>Punto de ebullición: 1390°C Punto de fusión: 318°C Densidad relativa (agua = 1): 2.1</p>	<p>Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 Presión de vapor, kPa a 739°C: 0.13</p>
<b>DATOS AMBIENTALES</b>	 <p>Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.</p>	
<b>NOTAS</b>		
<p>El valor límite de exposición laboral aplicable no debe superarse en ningún momento de la exposición en el trabajo. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Almacenar en una área que disponga de un suelo de hormigón, resistente a la corrosión.</p> <p>Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-121 Código NFPA: H 3; F 0; R 1;</p>		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
FISQ: 3-134 HIDROXIDO DE SODIO		
<b>ICSC: 0360</b>	<b>HIDROXIDO DE SODIO</b>	
© CCE, IPCS, 1994		
<b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b>	<p>Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).</p>	




# IPCS Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ICSC: 0362

**ACIDO SULFURICO**

ACIDO SULFURICO Aceite de vitriolo $H_2SO_4$  Masa molecular: 98.1 CAS: 7664-93-9 RTECS: WS5600000 ICSC: 0362 NU: 1830 CE: 016-020-00-8			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	LUCHA CONTRA INCENDIOS/ PRIMEROS AUXILIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible (véanse Notas).	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSION</b>	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores y agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua, pero NO en contacto directo con agua.
<b>EXPOSICION</b>		¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS

		DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	CASOS!
<b>Inhalación</b>	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
<b>Piel</b>	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras cutáneas graves.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
<b>Ojos</b>	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto, si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
<b>Ingestión</b>	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, vómitos, colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante, NO provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.
<b>DERRAMES Y FUGAS</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>	

<p>Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables, NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. (Protección personal adicional: traje de protección completa, incluyendo equipo autónomo de respiración).</p>	<p>Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes y alimentos y piensos (véanse Notas). Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable (véanse Notas).</p>	<p>No transportar con alimentos y piensos. Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II CE: C R: 35 S: (1/2-)26-30-45</p>
--	--	---

**VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE**

**ICSC: 0362** Preparada en colaboración entre el IPCS y la CCE. © CCE, IPCS, 1991. Versión española traducida y editada por el INSHT

**Fichas Internacionales de Seguridad Química**

**ACIDO SULFURICO** **ICSC: 0362**

<p><b>D A T O S  I M P O R T A N T E</b></p>	<p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Líquido higroscópico, incoloro, aceitoso e inodoro.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b> Por combustión, formación de humos tóxicos de óxidos de azufre. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentar se forman humos (o gases) irritantes y tóxicos (óxido de azufre).</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV (como TWA): 1 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 3 mg/m<sup>3</sup></p>	<p><b>RIESGO DE INHALACION</b> La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales.</p>
--	---	---

	(ACGIH 1993-1994).  <b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	Punto de ebullición (se descompone): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1.8 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4
<b>DATOS AMBIENTALES</b>	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.
<b>NOTAS</b>	
<p>INCENDIO/PELIGROS: Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. Desprende humos (o gases) tóxicos e irritantes en caso de incendio.</p> <p>Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se ven agravados por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua lentamente.</p> <p>Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.</p> <p>ENVASADO Y ETIQUETADO: Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado.</p> <p>Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-10B Código NFPA: H 3; F 0; R 2; W</p>	
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>	
<b>ACIDO SULFURICO</b>	<b>ICSC: 0362</b>
<b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b>	Ni la CCE ni el 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 (CEE 67/548) y sus adaptaciones. Las frases de riesgo específico (frases R) y los consejos de prudencia (frases S) no

traspuestas a 31 de Mayo de 1992 a la normativa española están marcadas (\*).

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

**DIVINILBENCENO (MEZCLA DE ISOMEROS)**

**ICSC:  
0885**

### **DIVINILBENCENO (MEZCLA DE ISOMEROS)**

**Vinilestireno**

**DVB**

**$C_{10}H_{10}/C_6H_4(CH=CH_2)_2$**

**Masa molecular: 130.20**

N° CAS 1321-74-0

N° RTECS CZ9370000

N° ICSC 0885

<b>TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION</b>	<b>PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS</b>	<b>PREVENCION</b>	<b>PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>
<b>INCENDIO</b>	Combustible. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Evitar llama abierta.	AFFF, espuma, polvos, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSION</b>	Por encima de 57°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 57°C, sistema cerrado, ventilación.	
<b>EXPOSICION</b>			

• <b>INHALACION</b>	Tos, dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.
• <b>PIEL</b>	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
• <b>OJOS</b>	Enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• <b>INGESTION</b>		No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, reposo y someter a atención médica.

<b>DERRAMAS Y FUGAS</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>
Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos de metal, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.	Separado de oxidantes; mantener en lugar frío; mantener en la oscuridad; bajo gas inerte. Almacenar solamente si está estabilizado.	
<b>VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE</b>		
<b>ICSC: 0885</b>	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

**DIVINILBENCENO (MEZCLA DE****ICSC: 0885**

**ISOMEROS)**

<b>D A T O S I M P O R T A N T E S</b>	<b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Líquido incoloro, con olor característico.	<b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación de su vapor.
	<b>PELIGROS FISICOS</b>  <b>PELIGROS QUIMICOS</b> La sustancia puede polimerizarse debido al calentamiento intenso con peligro de incendio o explosión. Reacciona violentamente con oxidantes.	<b>RIESGO DE INHALACION</b> No puede indicarse la velocidad a la que se alcanza una concentración nociva en el aire en la evaporación de esta sustancia a 20°C.
	<b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV (como TWA): 10 ppm; 53 mg/m <sup>3</sup> (ACGIH 1990-1991)	<b>EFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia irrita los ojos y la piel. El vapor de esta sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. Por deglución puede pasar también a los pulmones con riesgo de neumonitis química.  <b>EFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis (véanse Notas).
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	Punto de ebullición: 195°C Punto de fusión: -66.9 - -52°C Densidad relativa (agua = 1): 0.9 Solubilidad en agua: Ninguna Presión de vapor, Pa a 32.7°C: 133	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4.48 Punto de inflamación: 57°C (o.c.)°C Temperatura de autoignición: 500°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.1-6.2 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 3.59 (estimado)
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
<b>NOTAS</b>		
La forma comercial de divinilbenceno contiene las tres formas isoméricas, pero predomina la forma isómera meta. Los datos disponibles sobre los efectos de esta sustancia sobre la salud humana son insuficientes, por consiguiente debe procederse con sumo cuidado. Los estabilizadores o inhibidores añadidos pueden influir sobre las propiedades toxicológicas de esta sustancia; consultar a un experto. Nombres comerciales: DVB-22, DVB-55.  Código NFPA: H 2; F 2; R 2;		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
FISQ: 1-101 DIVINILBENCENO (MEZCLA DE ISOMEROS)		

**ICSC: 0885**

**DIVINILBENCENO (MEZCLA DE ISOMEROS)**

© CCE, IPCS, 1994



## 16.10 ANEXO 10: CATÁLOGOS DE EQUIPOS

### 16.10.1 Catálogo del filtro



#### Rotary Drum Filter



GL&V/Dorr-Oliver 8 x 10 ft. Drum Filter with Belt Discharge

## Features

### The GL&V/Dorr-Oliver drum

Manufactured to exacting tolerances to give you maximum efficiency during cake formation, washing, drying, and cake discharge. The piping arrangement assures a smooth even flow of liquid and air. This results in maximum vacuum at the working surface of the drum, which in turn produces higher filtering rates. The filtrate piping design is tailored to meet the specific needs. The drum is fitted with standardized drainage grids of polypropylene or heavy 5-mesh wire screen depending on the application. Precise machining of internal fly rims, drum heads, openings and flanges for the trunnions assures concentricity.

### Non-lubricated torsion bearing

A unique feature of the GL&V/Dorr-Oliver agitator is the rubber torsion bearing. Because it does not require lubrication, it prevents possible contamination of the slurry with lubricant, a common problem. Torsion bearings last much longer and require less attention.

Our specially designed agitator is exceptionally strong. Its boxed construction virtually eliminates twisting and flexing, thus lengthening the useful life of the equipment. The long swing gives plenty of rake overlap to prevent cake build-up on the tank bottom. Our method of torsion bearing pin mounting permits the agitator to remain in line with the filter drum at all times, thereby eliminating the danger of drive and agitator damage during installation, maintenance, or replacement work.

### Three-point suspension valve

The heart of our filter is the automatic filter valve. Our exclusive valve has many features which can be translated into higher production and lower maintenance cost to the owner:

- Three point external support eliminates troublesome center pin.
- Streamlined contour for high filtering rates and low wear.
- One inch thick wear plate, which can be resurfaced several times, instead of the "throw-away" type.
- Single or double outlets to fit specific needs.

## GL&V/Dorr-Oliver drum filter technical data

DRUM DIA. ft.	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
A	710"	910"	1110"	1310"	1510"	1710"	1910"	2110"	2310"	2510"	2710"	307"	327"	347"	367"	387"	407"
B	Drain on drum. $\phi$																
V	Valve can be located on either or both ends. See dia. table for projection.																

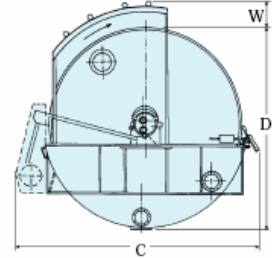
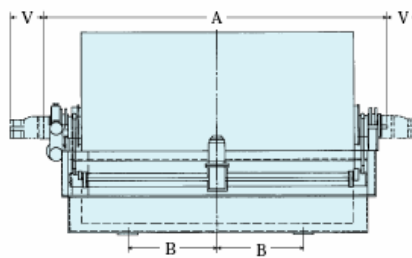
DIA. ft.	6	8	10	12	13	13'-6"
C	84"	104"	124"	144"	170"	176"
D	610"	810"	1010"	1210"	140"	146"

DIA. ft.	6	8	10	12	13	13'-6"
V	15"	17"	17"	17"	21"	21"
W	Add approx. 12" all dia.					

DIA. ft.	TOTAL FILTER AREA — SQ. FT.																
	Length In Feet																
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
6	75	113	151	188	226												
8		200	250	300	350	400											
10			310	372	434	496	558	620									
12				456	532	608	684	760	836	912							
13									817	899	980	1061	1143	1225	1306	1388	
13'-6"									848	933	1018	1103	1188	1272	1357	1442	1527

DIA. ft.	APPROXIMATE OPERATING WEIGHT - LBS.																
	Length In Feet																
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
6	7400	8900	10300	11700	13100												
8			2080	2300	24100	26250	2830										
10				24100	2930	3500	40250	4570	51000								
12					3700	4030	4370	4700	5030	5360	5700						
13									68000	72500	77000	82000	84300	88300	92900	98300	
13'-6"									78400	83300	88300	93300	97800	102400	107200	113000	118300

\* Assume contents of 62.4 lbs./cu. ft. and 35% drum submergence



### Worm/Gear filter drive

Our filter drive consists of an enclosed variable speed reducer and a ruggedly constructed worm and worm gear. This is a big maintenance saver compared to the chain drive found on many filters. There are no chains to tighten or replace.

Other drives available:

- Shaft mounted drive
- Right angle drive

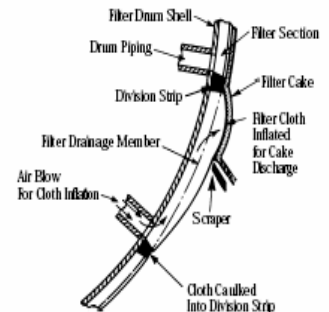
### Accessories and auxiliaries

A complete line of accessories and auxiliaries are readily available from GL&V/Dorr-Oliver for use with the vacuum rotary drum filter such as:

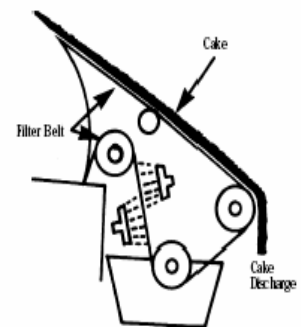
- Wash Arrangements
- Hoods
- Repulpers
- Receivers, Moisture Traps and Condensers
- Pumps

## Choices of Cake Discharge

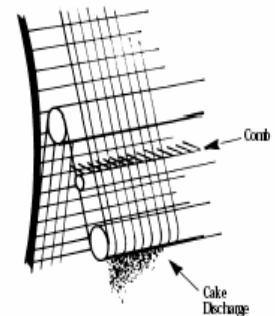
The Scraper discharge is the simplest and most versatile method of discharging the cake. The scraper system is counter-weighted to provide a free-floating contact with the cloth. It pivots at both ends and is easily adjusted accurately for the desired clearance. Just prior to cake discharge, a short burst of compressed air is applied which billows the cloth so it deflects around the scraper, releasing the cake and helping to remove the solids from the cloth pores.



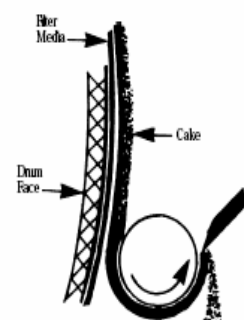
The Belt discharge is especially useful when the cake is sticky, tends to blind or contains fine suspended solids. With this method the cloth is continuously washed from both sides to eliminate blinding. The filter cloth is taken off the drum surface and passes over a cake breaker roll to remove the cake. The key to productive belt filter performance is the belt itself. Our belt is manufactured to the highest quality standards. Furthermore, the special patented GL&V/Dor-Oliver edge-guide system provides gentle cloth adherence over a wide gripping area rather than point contact, which causes the cloth to tear.



The String discharge is used efficiently for gelatinous slurries or fibrous cakes which form mats. A series of parallel strings run on top of the filter cloth. In the cake discharge zone, the strings leave the drum carrying filter cake with it. The strings then pass around a system of rolls, discharging the cake before returning to the drum. A "comb" between the rolls removes any cake not released at the discharge roll and ensures uniform spacing of the strings.



The Roll discharge is used for very finely divided solids, such as pigments or other thin, sticky cakes. These types of cakes were once dewatered by batch filter presses. Now the roll discharge enables them to be handled continuously. A roller with the axis parallel with the drum serves as discharge medium. The surface speed of the discharge roll is synchronized with the drum. The sticky cake transfers from filter drum to the roll and then is scraped off the roll. A small heel forms on the roll which makes the cake pick-up easier.



16.10.2 Catálogo del intercambiador de calor

**BASCO®  
WHITLOCK®  
HUB-DESIGN  
HEAT  
EXCHANGERS**



**API Heat Transfer**

*...world leaders in heat transfer technology*



**Basco/Whitlock Type AHT**

**API Heat Transfer**

All 316 Stainless Steel, Straight Tube, Fixed Tube Sheet



Basco/Whitlock Type AHT Stainless Steel Heat Exchangers are available from 2" thru 12" in diameter and up to 96" long.

**High Efficiency - Low Cost**

Type AHT heat exchangers feature all 316 Stainless Steel shell construction. They are especially suited for applications involving corrosive vapors and liquids and offers high strength and thermal efficiency. Available in fixed or removable U-tube designs. Models available with ASME Code Stamp.

**Product Nomenclature**

Size...  
**5 - Y - 14**  
 Shell Tube Tube  
 Dia. OD Length  
 Type...  
**AHT - 1 - A - SS**  
 Core Tube Baffle Bonnet  
 Assy Pass Space Matl

**Materials of Construction**

Shell ..... 316 Stainless Steel  
 Tubes ..... 316 Stainless Steel  
 Tube Sheet ..... 316 Stainless Steel  
 Bonnets ..... Cast 316 Stainless Steel  
                                     Cast Iron, Cast Bronze  
 Baffles ..... 316 Stainless Steel  
 Bolting ..... Alloy Steel  
 Gaskets ..... Compressed Fiber  
 Brackets ..... Steel

**Standard Ratings**

**Design Pressure** Std Units 10" & 12"  
 Shell Side ..... 240 psi ..... 150 psi  
 Tube Side ..... 200 psi ..... 150 psi  
**Design Temp** ..... 400°F ..... 400°F  
**Test Pressure**  
 Shell Side ..... 360 psi, 2,482 kPa  
 Tube Side ..... 300 psi, 2,068 kPa

**Common Specifications...**

Type AHT Heat Exchangers									
Model	Shell Dia.	Tube Length	Surface			Connection Size			
			1/4"	3/8"	5/8"	Shell	1-Pass	2-Pass	4-Pass
2-8	2-1/8"	8	1.3			3/4	3/4	N/A	N/A
2-12		12	2.0						
2-18		18	3.0						
2-24		24	4.0						
3-8	3-1/8"	8	2.8	1.8		1	1-1/2	1	3/4
3-12		12	4.1	2.8					
3-14		14	4.9	3.2					
3-18		18	6.2	4.1					
3-24		24	8.4	5.5					
3-30		30	10.4	6.9					
4-12	4-1/8"	12	7.6	5.1		1-1/2	2	1-1/4	1
4-14		14	8.8	5.9					
4-18		18	11.4	7.6					
4-24		24	15.2	10.2					
4-30		30	19.0	12.7					
4-36		36	22.8	15.3					
5-12	5-1/8"	12	12.0	8.2		1-1/2	2-1/2	1-1/2	1
5-14		14	14.1	9.6					
5-18		18	18.1	12.4					
5-24		24	24.1	16.5					
5-36		36	36.2	24.7					
6-18		6-1/8"	18	27.9	18.3				
6-24	24		37.2	24.4	11.8				
6-36	36		55.8	36.5	17.7				
6-48	48		74.4	48.7	23.6				
6-60	60		93.0	60.8	29.4				
8-24	8-1/8"		24	62.4	42.4	24.8	3	4	2-1/2
8-36		36	93.5	63.6	37.3				
8-48		48	124.7	84.8	49.7				
8-72		72	187.1	127.2	74.6				
8-96		96	249.4	169.6	99.5				
10-36		10-3/4"	36	103.7	54.9				
10-48	48		138.3	73.3					
10-60	60		172.8	91.6					
10-72	72		207.4	109.9					
12-36	36		155.5	90.3					
12-48	12-3/4"	48	207.4	120.4		4	6	3	2-1/2
12-60		60	259.2	150.5					
12-72		72	311.1	180.6					

### 16.10.3 Catálogo de la resina de intercambio iónico.

#### Application Information



## DOWEX M-43 Ion Exchange Resin

### Corrosion Control with DOWEX M-43 Ion Exchange Resin

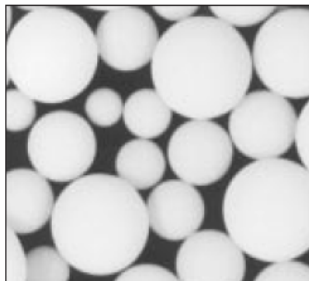
**Corrosion Cost** – Corrosion is a common concern in modern industrial facilities. Whether it is a brand new plant or an aging facility, making equipment last is a top priority. Computers and electronic systems are no less sensitive to corrosive acid vapors. The cost and expense of corrosion can come in many forms, from lost production to unneeded repairs and maintenance to premature replacement of equipment.

Many facilities deal with corrosion by neutralization with base. Precision neutralization is not always easy. The right amount of base must be added so as not to overshoot or undershoot the target. In addition, the neutralized salts stay in the process stream contributing to sludge and other disposal costs.

#### **Can you remove acid from a process stream without changing the stream?**

DOWEX\* M-43 anion exchange resin acts like an acid absorber. This is because it is an immobilized base. The base is attached to a tough styrenic plastic bead (Figure 1) that is stable to concentrated acids and bases and insoluble in organic solvents. DOWEX M-43 works by completely removing the acid from the solution, neutralizing the acids. Nothing is released back into the solution that will make a sludge or change the process stream.

Figure 1. DOWEX M-43 resin.



\*Trademark of The Dow Chemical Company

DOWEX Ion Exchange Resins

#### Typical Properties of DOWEX M-43

Structure	Macroporous styrenic plastic beads
Density	40 lbs/cubic foot (0.64 g/cc)
Temperature Limit	150°F Maximum
pH Range	0-14 Effective range
Capacity	1.55 equ/l (Minimum)
Moisture	40-50%

With an acid absorbing capacity of >1.55 equivalents of acid per liter of the resin, more than 8.8 lbs of HCl can be removed by 100 lbs of M-43.

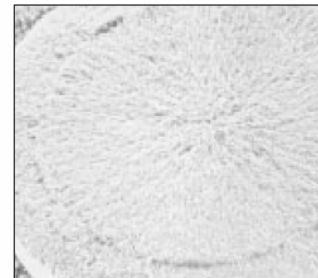
DOWEX M-43 resin is a versatile acid absorber, removing both mineral and organic acids. Acids that are successfully removed include HCl, HBr, HF, HI, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, acetic, formic, propionic, and benzoic acid to name only a few.

DOWEX M-43 can be conveniently regenerated by washing the resin with a number of base solutions. The base neutralizes the absorbed acids, converting them to their acid salts to be washed out of the plastic matrix. Excess base is washed away in preparation for the next cycle of use. DOWEX M-43 has been used and regenerated over hundreds of operating cycles with good success.

#### Examples

**Mineral acids** – Corrosive acids such as hydrochloric and sulfuric acid can be removed from process water with DOWEX M-43 resin. In some batch applications the resin is added directly to the process water and simply removed by filtration. Typically fixed beds are equipped with a 70 mesh screen to contain the beads. The process water is pumped through the resin at 5 to 10 bed volumes per hour until its acid removal capacity is exhausted. DOWEX M-43 can be regenerated with a number of bases such as NaOH, NH<sub>4</sub>OH or Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Excess base is washed off of the resin in preparation for the next cycle.

Figure 2. Cross section of macroporous ion exchange resin.



**Organic acids** – Formic acid can be removed from formaldehyde with DOWEX M-43. The resin is confined in a packed bed and the formaldehyde is passed through the resin at 4 to 6 bed volumes per hour until the acid removal capacity is exhausted. At this point, the resin is washed with water to remove the formaldehyde then regenerated with 3 to 5 lbs. of NaOH (2 to 4% concentration) per cubic foot of the resin. Excess base is washed from the resin with water in preparation for another operating cycle.

**Non-Aqueous Streams** – Organic acids and inorganic acids can also be removed from organic solvents. In this case, it may be desirable to dry the DOWEX M-43 to improve the interaction of the solvent with the plastic and eliminate the addition of water to the process stream. The resin can be dried with warm air or by washing with a dry, compatible solvent such as an alcohol or ketone. DOWEX M-43 functions in the same way to remove acids without leaving a counter ion to contaminate the product stream. The exhausted resin can be regenerated with base in a solvent such as methanol so that water is not needed in the process.

**Controlling Acid Vapor** – DOWEX M-43 resin is also effective in removing acids from air. It has a porous surface to allow complete use of all of the media (Figure 2). The beads can be incorporated into a

## DOWEX Ion Exchange Resins

For more information about DOWEX resins, call Dow Liquid Separations business:  
 North America ..... 1-800-447-4369  
 Latin America ..... (+55) 11-5188-9277  
 Europe ..... (+31) 20-691-6268  
 Japan ..... (+81) 3-5460-2100  
 Australia ..... (+61) 2-9776-3226  
<http://www.dow.com/liquidseps>

filter, placed between two screens or held in an open tray. Because the adsorbent is made of tough, round plastic spheres, it can be used in a fluidized bed to remove acids from an air stream. Just like liquid applications, DOWEX M-43 can be regenerated with base and used over and over again.

### DOWEX M-43 Resin

- Tough plastic beads
- Insoluble in acid, base or solvent
- High capacity for acid removal
- Easily regenerated
- Removes corrosives from liquids or air
- Works on solvents or water
- Won't contribute to sludge build-up

### Drying DOWEX M-43

DOWEX M-43 can be dried by washing it with a sufficient volume of a dry, compatible solvent such as an alcohol or ketone. The dry solvent extracts the water and dehydrates the M-43 prior to use.

An alternative drying method is to place the M-43 in a vented oven at 100°C for a sufficient time to dry the M-43 to the level of moisture desired.

Typical Operating Cycle	
Service Flow Rates	
Operating - 36" deep bed (Based on column cross sectional area)	1.5 gpm/ft <sup>3</sup> Maximum 4.5 gpm/ft <sup>2</sup>
Rinse	Follow regenerant at same rate
Regenerant	0.5-1 gpm/ft <sup>3</sup>
Backwash - (50% expansion) Fully exhausted resin - 77°F for other temperatures [Flow = flow at 77°F (1 = 0.008 (T-77))]	Maximum of 3 gpm/ft <sup>2</sup>
Regenerant dosage suggested	
NaOH (as 2-4% NaOH)	3-5 lb/ft <sup>3</sup>
NH <sub>4</sub> OH (as 2-4% NH <sub>4</sub> OH)	2.7-3.6 lb/ft <sup>3</sup>
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (as 2-4% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	4-5.3 lb/ft <sup>3</sup>

The M-43 will slightly deaminate at elevated temperatures with a noticeable odor. Since the nose is very sensitive to amines, a properly vented oven is needed.

Before use, it is often wise to verify the final moisture content of the resin by a Karl-Fisher titration or some similar test.

**Warning:** Oxidizing agents such as nitric acid attack organic ion exchange resins under certain conditions. This could lead to anything from slight resin degradation to a violent exothermic reaction (explosion). Before using strong oxidizing agents, consult sources knowledgeable in handling such materials.

**Notice:** No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.

Published February 1999.



\*Trademark of The Dow Chemical Company

Form No. 177-01773-299XQRP  
CH 171-473-E-299

Tech Fact



## DOWEX Ion Exchange Resins

### Loading Procedure for Single Bed Ion Exchange Vessels

#### Procedure

Single bed ion exchange vessels are those vessels which operate with only one type of resin. Demineralizers and softeners operated in the co-currently regenerated mode should be loaded according to these procedures.

#### 1. Before loading the resins, make a detailed inspection of the empty vessel:

- Remove all debris of previous resins or foreign material.
- Clean up distributors, and inspect all laterals, splash-plates, and nozzles for damage or plugging.
- Inspect the rubber lining for integrity, if present, and perform a spark test, if possible.
- Whenever possible check the pressure loss of the empty vessel at nominal flow rate and observe the flow patterns for uniformity.

#### 2. Loading of the resins:

- Fill vessel with sufficient water (~ 1/3 vessel height) to allow settling and avoid resin damage.
- Load the ion exchange resin by dumping the resin from the top, or by the use of a vacuum eductor.
- Backwash the resins for 30 minutes, according to the manufacturers recommended flow rates.
- *Note: Weak base anion resins should be stored in solution overnight in order to wet-out the resins prior to backwash. Alternatively, if an overnight soak is not feasible, the bed can be operated for one cycle before a backwash is performed. This will allow the resin to be wetted during operation, but care should be taken so that a backwash is not performed on unwetted resin, as resin loss will occur.*
- Close vessel and carry out double regeneration.

#### 3. Start-up operation:

- Start run and monitor rinse down and conductivity.

For packed bed counter-current regeneration systems, the procedure is the same as above with the following modifications:

- The freeboard should be calculated on the basis of the total resin bed height, taking the volume of the resins in the most swollen form. For a strong acid cation, this is the fully regenerated H<sup>+</sup> form, for strong base anions, the fully regenerated OH<sup>-</sup> form and for weak base anions, the exhausted form.
- Add approximately half of the resin and backwash as above.
- Add the floating inert resin and then load the remaining resin on top.



## 16.10.4 Catálogo del evaporador



### Plants for better process efficiency

Seamless integration of all components of a process line, maximises product quality and profitability. Bucher-Guyer Ltd, Foodtech, a specialist in evaporation technology, achieves this integration. The results are simple and clear plant concepts with high operation flexibility.

#### Evaporating clear and cloudy juices

A unique evaporator design optimises liquid distribution and O.P. This maximises performance with either clear or cloudy juices.

#### Optimised temperature profile in the 1<sup>st</sup> effect

Allows complete enzymatic conversion and solubilisation of starch giving optimum filtration performance and end product stability.

#### Controlled Pasteurisation

The integrated pasteurisation stage is controlled for time and temperature to give maximum performance, even under high microbiological loading.

#### Enzyme inactivation

Heat stable enzymes are completely deactivated in the first effect or pre-concentration stage.

#### Aroma recovery with highest yield

Aroma recovery is operated under a low vacuum to increase yield. Recovered aroma is refined by rectification.

#### Single evaporator for multiple applications

Processing clear or cloudy juice with or without aroma recovery. Pasteuriser may be operated independently from evaporator.

#### Minimum installation space

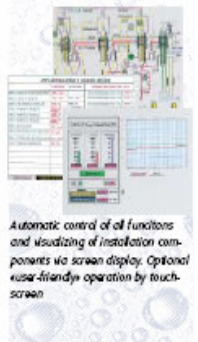
Raw juice feed and concentrate balance tanks are integrated into the body of the evaporator columns to minimise floor space and improve cleaning and plant hygiene. Juice levels are controlled by electronic level sensors.

#### High level of plant automation and performance

Graphic displays provide a user friendly operation. The level of automation and sophistication for the complete line can be designed to meet the needs of the end user.



Liquid distribution system with integrated CIP cleaning nozzles.



Automatic control of all functions and visualizing of installation components via screen display. Optional user-friendly operation by touch-screen

16.11 ANEXO 11: GRÁFICAS DE COSTES

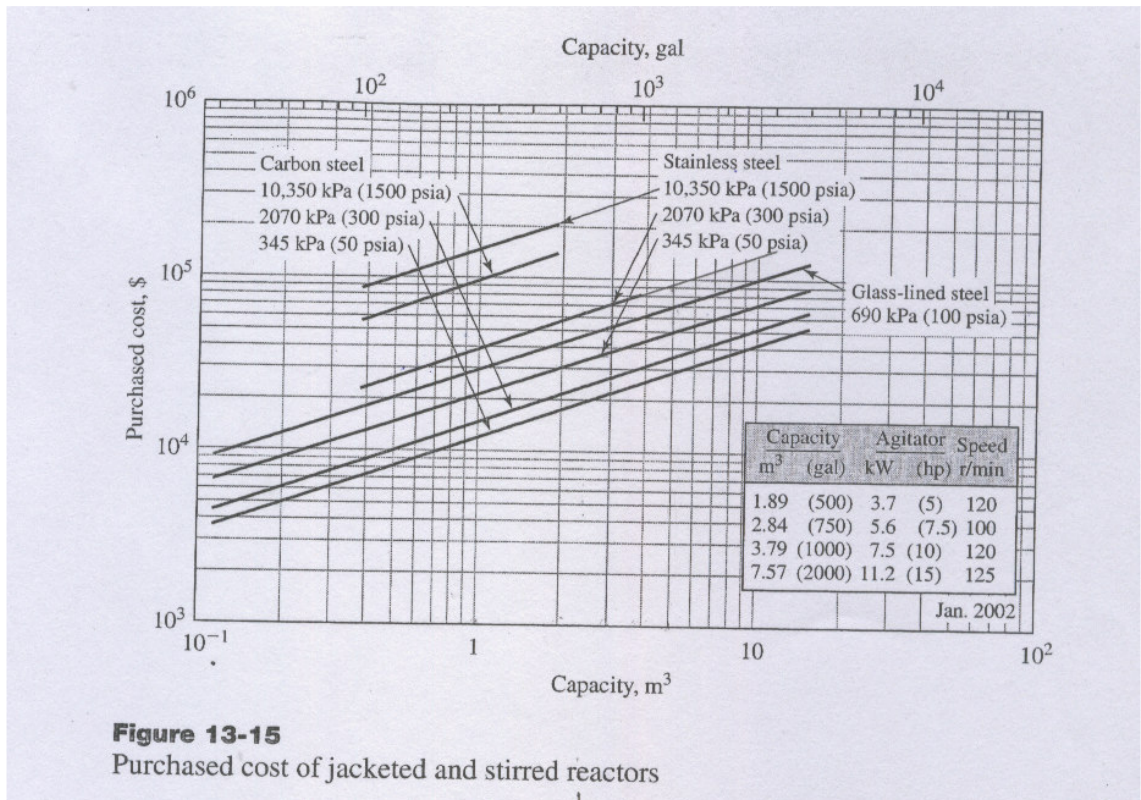


Figura A12.1: Gráfica de coste del reactor encamisado [26]

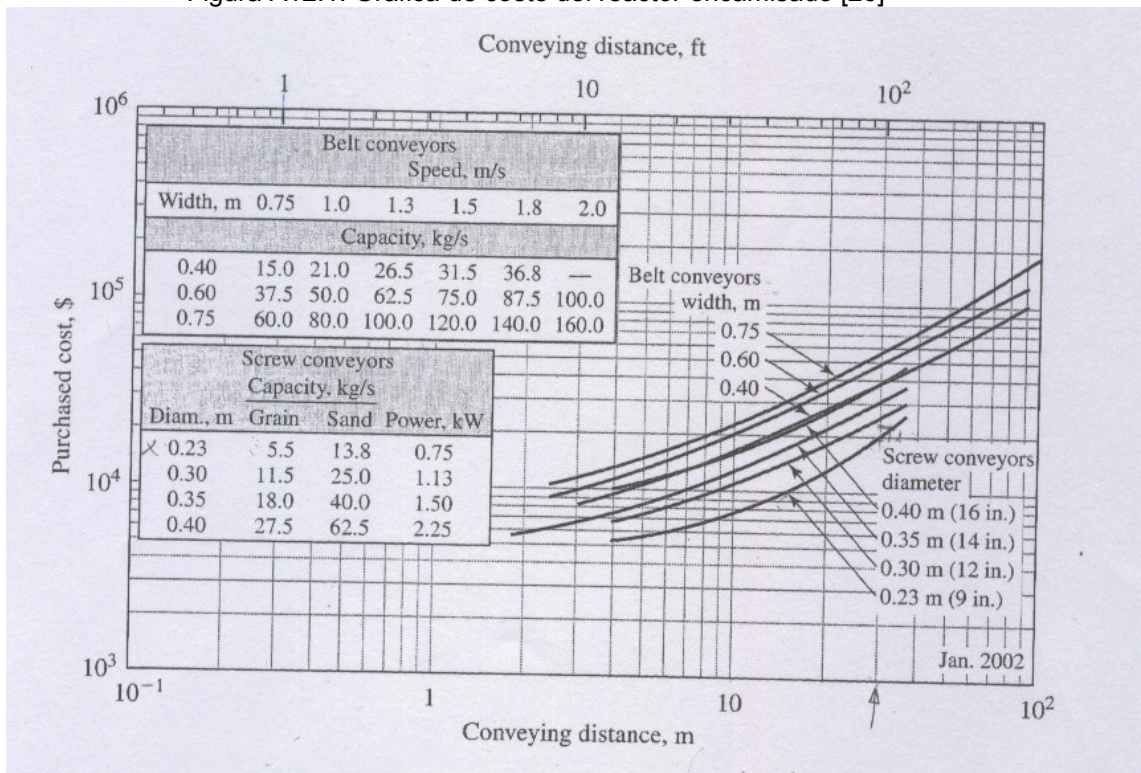


Figura A12.2: Gráfica de costes de tornillo transportador de sólidos. [56]

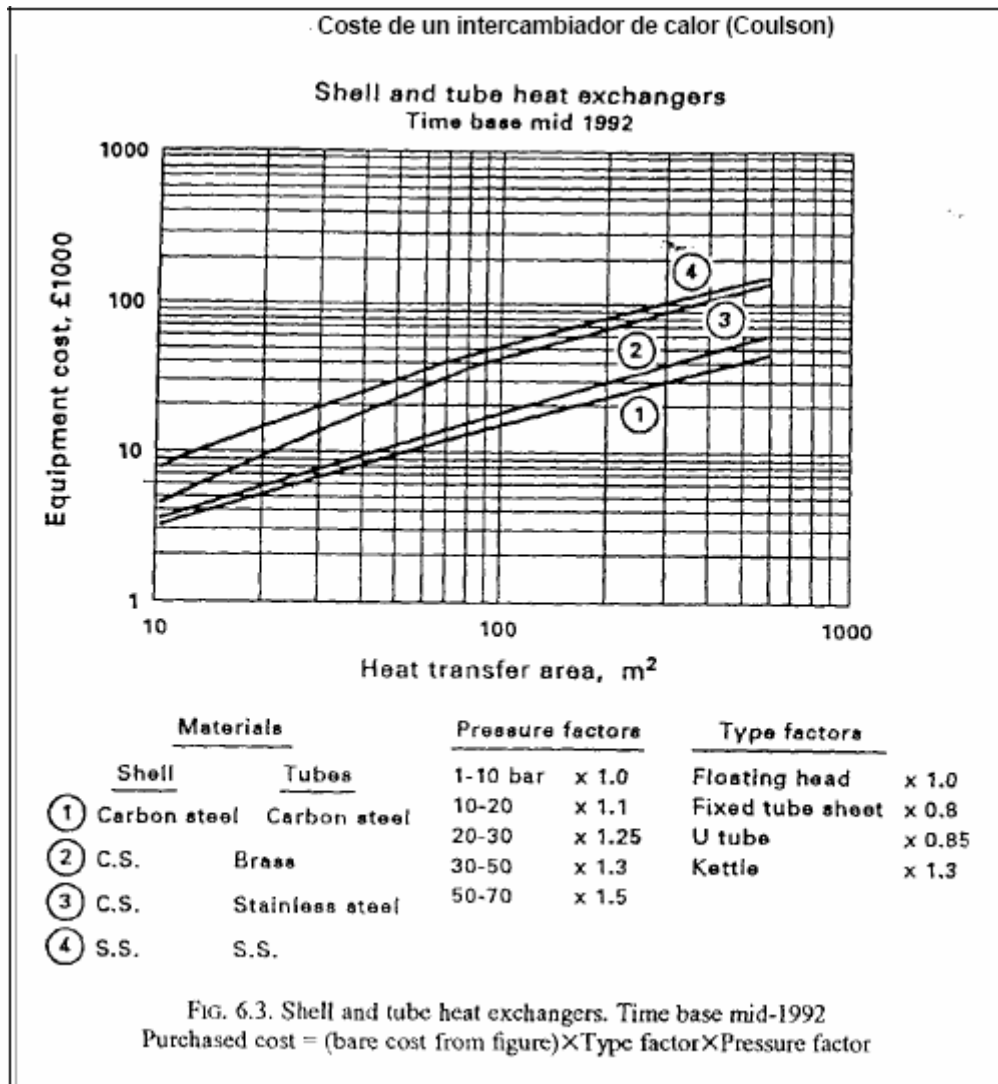
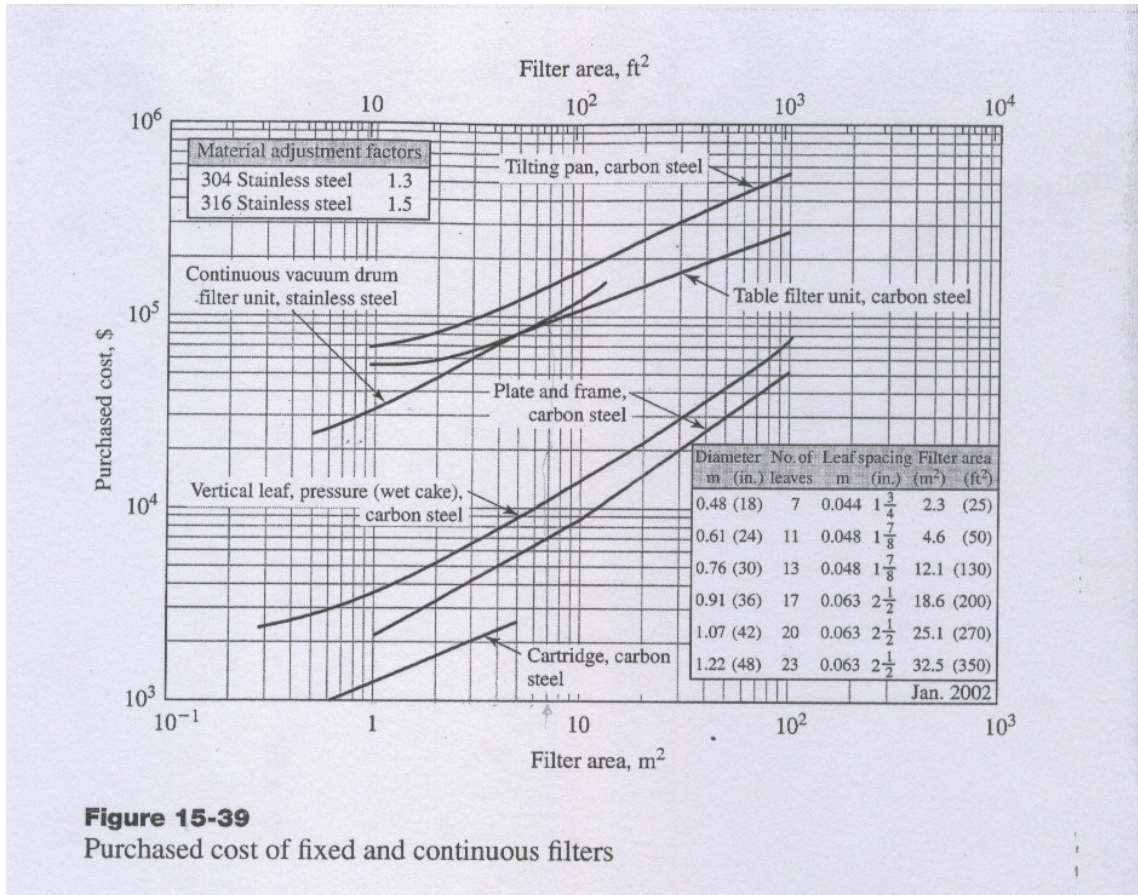


Figura A12.3: Gráfica de coste del intercambiador de calor [27]





**Figure 15-39**  
Purchased cost of fixed and continuous filters

Figura A12.4: Gráfica de costes de filtros[57]

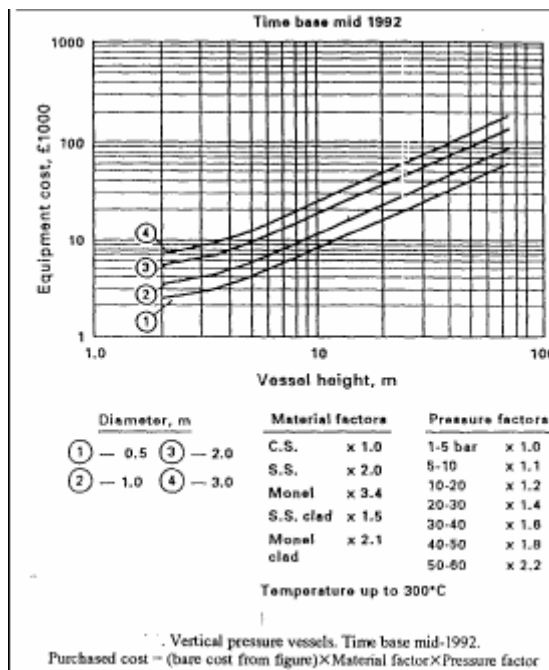
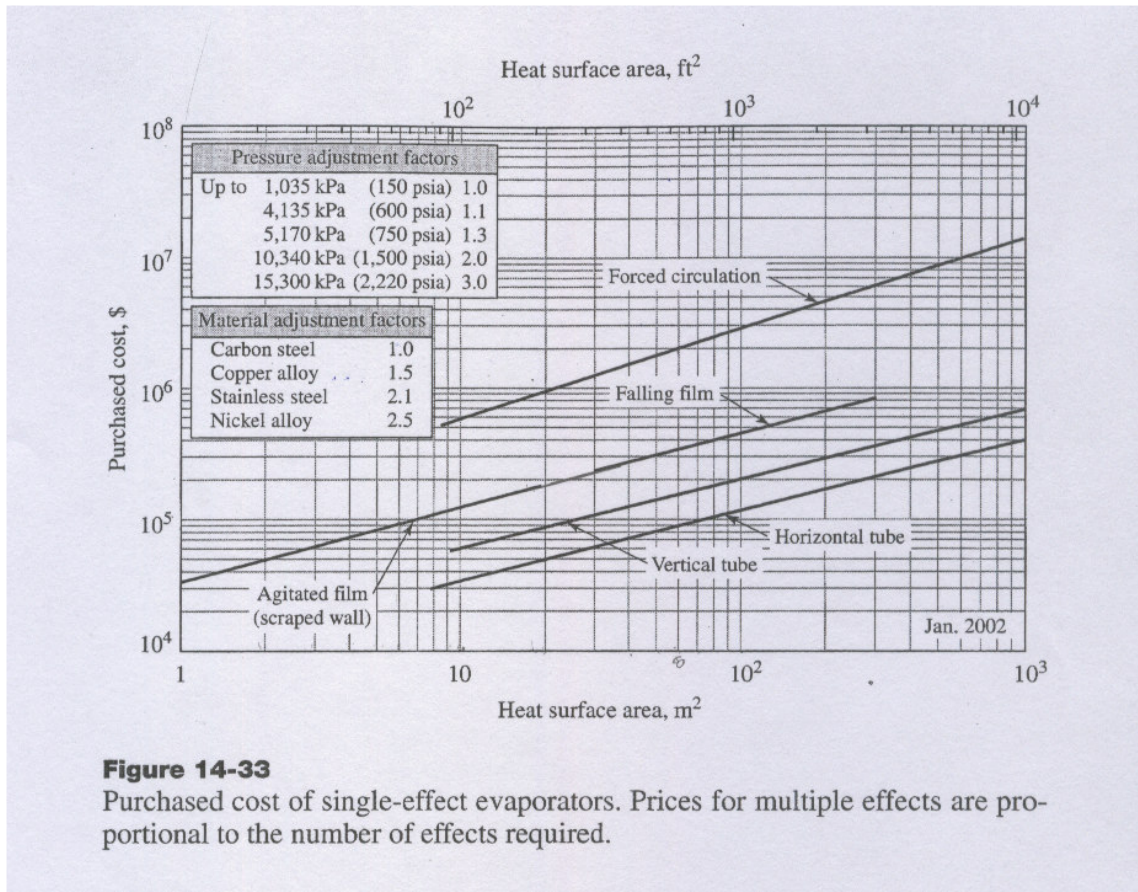
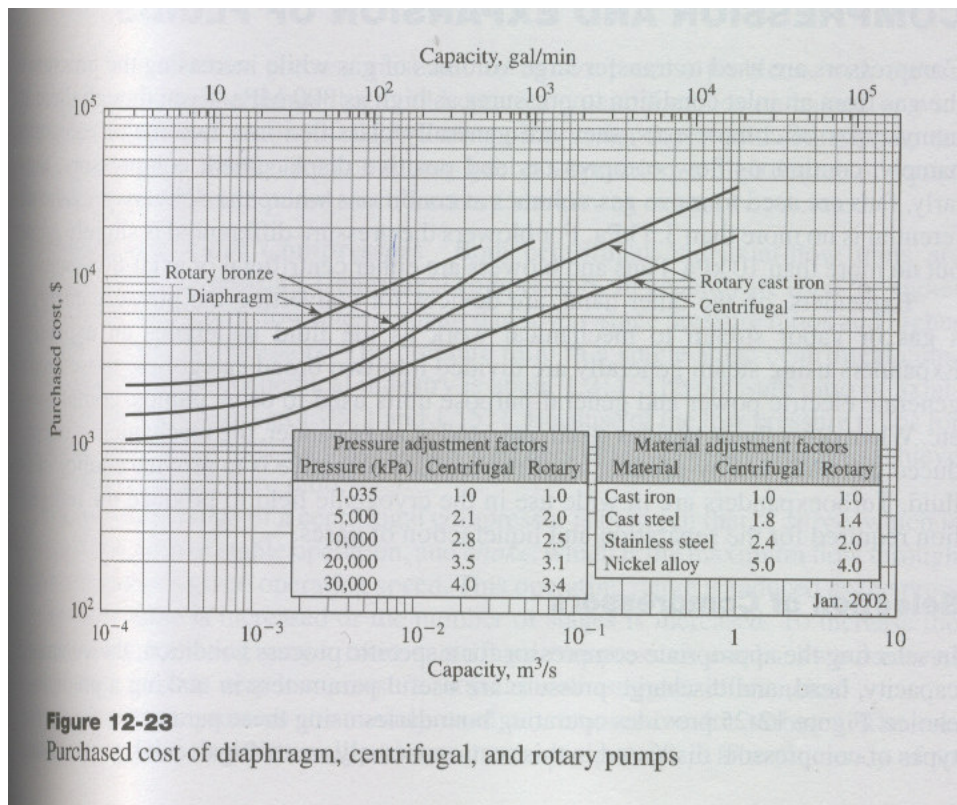


Figura A12.5: Gráfica de costes de recipientes verticales. [60]



**Figure 14-33**  
Purchased cost of single-effect evaporators. Prices for multiple effects are proportional to the number of effects required.

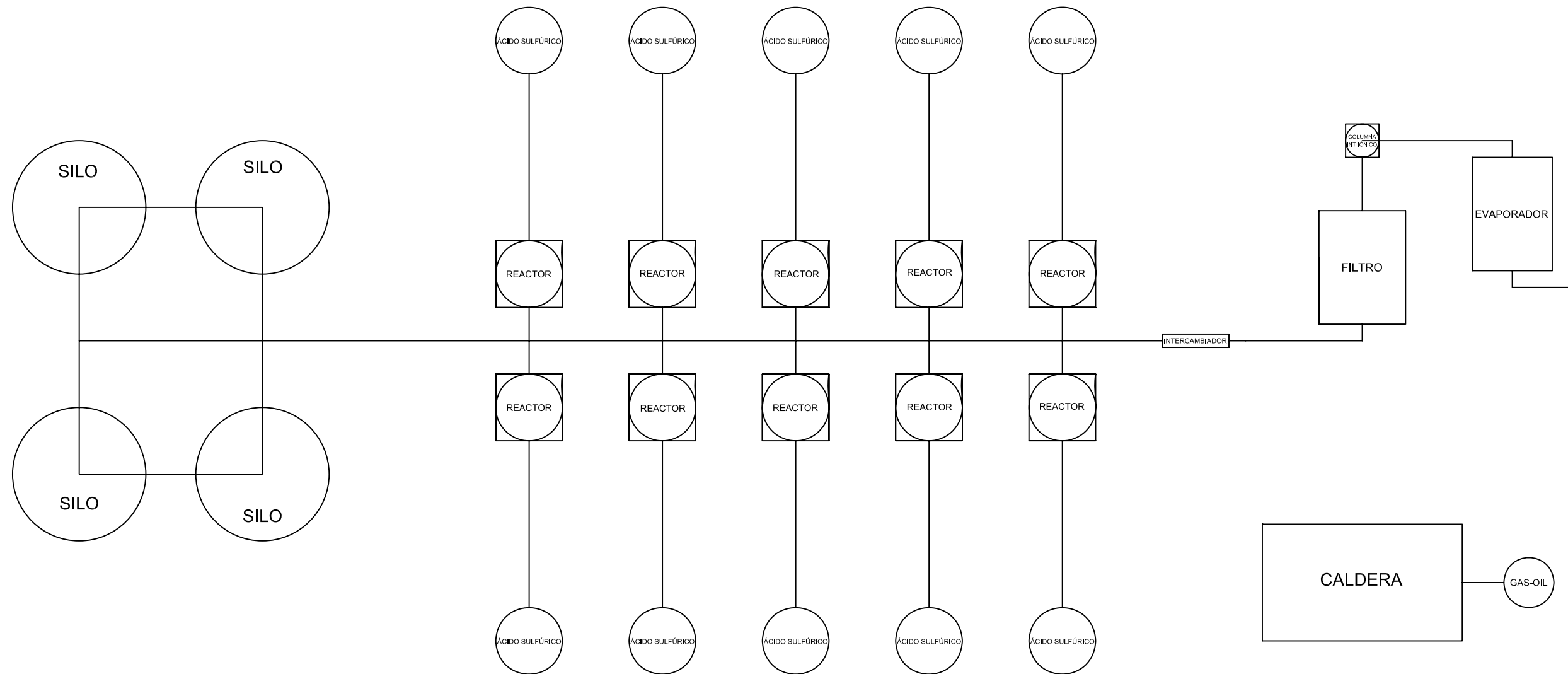
Figura A12.6: Gráfica de costes de evaporadores. [58]



**Figure 12-23**  
Purchased cost of diaphragm, centrifugal, and rotary pumps

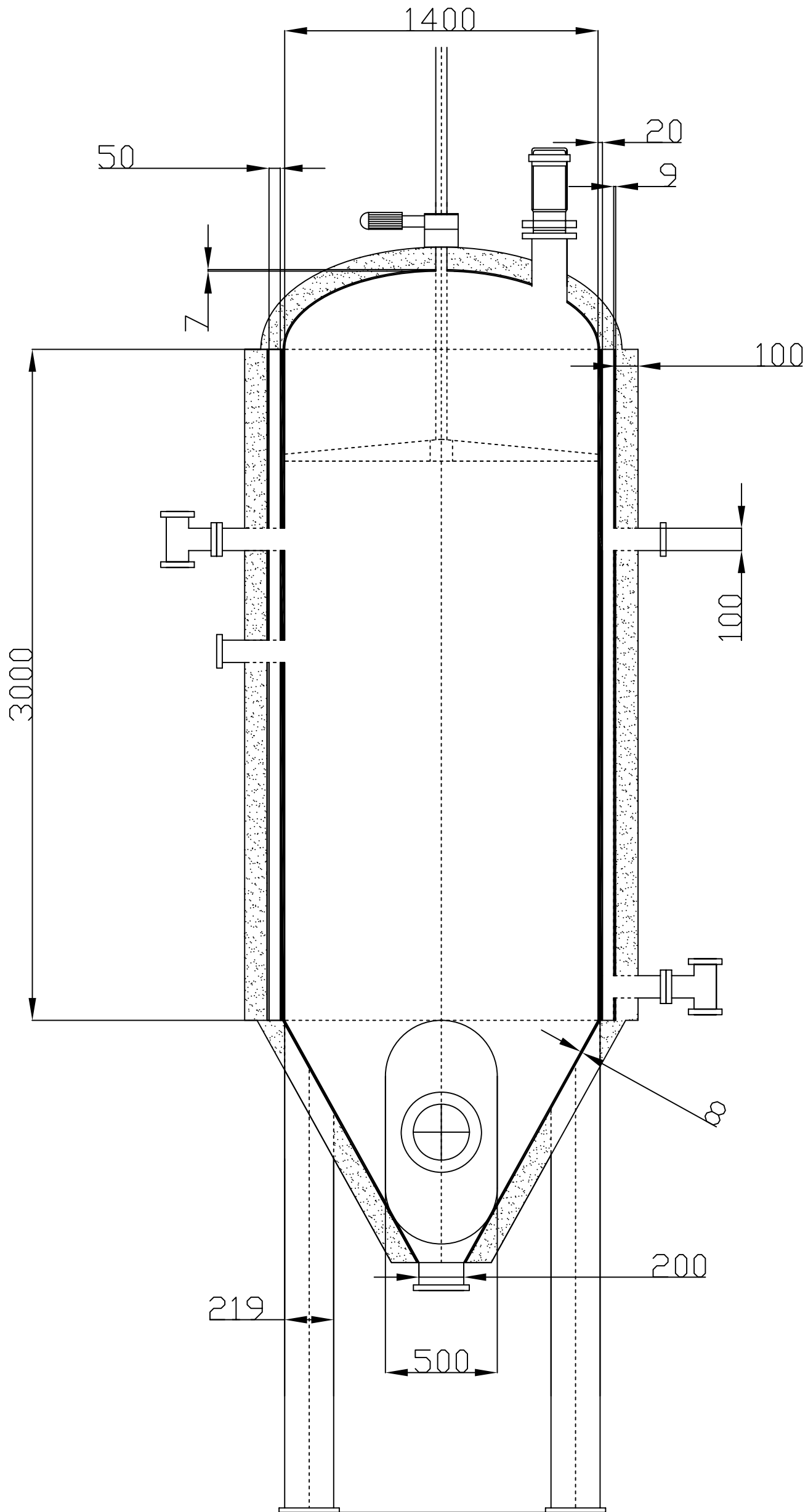
Figura A12.7: Gráfica de costes de bombas. [59]

# DOCUMENTO II PLANOS



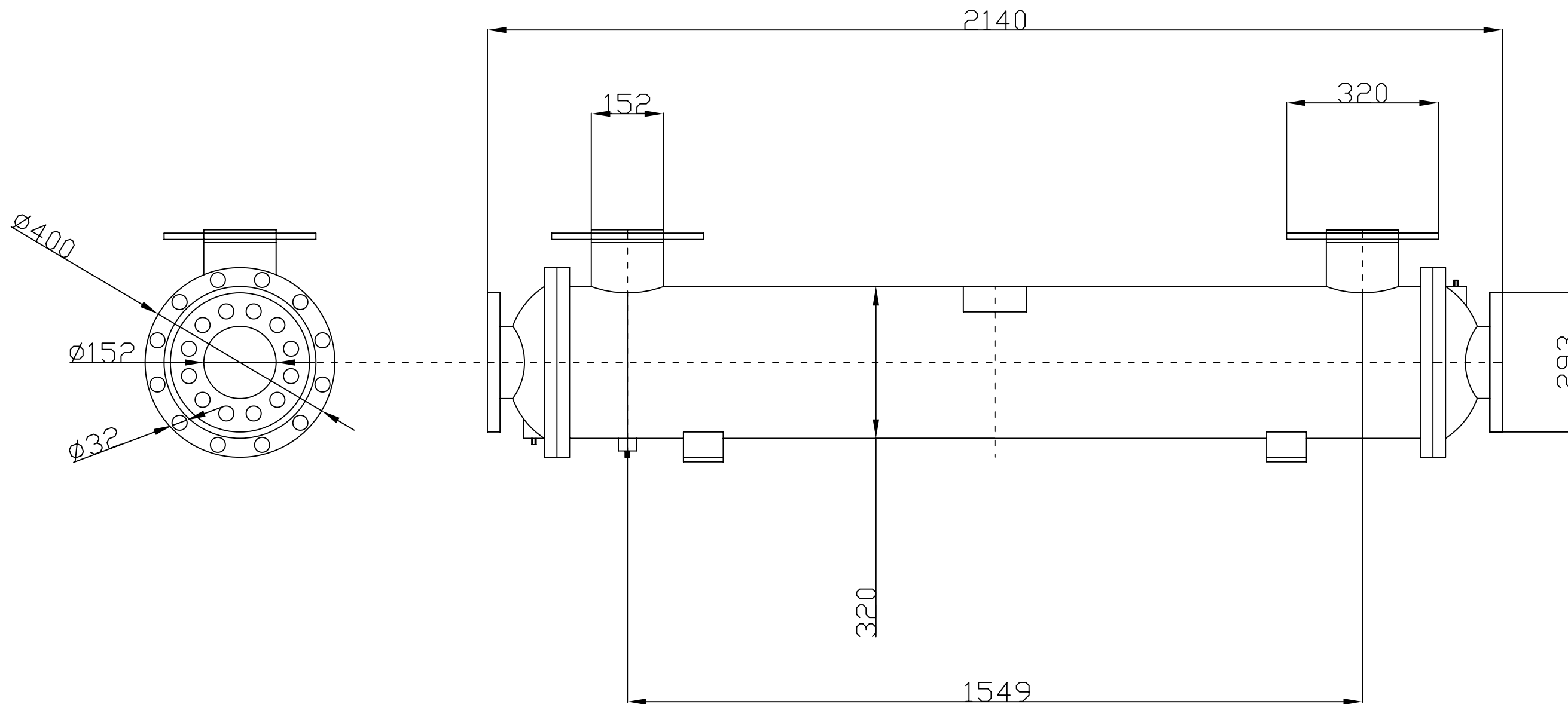
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma:	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	01-06-06	Vadillo Márquez, Violeta		
Comprobado				
Escala:	DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS DE PLANTA PILOTO PARA PROCESADO DE CASCARILLA DE ARROZ POR HIDRÓLISIS ÁCIDA		Nº Plano: 1	
1:150			Sustituye a:	
			Sustituido por:	



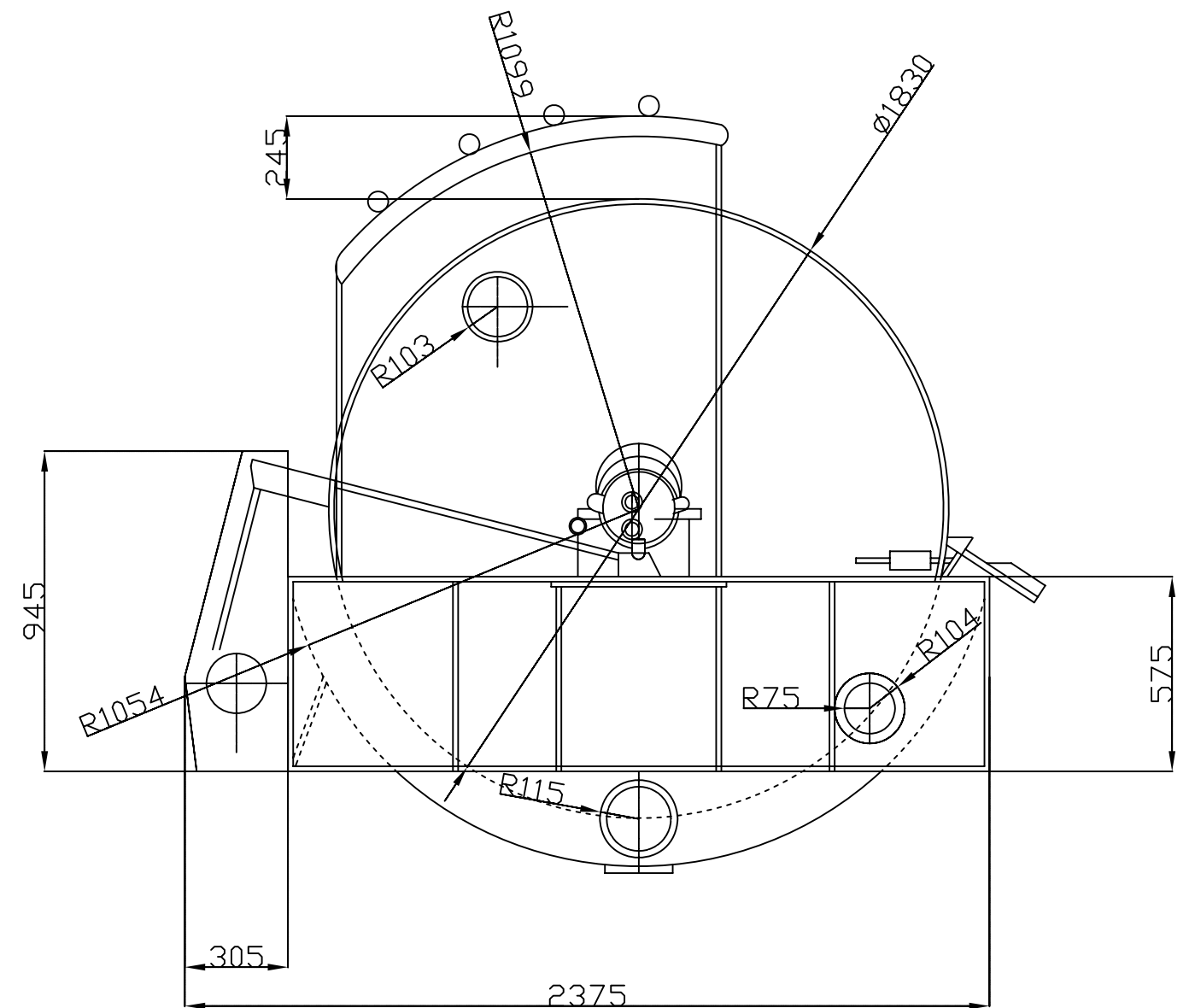
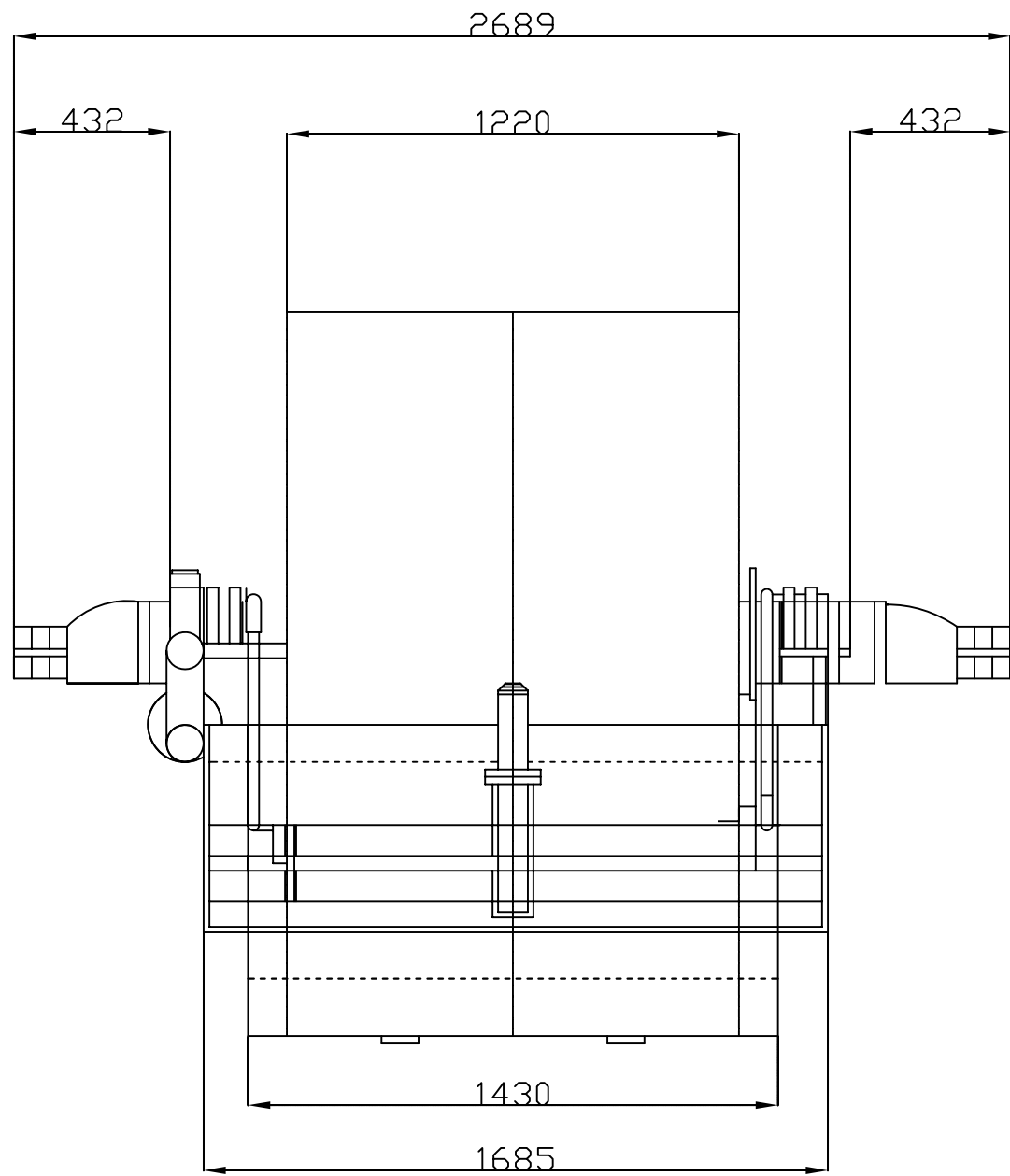


	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	01-06-06	Vadillo Márquez, Violeta		
Comprobado				
Escala:	REACTOR PARA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE CASCARILLA DE ARROZ			Nº Plano: 2
1:30				Sustituye a:
				Sustituido por:

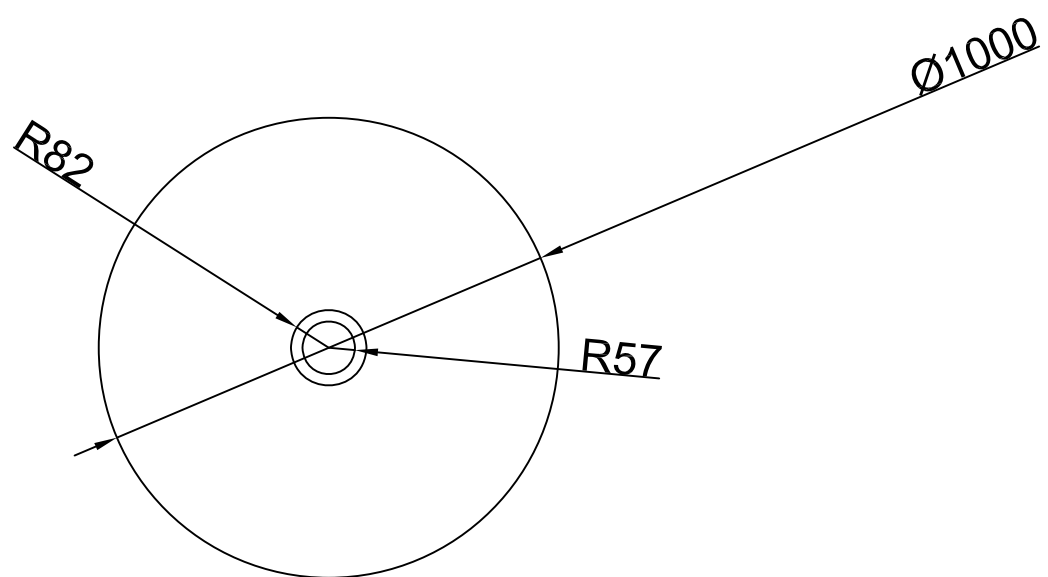
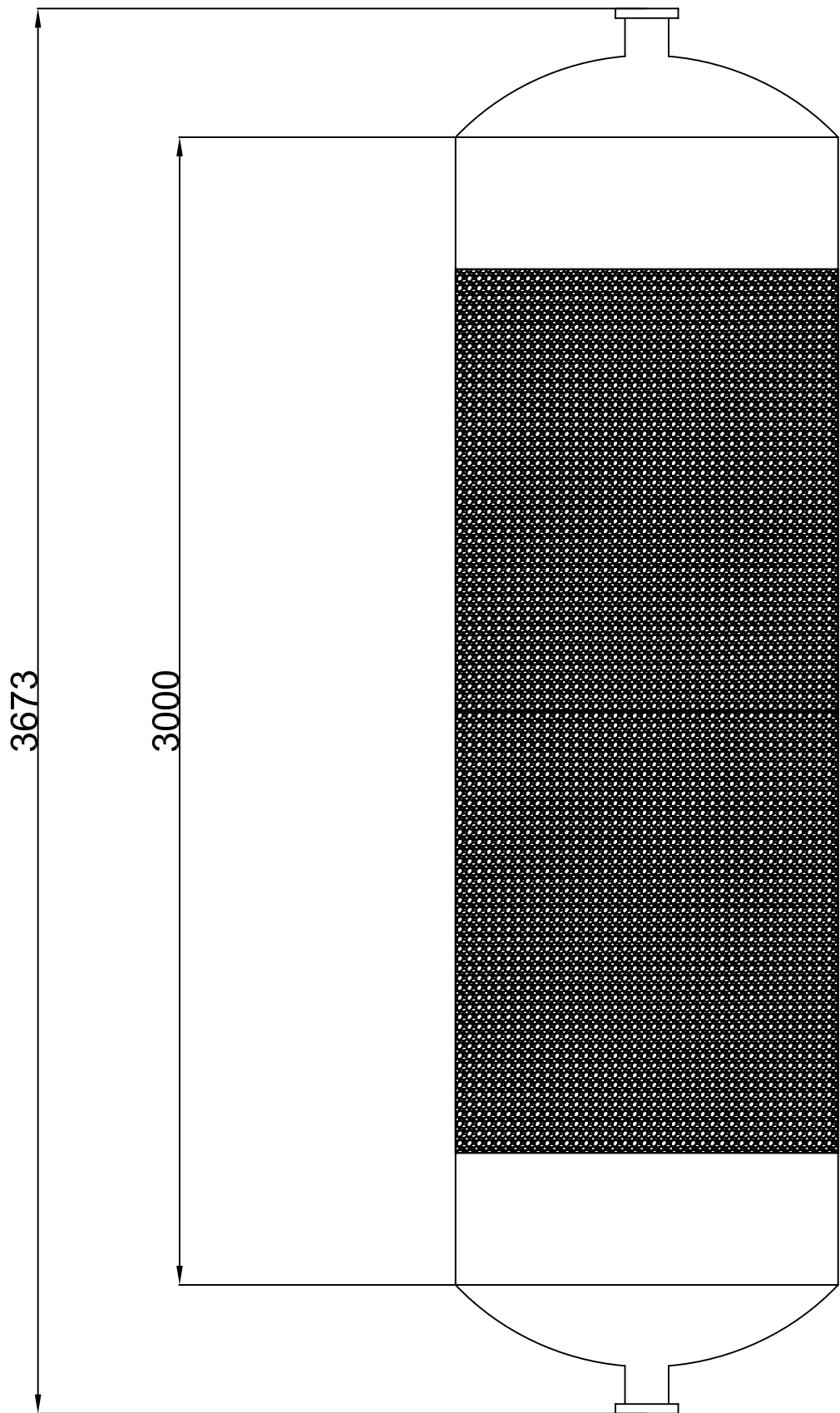




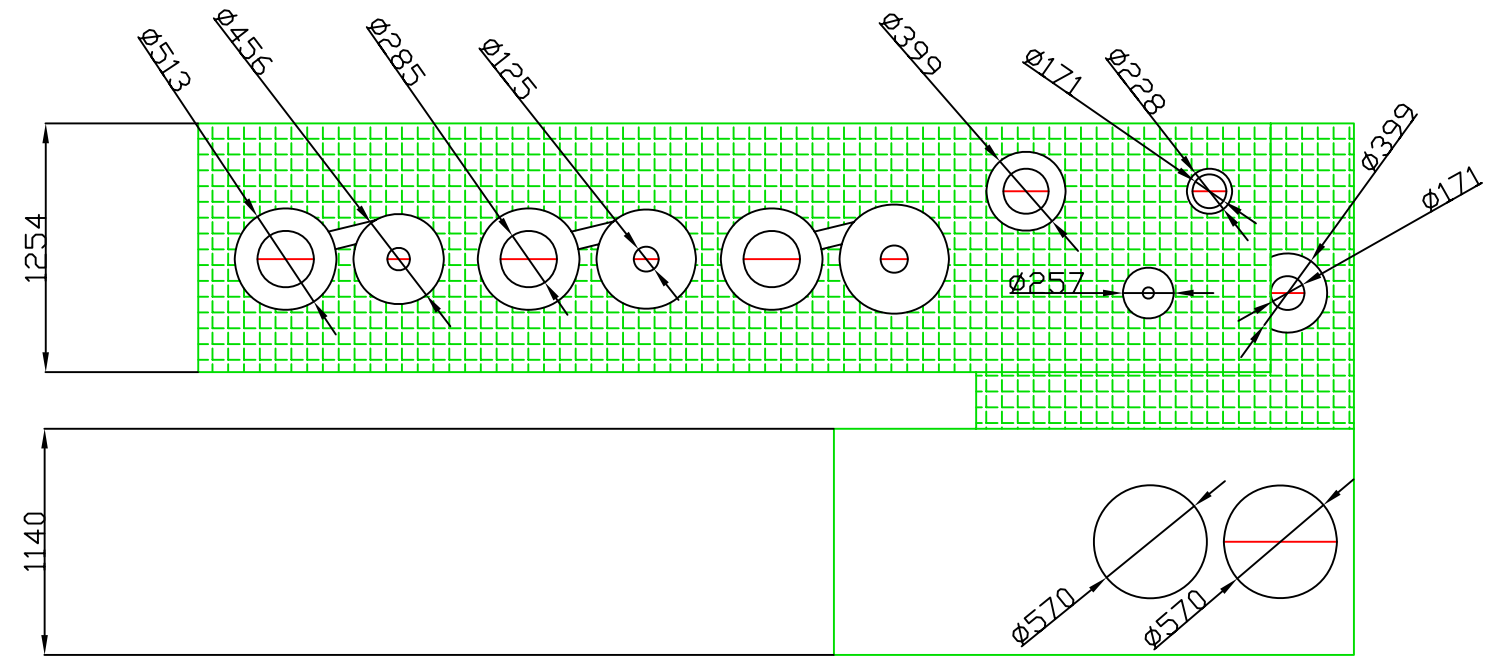
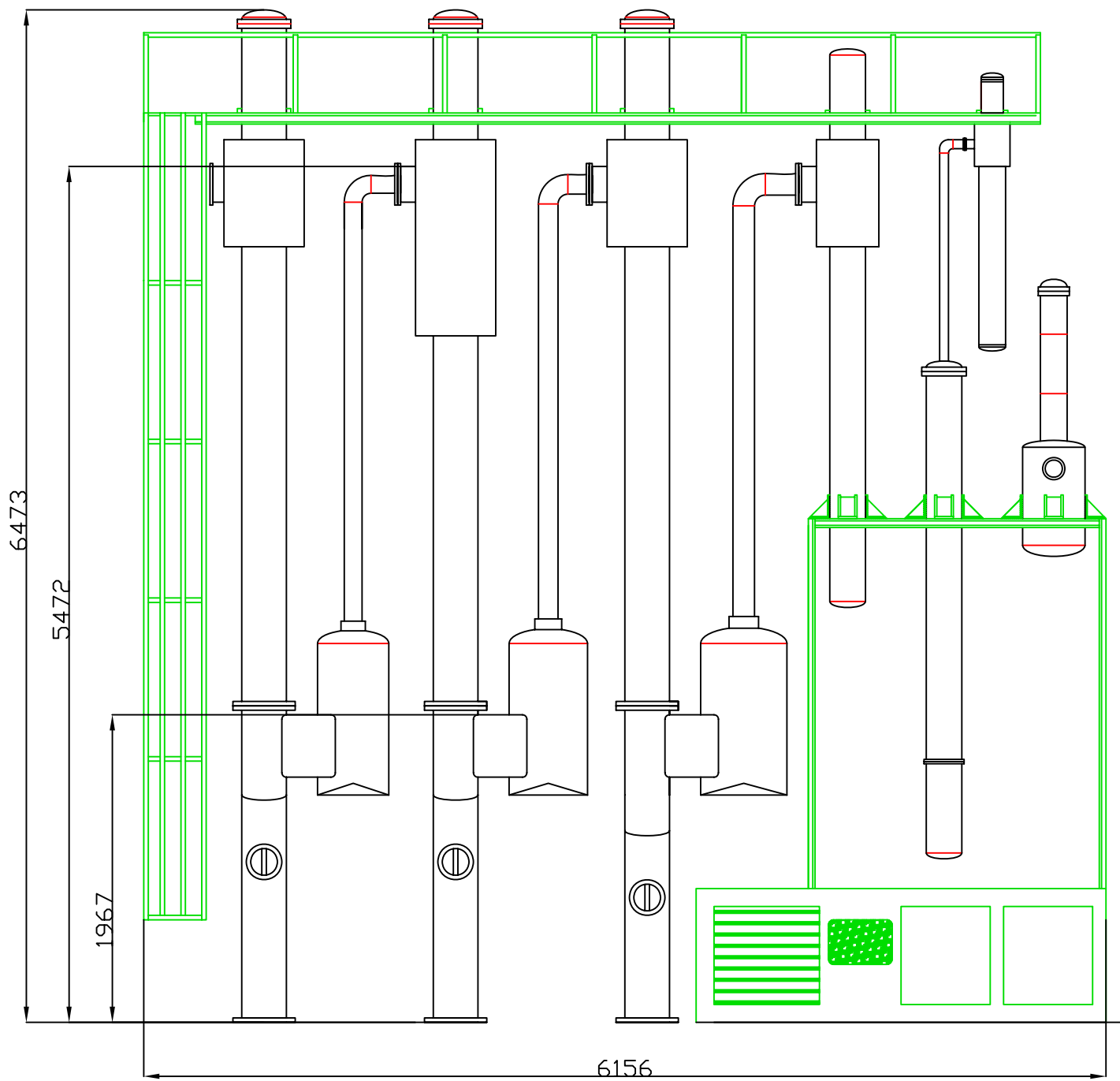
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma:	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	01-06-06	Vadillo Márquez, Violeta		
Comprobado				
Escala:	INTERCAMBIADOR DE CALOR CARCASA Y TUBO. 1 PASO CARCASA/1 PASO TUBOS			Nº Plano: 3
1:10				Sustituye a:
				Sustituido por:



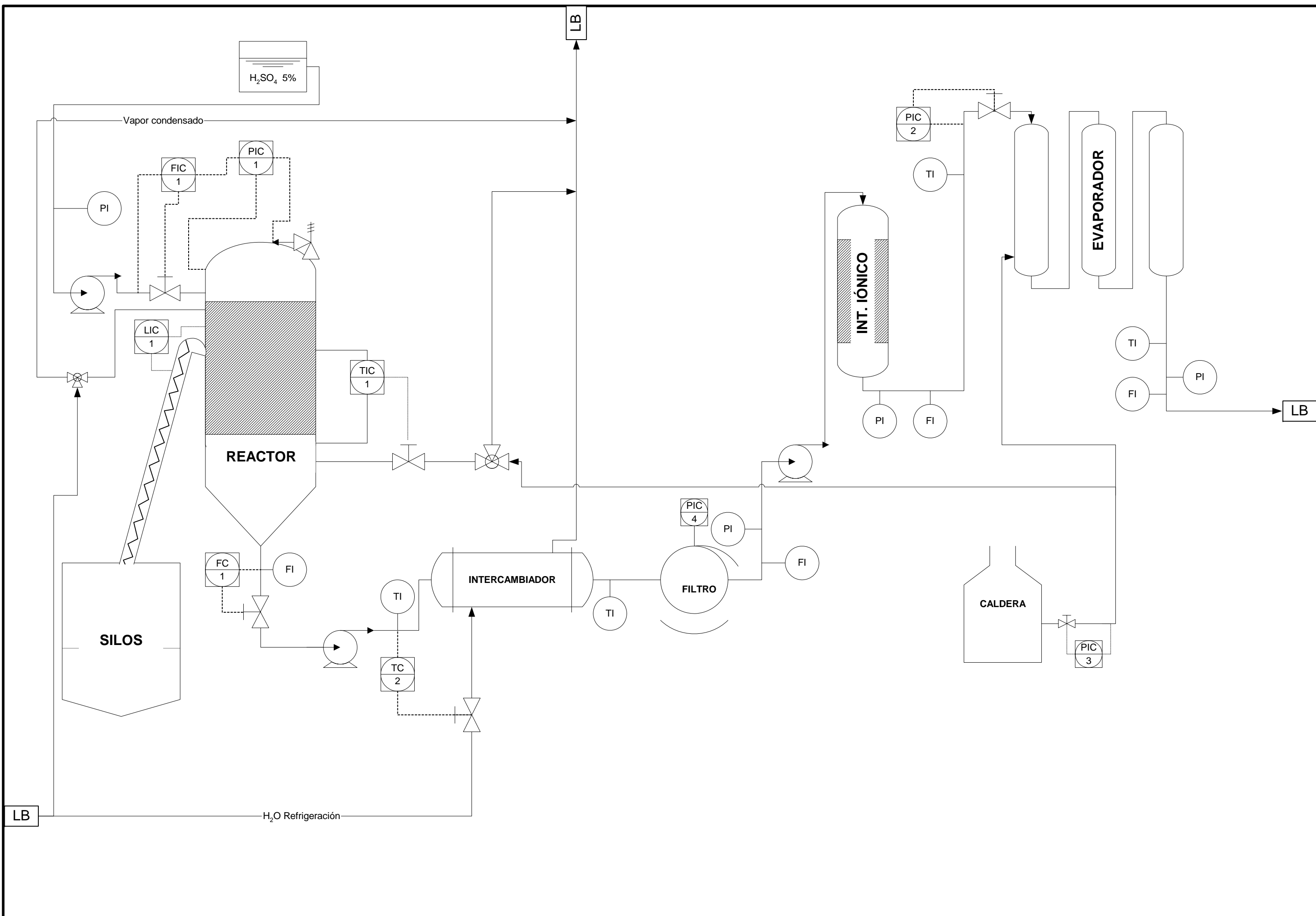
	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma:	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	01-06-06	Vadillo Márquez, Violeta		
Comprobado				
Escala:	FILTRO ROTATORIO PARA RETIRAR CASCARILLA DE ARROZ DE LA CORRIENTE DE GLUCOSA		Nº Plano: 4	
1:20			Sustituye a:	
			Sustituido por:	



	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma:	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	01-06-06	Vadillo Márquez, Violeta		
Comprobado				
Escala:		COLUMNA DE INTERCAMBIO IÓNICO		Nº Plano: 5
1:25				Sustituye a:
				Sustituido por:



	Fecha	Apellidos, Nombre	Firma:	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Dibujado	01-06-06	Vadillo Márquez, Violeta		
Comprobado				
Escala:	EVAPORADOR DE TRIPLE EFECTO PARA CONCENTRAR LA CORRIENTE DE GLUCOSA			Nº Plano: 6
1:40				Sustituye a:
				Sustituido por:



## INDICE

1	PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES .....	2
1.1	Capítulo preliminar. Disposiciones generales.....	2
1.2	Capítulo I: Condiciones Facultativas.....	3
1.2.1	EPÍGRAFE 1º: DELIMITACIÓN GENERAL DE FUNCIONES TÉCNICAS.....	3
1.2.2	EPÍGRAFE 2º: DE LAS OBLIGACIONES Y DERECHOS GENERALES DEL CONSTRUCTOR O CONTRATISTA .....	5
1.2.3	EPÍGRAFE 3º: PRESCRIPCIONES GENERALES RELATIVAS A LOS TRABAJOS, A LOS MATERIALES Y A LOS MEDIOS AUXILIARES .....	9
1.2.4	EPÍGRAFE 4º: DE LAS RECEPCIONES DE EDIFICIOS Y OBRAS ANEJAS .....	15
1.3	Capítulo III: Condiciones Económicas .....	17
1.3.1	EPÍGRAFE 1º: PRINCIPIO GENERAL.....	17
1.3.2	EPÍGRAFE 2º: FIANZAS .....	18
1.3.3	EPÍGRAFE 3º: DE LOS PRECIOS .....	19
1.3.4	EPÍGRAFE 4º: OBRAS POR ADMINISTRACIÓN.....	22
1.3.5	EPÍGRAFE 5º: DE LA VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS .....	26
1.3.6	EPÍGRAFE 6º: DE LAS INDEMNIZACIONES MUTUAS	31
1.3.7	EPÍGRAFE 7º: VARIOS.....	32
2	PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES.....	36
2.1	Pliego de condiciones de índole técnica.....	36
2.1.1	Capítulo I: De las características de los materiales .....	36
2.1.2	Capítulo II: Ejecución de las obras.....	39
2.2	Pliego de condiciones de índole facultativa .....	49
2.3	Pliego de condiciones de índole económica.....	50
2.4	Pliego de condiciones de índole legal.....	51

# 1 PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

## 1.1 Capítulo preliminar. Disposiciones generales

### NATURALEZA Y OBJETO DEL PLIEGO GENERAL

**Artículo 1.-** El presente Pliego General de Condiciones tiene un carácter supletorio del Pliego de Condiciones Particulares del Proyecto.

Ambos, como parte del proyecto, tienen por finalidad regular la ejecución de las obras derivadas de la construcción de la **Planta Piloto de Procesado de Cascarilla de arroz por Hidrólisis Ácida** propuesta, fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden, según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al Promotor o dueño de la obra, al Contratista o constructor de la misma, sus técnicos o encargados, y al técnico Director de obra, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra.

Las obras accesorias, entendiendo por este nombre las que no pueden ser previstas en todos sus detalles, se construirán conforme vaya surgiendo la necesidad. Cuando su importancia lo exija, se realizarán proyectos adicionales que las definan. En casos de menor importancia, se seguirán las directrices que disponga el Director de obra.

### DOCUMENTACIÓN DEL CONTRATO DE OBRA

**Artículo 2.-** Integran el contrato los siguientes documentos relacionados por orden de prelación en cuanto al valor de sus especificaciones en caso de omisión o aparente contradicción:

- 1º. Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato de empresa o arrendamiento de obra, si existiere.
- 2º. El Pliego de Condiciones particulares.
- 3º. El presente Pliego General de Condiciones.
- 4 El resto de la documentación del Proyecto (memoria, planos, mediciones y presupuesto).

Las órdenes e instrucciones de la Dirección facultativa de las obras se incorporan al Proyecto como interpretación, complemento o precisión de sus determinaciones.

En cada documento, las especificaciones literales prevalecen sobre las gráficas y en los planos, la cota prevalece sobre la medida a escala.

## 1.2 Capítulo I: Condiciones Facultativas

### 1.2.1 EPÍGRAFE 1º: DELIMITACIÓN GENERAL DE FUNCIONES TÉCNICAS

#### EL DIRECTOR DE OBRA

**Artículo 3.-** La junta rectora de la Propiedad designará al Ingeniero Técnico Director de Obra, representante de la propiedad frente al contratista, en quien recaerán las siguientes funciones:

- a) Planificar, a la vista del proyecto, del contrato y de la normativa técnica de aplicación, el control de calidad y económico de las obras.
- b) Redactar, cuando se requiera expresamente por el constructor, el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización de la obra y aprobar el plan de seguridad e higiene para la aplicación del mismo.
- c) Efectuar el replanteo de la obra y preparar el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del Constructor.
- d) Comprobar la adecuación de la cimentación proyectada a las características reales del suelo.
- e) Ordenar, dirigir y vigilar la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de buena construcción.
- f) Asistir a las obras, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan e impartir las instrucciones complementarias que sean precisas para conseguir la correcta solución.



- g) Coordinar la intervención en obra de otros técnicos que, en su caso, concurren a la dirección con función propia en aspectos parciales de su especialidad.
- h) Realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, instalaciones y demás unidades de obra según las frecuencias de muestreo programadas en el plan de control, así como efectuar las demás comprobaciones que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva, de acuerdo con el proyecto y la normativa técnica aplicable. De los resultados informará puntualmente al constructor, impartándole en su caso, las órdenes oportunas.
- i) Realizar las mediciones de obra ejecutada, realizar y aprobar las certificaciones parciales, realizar y aprobar la certificación final de obra, y asesorar al promotor en el acto de la recepción.
- j) Suscribir el certificado final de obra.

#### EL CONSTRUCTOR

**Artículo 4.-** El Constructor o Contratista habrá de proporcionar toda clase de facilidades al Director de obra, o a sus subalternos a fin de que estos puedan desempeñar su trabajo con la máxima eficacia. Específicamente corresponde al Constructor:

- a) Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- b) Elaborar, cuando se requiera, el Plan de Seguridad e Higiene de la obra en aplicación del estudio correspondiente y disponer en todo caso la ejecución de medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observación de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo.
- c) Suscribir con el Director de Obra el acta de replanteo de la obra.
- d) Ostentar la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas.

- e) Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o prescripción del Director de Obra, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- f) Custodiar el Libro de órdenes y seguimiento de la obra, y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo.
- g) Facilitar al Director de Obra con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- h) Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.
- i) Suscribir con el Promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- j) Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.

## **1.2.2 EPÍGRAFE 2º: DE LAS OBLIGACIONES Y DERECHOS GENERALES DEL CONSTRUCTOR O CONTRATISTA**

### VERIFICACIÓN DE LOS DOCUMENTOS DEL PROYECTO

**Artículo 5.-** Antes de dar comienzo a las obras e inmediatamente después de recibidos, el Constructor deberá confrontar la documentación relacionada con el proyecto que le haya sido aportada y deberá informar con la mayor brevedad posible al Director de las Obras sobre cualquier discrepancia, contradicción u omisión solicitando las aclaraciones pertinentes.

### PLAN DE SEGURIDAD E HIGIENE

**Artículo 6.-** El Constructor, a la vista del Proyecto de Ejecución conteniendo, en su caso, el Estudio de Seguridad e Higiene, presentará el Plan de Seguridad e Higiene de la obra a la aprobación del Director de Obra de la dirección facultativa.

### OFICINA EN LA OBRA

**Artículo 7.-** El Constructor habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre el Contratista a disposición del Director de Obra de la Dirección Facultativa:

- El proyecto de Ejecución completo, incluidos los complementos que en su caso redacte el Ingeniero proyectista o Director de Obra.
- La Licencia de Obras.
- El libro de Órdenes y Asistencias.
- El Plan de Seguridad e Higiene.
- El libro de incidencias.
- El Reglamento y Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- La documentación de los seguros mencionada en el artículo 4° j).

Dispondrá además el Constructor una oficina para la Dirección Facultativa, convenientemente acondicionada para que en ella se pueda trabajar con normalidad a cualquier hora de la jornada.

#### PRESENTACIÓN DEL CONTRATISTA.

**Artículo 8.-** El Constructor viene obligado a comunicar a la propiedad la persona designada como delegado suyo en la obra, que tendrá carácter de Jefe de la misma, con dedicación plena, y con facultades para representarle y adoptar en todo momento cuantas decisiones competan a la contrata.

Serán sus funciones las del Constructor según se especifica en el artículo 4°.

Cuando la importancia de las obras lo requiera y así se consigne en el Pliego de "Condiciones Particulares de Índole Facultativa", el Delegado del Contratista será un facultativo de grado superior o grado medio, según los casos.

El Pliego de Condiciones Particulares determinará el personal facultativo o especialista que el Constructor se obligue a mantener en la obra como mínimo, y el tiempo de dedicación comprometido.

El incumplimiento de esta obligación o, en general, la falta de cualificación suficiente por parte del personal según la naturaleza de los trabajos, facultará al Director de Obra para ordenar la paralización de las obras, sin derecho a reclamación alguna, hasta que se subsane la deficiencia.

#### PRESENCIA DEL CONSTRUCTOR EN LA OBRA

**Artículo 9.-** El Jefe de obra, por sí o por medio de sus técnicos o encargados, deberá estar presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Director de obra en las visitas que haga a las obras, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándoles los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

#### TRABAJOS NO ESTIPULADOS EXPRESAMENTE

**Artículo 10.-** Es obligación de la contrata el ejecutar cuando sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aún cuando no se halle expresamente determinado en los documentos del Proyecto, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Director de obra dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos habiliten para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

En defecto de especificación en el Pliego de Condiciones particulares, se entenderá que requiere reformado de proyecto con consentimiento expreso de la propiedad, toda variación que suponga incremento de precios de alguna unidad de obra en más del 20 % o del total del presupuesto en más de un 10 %.

#### INTERPRETACIONES, ACLARACIONES Y MODIFICACIONES DE LOS DOCUMENTOS DEL PROYECTO

**Artículo 11.-** Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o croquis, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al Constructor, estando éste obligado a su vez a devolver los originales o las copias suscribiendo con su firma el enterado, que figurará

al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba del Director de obra.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos crea oportuno hacer el Constructor, habrá de dirigirla, dentro del plazo de tres días, a quien la hubiere dictado, el cual dará al Constructor el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

**Artículo 12.-** El Constructor podrá requerir al Director de Obra las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

#### RECLAMACIONES CONTRA LAS ÓRDENES DE LA DIRECCIÓN FACULTATIVA

**Artículo 13.-** Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes o instrucciones de la Dirección Facultativa, sólo podrá presentarlas, a través del Director de obra, ante la propiedad, si son de orden económico y de acuerdo a las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes. Contra disposiciones de orden técnico del Ingeniero Técnico Director de obra, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida al Director de obra, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

#### RECUSACIÓN POR EL CONTRATISTA DEL PERSONAL NOMBRADO POR EL DIRECTOR DE OBRA

**Artículo 14.-** El Constructor no podrá recusar al Director de obra o personal encargado por éstos de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones.

Cuando se crea perjudicado por la labor de éstos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente, pero son que por esta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

### FALTAS DEL PERSONAL

**Artículo 15.-** El Director de obra, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, podrá requerir al Contratista que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

**Artículo 16.-** El Contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, con sujeción en su caso a lo estipulado en el Pliego de Condiciones particulares, y sin perjuicio de sus obligaciones como Contratista general de la obra.

### **1.2.3 EPÍGRAFE 3º: PRESCRIPCIONES GENERALES RELATIVAS A LOS TRABAJOS, A LOS MATERIALES Y A LOS MEDIOS AUXILIARES**

#### CAMINOS Y ACCESOS

**Artículo 17.-** El Constructor dispondrá por su cuenta los accesos a la obra y el cerramiento o vallado de ésta.

El Director de obra podrá exigir su modificación o mejora.

#### REPLANTEO

**Artículo 18.-** Antes de dar comienzo las obras, el Ingeniero Director, junto al personal subalterno necesario y en presencia del Contratista o su representante, procederá al replanteo general de la obra. El Constructor se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo, iniciará las obras con el replanteo de las mismas en el terreno, señalando las referencias principales que mantendrá como base de ulteriores replanteos parciales. Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluidos en su oferta.

El Director podrá ejecutar u ordenar cuantos replanteos parciales considere necesarios durante el periodo de construcción para que las obras se realicen conforme al proyecto y a las modificaciones del mismo que sean aprobadas.

#### COMIENZO DE LA OBRA. RITMO DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

**Artículo 19.-** El Constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el Pliego de Condiciones particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los periodos parciales en aquel ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el Contrato.

Obligatoriamente y por escrito deberá el contratista dar cuenta al Director de Obra del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

#### ORDEN DE LOS TRABAJOS

**Artículo 20.-** En general, la determinación del orden de los trabajos será compatible con los plazos programados y es facultad de la contrata, salvo aquellos casos en que, por circunstancias de orden técnico, estime conveniente su variación la Dirección Facultativa.

#### FACILIDADES PARA OTROS CONTRATISTAS

**Artículo 21.-** De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista General deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que les sean encomendados a todos los demás contratistas que intervengan en la obra. Ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar entre Contratistas por utilización de medios auxiliares o suministros de energía u otros conceptos. En caso de litigio, ambos contratistas estarán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

#### AMPLIACIÓN DE PROYECTO POR CAUSAS IMPREVISTAS O DE FUERZA MAYOR

**Artículo 22.-** Cuando sea preciso por motivo imprevisto o por cualquier accidente ampliar el Proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándose siguiendo una recta interpretación del proyecto y según las instrucciones dadas por el Director de obra, en tanto se formula o tramita el Proyecto Reformado.

El Constructor está obligado a realizar con su personal y sus materiales cuanto la Dirección de las obras disponga para apeos, apuntalamientos,

derribos, recalzos o cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

#### PRÓRROGA POR CAUSA DE FUERZA MAYOR

**Artículo 23.-** Si por causa de fuerza mayor o independiente de la voluntad del Constructor, éste no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable del Director de Obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

#### RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCIÓN FACULTATIVA EN EL RETRASO DE LA OBRA

**Artículo 24.-** El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de las obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se lo hubiesen proporcionado.

#### CONDICIONES GENERALES DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

**Artículo 25.-** Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue el Director de Obra al Constructor, dentro de las limitaciones presupuestarias y de conformidad con lo especificado en el artículo 10.

#### OBRAS OCULTAS

**Artículo 26.-** De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado, entregándose una al Director de obra, otro al Promotor y otro al Contratista, firmados todos ellos por los tres. Dichos



planos, que deberán ir suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

#### TRABAJOS DEFECTUOSOS

**Artículo 27.-** El Constructor debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en las "Condiciones Generales y Particulares de índole técnica" del Pliego de Condiciones y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento. Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en éstos puedan existir por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que le exonere de responsabilidad el control que compete al Director de obra, ni tampoco el hecho de que estos trabajos hayan sido valorados en las certificaciones parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director de obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos, y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata.

#### VICIOS OCULTOS

**Artículo 28.-** Si el Director de obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo, y antes de la recepción definitiva, los ensayos, destructivos o no, que crea necesarios para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos que se ocasionen serán por cuenta del Constructor, siempre que los vicios existan realmente. En caso contrario serán a cargo de la Propiedad.

### DE LOS MATERIALES Y DE LOS APARATOS. SU PROCEDENCIA

**Artículo 29.-** El Constructor tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezca conveniente, excepto en los casos en que el Pliego Particular de Condiciones Técnicas preceptúe una procedencia determinada.

Todos los materiales serán de la mejor calidad y su colocación será perfecta. Tendrán las dimensiones que marquen los documentos del Proyecto y la Dirección Facultativa. El transporte, manipulación y empleo de los materiales se hará de manera que no queden alteradas sus características ni sufran deterioro sus formas o dimensiones.

Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo o acopio, el Constructor deberá presentar al Director de obra una lista completa de los materiales y aparatos que vaya a utilizar en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

### PRESENTACIÓN DE MUESTRAS

**Artículo 30.-** A petición del Director de obra, el constructor le presentará las muestras de los materiales antes de utilizarlos y sin cuya aprobación no podrán emplearse en la construcción.

### MATERIALES NO UTILIZABLES

**Artículo 31.-** El Constructor, a su costa, transportará y colocará, agrupándolos ordenadamente y en el lugar adecuado, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra. Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero, cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones particulares vigente en la obra.

Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene el Director de Obra, pero acordando previamente con el Constructor su justa tasación, teniendo en cuenta el valor de dichos materiales y los gastos de su transporte.

### MATERIALES Y APARATOS DEFECTUOSOS

**Artículo 32.-** Cuando los materiales, elementos de instalaciones o aparatos no fuesen de la calidad prescrita en este Pliego, o no tuvieran la preparación en él exigida o, en fin, cuando ante la falta de prescripciones formales de aquel se reconociera o demostrara que no eran adecuados para su objeto, el Director de obra dará orden al Constructor de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o llenen el objeto a que se destinen.

Si a los quince días de recibir el Constructor orden de que retire los materiales que no estén en condiciones, no ha sido cumplida, podrá hacerlo la Propiedad cargando los gastos a la Contrata.

Si los materiales, elementos de instalaciones o aparatos fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del Director de obra, se recibirán pero con la rebaja del precio de aquél que determine, a no ser que el Constructor prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

### GASTOS OCASIONADOS POR PRUEBAS Y ENSAYOS

**Artículo 33.-** Todas las pruebas, análisis y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras serán verificados conforme indique el director de obra y serán de cuenta de la contrata todos los gastos que ello origine. Se incluye el coste de los materiales que se ha de ensayar, la mano de obra, herramientas, transporte, gastos de toma de muestras, minutas de laboratorio, tasas, etc. Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio o que no ofrezca las garantías suficientes, podrá comenzarse de nuevo a cargo del mismo.

### LIMPIEZA DE LAS OBRAS

**Artículo 34.-** Es obligación del Constructor mantener limpias las obras y sus alrededores, tanto de escombros como de material sobrante, hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos que sean necesarios para que la obra ofrezca buen aspecto.

### OBRAS SIN PRESCRIPCIONES

**Artículo 35.-** En la ejecución de trabajos que entran en la construcción de las obras y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en éste Pliego ni en la restante documentación del Proyecto, el Constructor se atenderá, en primer término, a las instrucciones que dicte la Dirección Facultativa de las obras y, en segundo lugar, a las reglas y prácticas de la buena construcción.

#### **1.2.4 EPÍGRAFE 4º: DE LAS RECEPCIONES DE EDIFICIOS Y OBRAS ANEJAS**

##### DE LAS RECEPCIONES PROVISIONALES

**Artículo 36.-** Treinta días antes de dar fin a las obras, comunicará el Director de obra a la Propiedad la proximidad de su terminación a fin de convenir la fecha para el acto de recepción provisional. Esta se realizará con la intervención de la Propiedad, del Constructor y del Director de obra. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicado un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como intervinientes y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas. Seguidamente, los Técnicos de la Dirección Facultativa extenderán el correspondiente Certificado de final de obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se darán al Constructor las oportunas instrucciones para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra. Si el Constructor no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato, con pérdida de la fianza.

La obra sólo se recepcionará toda vez superada con éxito la prueba hidráulica de todos los equipos de la planta de proceso.

#### DOCUMENTACIÓN FINAL DE LA OBRA

**Artículo 37.-** El Director de obra facilitará a la Propiedad la documentación final de las obras, con las especificaciones y contenido dispuestos por la legislación vigente.

#### MEDICIÓN DEFINITIVA DE LOS TRABAJOS Y LIQUIDACIÓN PROVISIONAL DE LA OBRA

**Artículo 38.-** Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el Director de obra a su medición definitiva, con precisa asistencia del Constructor o de su representante. Se extenderá la oportuna certificación por triplicado que servirá para el abono por la Propiedad del saldo resultante salvo la cantidad retenida en concepto de fianza.

#### PLAZO DE GARANTÍA

**Artículo 39.-** El plazo de garantía deberá estipularse en el Pliego de Condiciones particulares y en cualquier caso nunca deberá ser inferior a nueve meses.

#### CONSERVACIÓN DE LAS OBRAS RECIBIDAS PROVISIONALMENTE

**Artículo 40.-** Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisional y definitiva, correrán a cargo del Contratista. Si el edificio fuese ocupado o utilizado antes de la recepción definitiva, la guardería, limpieza y reparaciones causadas por uso corriente correrán a cargo del propietario y las reparaciones por vicios de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo de la contrata.

#### DE LA RECEPCIÓN DEFINITIVA

**Artículo 41.-** La recepción definitiva se verificará después de transcurrido el plazo de garantía en igual forma y con las mismas formalidades que la provisional, a partir de cuya fecha cesará la obligación del Constructor de reparar a su cargo aquellos desperfectos inherentes a la normal conservación de los edificios y quedarán solo subsistentes todas responsabilidades que pudieran alcanzarle por vicios de la construcción.

### PRÓRROGA DEL PLAZO DE GARANTÍA

**Artículo 42.-** Si al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el Director de obra marcará al Constructor los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias y, de no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con la pérdida de la fianza.

### DE LAS RECEPCIONES DE TRABAJOS CUYA CONTRATA HAYA SIDO RESCINDIDA

**Artículo 43.-** En el caso de resolución del contrato, el Contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo que se fije en el Pliego de Condiciones particulares, la maquinaria, medios auxiliares, instalaciones, etc., a resolver los subcontratos que tuviese concertados y a dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa.

Las obras y trabajos terminados por completo se recibirán provisionalmente con los trámites establecidos en el artículo 34. Transcurrido el plazo de garantía se recibirán de forma definitiva, según lo dispuesto en los artículos 38 y 39 de este Pliego.

Para las obras y trabajos no terminados pero aceptables a juicio del Director de obra, se efectuará una sola y definitiva recepción.

## 1.3 Capítulo III: Condiciones Económicas

### 1.3.1 EPÍGRAFE 1º: PRINCIPIO GENERAL

**Artículo 44.-** Todos los que intervienen en el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

**Artículo 45.-** La propiedad, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

### **1.3.2 EPÍGRAFE 2º: FIANZAS**

**Artículo 46.-** El Contratista prestará fianza con arreglo a alguno de los siguientes procedimientos, según se estipule:

- a) Depósito previo, en metálico o valores, o aval bancario, por importe entre el 3 % y 10 % del precio total de la contrata.
- b) Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

#### **FIANZA PROVISIONAL**

**Artículo 47.-** En el caso de que la obra se adjudique por subasta pública, el depósito provisional para tomar parte en ella se especificará en el anuncio de la misma, y su cuantía será de ordinario, y salvo estipulación distinta en el Pliego de Condiciones particulares vigente en la obra, de un 3 % como mínimo, del total del presupuesto de contrata. El Contratista a quien se haya adjudicado la ejecución de una obra o servicio para la misma, deberá depositar en el punto y plazo fijados en el anuncio de la subasta o el que se determine en el Pliego de Condiciones particulares del Proyecto, la fianza definitiva que se señale y, en su defecto, su importe será el 10 % de la cantidad por la que se haga la adjudicación de la obra, fianza que puede constituirse en cualquiera de las formas especificados en el apartado anterior.

El plazo señalado en el párrafo anterior, y salvo condición expresa establecida en el Pliego de Condiciones particulares, no excederá de treinta días naturales a partir de la fecha en que se le comunique la adjudicación, y dentro de él deberá presentar el adjudicatario la carta de pago o recibido que acredite la constitución de la fianza a que se refiere el mismo párrafo.

La falta de cumplimiento de este requisito dará lugar a que se declare nula la adjudicación, y el adjudicatario perderá el depósito provisional que hubiese hecho para tomar parte en la subasta.

#### EJECUCIÓN DE TRABAJOS CON CARGO A LA FIANZA

**Artículo 48.-** Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de obra, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

#### DE SU DEVOLUCIÓN EN GENERAL

**Artículo 49.-** La fianza retenida será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de treinta días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. La Propiedad podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratos.

#### DEVOLUCIÓN DE LA FIANZA EN EL CASO DE EFECTUARSE RECEPCIONES PARCIALES

**Artículo 50.-** Si la Propiedad, con la conformidad del Director de obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

### **1.3.3 EPÍGRAFE 3º: DE LOS PRECIOS**

#### COMPOSICIÓN DE PRECIOS UNITARIOS

**Artículo 51.-** El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

*Se considerarán costes directos:*



- a) La mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.
- b) Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- c) Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.
- d) Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.
- e) Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

*Se considerarán costes indirectos:*

- a) Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorios, seguros, etc.
- b) Los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos.

Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

*Se considerarán gastos generales:*

Los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración, legalmente establecidos. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos (en los contratos de obras de la Administración pública este porcentaje se establece entre un 13 y un 17 %).

*Beneficio industrial*

El beneficio industrial del Contratista se establece en el 6 % sobre la suma de las anteriores partidas.

*Precio de Ejecución material*

Se denomina Precio de Ejecución material el resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos a excepción del Beneficio Industrial.

### *Precio de Contrata*

El precio de Contrata es la suma de los costes directos, indirectos, los Gastos Generales y el Beneficio Industrial.

El IVA gira sobre esta suma pero no integra el precio.

### PRECIO DE CONTRATA. IMPORTE DE CONTRATA

**Artículo 52.-** En el caso de que los trabajos a realizar en un edificio u obra aneja cualquiera se contratasen a riesgo y ventura, se entiende por Precio de contrata el que importa el coste total de la unidad de obra, es decir, el precio de Ejecución material, más el tanto por ciento sobre este último precio en concepto de Beneficio Industrial del Contratista. El beneficio se estima normalmente, en 6 %, salvo que en las condiciones particulares se establezca otro distinto.

### PRECIOS CONTRADICTORIOS

**Artículo 53.-** Se producirán precios contradictorios sólo cuando la Propiedad por medio del Director de obra decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista. El Contratista estará obligado a efectuar los cambios. A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que se determine en el Pliego de Condiciones particulares, siempre teniendo en cuenta la descomposición de precios del cuadro correspondiente. Si subsiste la diferencia, se acudirá en primer lugar, al banco de precios de uso más frecuente en la localidad. Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

### RECLAMACIONES DE AUMENTO DE PRECIOS POR CAUSAS DIVERSAS

**Artículo 54.-** Si el Contratista, antes de la firma del contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el

cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras (con referencia a Facultativas).

#### FORMAS TRADICIONALES DE MEDIR O DE APLICAR PRECIOS

**Artículo 55.-** En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas, se estará a lo previsto en primer lugar, al Pliego General de Condiciones Particulares.

#### DE LA REVISIÓN DE LOS PRECIOS CONTRATADOS

**Artículo 56.-** Contratándose las obras a riesgo y ventura, no se admitirá la revisión de los precios en tanto que el incremento no alcance, en la suma de las unidades que falten por realizar de acuerdo con el Calendario, un montante superior al 3% del importe del presupuesto de Contrato.

Caso de producirse variaciones en alza superiores a este porcentaje, se efectuará la correspondiente revisión de acuerdo con la fórmula establecida en el Pliego de Condiciones Particulares, percibiendo el Contratista la diferencia en más que resulte por la variación del IPC superior al 3 %. No habrá revisión de precios de las unidades que puedan quedar fuera de los plazos fijados en el Calendario de la oferta.

#### ACOPIO DE MATERIALES

**Artículo 57.-** El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que la Propiedad ordene por escrito. Los materiales acopiados, una vez abonados por el Propietario, son de la exclusiva propiedad de ésta; de su guarda y conservación será responsable el Contratista.

### **1.3.4 EPÍGRAFE 4º: OBRAS POR ADMINISTRACIÓN**

#### ADMINISTRACIÓN

**Artículo 58.-** Se denominan "Obras por Administración" aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el propietario, bien por sí o por un representante suyo o bien por mediación de un constructor.

Las obras por administración se clasifican en las dos modalidades siguientes:

- a) Obras por administración directa.
- b) Obras por administración delegada o indirecta.

#### OBRAS POR ADMINISTRACIÓN DIRECTA

**Artículo 59.-** Se denominan "Obras por Administración Directa" aquellas en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo, que puede ser el propio Director de obra, expresamente autorizado a estos efectos, lleve directamente las gestiones precisas para la ejecución de la obra, adquiriendo los materiales, contratando su transporte a la obra y, en suma, interviniendo directamente en todas las operaciones precisas para que el personal y los obreros contratados por él puedan realizarla; en estas obras el constructor, si lo hubiese, o el encargado de su realización, es un mero dependiente del propietario, ya sea como empleado suyo o como autónomo contratado por él, que es quién reúne en sí, por tanto, la doble personalidad de Propietario y Contratista.

#### OBRAS POR ADMINISTRACIÓN DELEGADA O INDIRECTA

**Artículo 60.-** Se entiende por "Obras de Administración Delegada o Indirecta" la que conviene un Propietario y un Constructor para que éste, por cuenta de aquel y como delegado suyo, realice las gestiones y los trabajos que se precisen y se convengan. Son por tanto, características peculiares de las "Obras por Administración Delegada o Indirecta" las siguientes:

- a) Por parte del Propietario, la obligación de abonar directamente o por mediación del Constructor todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos convenidos reservándose el Propietario la facultad de poder ordenar, bien por sí o por medio del Director de obra en su representación, el orden o la marcha de los trabajos, la elección de los materiales y los aparatos que en los trabajos han de emplearse y, en suma, todos los elementos que crea preciso para regular la realización de los trabajos convenidos.

- b) Por parte del Constructor, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos, aportando sus conocimientos constructivos, los medios auxiliares precisos y, en suma, todo lo que, en armonía con su cometido, se requiera para la ejecución de los trabajos, percibiendo por ello del Propietario un tanto por ciento prefijado sobre el importe total de los gastos efectuados y abonados por el Constructor.

#### LIQUIDACIÓN DE OBRAS POR ADMINISTRACIÓN

**Artículo 61.-** Para la liquidación de los trabajos que se ejecuten por administración delegada o indirecta, regirán las normas que a tales fines se establezcan en las "Condiciones particulares de índole económica" vigentes en la obra; a falta de ellas, las cuentas de administración las presentará el Constructor al Propietario, en relación valorada a la que deberá acompañarse y agrupados en el orden que se expresan los documentos siguientes todos ellos conformados por el Director de obra:

- a) Las facturas originales de los materiales adquiridos para los trabajos y el documento adecuado que justifique el depósito o el empleo de dichos materiales en la obra.
- b) Las nóminas de los jornales abonados, ajustadas a lo establecido en la legislación vigente, especificando el número de horas trabajadas en la obra por los operarios de cada oficio y su categoría, acompañando a dichas nóminas una relación numérica de los encargados, capataces, jefes de equipo, oficiales y ayudantes de cada oficio, peones especializados y sueltos, listeros, guardas, etc., que hayan trabajado en la obra durante el plazo de tiempo a que correspondan las nóminas que se presentan.
- c) Las facturas originales de los transportes de materiales puestos en la obra o de retirada de escombros.
- d) Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra que haya pagado o en cuya gestión haya intervenido el Constructor, ya que su abono es siempre a cuenta del Propietario

A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión o pago haya intervenido el Constructor se le aplicará, a falta de convenio especial, un quince por ciento (15%), entendiéndose que en este porcentaje están incluidos los medios auxiliares y los de seguridad preventivos de accidentes, los Gastos Generales que al Constructor originen los trabajos por administración que realiza y el Beneficio Industrial del mismo.

#### ABONO AL CONSTRUCTOR DE LAS CUENTAS DE ADMINISTRACIÓN DELEGADA

**Artículo 62.-** Salvo pacto distinto, los abonos al Constructor de las cuentas de la Administración delegada los realizará el Propietario mensualmente según las partes de trabajos realizados aprobados por el Propietario o por su delegado representante.

Independientemente, el Director de obra redactará, con igual periodicidad, la mediación de la obra realizada, valorándola con arreglo al presupuesto aprobado. Estas valoraciones no tendrán efectos para los abonos al Constructor salvo que se hubiese pactado lo contrario contractualmente.

#### NORMAS PARA LA ADQUISICIÓN DE LOS MATERIALES Y APARATOS

**Artículo 63.-** No obstante, las facultades que en estos trabajos por Administración delegada se reserva el Propietario para la adquisición de los materiales y aparatos, si al Constructor se le autoriza para gestionarlos y adquiridos, deberán presentar al Propietario para la adquisición de los materiales y aparatos, si al Constructor se le autoriza para gestionarlos y adquirirlos, deberá presentar al Propietario, o en su representación al Director de obra, los precios y las muestras de los materiales y aparatos ofrecidos, necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

#### RESPONSABILIDAD DEL CONSTRUCTOR EN EL BAJO RENDIMIENTO DE LOS OBREROS

**Artículo 64.-** Si de los partes mensuales de obra ejecutada que preceptivamente debe presentar el Constructor al Director de obra, éste advirtiese que los rendimientos de la mano de obra, en todas o en algunas

de las unidades de obra ejecutada, fuesen notoriamente inferiores a los rendimientos normales generalmente admitidos para unidades de obra iguales o similares, se lo notificará por escrito al Constructor, con el fin de que éste haga las gestiones precisas para aumentar la producción en la cuantía señalada por el Director de obra.

Si hecha notificación al Constructor, en los meses sucesivos, los rendimientos no llegasen a los normales, el Propietario queda facultado para resarcirse de la diferencia, rebajando su importe de 15 % que por los conceptos antes expresados correspondería abonarle al Constructor en las liquidaciones quincenales que preceptivamente deban efectuársele. En caso de no llegar ambas partes a un acuerdo en cuanto a los rendimientos de la mano de obra, se someterá el caso a arbitraje.

#### **RESPONSABILIDADES DEL CONSTRUCTOR**

**Artículo 65.-** En los trabajos de "Obras por Administración delegada", el Constructor solo será responsable de los defectos constructivos que pudieran tener los trabajos o unidades por él ejecutadas y también de los accidentes o perjuicios que pudieran sobrevenir a los obreros o a terceras personas por no haber tomado las medidas precisas que en las disposiciones legales vigentes se establecen. En cambio, y salvo lo expresado en el artículo 62 precedente, no será responsable del mal resultado que pudiesen dar los materiales y aparatos elegidos con arreglo a las normas establecidas en dicho artículo.

En virtud de lo anteriormente consignado, el Constructor está obligado a reparar por su cuenta los trabajos defectuosos y a responder también de los accidentes o perjuicios expresados en el párrafo anterior.

### **1.3.5 EPÍGRAFE 5º: DE LA VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS**

#### **FORMAS VARIAS DE ABONO DE LAS OBRAS**

**Artículo 66.-** Según la modalidad elegida para la contratación de las obras y salvo que en el Pliego Particular de Condiciones Económicas, se preceptúe otra cosa, el abono de los trabajos se efectuará de la siguiente manera:

1. Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso en el importe de baja efectuada por el adjudicatario.
2. Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas.

Previa medición y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas, se abonará al contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el Proyecto, los que servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades.

3. Tanto variable por unidad de obra, según las condiciones en que se realice y los materiales autorizados en la forma que el presente "Pliego General de Condiciones Económicas" determina. Se abonará al Contratista en idénticas condiciones al caso anterior.
4. Por listas de jornales y recibos de materiales, autorizados en la forma que el presente "Pliego General de Condiciones Económicas" determina.
5. Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el Contrato.

#### RELACIONES VALORADAS Y CERTIFICACIONES

**Artículo 67.-** En cada una de las épocas o fechas que se fijen en el contrato o en los "Pliegos de Condiciones Particulares" que rijan en la obra, formará con Contratista una relación valorada de las obras ejecutadas durante los plazos previstos, según la medición que habrá practicado el Director de obra.



Lo ejecutado por el Contratista en las condiciones preestablecidas, se valorará aplicando al resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderal, o numeral correspondiente para cada unidad de obra, los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo presente además lo establecido en el presente "Pliego General de Condiciones Económicas", respecto a mejoras o sustituciones de material y a las obras accesorias y especiales, etc.

Al Contratista, que podrá presenciar las mediciones necesarias para extender dicha relación, se le facilitarán por el Director de obra los datos correspondientes de la relación valorada, acompañándolos de una nota de envío, al objeto de que, dentro del plazo de diez días a partir de la fecha del recibo de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos o devolverlos firmados con su conformidad o hacer, en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas. Dentro de los diez días siguientes a su recibo, el Director de obra aceptará o rechazará las reclamaciones del Contratista si las hubiera, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución del Director de obra en la forma prevenida en los "Pliegos Generales de Condiciones Facultativas y Legales".

Tomando como base la relación valorada indicada en el párrafo anterior, expedirá el Director de obra la certificación de las ejecutadas.

De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya preestablecido.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el noventa por ciento de su importe, a los precios que figuren en los documentos del Proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de la contrata.

Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al periodo a que se refieren y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. En el caso de que el Director de obra lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

#### MEJORAS DE OBRAS LIBREMENTE EJECUTADAS

**Artículo 68.-** Cuando el Contratista, incluso con autorización del Director de obra, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el Proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquiera otra modificación que sea beneficiosa a juicio del Director de obra, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

#### ABONO DE TRABAJOS PRESUPUESTADOS CON PARTIDA ALZADA

**Artículo 69.-** Salvo lo preceptuado en el "Pliego de Condiciones Particulares de Índole Económica" vigente en la obra, el abono de los trabajos presupuestados en partida alzada, se efectuará de acuerdo con el procedimiento que corresponda entre los que a continuación se expresan:

- a) Si existiesen precios contratados para unidades de obra iguales, las presupuestadas mediante partida alzada, se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido.
- b) Si existiesen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios contradictorios para las unidades con partida alzada, deducidos de los similares contratados.
- c) Si no existiesen precios contratados para unidades de obra iguales o similares, la partida alzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el Presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse, en cuyo caso, el Director de obra indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que ha de seguirse para llevar dicha cuenta, que en realidad será de Administración, valorándose los materiales y jornales a los precios que figuren en el Presupuesto aprobado o, en su defecto, a

los que con anterioridad a la ejecución convengan las dos partes, incrementándose su importe total con el porcentaje que se fije en el Pliego de Condiciones Particulares de Gastos Generales y Beneficio Industrial del Contratista.

#### ABONO DE AGOTAMIENTOS Y OTROS TRABAJOS ESPECIALES NO CONTRATADOS

**Artículo 70.-** Cuando fuese preciso efectuar agotamientos, inyecciones u otra clase de trabajos de cualquiera índole especial u ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del Contratista y si no, se contratasen con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por el Propietario por separado de la contrata.

Además de reintegrar mensualmente estos gastos al Contratista, se le abonará juntamente con ellos el tanto por ciento del importe total que, en su caso, se especifique en el Pliego de Condiciones Particulares.

#### PAGOS

**Artículo 71.-** Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra conformadas por el Director de obra, en virtud de las cuales se verificarán aquellos.

#### ABONO DE TRABAJOS EJECUTADOS DURANTE EL PLAZO DE GARANTÍA

**Artículo 72.-** Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

1. Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y el Director de obra exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto y abonado de acuerdo con lo establecido en los "Pliegos

Particulares" o en su defecto en los Generales, en el caso de que dichos precios fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización; en caso contrario, se aplicarán estos últimos.

2. Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por no haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.
3. Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al Contratista.

### **1.3.6 EPÍGRAFE 6º: DE LAS INDEMNIZACIONES MUTUAS**

#### **IMPORTE DE LA INDEMNIZACIÓN POR RETRASO NO JUSTIFICADO EN EL PLAZO DE TERMINACIÓN DE LAS OBRAS**

**Artículo 73.-** La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un tanto por mil del importe total de los trabajos contratados, por cada día natural de retraso, contados a partir del día de terminación fijado en el Calendario de obra.

Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

#### **DEMORA DE LOS PAGOS**

**Artículo 74.-** Si el Propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que corresponde el plazo convenido, el Contratista tendrá además el derecho de percibir el abono de un 4'5 % anual, en concepto de intereses de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo de un mes sin realizarse dicho pago, tendrá derecho el Contratista a la resolución del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que éstos reúnan las

condiciones preestablecidas y que su cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

No obstante lo anteriormente expuesto, se rechazará toda solicitud de resolución del contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra o en materiales acopiados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el contrato.

### **1.3.7 EPÍGRAFE 7º: VARIOS**

#### **MEJORAS Y AUMENTOS DE OBRA. CASOS CONTRARIOS**

**Artículo 75.-** No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Director de obra haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Director de obra ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

En todos estos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o aparatos ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirán el mismo criterio y procedimiento, cuando el Director de obra introduzca innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra contratada.

#### **UNIDADES DE OBRAS DEFECTUOSAS PERO ACEPTABLES**

**Artículo 76.-** Cuando por cualquier causa fuera menester valorar obra defectuosa, pero aceptable a juicio del Director de obra, éste determinará el precio de partida de abono después de oír al Contratista, el cual deberá conformarse con dicha resolución, salvo el caso en que, estando dentro del plazo de ejecución, prefiera demoler la obra y rehacerla con arreglo a condiciones, sin exceder de dicho plazo.

#### SEGURO DE LAS OBRAS

**Artículo 77.-** El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en el caso de siniestro, se ingresará en cuanto a nombre del Propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando.

El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecho en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada; la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda resolver el contrato, con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no se le hubiesen abonado, pero sólo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Director de obra.

En las obras de reforma o reparación, se fijarán previamente la porción de edificio que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se prevé, se

entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte del edificio afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de Seguros, los pondrá el Contratista, antes de contratarlos, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

#### CONSERVACIÓN DE LA OBRA

**Artículo 78.-** Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el Propietario antes de la recepción definitiva, el Director de obra, en representación del Propietario, podrá disponer todo lo que sea preciso para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de resolución del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el Director de obra señale.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del edificio corra a cargo del contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuese preciso ejecutar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar y reparar la obra, durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente "Pliego de Condiciones Económicas".

#### USO POR EL CONTRATISTA DE EDIFICIO O BIENES DEL PROPIETARIO

**Artículo 79.-** Cuando durante la ejecución de las obras ocupe el Contratista, con la necesaria y previa autorización del Propietario, edificios o haga uso de materiales o útiles pertenecientes al mismo, tendrá la obligación de repararlos y conservarlos para hacer entrega de ellos a la

terminación del contrato, en derecho a indemnización por esta reposición ni por las mejoras hechas en los edificios, propiedades o materiales que haya utilizado.

En el caso de que al terminar el contrato y hacer entrega del material, propiedades o edificaciones, no hubiese cumplido el Contratista con lo previsto en el párrafo anterior, lo realizará el Propietario a costa de aquel y con cargo a la fianza.

**Artículo 80.-** Se tendrán en cuenta las siguientes disposiciones:

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales del Ministerio de Obras Públicas.
- Normas Básicas y Generales de la Edificación.
- Ley de Contratos del Estado (D 923/1965).
- Instrucción EHE para el proyecto de ejecución de obras de hormigón en masa o armado.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y normas MIBT complementarias.

**Puerto Real, 1 de Junio de 2006**

**Violeta Vadillo Márquez**

**Fdo.:**



## **2 PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES**

### **2.1 Pliego de condiciones de índole técnica**

#### **2.1.1 Capítulo I: De las características de los materiales**

##### CEMENTO

**Artículo 1.-** El cemento deberá cumplir las condiciones exigidas por el "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales par la recepción de cemento" (RC-97), y normas EHIB. Será de una acreditada marca, debiendo recibirse en obra en los mismos envases en que fue expedido en fábrica y se almacenará en sitio donde no haya humedad, de forma que permita el fácil acceso para la adecuada inspección o identificación de cada remesa.

Se emplearán los tipos más adecuados que las características del terreno y del agua de hormigonado lo permitan. En caso contrario se emplearán cementos adecuados para cada ambiente, que proporcionen resistencias similares, y que deberán ser aprobados por el Director de las obras, previa realización de las series completas o reducidas de ensayos que prescriba.

##### AGUA

**Artículo 2.-** El agua que se emplee en la confección y curado de los morteros será potable, no admitiéndose aguas que no cumplan las siguientes condiciones:

- a) pH comprendido entre 5 y 8.
- b) Sustancias solubles en cantidad inferior a quince gramos por litro.
- c) Contenido en sulfatos, expresados en  $(\text{SO}_4)^{2-}$  inferior a un gramo por litro.
- d) No existencia de hidratos de carbono, ni aún en cantidades mínimas.
- e) Grasas y aceites en cantidad inferior a quince gramos por litro.

##### ÁRIDOS

**Artículo 3.-** Los áridos a emplear en morteros y hormigones serán productos obtenidos por la clasificación de arenas y granos existentes en yacimientos naturales.

En todo caso, el árido se compondrá de elementos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, sin exceso de piezas planas, alargadas, blandas o fácilmente desintegrables, polvo, suciedad, arcilla y otras materias extrañas.

La composición tanto química como granulométrica de los áridos será tal que los hormigones con ellos constituidos, dosificados en la proporción conveniente, proporcionen la resistencia mecánica señalada en el proyecto. Los áridos, una vez limpios y clasificados, se almacenarán de forma que no se mezclen con materiales extraños. Los áridos finos se almacenarán al abrigo de la lluvia.

El almacenamiento de cualquier clase de árido, cuando no se efectúe en tolvas o silos, sino en pilas, deberá disponerse a satisfacción del Ingeniero Director, o en caso contrario, los 30 cm inferiores de la base de las pilas no se utilizarán ni se quitarán durante todo el tiempo que se vaya a utilizar la pila.

Se realizarán los ensayos correspondientes para cada partida de áridos de procedencia distinta, debiendo realizarse una serie completa de ensayos como mínimo para cada tamaño de clasificación.

En todo caso, el Director de obra podrá ordenar la realización de los ensayos que considere necesarios para comprobar, antes de la utilización de áridos, si se cumplen las características exigidas.

#### HORMIGONES

**Artículo 4.-** Se definen como hormigones los materiales formados por mezcla de cemento, agua, árido fino y árido grueso y eventualmente, productos de adición que al fraguar y endurecer proporcionan una notable resistencia.

La dosificación de áridos, cemento y agua será tal que la masa tenga consistencia blanda y que la resistencia característica a compresión a los

28 días en probeta cilíndrica sea de  $25 \text{ N/mm}^2$  en la preparación, amasado, vertido, etc.

En caso de que los ensayos de control dieran como resultado que la resistencia característica deducida fuera menor que la exigida y los ensayos de información y/o pruebas de carga ofreciesen resultados satisfactorios que permitiesen aceptar la obra realizada, el Contratista sufrirá una penalización económica consistente en una disminución del precio del  $\text{m}^3$  de hormigón del 2 % por cada 1 % de disminución de la resistencia característica exigida.

La disminución del precio no podrá sobrepasar en ningún caso del 50 %.

### ACEROS

**Artículo 5.-** Los aceros laminados empleados en la estructura, así como chapas de unión, cartelas, redondos, etc., serán de primer uso, de tipos claramente definidos en la norma MV-102, y cuya resistencia característica será superior a  $3.700 \text{ kg/cm}^2$ , sin exceder de  $4.500 \text{ kg/cm}^2$ .

Las superficies de los redondos no presentarán asperezas que puedan herir a los operarios. Estarán exentos de pelos, grietas, sopladuras, mermas de sección y otros defectos perjudiciales a la resistencia de la barra. Los elementos en los que se aprecien defectos de laminación, falta de homogeneidad, manchas debidas a impurezas, grietas o cualquier otro defecto, serán desechados sin ser sometidos a ningún tipo de prueba.

Las armaduras de acero ordinario se almacenarán de forma que no estén expuestos a una oxidación excesiva.

### LADRILLOS

**Artículo 6.-** Serán duros fabricados con arcillas que no contengan más de un 8 % de arena.

Su cocción será perfecta, tendrá sonido campanil, buenos frentes y aristas vivas y su fractura se presentará uniforme.

La forma estará perfectamente moldeada y cortada, no presentará grietas y tendrá las dimensiones usuales en la localidad

Sumergidos en agua no deberán absorber después de un día de inmersión más de la sexta parte de su peso, no presentarán hendiduras, oquedades, grietas ni defecto alguno de este tipo y no serán heladizos. También deberán poderse cortar con facilidad y sin destrozarse al tamaño que se requiera.

#### MADERA

**Artículo 7.-** La madera para encofrados, andamios y demás medios auxiliares podrá ser de cualquier clase, siempre que haya sido cortada en época apropiada, esté bien seca, sin olor a humedad, no presente nudos, y ofreciendo la resistencia y solidez necesaria que en cada caso corresponda.

#### PINTURAS, ACEITES Y BARNICES

**Artículo 8.-** Todas las sustancias de uso general en pintura, deberán ser de buena calidad.

Los colores serán sólidos y estarán bien mezclados con el aceite purificado y sin posos. El barniz que se emplee será de primera calidad y transparente.

Estos materiales se recibirán en obra en recipientes precintados y deberán tomarse todas las precauciones necesarias para su buena conservación. Los recipientes se abrirán en el momento de su empleo, comprobándose la integridad de los precintos.

#### OTROS MATERIALES

**Artículo 9.-** Los demás materiales que se utilicen en la obra y que se hubiesen dejado de consignar en este Pliego de Condiciones serán de primera calidad y reunirán las condiciones de bondad necesarias a juicio de la Dirección Técnica.

### **2.1.2 Capítulo II: Ejecución de las obras.**

#### REPLANTEO

**Artículo 10.-** La dirección Técnica hará sobre el terreno el replanteo general de las obras y de sus distintas partes, del emplazamiento de las

zanjas, las cuales después de abiertas deberán ser reconocidas por dicha Dirección, sin cuya autorización no podrán rellenarse para formar cimientos ni obra alguna, marcándose por medio de señales fijas los puntos principales que determinen las alineaciones.

Se formarán planos y se extenderán actas del resultado del replanteo y de los reconocimientos, actas que firmarán el Ingeniero y el Contratista.

No podrá darse principio a las obras a que los replanteos se refieren sin autorización del Ingeniero Director, debiendo tomarse previamente todos los datos relativos al estado en que se hallen los terrenos al principio de la cimentación.

Todos los gastos, tanto de materiales como de jornales que se originen al practicar los replanteos a que se refiere este artículo, serán de cuenta del contratista, el cual tiene la obligación de custodiar las señales indicada y reponer las que desaparezcan.

### EXCAVACIONES

**Artículo 11.-** Estos trabajos comprenden todas las operaciones necesarias de limpieza del terreno, excavación de la caja y refino de los taludes resultantes.

La excavación se realizará en la forma y profundidad que figura en los planos, de acuerdo con las alineaciones, rasantes y secciones indicadas en los mismos, o según haya señalado, en su caso, el Director de obras.

Los desmontes se ejecutarán por los procedimientos corrientes de excavación en forma que garantice la seguridad de los obreros, y cuando hayan de emplearse explosivos, con todas las precauciones que la naturaleza de estos materiales exige, para evitar accidentes a los encargados de su manejo y a cuantos pudieran sufrir las consecuencias de su explosión.

Se empezarán a cortar con el talud mínimo que consienta la naturaleza del terreno, hasta tanto que la Dirección Técnica de las obras fije en cada caso, los definitivos. El terreno no quedará perturbado más allá de los

límites previstos y los trabajos de excavación se ejecutarán de manera que se favorezca en todo momento un rápido desagüe.

Los productos de los desmontes que no emplee el contratista en la ejecución de las obras, se colocarán en caballetes o apilados en los lugares que designe el Ingeniero encargado de la inspección donde quedarán a disposición de la Dirección.

Cualquier deterioro en las obras, debido a las excavaciones realizadas por el Contratista, incluidas las que sobrepasen los límites establecidos, será reparado por y a expensas del Contratista.

### TERRAPLENES Y RELLENOS

**Artículo 12.-** Se define como relleno el conjunto de operaciones que conllevan el transporte, deposición y compactación de materiales terrosos y pétreos en terraplenes, zanjas y traslados de obras de fábrica o cualquier otra zona que se detalle en los planos o que ordene la Dirección de obras.

Los terraplenes se ejecutarán a material perdido, con productos procedentes de las excavaciones, siempre que sean adecuados a este uso, dejando su consolidación al tránsito y acción de los agentes atmosféricos pero proporcionando siempre las creces necesarias para que, después de consolidados, queden con altura ligeramente superior a la rasante correspondiente, al objeto de que el refino sea practicado por el rebajamiento.

### CIMENTOS

**Artículo 13.-**Las excavaciones necesarias para ejecutar la cimentación se profundizarán hasta encontrar el terreno conveniente, con las precauciones debidas, apeando y acodalando el terreno cuando sea necesario para la seguridad de los obreros así como para que queden perfectamente determinadas las dimensiones que hayan de tener las zanjas con arreglo al proyecto.

### HORMIGONADO DE CIMENTOS Y PAVIMENTOS

**Artículo 14.-** Tanto la dosificación de cemento como la de áridos, se hará por peso, prestando especial atención a la dosificación de agua para mantener uniforme la consistencia del hormigón.

Las superficies sobre las cuales haya de ser vertido el hormigón estarán limpias, humedecidas, pero sin agua sobrante.

Se empleará el hormigón recién hecho y en general seco. Los semisecos se apisonarán hasta refluimiento. La distancia de transporte será corta para poder quedar cubierta antes de que empiece el fraguado de la mezcla aglomerante, y que el medio utilizado, no de lugar a que el mortero se acumule en parte de la masa, dejando aisladas las piedras. Con este mismo objeto se procurará evitar el vertido del hormigón desde una altura considerable.

El hormigón se extenderá de forma que llene bien todos los huecos y esté en contacto con las paredes del recinto a llenar, procurando con el manejo de herramientas adecuadas, contribuir a conservar su homogeneidad, a facilitar el desprendimiento del aire y a separar las piedras de la superficie que deben quedar vistas

Las superficies de cada capa deberán quedar, en general, sensiblemente horizontales y las mezclas habrán de someterse siempre a la presión que según su consistencia sea necesaria para asegurar la compacidad de la masa.

Cuando fuese necesario recurrir al apisonado se practicará este por igual con golpes muy repetidos pero no demasiado fuertes, y se dará por terminado cuando el agua afluya a la superficie. Las fábricas en que intervenga el hormigón serán regadas y protegidas convenientemente contra el calor y el frío durante el proceso de fraguado y en tanto que este termine.

Cada 20 m<sup>2</sup> se dispondrá una junta de dilatación en todos aquellos elementos de tipo continuo, y en todos aquellos que así lo disponga el Director de obra.

El Contratista queda obligado a cumplir cuantas instrucciones sobre el particular reciba de la Dirección Técnica.

### ARMADURAS

**Artículo 15.-** Se emplearán las armaduras de la calidad y dimensiones fijadas en el proyecto y ocuparán los lugares previstos en los planos de ejecución.

Las desviaciones toleradas en posición de cada armadura no sobrepasarán 1 cm en general y 0,5 cm en lo referente a recubrimiento de armaduras.

Durante el vertido y compactación del hormigón, quedará impedido todo movimiento de las armaduras.

### UNIONES SOLDADAS

**Artículo 16.-** Se utilizarán electrodos de calidad estructural apropiada a las condiciones de la unión del soldeo y de las características mínimas siguientes:

- a) Resistencia a tracción del metal depositado: mayor que  $37 \text{ kg/cm}^2$  para todos los aceros empleados.
- b) Alargamiento de rotura mayor del 22 % para aceros de cualquier tipo.
- c) Resistencia adaptada a la calidad del acero y al tipo de estructura no inferior en ningún caso a  $5 \text{ kg/cm}^2$ .

En el uso de los electrodos se seguirán las normas indicadas por el suministrador.

En la ejecución de soldaduras, preparación de bornes, etc., se seguirá lo dispuesto en la norma MV 104/66 ("Ejecución de las estructuras de acero laminado en la edificación").

### PROTECCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA

**Artículo 17.-** En evitación de oxidaciones se aplicará a toda la estructura metálica una capa de imprimación a partir de aceite de linaza cocido con un máximo en peso del 30 % y minio de plomo con mínimo del 70 % también en peso.

Se autoriza la agregación de otros productos no perjudiciales siempre que no excedan del 6 % en peso.



Siempre que sea posible se efectuará la imprimación en local seco y cubierto, al abrigo del polvo. Y si ello no es posible, podrá efectuarse al aire libre, a condición de no trabajar en tiempo húmedo ni en épocas de heladas.

Posteriormente y transcurrido en plazo mínimo de 36 horas desde la imprimación se aplicarán dos capas de pintura al óleo de color y acabado que indique la Dirección Técnica.

En todo lo referente a la protección, se seguirán las instrucciones de la norma MV 104/72 del Ministerio de la Vivienda.

### FÁBRICA DE LADRILLO

**Artículo 18.-** Los ladrillos deberán ser saturados de humedad y bien escurridos del exceso de agua, antes de su colocación en obra.

Esta fábrica se efectuará a baño fluido de mortero. Los ladrillos se colocarán después de vertido en la hilada inferior cantidad suficiente de mortero sometiéndolas con las manos a resbalamiento y fuerte compresión hasta que refluya el aglomerante por todas partes, quedando el tendel con espesores que no excederán de 12 mm en el interior y de 8 mm en las juntas vistas. Los ladrillos que haya la necesidad de emplear cortados serán a la mayor dimensión que permita el aparejado de la fábrica.

Al reanudarse el trabajo se regará abundantemente la fábrica antigua, se barrerá y se sustituirá, empleando mortero nuevo, todo ladrillo deteriorado.

### EJECUCIÓN DE LOS ALZADOS

**Artículo 19.-** Los alzados de las obras se ejecutarán con las fábricas que tengan prescritas y de acuerdo con las condiciones establecidas para cada una de ellas. En esta ejecución se cuidará especialmente que las uniones de unas fábricas con otras y de las distintas partes de la obra queden aseguradas en todos los casos mediante trabazones o disposiciones que sean precisas.

El Contratista atenderá a este respecto cuantas indicaciones reciba de la Dirección Técnica y a todo lo prescrito en la norma FL 1990 (“Muros resistentes de fábrica de ladrillo”)

### ENFOSCADOS, ENLUCIDOS, ETC

**Artículo 20.-** Los enfoscados se ejecutarán limpiando previamente los paramentos con cepillos metálicos, descarnando las juntas si es preciso y regando convenientemente la fábrica para arrastrar las materias extrañas y proporcionándoles la humedad necesaria.

El mortero se arrojará fuertemente con la paleta alisando después con galocha para obtener una superficie no muy rugosa. Se mantendrán húmedas las superficies enfoscadas para que el fraguado se realice en buenas condiciones.

Los enlucidos se realizarán con mortero de consistencia muy fluida arrojándoles sobre la fábrica y alisando después hasta conseguir que el lienzo tendido no presente rugosidad ni huellas de las herramientas empleadas ni grietas en parte alguna. Se regará abundantemente para conseguir un buen curado.

### OBRAS DE MADERA

**Artículo 21.-** Las dimensiones de las piezas necesarias para la construcción de obras provisionales o auxiliares así como su disposición o fijación podrán ser determinadas por la Dirección Técnica.

La carpintería de madera será ejecutada con la mayor perfección, presentando los ensamblajes bien ajustados y las molduras terminadas, debiendo quedar repasado con papel de lija y llevada al lugar de empleo sin imprimir, para el reconocimiento del Director de obra. Todas las vidrieras exteriores llevarán vierteaguas.

### CERRAJERÍA DE TALLER

**Artículo 22.-** Será ejecutada con el mayor esmero. Puertas, ventanas y barandales, etc., deberán tener las colas suficientes para su perfecto anclaje y de todos los elementos se someterá previamente un modelo a la Dirección Técnica para ser admitidos.

### HERRAJES

**Artículo 23.-** Tanto los herrajes de colgar como los de seguridad serán de buena calidad de acuerdo con los precios establecidos en el presupuesto.

De todos ellos se presentará previamente muestras para su aprobación por el Técnico Director.

#### PINTURA

**Artículo 24.-** Los trabajos de pintura serán esmerados y ejecutados con materiales de la mejor calidad.

#### VIDRIERÍA

**Artículo 25.-** El vidrio será de la calidad especificada para cada caso en el Presupuesto, limpio de todo defecto y de grueso uniforme perfectamente plano, desprovisto de manchas, burbujas, etc. Serán colocados siempre con junquillos de madera o metálicos, según los casos y obedeciendo siempre a las normas establecidas en el Pliego Base.

#### INSTALACIONES DE FONTANERÍA

**Artículo 26.-** Todas las instalaciones se realizarán con el material que se señala en el Presupuesto y en su defecto con el que a juicio de la Dirección Técnica reúna las debidas condiciones de calidad y garantía. Se obedecerá siempre en el material a las secciones y espesores que figuran en el correspondiente documento.

#### RED HORIZONTAL DE SANEAMIENTO

**Artículo 27.-** Las tuberías enterradas irán sobre cama de hormigón, vertido en el fondo, adaptada a la mitad inferior del colector. Se autorizará así mismo su colocación sobre solera de hormigón con calzas de ladrillo, no admitiéndose en ningún caso el asiento directo de la tubería sobre tierra apisonada.

Las arquetas serán ejecutadas en fábrica de ladrillo macizo normal de 1/2 pie de espesor enfoscados y bruñidos en su interior y dándoles en su fondo la forma de canal más apropiada para favorecer la reunión y circulación de las aguas de los tubos que en cada una de ellas concurren.

#### INSTALACIÓN ELÉCTRICA

##### **Artículo 28**

*Artículo 28.1. Condiciones generales de instalación eléctrica*

En la realización de este Proyecto, se tendrá en cuenta, ante todo, lo estipulado por el Ministerio de Industria en su Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Se prestará principal atención a aquellos aparatos y dispositivos destinados a la protección y seguridad, tanto del usuario como de la propia instalación. Las normas que se han tenido en cuenta para la elaboración de este Proyecto son las siguientes:

*Artículo 28.2. Acometida*

Se dispondrá tal y como lo indiquen el resto de documentos del Proyecto. La sección mínima del conductor neutro deberá ser igual a la de conductores de fase. Los empalmes y conexiones de los conductores deberán de efectuarse siguiendo métodos o sistemas que garanticen una perfecta continuidad del conductor y de su aislamiento.

*Artículo 28.3. Caja general*

Se deberá colocar en lugar de tránsito general de fácil y libre acceso, lo más alejada posible de la red general de distribución y de otras instalaciones. Deberá de ser precintable; constar de cortacircuitos fusibles en todos los conductores de fase, con poder de corte igual a la corriente de cortocircuito posible en el punto de su instalación; y tener un borde de conexión de puesta a tierra si la caja es metálica.

*Artículo 28.4. Línea de enlace, caja general, cuadro de contadores*

Enlazará la caja general con el lugar donde se hallen los contadores. Deberá terminar en un embarrado o en unos bornes que deberán quedar protegidos contra cualquier manipulación indebida.

La línea de enlace deberá discurrir por lugares de uso común.

La línea de enlace está constituida por:

- a) Conductores aislados en el interior de tubos, según proyecto.
- b) Los conductores utilizados serán de material especificado en Proyecto.

Los contadores se instalarán sobre bases constituidas al efecto por materiales adecuados y no inflamables y sus medidas serán las dispuestas por la Compañía suministradora.

La zona donde estén situados será de fácil y libre acceso.

La altura mínima del suelo será de 1'5 m y la máxima de 1'8 m.

Los conductores estarán protegidos contra toda manipulación indebida en ellos.

Cada contador y fusible de seguridad tendrá un rótulo indicativo del circuito o desviación individual a que pertenece.

*Artículo 28.5. De las instalaciones interiores o receptores*

Se dotará al edificio de al menos dos circuitos perfectamente diferenciados, Fuerzas y Alumbrados.

Los tubos destinados a contener los conductores tendrán diámetro que permita el aumento de sección de los conductores en un 50 %.

El número de hilos vendrá fijado por el número de fases necesarias para la utilización de los receptores por parte del abonado.

*Artículo 28.6. De las canalizaciones*

Todas las canalizaciones serán accesibles y fácilmente identificables. Se tendrá en cuenta para su trazado, los posibles paralelismos o cruces con otros conductos y canalizaciones disponiéndolas de forma que las superficies de ambas se mantengan a una distancia mínima de 3 cm, y en el caso de cruces, las canalizaciones eléctricas se situarán por debajo de las demás instalaciones, teniendo en cuenta esencialmente los siguientes puntos:

A/- Elevación de la temperatura.

B/- Condensación

C/- Corrosión.

D/- Explosión.

*Artículo 28.7. Puesta a tierra*

El recorrido de los conductores de tierra será lo más corto posible y sin cambios bruscos de dirección.

Los conductores tendrán un buen contacto eléctrico tanto en las partes eléctricas o masas conectadas a tierra, como en el electrodo.

Los circuitos de tierra deberán de ser continuos y no estarán interrumpidos por ningún tipo de seccionador.

La revisión de la toma de tierra se efectuará una vez al año, por lo menos, procurando que el terreno esté lo más seco posible, circunstancia esta que lo hace menos conductor.

*Artículo 28.8. Nota importante*

El instalador Oficial que lleve a cabo la realización de este proyecto, que deberá estar especializado en esta labor y poseer todos los requisitos que establece la legislación vigente, tendrá en cuenta en todo momento las Normas U.N.E. de obligado cumplimiento, publicadas por el instituto de Racionalización y Normalización.

## 2.2 Pliego de condiciones de índole facultativa

### OBRAS AFECTADAS

**Artículo 29.-** Este Pliego de Condiciones particulares, juntamente con el Pliego General de Condiciones, la Memoria, Planos y Presupuestos, son documentos que has de servir de base para la ejecución de las obras correspondientes a este proyecto.

Serán objeto de las normas y condiciones facultativas que se reflejan en el Pliego de Condiciones las obras incluidas en el presupuesto, abarcando a todos los oficios y materiales que en ella se emplean.

### NORMAS DE APLICACIÓN

**Artículo 30.-** Serán de aplicación las normas indicadas en el capítulo correspondiente de la Memoria, y cuantas normas sean de aplicación, de acuerdo con la naturaleza del presente proyecto.

### INTERPRETACIÓN DEL PROYECTO Y REALIZACIÓN DE OBRA

**Artículo 31.-** Corresponde exclusivamente a la Dirección Técnica la interpretación del Proyecto, así como el dar las órdenes complementarias, gráficos o escritos para el correcto desarrollo del mismo.

Las obras se ajustarán a los planos y estados de mediciones, resolviéndose cualquier discrepancia por el Director de obra.

### DURACIÓN DE LAS OBRAS

**Artículo 32.-** Las obras correspondientes al presente proyecto comenzarán en la semana siguiente de la adjudicación por parte del Contratista, en el supuesto de que el contrato no se señale alguna otra fecha.

La duración de las obras será como máximo seis meses, si el contrato no lo estipula expresamente.

### PLAZO DE GARANTÍA

**Artículo 33.-** Se establece un plazo de garantía de 1 año como mínimo para las obras, maquinaria e instalaciones del presente proyecto.

### RETIRADA DE MATERIALES CASO DE RESCISIÓN DEL CONTRATO

**Artículo 34.-** La retirada de maquinaria, medios auxiliares, instalaciones, etc., caso de rescisión de contrato se realizará en el plazo de una semana como máximo contada a partir del día de rescisión, y será por cuenta del Constructor que rescinde.

## 2.3 Pliego de condiciones de índole económica

### MEDICIÓN DE LAS OBRAS EJECUTADAS

**Artículo 35.-** La medición de las obras se hará por el tipo de unidad establecida en el Presupuesto.

### EXCAVACIÓN Y RELLENO

**Artículo 36.-** Se entiende por excavación en tierras las cubicaciones de la explanación efectuada, y por relleno, el mismo volumen descontando el que ocupa la fábrica.

### DEFINICIÓN DEL METRO CÚBICO DE FÁBRICA

**Artículo 37.-** Se entiende por metro cúbico de fábrica el de la obra ejecutada completamente terminada con arreglo a las condiciones. El precio señalado en el cuadro de precios correspondiente se refiere al metro cúbico definido de esta manera, cualquiera que sea la procedencia de los materiales.

### MEDICIÓN DE ALBAÑILERÍA

**Artículo 38.-** Los muros y tabiques se medirán una vez terminados, y se descontarán los huecos que correspondan.

Los forjados de piso se medirán por superficie.

En los tejados, la medición se realizará descomponiendo cada faldón en caras geométricas bien determinadas. No se abonarán aparte los caballetes ni las limas.

Los solados y revestimientos de azulejos también se abonarán descontando los huecos, si los hubiera. Del mismo modo se procederá en guarnecidos, enlucidos, revocos, enfoscados y pinturas.

#### MEDICIÓN DE CERRAJERÍA Y CARPINTERÍA

**Artículo 39.-** La carpintería de puertas y ventanas se medirá con cerco. La medición se realizará sin desarrollar moldaduras.

#### MEDICIÓN DE OBRAS METÁLICAS

**Artículo 40.-** Las partes metálicas de las obras se medirán por kg o por m<sup>2</sup>, según Mediciones del Proyecto y estimación del Director de obra.

#### PRECIOS CONTRADICTORIOS

**Artículo 41.-** Se establece un plazo de dos días para resolver cualquier precio contradictorio entre la Contrata y la Dirección Facultativa.

### 2.4 Pliego de condiciones de índole legal

#### OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA

**Artículo 42.-** El Contratista con carácter general viene obligado a ejecutar esmeradamente todas las obras que se le confían, así como a cumplir rigurosamente todas las condiciones estipuladas en este Pliego o en el Contrato, al igual que cuantas ordenes se le den verbalmente o por escrito por el Técnico Director de las obras.

#### RESPONSALIBIDAD DEL CONTRATISTA

**Artículo 43.-** De la calidad y buena ejecución de las obras contratadas, el Contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio que pudieran costarle, ni por las erradas maniobras que cometiera durante la construcción, siendo a su



cuenta y riesgo independientemente de la inspección que de ellas haya podido haber hecho el Técnico Director de obra.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan, para evitar en lo posible accidentes a los obreros o a los viandantes, en todos los lugares peligrosos de la obra. Así mismo, será responsable ante los tribunales de los accidentes que por inexperiencia o descuido sobrevinieran en el curso de las obras, debiendo atenerse en todo a las normas de prudencia, así como a las disposiciones y Reglamentos de Policía de la materia.

#### LEYES LABORALES DE ACCIDENTES DE TRABAJO

**Artículo 44.-** El contratista viene obligado a cumplir rigurosamente todas las legislaciones vigentes, o que puedan dictarse en el curso de los trabajos.

Igualmente está obligado a tener a todo el personal a sus órdenes debidamente asegurado contra accidentes de trabajo, debiendo así probarlo si a ello fuera invitado por la Dirección Técnica o la Propiedad.

#### MANO DE OBRA

**Artículo 45.-** El contratista deberá tener siempre en obra un número de operarios proporcional a la extensión y clase de los trabajos a juicio de la Dirección Técnica. Estos serán de aptitud reconocida experimentados en su oficio y en todo momento habrá en obra un técnico o encargado apto que vigile e interprete los planos, y haga cumplir las órdenes de la Dirección y cuanto en este Pliego se especifica.

#### DAÑOS EN PROPIEDADES VECINAS

**Artículo 46.-** Si con motivo de las obras el contratista causara algún desperfecto en las propiedades colindantes, tendrá que repararla por su cuenta. Así mismo, adoptará cuantas medidas sean necesarias para evitar la caída de materiales o herramientas que puedan ser motivo de accidentes.

#### RESCISIÓN DEL CONTRATO

**Artículo 47.-** La rescisión, si se produjera, se regirá por el Reglamento General de Contratación para Aplicación de la Ley de Contratos de Estado, por el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales y demás disposiciones vigentes.

Serán causas suficientes de rescisión las siguientes:

- Muerte o incapacitación del Contratista.
- Quiebra del Contratista.
- Alteraciones del contrato por las causas siguientes:
  - Modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales a juicio del Director de obra, y siempre que la variación del presupuesto sea de  $\pm 25\%$  como mínimo de su importe.
  - Variaciones en las unidades de obra en  $\pm 40\%$ .
  - Suspensión de la obra comenzada.
  - Incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido o mala fe con perjuicio de los intereses de las obras.
  - Abandono de la obra sin causa justificada.

#### FORMALIZACIONES DEL CONTRATO

**Artículo 48.-** La formalización del contrato se verificará por documento privado con el compromiso por ambas partes, Propiedad y Contratista de elevarlo a Documento Público a petición de cualquiera de ellos, como complemento del Contrato, los Planos y demás documentos del Proyecto irán firmados por ambos.

**Puerto Real, a 1 de Junio de 2006**

**Violeta Vadillo Márquez**

**Fdo.:**

**DOCUMENTO N° IV: PRESUPUESTO**

**ÍNDICE**

ÍNDICE.....	1
PRECIOS DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DE LA PLANTA PILOTO.	2
PRECIOS DEL SISTEMA COMPLETO DE EQUIPOS DE LA PLANTA PILOTO .....	3
CAPITAL DE SERVICIOS AUXILIARES, CIRCULANTE Y CAPITAL FIJO INVERTIDO, I .....	4
COSTES DE PRODUCCIÓN ANUALES .....	5
BENEFICIOS.....	6

## PRECIOS DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DE LA PLANTA PILOTO

EQUIPO	PRECIO POR UNIDAD (\$) **	AÑO	INDICE MS ANTIGUO	INDICE MS ACTUAL	PRECIO ACTUAL	UNIDADES	TOTAL (\$)	TOTAL
Reactor <sup>1</sup>	36000	2006			36000	10		360.000,00 €
Intercambiador de calor	10666	1992	943,1	1260,9	14261	1	14261	20.848,97 €
Filtro rotatorio a vacío	100000	2002	943,1	1260,9	133697	1	133697	105.108,00 €
Evaporador*		2002	943,1	1260,9	137523,12	1	137523	108.115,66 €
Columna de intercambio iónico	4000	1992	943,1	1260,9	5348	2	10696	15.637,12 €
Bombas	3360	2002	943,1	1260,9	4492	3	13477	10.594,89 €
Tornillo transportador cascarilla	24000	2002	943,1	1260,9	32087,37	1	32087	25.225,92 €
<b>TOTAL INMOVILIZADO DE ELEMENTOS PRINCIPALES</b>								<b>645.530,56 €</b>

\* Escalado en capacidad y tiempo

<sup>1</sup> Valor inicial en €, suministrado por HERPASUR S.A.

\*\* Cambio monedas del 8/05/06

## PRECIOS DEL SISTEMA COMPLETO DE EQUIPOS DE LA PLANTA PILOTO

MÉTODO DE ESTIMACIÓN FACTORIAL	
<b>Inmovilizado de elementos principales (coste del equipo principal sin instalar), <math>I_E</math> (€)</b>	645.530,56 €
<b>Costes directos adicionales como fracción de <math>I_E</math>.</b>	Factor
Mano de obra para la instalación del equipo principal	0,15
Aislamiento	0,2
Conducciones (acero al carbono)	1
Cimientos	0,08
Edificios	0,07
Estructuras	0,05
Protección contra incendios	0,08
Instalación eléctrica	0,11
Pintura y limpieza	0,08
Suma factores $f_i$	1,82
<b>Coste directo total <math>(1+\sum f_i)I_E</math></b>	<b>1.820.396,19 €</b>
<b>Costes indirectos como fracción de los costes directos</b>	
Gastos generales, gerencia.	0,3
Servicios técnicos, honorarios de ingeniería	0,13
Imprevistos	0,13
Suma factores $f_i$	0,56
$F_i=(1+\sum f_i)$	1,56
<b>COSTE TOTAL, <math>I_F=(1+\sum f_i)F_i I_E</math></b>	<b>2.839.818,05 €</b>

**CAPITAL DE SERVICIOS AUXILIARES, CIRCULANTE Y CAPITAL FIJO INVERTIDO, I**

Capital de servicios auxiliares, I <sub>A</sub>	% coste total de la planta instalada	Corrección planta piloto (1)	Subtotal
Edificios auxiliares	5,0	2,5	70.995,45 €
Generación de vapor	2,6	1,3	36.917,63 €
Refrigeración y bombeo de agua	1,8	0,9	25.558,36 €
Subestación eléctrica principal	1,5	0,8	21.298,64 €
Sistema de evacuación de residuos	1,1	0,6	15.619,00 €
Almacenamiento de materias primas	1,1	0,6	15.619,00 €
Distribución de vapor	1,0	0,5	14.199,09 €
Distribución de electricidad	1,0	0,5	14.199,09 €
Distribución de agua	0,9	0,5	12.779,18 €
Sistema de protección contra incendios	0,7	0,4	9.939,36 €
Tratamiento de aguas	0,6	0,3	8.519,45 €
Carreteras y aceras	0,6	0,3	8.519,45 €
Tratamiento sanitario de residuos	0,3	0,2	4.259,73 €
Comunicaciones	0,2	0,1	2.839,82 €
Alumbrado de plantas y zonas limítrofes	0,2	0,1	2.839,82 €
<b>Total I<sub>A</sub></b>			<b>264.103,08 €</b>
<b>Capital circulante, I<sub>W</sub>.</b>			<b>18.978,40 €</b>
<b>CAPITAL FIJO INVERTIDO, I=I<sub>F</sub>+I<sub>A</sub>+I<sub>W</sub></b>			<b>3.122.899,53 €</b>

(1) Corrección de factores. Por tratarse de planta piloto se considera la mitad del factor

## COSTES DE PRODUCCIÓN ANUALES

Costes proporcionales al volumen de producción					
CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO/UNIDAD	CONSUMO DIARIO	CONSUMO ANUAL	TOTAL ANUAL
Cascarilla de arroz	t	40	4	1460	58400
Catalizador	m <sup>3</sup>	700	23,68	23,68	16576
NaOH	m <sup>3</sup>	680	1,18	1,18	802,4
Mantenimiento y reparación			1% I <sub>F</sub>		28398,18
Energía eléctrica	kW-h	0,040402		0,25 kWh/kg producto	9876,73
<b>TOTAL</b>					<b>114.053,31 €</b>
Costes proporcionales al inmovilizado					
				Fracción inmovilizado*	Subtotal
Mantenimiento y reparaciones de procesos altamente corrosivos o a presiones o temperaturas elevadas				0,035	99393,63
Patentes				0	0,00
Seguros				0,005	14199,09
Servicios generales				0,025	70995,45
<b>TOTAL</b>					<b>184.588,17 €</b>
Costes proporcionales a la mano de obra					
Calculado como 10% coste total de producción				TOTAL	<b>33.182,39 €</b>
<b>COSTE DE PRODUCCIÓN TOTAL</b>					<b>331.823,87 €</b>
*Se ha considerado el 50% de cada fracción por tratarse de planta piloto					

**BENEFICIOS**

<b>Ingreso neto por ventas anuales, S.</b>	
Producción diaria (kg)	2680
Cascarilla consumida a diario (kg)	4000
Volumen bioetanol producido (L) a diario (por cada 3kg se produce 1 L)	1333,33
Producción anual (L)	486666,67
Precio de 1 litro bioetanol,€	1
<b>Total anual, €</b>	<b>486.666,67 €</b>

<b>Costes de producción anuales</b>	<b>331.823,87 €</b>
-------------------------------------	---------------------

<b>Beneficio bruto anual, R.</b>	<b>154.842,80 €</b>
----------------------------------	---------------------

<b>Beneficio neto anual, P</b>	
Impuestos (sólo 10% debido a la directiva 2003/96/CE que exime de los impuestos especiales)	0,1
Amortización	0,05
Factor anual de pérdida de valor del inmovilizado	0,1
<b>Capital fijo invertido promedio 15 años</b>	<b>208.193,30 €</b>
<b>Total Beneficio Neto (10 primeros años)</b>	<b>25.765,80 €</b>
<b>Rentabilidad inicial</b>	<b>12,38%</b>
<b>Total Beneficio Neto (Desde el año número 11)</b>	<b>28.398,18 €</b>
<b>Rentabilidad a partir año 11</b>	<b>13,64%</b>



