

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Autor: Francisco José VELA ARAGÓN

Fecha: Julio 2008





**FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**



RESUMEN DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA OBTENCIÓN
DE BIOBUTANOL A PARTIR DE AZÚCAR BRUTA**

Autor:

Fco. Jose Vela Aragón

Tutor:

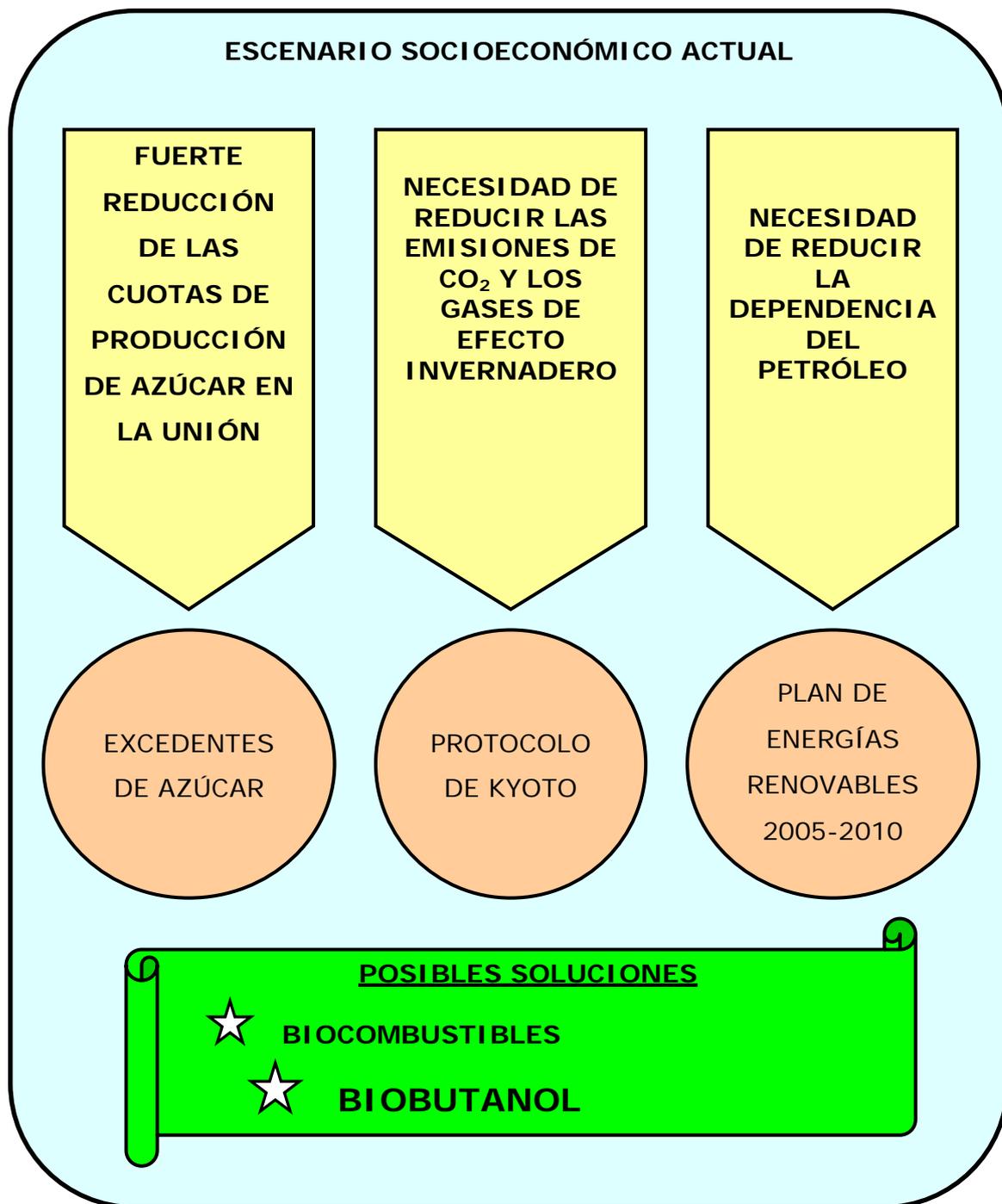
Luis Enrique Romero Zúñiga

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS Y TECNOLOGÍAS DEL MEDIO AMBIENTE**

JULIO, 2008

➤ **¿Cuál es el escenario socioeconómico actual?**

El siguiente gráfico resume la situación socioeconómica actual.



El objeto del presente Proyecto Fin de Carrera es la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta (sacarosa) que tras una hidrólisis enzimática permite obtener azúcares simples (glucosa y fructosa) que son susceptibles de una posterior fermentación acetobutílica, también llamada fermentación ABE.

➤ **¿Qué es el biobutanol? ¿Qué ventajas presenta frente al bioetanol?**

El biobutanol es un biocombustible de segunda generación, no corrosivo y que tiene el potencial de poderse mezclar con las gasolinas en mayor concentración que los actuales biocombustibles.

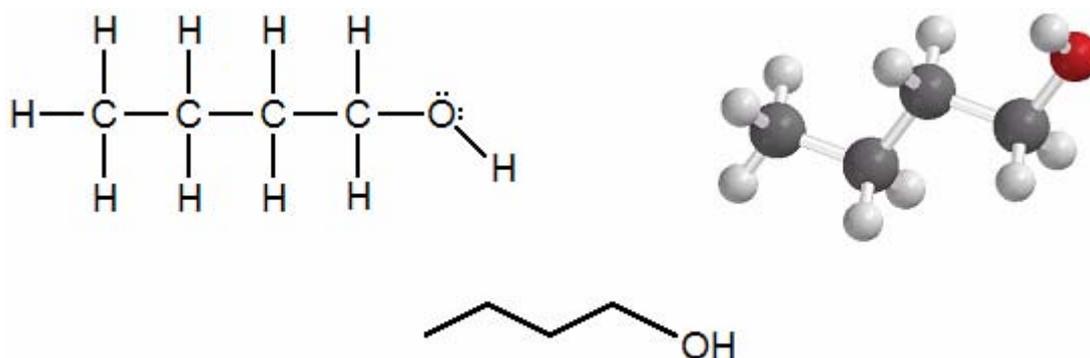


Figura 1. Representaciones de la estructura química del butan-1-ol.

El biobutanol cumple con las características de un “buen” biocombustible, ya que tiene alta densidad energética, una volatilidad controlada, un octanaje suficiente y bajos niveles de impurezas.

Las ventajas más importantes que presenta el biobutanol frente al bioetanol son las que se citan a continuación:

- Tiene un nivel energético más cercano al de la gasolina que el bioetanol, ya que alcanza el 95% de energía que el mismo volumen de gasolina, mientras que el etanol no supera del 75%.

Carburante	Densidad energética (MJ/L)
Bioetanol	21,1 – 21,7
Biobutanol	26,9 – 27,0
Gasolina	32,2 – 32,9

- Puede ser mezclado fácilmente con la gasolina convencional, siendo posible utilizarlo en los vehículos actuales sin tener que realizar adaptaciones en los mismos, en una proporción mayor que el bioetanol.
 - Tolera mejor la contaminación por agua y es menos corrosivo que el bioetanol, por lo que se puede mezclar directamente con la gasolina en la refinería y enviarlo utilizando las mismas infraestructuras petroleras de transporte ya existentes, algo que no es posible con el bioetanol.
 - Se produce a partir de las mismas materias primas agrícolas que el bioetanol como son la remolacha, el maíz o el trigo, y la infraestructura existente para la producción de bioetanol puede ser transformada con relativa facilidad para la producción de biobutanol con cambios de menor importancia en las etapas de fermentación y destilación.
- **¿Por qué producir biocombustibles como el biobutanol para sustituir a la gasolina?**

La continua subida de los precios del petróleo y la necesidad de disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero, hace que la utilización de biocombustibles, como el biobutanol, ya sea en mezcla con la gasolina o sustituyendo a esta totalmente, sea una alternativa factible para solucionar al menos parcialmente el problema planteado.

La utilización de biocombustibles como el biobutanol no generan más CO₂ del ya existente en la atmósfera, o en caso de generarlo, su proporción es mucho menor que la que generan los combustibles fósiles. Este es debido a que se produce un ciclo cerrado consistente en que las plantas, que son necesarias para la obtención de la materia prima para producir el biobutanol, fijan el CO₂ que se produce durante la producción y el consumo de éste. En el esquema que se muestra a continuación se ve perfectamente el ciclo del CO₂.

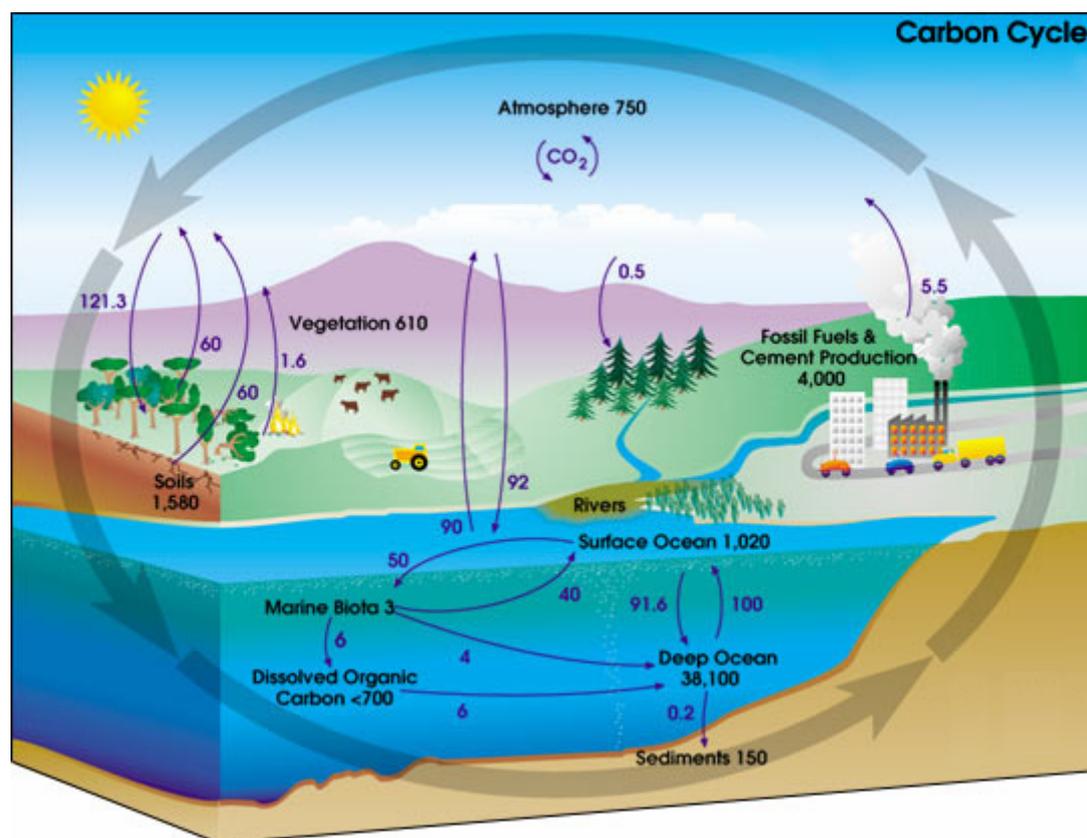


Figura 2. Esquema del ciclo del CO₂.

- **¿Son los biocarburantes la solución perfecta para el problema del petróleo y los gases de efecto invernadero?**

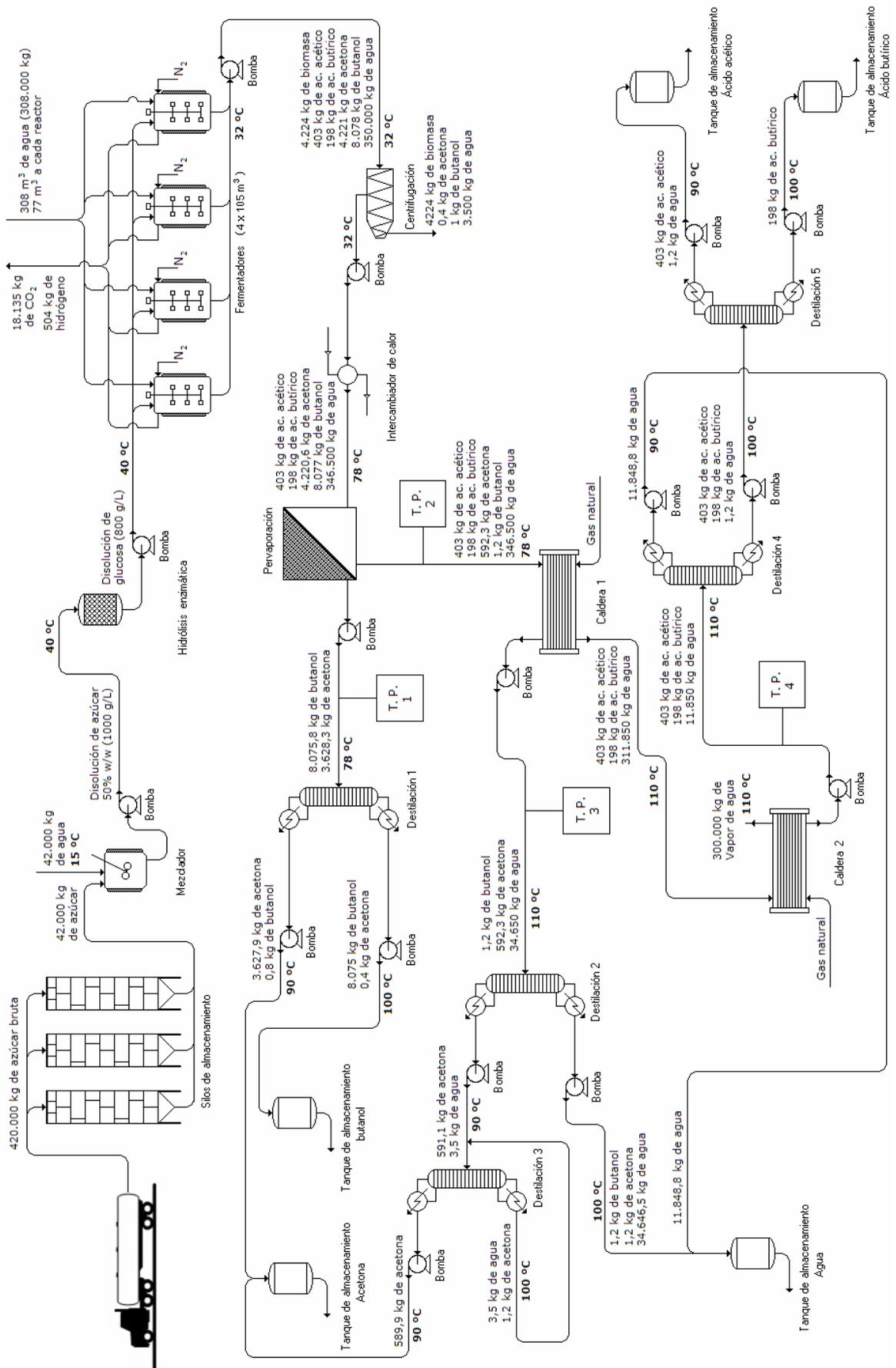
Evidentemente no, los biocarburantes no son la solución perfecta, pero sí pueden ser una solución parcial.

Los biocarburantes no pueden ser una solución perfecta porque en la actualidad se obtienen a partir de alimentos de primera necesidad como por ejemplo el trigo, lo que provoca un conflicto ético y social y, porque no habría superficie cultivable disponible en todo el planeta como para hacer frente a la demanda energética actual.

No obstante, pueden ser una solución parcial, porque se pueden obtener a partir de azúcar, sector que está pasando una crisis en la Unión Europea. Con el recorte de dos millones de toneladas en la producción de azúcar que propone la Unión Europea, se podrían obtener unos 480 millones de litros de biobutanol. Como consecuencia, se mantendrían los puestos de trabajo de los agricultores europeos, lo que provoca que no haya una desertificación de la tierra por el abandono de la agricultura y la creación de nuevos puestos de trabajo tanto directos, en las plantas de producción de biobutanol, como indirectos, en las estaciones de servicios entre otros.

➤ **¿Cómo se puede obtener el biobutanol?**

Para obtener biobutanol a partir de azúcar bruta se necesitaría una planta como la que se representa en el siguiente diagrama de flujo, que corresponde a la planta diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera. A continuación se explicará un poco los aspectos y operaciones más importantes.



El proceso de obtención de biobutanol a partir de azúcar consta de tres etapas fundamentales:

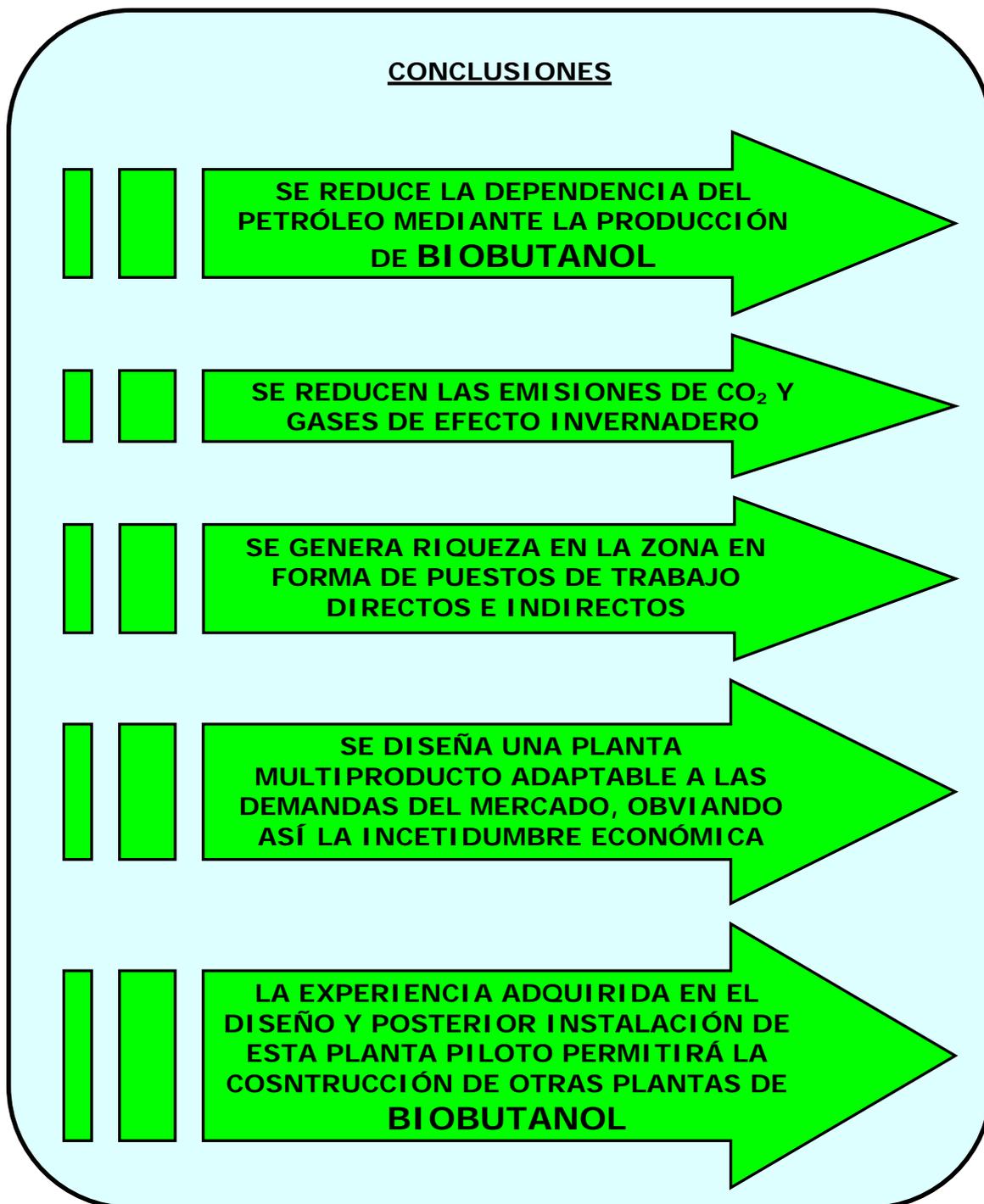
- Una hidrólisis enzimática, para transformar los azúcares complejos (sacarosa) en azúcares simples (glucosa y fructosa).
 - Una fermentación acetobutílica, en la que los microorganismos consumen esos azúcares simples para dar lugar a los productos deseados.
 - Un proceso de separación y purificación, en el que los productos son separados y purificados conforme a las necesidades del mercado. Esta última etapa es la de diseño más complicado porque el caldo de cultivo obtenido contiene diversos productos para cuya separación se necesita una tecnología poco usada en la actualidad en la industria.
- **¿Es rentable producir biobutanol?**

La producción de biobutanol para venderlo como biocombustible para vehículos es rentable intrínsecamente y además se obtienen otros productos como son: acetona, ácidos acético y butírico, agua destilada y vapor de agua. Es decir, la planta de proceso para producir biobutanol es una **planta multiproducto**, lo que permite bastante margen a la hora de cuadrar el balance económico para que este sea positivo.

A pesar de todo, resulta evidente que la producción de combustibles a partir del petróleo resulta mucho más rentable, puesto que su proceso de producción está mucho más estudiado y la economía de escala influye muy positivamente en este caso.

Conclusiones.

El cuadro expuesto más abajo recoge las principales conclusiones del presente Proyecto Fin de Carrera.



INDICE GENERAL

Página

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA DESCRIPTIVA _____ 024

DOCUMENTO N° 2: ANEXOS A LA MEMORIA _____ 248

DOCUMENTO N° 3: PLANOS _____ 484

DOCUMENTO N° 4: PLIEGO DE CONDICIONES _____ 513

DOCUMENTO N° 5: PRESUPUESTO _____ 669

INDICE	Página
DOCUMENTO N° 1: MEMORIA DESCRIPTIVA _____	024
1. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO _____	026
1.1. Objetivo y justificación del proyecto _____	026
2. ENERGÍAS RENOVABLES _____	028
2.1. Introducción _____	028
2.2. Participación de las energías renovables en el balance energético _____	032
2.2.1. Desarrollo de las distintas energías renovables según el Plan de Energías Renovables 2005-2010 _____	037
2.2.1.1. Energía eólica _____	040
2.2.1.2. Energía hidroeléctrica _____	042
2.2.1.3. Energía solar térmica _____	045
2.2.1.4. Energía solar termoeléctrica _____	047
2.2.1.5. Energía solar fotovoltaica _____	049
2.2.1.6. Biomasa _____	051
2.2.1.7. Biogás _____	053
2.2.1.8. Biocarburantes _____	055
2.3. El biobutanol _____	059
2.3.1. Ventajas e inconvenientes del biobutanol _____	060
2.3.2. Perspectivas futuras _____	062
3. VIABILIDAD _____	064
3.1. Viabilidad técnica _____	064
3.2. Viabilidad económica _____	079
3.3. Viabilidad legal y laboral _____	080
4. MATERIA PRIMA _____	084
4.1. Proceso de fabricación del azúcar _____	084
4.2. Distribución de la producción de azúcar en España _____	086
4.3. Azúcar, la sacarosa _____	090

4.4. Azúcares simples, la glucosa y la fructosa _____	092
5. PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS _____	096
5.1. Producto principal _____	097
5.1.1. Biobutanol _____	099
5.2. Subproductos _____	101
5.2.1. Acetona _____	101
5.2.2. Ácido acético _____	102
5.2.3. Ácido butírico _____	104
5.2.4. Dióxido de carbono _____	105
5.2.5. Hidrógeno _____	107
5.2.6. Agua _____	109
5.3. Residuos _____	110
5.4. Expedición de los productos _____	110
6. PROCESO DE PRODUCCION DE BIOBUTANOL _____	112
6.1. Producción de biobutanol a partir de azúcar bruta _____	112
6.2. Etapas principales en la obtención de biobutanol _____	115
6.2.1. Hidrólisis _____	116
6.2.1.1. Hidrólisis enzimática _____	116
6.2.2. Fermentación _____	123
6.2.2.1. Fermentación acetobutílica _____	123
6.2.3. Separación y purificación de los productos _____	129
6.2.3.1. Destilación binaria _____	130
6.2.3.2. Destilación multicomponente _____	135
6.2.3.3. Pervaporación _____	145
7. UBICACIÓN DE LA PLANTA _____	160
7.1. Localización de la planta _____	160
7.2. Disponibilidad de la materia prima _____	163
7.3. Suministro de energía _____	163
7.4. Suministro eléctrico _____	163
7.5. Comunicación y transporte _____	163
7.6. Condiciones Climáticas _____	164

8. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA PLANTA DE PROCESOS _____	166
8.1. Diagrama de flujo del proceso _____	166
8.2. Distribución de equipos en la planta de proceso _____	168
8.3. Recepción y almacenamiento de la materia prima y pretratamiento de la corriente de entrada a la planta de proceso _____	170
8.3.1. Recepción de la materia prima _____	170
8.3.2. Transporte neumático _____	170
8.3.3. Silos _____	172
8.3.3.1. Diseño de los silos _____	172
8.3.3.2. Espesores de los silos _____	173
8.3.4. Mezclador _____	173
8.3.4.1. Corrientes del mezclador _____	174
8.3.4.2. Diseño del mezclador _____	175
8.3.4.3. Espesores del mezclador _____	175
8.3.4.4. Agitación _____	175
8.3.4.5. Calefacción del mezclador _____	176
8.3.4.6. Aislamiento del mezclador _____	176
8.4. Hidrólisis enzimática _____	177
8.4.1. Corrientes del reactor de hidrólisis _____	177
8.4.2. Diseño del reactor de hidrólisis _____	177
8.4.3. Espesores del reactor de hidrólisis _____	178
8.4.4. Refrigeración del reactor de hidrólisis _____	178
8.4.5. Aislamiento del reactor de hidrólisis _____	179
8.5. Intercambiador de calor 1 _____	179
8.6. Fermentación acetobutílica _____	180
8.6.1. Elección del microorganismo _____	181
8.6.2. Características del microorganismo _____	182
8.6.2.1. Cinética del microorganismo _____	182
8.6.2.2. Limitaciones del microorganismo _____	185
8.6.2.3. Condiciones óptimas de operación _____	185
8.6.3. Corrientes de la fermentación _____	186
8.6.4. Diseño de los reactores de fermentación _____	186
8.6.5. Espesores de los reactores de fermentación _____	187

8.6.6. Agitación de los reactores de fermentación _____	187
8.6.7. Refrigeración de los reactores de fermentación ____	188
8.6.8. Aislamiento de los reactores de fermentación _____	188
8.7. Separación de la biomasa. Centrifugación _____	189
8.7.1. Corrientes de la centrífuga _____	190
8.8. Intercambiador de calor 2 _____	190
8.9. Equipos para la separación y purificación de los productos obtenidos en la fermentación acetobutílica _____	192
8.9.1. Sistema de pervaporación _____	192
8.9.1.1. Corrientes del sistema de pervaporación __	193
8.9.1.2. Diseño de la pervaporación _____	193
8.9.2. Columnas de destilación _____	193
8.9.2.1. Columna de destilación nº 1 _____	194
8.9.2.1.1. Corrientes de la columna de destilación _____	194
8.9.2.1.2. Diseño de la columna de destilación _____	194
8.9.2.2. Columna de destilación nº 2 _____	195
8.9.2.2.1. Corrientes de la columna de destilación _____	195
8.9.2.2.2. Diseño de la columna de destilación _____	195
8.9.2.3. Columna de destilación nº 3 _____	196
8.9.2.3.1. Corrientes de la columna de destilación _____	196
8.9.2.3.2. Diseño de la columna de destilación _____	196
8.9.2.4. Columna de destilación nº 4 _____	197
8.9.2.4.1. Corrientes de la columna de destilación _____	197
8.9.2.4.2. Diseño de la columna de destilación _____	197
8.9.2.5. Columna de destilación nº 5 _____	198

8.9.2.5.1. Corrientes de la columna de destilación _____	198
8.9.2.5.2. Diseño de la columna de destilación _____	198
8.10. Caldera _____	199
8.10.1. Caldera 1 _____	199
8.10.1.1. Corrientes de la caldera _____	199
8.10.2. Caldera 2 _____	200
8.10.2.1. Corrientes de la caldera _____	200
8.11. Tanques de almacenamiento de los productos purificados _____	200
8.11.1. Tanque de almacenamiento de la biobutanol ____	200
8.11.2. Tanque de almacenamiento del acetona _____	201
8.11.3. Tanque de almacenamiento del ácido acético ____	201
8.11.4. Tanque de almacenamiento del ácido butírico ____	202
8.11.5. Tanque de almacenamiento del agua destilada ____	202
8.11.6. Tanque de biomasa procedente de la fermentación _____	203
8.12. Tanques pulmón _____	203
8.12.1. Tanque pulmón 1 _____	204
8.12.2. Tanque pulmón 2 _____	204
8.12.3. Tanque pulmón 3 _____	205
8.12.4. Tanque pulmón 4 _____	205
8.13. Red de tuberías y equipos de bombeo _____	206
8.13.1. Válvulas _____	207
8.13.1.1. Tipos de válvulas _____	207
8.13.1.1.1. Válvulas de corte de flujo ____	208
8.13.1.1.2. Válvulas de regulación _____	209
8.13.2. Accesorios _____	211
8.13.2.1. Tipos de accesorios _____	211
8.13.3. Bombas _____	212
8.13.3.1. Tipos de bombas _____	213
8.13.3.1.1. Bombas de desplazamiento positivo _____	213

8.13.3.1.2. Bombas centrífugas _____	214
8.13.3.2. Cavitación _____	215
8.14. Instrumentación de control _____	218
8.15. Control en la planta de proceso _____	218
8.15.1. Sistema de control _____	219
8.15.2. Control básico de las unidades principales _____	220
8.15.2.1. Mezclador _____	220
8.15.2.2. Reactor de hidrólisis _____	221
8.15.2.3. Reactores de fermentación _____	222
8.15.2.4. Columnas de destilación _____	224
8.16. Planificación y programación de la producción _____	226
8.16.1. Personal laboral _____	226
8.16.2. Planificación de la producción _____	227
8.16.3. Diagrama de Gantt _____	228
8.17. Instalación contra incendios _____	230
8.18. Estudio ambiental _____	230
8.19. Normas y referencias _____	231
8.19.1. Normativa general _____	231
8.19.2. Normativa específica de Medio Ambiente _____	234
8.19.3. Normativa específica de Seguridad y Salud _____	234
9. BIBLIOGRAFÍA _____	238
9.1. Libros _____	238
9.2. Artículos _____	239
9.3. Recursos web _____	246
DOCUMENTO N° 2: ANEXOS A LA MEMORIA _____	248
ANEXO 1. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS _____	250
A1.1. Diseño de los silos de almacenamiento _____	250
A1.1.1. Cálculos geométricos _____	250
A1.1.2. Cálculos del espesor de las paredes _____	253
A1.1.3. Cálculos de las patas de apoyo _____	257

A1.1.4. Cálculos del efecto del viento _____	257
A1.2. Diseño del mezclador _____	258
A1.2.1. Cálculos del sistema de calefacción _____	260
A1.3. Diseño de los reactores de hidrólisis _____	263
A1.3.1. Cálculos geométricos _____	263
A1.4. Diseño del intercambiador de calor 1 _____	265
A1.5. Diseño de los tanques de fermentación _____	269
A1.5.1. Cálculos geométricos _____	269
A1.5.2. Cálculos del espesor de las paredes _____	270
A1.5.3. Cálculos de las patas de apoyo _____	277
A1.5.4. Cálculos del efecto del viento _____	277
A1.5.5. Cálculos del sistema de agitación _____	282
A1.5.6. Cálculos del sistema de refrigeración _____	285
A1.6. Diseño del intercambiador de calor 2 _____	292
A1.7. Equipos para la separación y purificación de los productos obtenidos en la fermentación acetobutílica _____	295
A1.7.1. Diseño del sistema de pervaporación _____	295
A1.7.2. Diseño de las columnas de destilación _____	302
A1.7.2.1. Diseño de la columna de destilación nº 1 _____	302
A1.7.2.1.1. Cálculos característicos de la columna _____	302
A1.7.2.1.2. Cálculos para el diseño de los platos _____	305
A1.7.2.1.3. Diseño de la columna de destilación _____	310
A1.7.2.2. Diseño de la columna de destilación nº 2 _____	311
A1.7.2.2.1. Cálculos característicos de la columna _____	311
A1.7.2.2.2. Diseño de la columna de destilación _____	314
A1.7.2.3. Diseño de la columna de destilación nº 3 _____	316

A1.7.2.3.1. Cálculos característicos de la columna _____	316
A1.7.2.3.2. Diseño de la columna de destilación _____	319
A1.7.2.4. Diseño de la columna de destilación nº 4 _____	321
A1.7.2.4.1. Cálculos característicos de la columna _____	321
A1.7.2.4.2. Diseño de la columna de destilación _____	324
A1.7.2.5. Diseño de la columna de destilación nº 5 _____	326
A1.7.2.5.1. Cálculos característicos de la columna _____	326
A1.7.2.5.2. Diseño de la columna de destilación _____	329
A1.8. Diseño de la calderas _____	330
A1.8.1. Cálculos del consumo de gas natural para la caldera 1 _____	330
A1.8.2. Cálculos del consumo de gas natural para la caldera 2 _____	332
A1.9. Diseño de los tanques de almacenamiento _____	333
A1.9.1. Diseño del tanque de butanol _____	334
A1.9.2. Diseño del tanque de acetona _____	335
A1.9.3. Diseño del tanque de ácido acético _____	336
A1.9.4. Diseño del tanque de ácido butírico _____	337
A1.9.5. Diseño del tanque de agua destilada _____	338
A1.9.6. Diseño del tanque de biomasa procedente de la fermentación _____	339
A1.10. Diseño de los tanques pulmón _____	340
A1.10.1. Diseño del tanque pulmón 1 _____	341
A1.10.2. Diseño del tanque pulmón 2 _____	342
A1.10.3. Diseño del tanque pulmón 3 _____	343
A1.10.4. Diseño del tanque pulmón 4 _____	344

A1.11. Red de tuberías y equipos de bombeo _____	345
A1.11.1. Cálculos del espesor _____	350
A1.11.2. Comprobación del espesor _____	356
A1.11.3. Cálculo y selección de las bombas _____	357
A1.11.3.1. Cálculos de la potencia de la bomba ____	357
A1.11.3.2. Cavitación de la bomba _____	363
A1.12. Sistema contra incendios _____	367
A1.12.2. Diseño del tanque de agua contra incendios ____	369
A1.12.2.1. Diseño del tanque _____	370
ANEXO 2. SISTEMA CONTRA INCENDIOS _____	372
A2.1. Introducción _____	372
A2.2. Cubetos de retención _____	372
A2.3. Redes de drenaje _____	373
A2.4. Zonas de descarga _____	374
A2.5. Límites exteriores de las instalaciones _____	374
A2.6. Protección contra incendios _____	374
A2.6.1. Protección con agua _____	376
A2.6.2. Protección con espuma _____	381
A2.7. Protecciones especiales _____	381
A2.7.1. Extintores _____	381
A2.7.2. Alarmas _____	383
A2.7.2.1. Sistemas automáticos de detección de Incendios _____	383
A2.7.2.2. Sistemas manuales de alarma de Incendios _____	384
A2.7.2.3. Sistemas de comunicación de alarma ____	384
A2.7.3. Equipos auxiliares _____	385
ANEXO 3. REQUISITOS MINIMOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL CONFORME AL TIPO DE SUSTANCIA QUIMICA UTILIZADA EN LA INSTALACION Y ZONIFICACIÓN DE LAS AREAS POR RIESGO DE INCENCIO Y EXPLOSIÓN _____	386

A3.1. Zonificación de áreas por riesgos de incendio y explosión _____	386
ANEXO 4. DISEÑO DE SILOS _____	396
ANEXO 5. DISEÑO DE TANQUES _____	400
ANEXO 6. DISEÑO DE LA CENTRÍFUGA _____	410
ANEXO 7. DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR _____	416
ANEXO 8. DISEÑO DE LA PERVAPORACIÓN _____	418
ANEXO 9. DISEÑO DE LAS CALDERAS _____	422
ANEXO 10. MÁQUINA EMBOTELLADORA _____	426
ANEXO 11. RED DE TUBERIAS Y EQUIPOS DE BOMBEO _____	428
ANEXO 12. SISTEMA DE CONTROL _____	440
ANEXO 13. FICHAS DE SEGURIDAD _____	462
A13.1. Ficha de seguridad de la sacarosa _____	463
A13.2. Ficha de seguridad de la glucosa _____	465
A13.3. Ficha de seguridad del butanol _____	467
A13.4. Ficha de seguridad de la acetona _____	469
A13.5. Ficha de seguridad del ácido acético _____	471
A13.6. Ficha de seguridad del ácido butírico _____	473
ANEXO 14 MODELO CINÉTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE ACETONA-BUTANOL-ETANOL _____	476

DOCUMENTO N° 3: PLANOS _____	484
Plano N° UCA-00-0001 _____	486
Plano N° UCA-00-0002 _____	487
Plano N° UCA-01-0001 _____	488
Plano N° UCA-03-0001 _____	489
Plano N° UCA-03-0002 _____	490
Plano N° UCA-06-0001 _____	491
Plano N° UCA-06-0002 _____	492
Plano N° UCA-10-0001 _____	493
Plano N° UCA-10-0002 _____	494
Plano N° UCA-11-0001 _____	495
Plano N° UCA-20-0001 _____	496
Plano N° UCA-20-0002 _____	497
Plano N° UCA-20-0003 _____	498
Plano N° UCA-20-0004 _____	499
Plano N° UCA-20-0005 _____	500
Plano N° UCA-25-0001 _____	501
Plano N° UCA-25-0002 _____	502
Plano N° UCA-25-0003 _____	503
Plano N° UCA-25-0004 _____	504
Plano N° UCA-30-0001 _____	505
Plano N° UCA-30-0002 _____	506
Plano N° UCA-30-0003 _____	507
Plano N° UCA-30-0004 _____	508
Plano N° UCA-35-0001 _____	509
Plano N° UCA-35-0002 _____	510
DOCUMENTO N° 4: PLIEGO DE CONDICIONES _____	513
1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO _____	515
1.1. Interpretación del pliego _____	515
1.2. Objeto del pliego _____	515

1.3. Documentos que definen la obra _____	515
1.4. Alcance de la documentación _____	516
1.5. Compatibilidad y relación entre dichos documentos _____	516
1.6. Cuerpo normativo _____	516
2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES _____	520
2.1. Condiciones generales facultativas _____	520
2.1.1. Dirección Facultativa _____	520
2.1.2. Obligaciones y derechos del Contratista _____	522
2.1.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares _____	525
2.1.4. Recepción provisional, plazo de garantía y recepción definitiva _____	534
2.1.5. Casos no previstos en este pliego _____	536
2.2. Condiciones generales económicas _____	537
2.2.1. Base fundamental _____	537
2.2.2. Garantías de cumplimiento y fianzas _____	537
2.2.3. Penalizaciones _____	539
2.2.4. Precios y revisiones _____	540
2.2.5. Medición, valoración y abono de las unidades de obra _____	544
2.3. Condiciones generales legales _____	558
2.3.1. Arbitrio y jurisdicción _____	558
2.3.2. Responsabilidades legales del Contratista _____	559
2.3.3. Subcontratas _____	564
2.3.4. Pago de arbitrios _____	564
2.3.5. Causas de rescisión del contrato _____	565
3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES _____	567
3.1. Generalidades _____	567
3.2. Comienzo de las obras _____	568
3.3. Movimiento de tierras _____	570
3.4. Cimentaciones _____	577
3.5. Estructuras de acero _____	591
3.6. Albañilería _____	594

3.7. Pintura _____	602
3.8. Instalaciones eléctricas en baja tensión y de alumbrado ____	606
3.9. Centro de transformación _____	626
3.10. Bombas _____	639
3.11. Tuberías _____	640
3.12. Aislamiento térmico _____	642
3.13. Aislamiento acústico _____	642
3.14. Pruebas hidráulicas _____	643
3.15. Seguridad y salud en la obra _____	644
DOCUMENTO N° 5: PRESUPUESTO _____	669
1. INTRODUCCIÓN _____	671
2. ESTADO DE MEDICIONES _____	674
2.1. Equipos de proceso _____	674
2.2. Tanques de fermentación y almacenamiento _____	676
2.3 Cerrajería _____	678
2.4. Cimentación y cubetos _____	679
2.5. Red de tuberías _____	679
2.6. Sistemas de control _____	681
2.7. Protección contra incendios _____	683
2.8. Salud y seguridad _____	684
2.9. Obra civil _____	686
3. LISTA DE PRECIOS UNITARIOS _____	687
3.1. Equipos de proceso _____	687
3.2. Tanques de fermentación y almacenamiento _____	689
3.3 Cerrajería _____	691
3.4. Cimentación y cubetos _____	692
3.5. Red de tuberías _____	692
3.6. Sistemas de control _____	695
3.7. Protección contra incendios _____	697

3.8. Salud y seguridad _____	698
3.9. Obra civil _____	700
4. LISTA DE PRECIOS DESCOMPUESTOS _____	701
4.1. Equipos de proceso _____	701
4.2. Tanques de fermentación y almacenamiento _____	704
4.3 Cerrajería _____	706
4.4. Cimentación y cubetos _____	707
4.5. Red de tuberías _____	707
4.6. Sistemas de control _____	710
4.7. Protección contra incendios _____	712
4.8. Salud y seguridad _____	714
4.9. Obra civil _____	715
5. BALANCE ENERGÉTICO _____	716
5.1. Consumo energético _____	716
5.2. Consumo eléctrico _____	716
6. BALANCE ECONÓMICO _____	720
6.1. Beneficios _____	720
6.2. Coste de la inversión inicial _____	721
6.3. Requerimiento y coste de la mano de obra _____	721
6.4. Coste de las materias primas _____	722
6.4. Coste energético _____	722
7. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD _____	724

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS	Página
<i>Figura 2.1. Balance de energía primaria 2006</i> _____	<i>033</i>
<i>Figura 2.2. Balance de energía eléctrica 2006</i> _____	<i>034</i>
<i>Tabla 2.1. Producción de energía primaria con energías renovables en 2006</i> _____	<i>036</i>
<i>Tabla 2.2. Síntesis de escenarios energéticos y escenarios de energías renovables</i> _____	<i>038</i>
<i>Tabla 2.3. Producción de energía primaria con energías renovables en 2006</i> _____	<i>039</i>
<i>Tabla 2.4. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de incremento de potencia eólica del Plan de Energías Renovables 2005-2010</i> _____	<i>041</i>
<i>Tabla 2.5. Potencia de energía hidroeléctrica en España en 2006</i> _____	<i>042</i>
<i>Tabla 2.6. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de incremento de potencia al 2010 en el área minihidráulica</i> _____	<i>043</i>
<i>Tabla 2.7. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de incremento de potencia al 2010 en el área hidráulica</i> _____	<i>044</i>
<i>Tabla 2.8. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de incremento de superficie solar térmica para el año 2010</i> _____	<i>046</i>
<i>Tabla 2.9. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de instalación de energía solar termoeléctrica del Plan de Energías Renovables 2005-2010</i> _____	<i>048</i>
<i>Tabla 2.10. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de instalación de energía solar fotovoltaica para 2010</i> _____	<i>050</i>
<i>Tabla 2.11. Distribución por CC.AA. del objetivo de instalación de biomasa para el periodo 2005-2010</i> _____	<i>052</i>
<i>Tabla 2.12. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo energético para la producción biogás del Plan de Energías Renovables 2005-2010</i> _____	<i>054</i>
<i>Tabla 2.13. Objetivos energéticos propuestos en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 por tipo de residuo empleado para la producción de biogás</i> _____	<i>055</i>

<i>Tabla 2.14. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo energético para la producción de biocarburantes del Plan de Energías Renovables 2005-2010</i>	<i>058</i>
<i>Tabla 2.15. Objetivos energéticos propuestos en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 para cada tipo de recurso y biocarburante</i>	<i>059</i>
<i>Tabla 2.16. Densidades energéticas del bioetanol, biobutanol y Gasolina</i>	<i>060</i>
<i>Figura 3.1. Esquema de una destilación</i>	<i>069</i>
<i>Figura 3.2. Esquema de una destilación multicomponente</i>	<i>070</i>
<i>Figura 3.3. Esquema de la operación de pervaporación</i>	<i>071</i>
<i>Figura 3.4 Esquema de una extracción líquido-líquido</i>	<i>072</i>
<i>Figura 3.5. Esquema de fermentación discontinua y fermentación discontinua con adsorción</i>	<i>074</i>
<i>Figura 3.6. Representación del posible mecanismo de adsorción por resina PVP</i>	<i>074</i>
<i>Figura 3.7. Esquema de la ósmosis inversa</i>	<i>075</i>
<i>Figura 3.8. Esquema de la producción de butanol y recuperación in situ por gas stripping</i>	<i>076</i>
<i>Figura 4.1. Esquema de un proceso de fabricación de azúcar</i>	<i>084</i>
<i>Figura 4.2. Molécula de sacarosa diferenciando los dos monosacáridos de los que se compone</i>	<i>090</i>
<i>Figura 4.3. Forma y estructura de una molécula de glucosa</i>	<i>092</i>
<i>Figura 4.4. Formas furano y pirano de la D-glucosa</i>	<i>093</i>
<i>Figura 4.5. Forma y estructura de una molécula de fructosa</i>	<i>094</i>
<i>Figura 4.6. Formas furano de la fructosa</i>	<i>094</i>
<i>Figura 5.1. Representaciones de la estructura química del butan-1-ol y butan-2-ol</i>	<i>098</i>
<i>Figura 5.2. Representaciones de la estructura química del butan-1-ol</i>	<i>100</i>
<i>Figura 5.3. Representaciones de la estructura química de la Acetona</i>	<i>101</i>
<i>Figura 5.4. Representaciones de la estructura química del ácido acético</i>	<i>103</i>

<i>Figura 5.5. Representaciones de la estructura química del ácido butírico</i>	<i>104</i>
<i>Figura 5.6. Representaciones de la estructura química del dióxido de carbono</i>	<i>105</i>
<i>Figura 5.7. Representaciones de la estructura química del agua</i>	<i>109</i>
<i>Figura 6.1. Mecanismo de la hidrólisis enzimática de la sacarosa</i>	<i>119</i>
<i>Figura 6.2. Representación de la variación de la concentración de los compuestos con el tiempo en una reacción enzimática</i>	<i>121</i>
<i>Figura 6.3. Velocidad de reacción frente a la concentración de substrato según la ecuación de Michaelis-Menten</i>	<i>123</i>
<i>Figura 6.4. Representación de la evolución del pH y la producción de gas</i>	<i>126</i>
<i>Figura 6.5. Representación del esquema de la ruta de reacción de la fermentación acetobutílica llevada a cabo por el microorganismo Clostridium acetobutylicum</i>	<i>129</i>
<i>Figura 6.6. Representación de una torre de platos</i>	<i>130</i>
<i>Figura 6.7. Representación esquemática de las corrientes de entrada y salida de una torre de platos</i>	<i>138</i>
<i>Figura 6.8. Diagrama del mecanismo de pervaporación a través de una membrana</i>	<i>146</i>
<i>Figura 6.9. Esquemas generales de una unidad de pervaporación a vacío (izquierda) y con gas de arrastre (derecha)</i>	<i>147</i>
<i>6.10. Perfiles de concentración, temperatura y presión en el proceso de pervaporación a través de membranas compuestas</i>	<i>152</i>
<i>Figura 7.1. Vista aérea de España</i>	<i>161</i>
<i>Figura 7.2. Vista aérea de la provincia de Cádiz</i>	<i>162</i>
<i>Figura 7.3. Vista aérea del polígono El Portal</i>	<i>162</i>
<i>Figura 8.1. Diferentes regímenes de transporte neumático</i>	<i>171</i>
<i>Figura 8.2. Cinética del microorganismo</i>	<i>184</i>
<i>Figura 8.3. Esquema de la centrifuga y del tornillo sin fin</i>	<i>190</i>
<i>Figura 8.4. Sección transversal del sistema de preevaporación</i>	<i>192</i>
<i>Figura 8.5. Tipos de válvulas</i>	<i>200</i>
<i>Figura A1.1. Esquema de un cabezal toriesférico</i>	<i>274</i>
<i>Figura A1.2. Relaciones geométricas de los impulsores y tanques</i>	<i>283</i>

<i>Figura A1.3. Sección transversal del sistema de pervaporación</i>	<i>299</i>
<i>Figura A1.4. Pantalla correspondiente a las características de la alimentación de la columna de destilación nº 1</i>	<i>302</i>
<i>Figura A1.5. Pantalla correspondiente a las características de la columna de destilación nº 1</i>	<i>303</i>
<i>Figura A1.6. Pantalla correspondiente a las condiciones de operación de la columna de destilación nº 1</i>	<i>304</i>
<i>Figura A1.7. Zonas de un plato perforado para una columna de Destilación</i>	<i>305</i>
<i>Figura A1.8. Esquema de colocación de las perforaciones de un plato en los vértices de un triángulo equilátero (pitch)</i>	<i>307</i>
<i>Figura A1.9. Pantalla correspondiente a las características de la alimentación de la columna de destilación nº 2</i>	<i>311</i>
<i>Figura A1.10. Pantalla correspondiente a las características de la columna de destilación nº 2</i>	<i>312</i>
<i>Figura A1.11. Pantalla correspondiente a las condiciones de operación de la columna de destilación nº 2</i>	<i>313</i>
<i>Figura A1.12. Pantalla correspondiente a las características de la alimentación de la columna de destilación nº 3</i>	<i>316</i>
<i>Figura A1.13. Pantalla correspondiente a las características de la columna de destilación nº 3</i>	<i>317</i>
<i>Figura A1.14. Pantalla correspondiente a las condiciones de operación de la columna de destilación nº 3</i>	<i>318</i>
<i>Figura A1.15. Pantalla correspondiente a las características de la alimentación de la columna de destilación nº 4</i>	<i>321</i>
<i>Figura A1.16. Pantalla correspondiente a las características de la columna de destilación nº 4</i>	<i>322</i>
<i>Figura A1.17. Pantalla correspondiente a las condiciones de operación de la columna de destilación nº 4</i>	<i>323</i>
<i>Figura A1.18. Pantalla correspondiente a las características de la alimentación de la columna de destilación nº 5</i>	<i>326</i>
<i>Figura A1.19. Pantalla correspondiente a las características de la columna de destilación nº 5</i>	<i>327</i>

Figura A1.20. Pantalla correspondiente a las condiciones de operación de la columna de destilación n° 5 _____ 328

DOCUMENTO N° 1:

MEMORIA DESCRIPTIVA

Capítulo 1

OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1. Objeto y justificación del proyecto.

El objeto del presente Proyecto Fin de Carrera es la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta (sacarosa) que ha sido sometida a una hidrólisis enzimática para obtener azúcares simples (glucosa y fructosa) que son susceptibles de una posterior fermentación acetobutílica, también llamada fermentación ABE.

El porqué de producir biobutanol en lugar de bioetanol, siendo este último el más estudiado y que habitualmente se produce, se fundamenta en que el biobutanol alcanza el 95% de energía que el mismo volumen de gasolina, mientras que el bioetanol no supera el 75%. Asimismo, el biobutanol se puede mezclar con la gasolina convencional en una proporción mayor que el bioetanol, e incluso puede llegar a ser un sustituto total de la gasolina sin tener que hacer adaptaciones ni cambios en las mecánicas actuales de los coches.

El biobutanol también tolera mejor la contaminación por agua y es menos corrosivo que el bioetanol, por lo que se puede mezclar directamente con la gasolina en la refinería y enviarlo utilizando las mismas infraestructuras petroleras de transporte ya existentes, algo que no es posible con el bioetanol.

Concretamente, el proceso que se propone en este Proyecto Fin de Carrera constaría de tres grandes etapas bien diferenciadas que son: la hidrólisis del azúcar bruta para obtener azúcares simples, la fermentación

acetobutílica que es el núcleo fundamental del proyecto y por último el sistema de separación y purificación de los productos para que estos presenten los estándares de calidad necesarios para su utilización.

La primera gran etapa es la hidrólisis enzimática del azúcar bruta (sacarosa) que es un disacárido, y se llevará a cabo con la enzima invertasa, también conocida como sacarasa, (E.C. 3.2.1.26) [9001-57-4], para obtener azúcares simples (glucosa y fructosa) que son monosacáridos susceptibles de ser fermentados por microorganismos.

La segunda gran etapa y más importante es la fermentación acetobutílica de esos azúcares simples que se producirá en varios fermentadores debido al gran volumen de agua necesario ya que al microorganismo le resulta más fácil y rápido trabajar a concentraciones iniciales de aproximadamente 100 g/l de azúcares y, porque el butanol es tóxico para el microorganismo a concentraciones superiores a 25 g/l ya que enlentece y detiene la fermentación afectando al sistema de transporte de los azúcares y a los otros sistemas enzimáticos de localización membranaria como la ATP asa (MOREIRA y col., 1981).

La tercera y última gran etapa consiste en la separación y purificación de los productos obtenidos para que estos tengan unas características y propiedades adecuadas para su uso. Para esta separación y purificación se utilizarán procesos como la destilación y la pervaporación que es un sistema novedoso de separación mediante membranas.

Capítulo 2

ENERGÍAS RENOVABLES

2.1. Introducción.

En la actualidad el planeta encara el agotamiento progresivo de sus recursos energéticos basados en fuentes de energía no renovables, tales como el petróleo, y al mismo tiempo, el consumo de energía en todo el planeta aumenta cada vez a ritmos más agigantados.

Por otra parte, el consumo global de combustibles fósiles genera enormes cantidades de gases contaminantes que son liberados a la atmósfera. Estos gases están provocando cambios en el clima del planeta, por lo que se han convertido en uno de los problemas que más preocupan a los gobiernos, las ONG's, las comunidades y a la opinión pública en general.

Estos gases que provocan el efecto invernadero son gases que de forma natural componen la atmósfera terrestre, pero que la acción del hombre, se ha encargado de aumentar su concentración original en la atmósfera, lo que además de resultar peligroso, nos conduce hacia al cambio climático del planeta.

Los gases de efecto invernadero son diversos y de distintas procedencias de los que los más importantes son los siguientes:

➤ ***Dióxido de carbono (CO₂).***

La principal fuente de emisión de dióxido de carbono a la atmósfera es la quema de combustibles fósiles y biomasa (gas natural, petróleo, combustibles, leña) en procesos industriales, transporte, y actividades domiciliarias (cocina y calefacción). Los incendios forestales y de pastizales constituyen también una fuente importante de dióxido de carbono atmosférico. La concentración del dióxido de carbono atmosférico subió desde 280 ppm en el periodo 1000-1750, a 368 ppm en el año 2000, lo que representa un incremento porcentual del 31%.

➤ ***Metano (CH₄).***

La principal fuente natural de producción de metano son los pantanos. El metano se produce también en la descomposición anaeróbica de la basura en los rellenos sanitarios, en las emisiones ganaderas, en el cultivo de arroz, en la producción y distribución de gas y combustibles y en la combustión incompleta de combustibles fósiles. Se estima que su concentración aumentó entre 700 ppb en el periodo 1000-1750 y 1.750 ppb en el año 2000, con un aumento porcentual del 151% (incertidumbre de $\pm 25\%$).

➤ ***Óxidos de nitrógeno (NO_x).***

El aumento de los óxidos de nitrógeno en la atmósfera se deriva parcialmente del uso creciente de fertilizantes nitrogenados. Los óxidos de nitrógeno también aparecen como subproductos de la quema de combustibles fósiles y biomasa, y asociado a diversas actividades industriales (producción de nylon y producción de ácido nítrico). Se estima que la concentración de NO_x atmosférico creció entre 270 ppb en el periodo 1000-1750, a 316 ppb en el año 2000 (un $17 \pm 5\%$ de aumento).

➤ **Ozono (O₃).**

El ozono troposférico se genera en procesos naturales y en reacciones fotoquímicas que involucran gases derivados de la actividad humana. Su incremento se estima en un 35% entre el año 1750 y el 2000, aunque con una incertidumbre de $\pm 15\%$.

El ozono estratosférico es de origen natural y tiene su máxima concentración entre 20 y 25 km de altura sobre el nivel del mar. En ese nivel cumple un importante rol al absorber gran parte de la componente ultravioleta de la radiación solar. Se ha determinado que ciertos compuestos gaseosos artificiales que contienen cloro o bromo han contribuido a disminuir la concentración del ozono en esta capa, particularmente alrededor del Polo Sur durante la primavera del Hemisferio Sur.

➤ **Halocarbonos.**

Los halocarbonos son compuestos gaseosos que contienen carbono y algunos de los siguientes elementos: cloro, bromo o fluor. Estos gases, que fueron creados para aplicaciones industriales específicas, han experimentado un significativo aumento de su concentración en la atmósfera durante los últimos 50 años. Una vez liberados, algunos de ellos son muy activos como agentes intensificadores del efecto invernadero planetario. Como resultado de la larga vida media de la mayoría de ellos, las emisiones que se han producido en los últimos 20 o 30 años continuarán teniendo un impacto por mucho tiempo.

Una de las formas de abordar el problema del efecto invernadero es el uso de recursos energéticos basados en fuentes de energías renovables como pueden ser la energía solar térmica, la energía solar fotovoltaica, la energía hidroeléctrica, la energía eólica, el biogás, la biomasa y los biocarburantes.

Estos últimos pueden ser de vital importancia, ya que basamos nuestra movilidad en una fuente energética cuyo futuro está seriamente comprometido y esta es una razón más que suficiente para plantearse un cambio en el modelo energético, pero es que además se da la circunstancia de que el petróleo es un recurso distribuido geográficamente de manera desigual, y este es un aspecto que no se puede pasar por alto. La Unión Europea depende de terceros para obtener más de la mitad del petróleo que consume, mientras que en España el porcentaje supera el 70%.

Estos datos deberían hacernos reflexionar y llevarnos a cambiar, no sólo el modelo energético, sino también nuestros hábitos de consumo. Es hora de retomar la senda del ahorro y desterrar la idea de que un mayor consumo equivale a un mayor bienestar. Este bienestar comienza precisamente de disfrutar de un medio ambiente saludable y esto es algo que casa muy mal con la quema de combustibles fósiles. Solamente los combustibles fósiles destinados al transporte son responsables del 25% de las emisiones españolas de gases de efecto invernadero, los que además de deteriorar la calidad del aire que respiramos, son responsables del calentamiento global de la Tierra.

En este sentido, los biocarburantes juegan con una gran ventaja, ya que al estar elaborados a partir de materia vegetal, el CO₂ emitido durante su combustión corresponde al que fue anteriormente absorbido durante el crecimiento de las plantas que forman su materia prima, con lo que se cierra un ciclo neutro, al menos teóricamente. CANNELL (2003) afirma que una hectárea de cultivos usados para la producción de biocombustibles, como biobutanol, bioetanol y biodiesel, podrían evitar la emisión de 0,2 a 2,0 toneladas de carbono a la atmósfera en comparación con la utilización de combustibles fósiles.

Además SHEEHAN y HIMMEL (1999) destacan que la producción de biocombustibles, ya sea biobutanol, bioetanol o biodiesel, ayudaría a la economía de los países que lo producen, ya que estos reportarían dinero y puestos de trabajo, y también ayudaría al sector de la agricultura ya que se necesitaría gran cantidad de cultivos energéticos.

Todo lo citado anteriormente, unido a que España depende de terceros países para la obtención de más del 70% de los combustibles fósiles que utilizamos, y que en nuestro país el sector de la agricultura en los últimos años está sufriendo una decadencia, en especial el sector azucarero, nos hace pensar que la producción masiva de biocombustibles puede ser una opción muy interesante de cara al futuro para el abastecimiento propio del país e incluso para la exportación a otros países que no tengan o superficie suficiente o un clima adecuado como para producir los cultivos energéticos necesarios como la caña de azúcar, la remolacha, el sorgo, el trigo y el maíz entre otros.

En el caso que ocupa a este Proyecto Fin de Carrera, la noticia publicada el 23 de Febrero de 2007 y que dice: “España deberá reducir obligatoriamente el 10,5% de su producción comercializada de azúcar en la campaña 2007-2008 para evitar excedentes de este producto, según acordó ayer el Comité de Gestión del Azúcar de la Unión Europea, formado por expertos de los Veintisiete. Para España, la decisión supondrá sacar del mercado unas 93.418 toneladas de su producción de azúcar en 2007-2008”, nos resulta de gran interés, ya que en vez de reducir la producción de azúcar, esas 93.418 toneladas se pueden usar para la producción de biocombustible como el biotutanol, lo cual, no solo se conservaría los puestos de trabajos de los agricultores y trabajadores de las azucareras, sino que además se crearían nuevos puestos de trabajos en las plantas de producción de biobutanol.

2.2. Participación de las energías renovables en el balance energético.

En los países desarrollados, el alto grado de dependencia energética del exterior, unido a otros factores como las limitadas reservas de combustibles fósiles, su encarecimiento progresivo, consideraciones medioambientales y las incertidumbres políticas y económicas a las que se encuentran sometidos los países productores, ha hecho que el interés por la fuentes de energías renovables sea cada vez mayor.

En España y la Unión Europea este interés queda plasmado en el Plan de Energías Renovables 2005-2010, (PER), en el que se establece el

compromiso de cubrir con fuentes de energías renovables al menos el 12% del consumo total de energía en 2010.

El gráfico que se muestra a continuación representa el balance de energía primaria en España en 2006.

2006: Balance de energía primaria

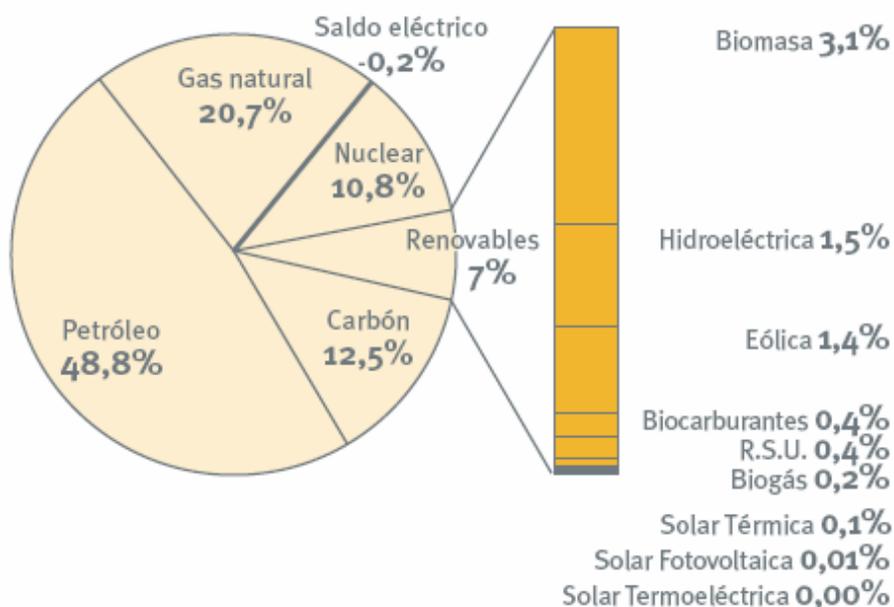


Figura 2.1. Balance de energía primaria 2006.

Fuente: Memoria anual 2006. IDEA.

Como puede observarse a finales de 2006 las fuentes de energía renovables solamente representan el 7% del total, con lo que aún nos encontramos bastante lejos del objetivo propuesto en el Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Como se observa en el gráfico, aproximadamente el 44% de energía renovable es producida a partir de biomasa, más del 21% es producida por centrales hidroeléctricas y el 20% es producida por energía eólica. Esto supone que sólo estas tres fuentes de energías renovables producen más del

85% de la energía renovable producida en España y que el resto de energías renovables no llegan a sumar ni el 15%.

A tenor de estos datos, resulta claro que para conseguir el objetivo planteado en el Plan de Energías Renovables 2005-2010, aún hay un gran margen de mejora. Sobre todo, habrá que fomentar mucho más la participación de la energía solar, ya sea térmica, termoeléctrica o fotovoltaica, así como el biogás, los residuos sólidos urbanos (R.S.U.) y los biocombustibles, y por supuesto seguir con el desarrollo de la energía eólica, la energía hidroeléctrica y la biomasa.

A continuación se muestra un gráfico que representa el balance de energía eléctrica en España en 2006.

2006: Balance de energía eléctrica

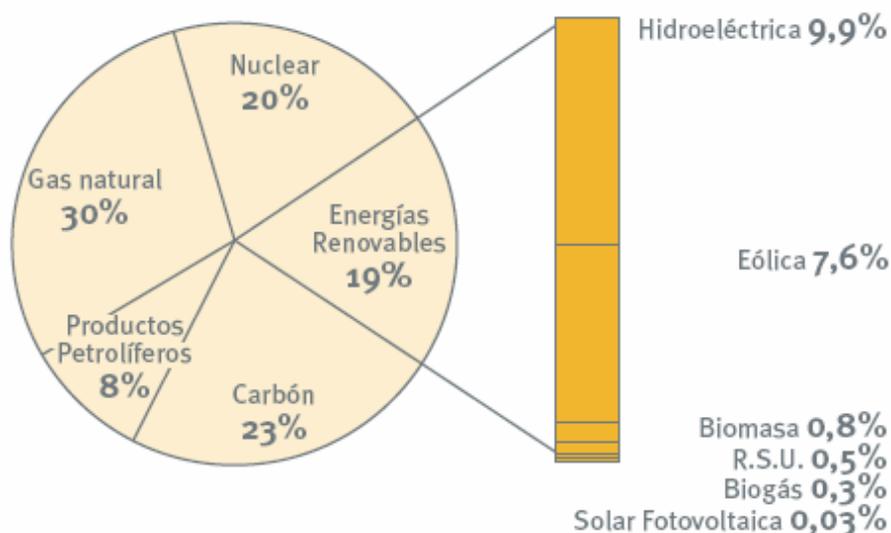


Figura 2.2. Balance de energía eléctrica 2006.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

Como podemos ver en dicho gráfico, las energías renovables representan el 19% del total de las fuentes de energías utilizadas para producir electricidad. La fuente de energía más utilizada para producir

electricidad en España es el gas natural con un 30%, seguido del carbón con un 23% y de la energía nuclear con un 20%. Los productos petrolíferos quedan relegados al último lugar con sólo el 8%, a pesar de que en el balance de energía primaria es la primera fuente de producción con casi el 50%. Esto es debido a que en España la principal utilización que tienen los productos petrolíferos es como combustibles para vehículos.

Del 19% del total de las fuentes utilizadas para producir electricidad en España, que representa las fuentes de energías renovables, más del 92% se produce únicamente por energía hidroeléctrica y energía eólica. Esto supone que menos de un 8% se debe a otro tipo de fuentes de energías renovables como son la biomasa, los residuos sólidos urbanos (R.S.U.), el biogás o la energía solar fotovoltaica.

Observando estos datos nos damos cuenta de que en España se aprovechan muy bien los recursos hidráulicos disponibles a la hora de producir energía eléctrica, esto se pone de manifiesto en el gráfico anterior, ya que más del 52% de la energía eléctrica producida por fuentes de energía renovables es producida por energía hidroeléctrica.

También se observa que en España hay un gran potencial eólico y que aunque se explota bien, aún se podría explotar mucho mejor, ya que en España fuimos pioneros en la producción de electricidad a partir de la energía eólica, pero nuestros parques eólicos se han quedado un poco anticuados debido a que la potencia de los aerogeneradores ha ido evolucionando cada vez más y la que tenemos instalada en los primeros parques eólicos que se construyeron, como puede ser el de Tarifa, es muy inferior a la potencia de los aerogeneradores que se instalan actualmente. No obstante, una renovación de los aerogeneradores más antiguos por nuevos aerogeneradores de mayor potencia en los parques eólicos ya existentes, junto con la instalación de nuevos parques eólicos ya sean terrestres o marinos daría un gran impulso a la producción de electricidad en España a partir de esta fuente de energía renovable.

Otro gran potencial que tenemos para producir energía eléctrica es la energía solar fotovoltaica, aunque todavía no es muy utilizada, esta fuente de energía renovable puede ser muy interesante de cara al futuro, debido a la gran cantidad de radiación solar de la que goza nuestro país durante todo el año, en especial Andalucía, Murcia y las Islas Canarias.

A continuación se muestra una tabla resumen con la producción de energía a partir de fuentes de energía renovables en España en 2006.

Producción con energías renovables en 2006			
	Potencia (MW)	Producción (GWh)	Producción en términos de Energía Primaria ⁽¹⁾ (ktep)
Generación de electricidad			
Hidráulica (> 50 MW)	13.521		
Hidráulica (Entre 10 y 50 MW)	2.979	29.501	2.198
Hidráulica (< 10 MW)	1.886		
Biomasa	391	2.455	978
R.S.U.	189	1.397	556
Eólica	11.568	22.814	1.962
Solar Fotovoltaica	145	88	8
Biogás	160	990	314
Solar termoeléctrica	-	-	-
Total áreas eléctricas	30.840	57.245	6.016
Usos térmicos			
	m ²		(ktep)
Biomasa			3.536
Solar térmica de baja temperatura	949.086		73
Total áreas térmicas			3.610
Biocarburantes (Transporte)⁽²⁾			
Total Biocarburantes			562
TOTAL ENERGÍAS RENOVABLES			10.188
Consumo Energía Primaria (ktep)			144.909
Energías Renovables/Energía Primaria (%)			7%

(1): Datos de 2006, provisionales. Fuente MITYC e IDAE.

(2): Datos de capacidad de producción de las plantas en funcionamiento.

Tabla 2.1. Producción de energía primaria con energías renovables en 2006.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

2.2.1. Desarrollo de las distintas energías renovables según el Plan de Energías Renovables 2005-2010.

España mantiene desde hace tres lustros un notorio crecimiento del consumo de energía y de la intensidad energética. Nuestra creciente y excesiva dependencia energética exterior, cercana al 80% en los últimos años, y la necesidad de preservar el medio ambiente y asegurar un desarrollo sostenible, obligan al fomento de fórmulas eficaces para un uso eficiente de la energía y la utilización de fuentes limpias. Por tanto, el crecimiento sustancial de las fuentes renovables, junto a una importante mejora de la eficiencia energética, responde a motivos de estrategia económica, social y medioambiental, además de ser básico para cumplir los compromisos internacionales en materia de medio ambiente.

El Plan de Energías Renovables en España 2005-2010, constituye la revisión del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000-2010 hasta ahora vigente. Con esta revisión, se trata de mantener el compromiso de cubrir con fuentes renovables al menos el 12% del consumo total de energía en 2010, objetivo que informa las políticas de fomento de las energías renovables en la Unión Europea desde la aprobación del Libro Blanco en 1997, y que en España fue establecido por la Ley del Sector Eléctrico y dio lugar al mencionado Plan de Fomento. Así mismo, este Plan de Energías Renovables 2005-2010 incorpora los otros dos objetivos indicativos para el año 2010 que son, la generación del 29,4% de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables y un consumo del 5,75% de biocarburantes en transporte.

En el Plan de Energías Renovables 2005-2010 también se analiza las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) evitadas en 2010, por la utilización de las energías renovables, y se realiza una estimación de su valoración económica.

A continuación se muestra una tabla en la que se representan los objetivos citados del Plan de Energías Renovables en tres escenarios distintos que son el actual, el probable y el optimista.

PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES 2005-2010

Síntesis de Escenarios Energéticos y Escenarios de Energías Renovables

	Producción en términos de Energía Primaria (ktep)			
	2004 (1)	2010		
		Escenarios de Energías Renovables		
		Actual	Probable	Optimista
TOTAL ÁREAS ELÉCTRICAS	5.973	7.846	13.574	17.816
TOTAL ÁREAS TÉRMICAS	3.538	3.676	4.445	5.502
TOTAL BIOCARBURANTES	228	528	2.200	2.528
TOTAL ENERGÍAS RENOVABLES	9.739	12.050	20.220	25.846
Escenario Energético: Tendencial				
Consumo de Energía Primaria (ktep)	141.567	166.900	167.100	167.350
Energías Renovables/Energía Primaria (%)	6,9%	7,2%	12,1%	15,4%
Escenario Energético: Eficiencia				
Consumo de Energía Primaria (ktep)	141.567	159.807	160.007	160.257
Energías Renovables/Energía Primaria (%)	6,9%	7,5%	12,6%	16,1%

(1): Datos provisionales. Para energía hidráulica, eólica, solar fotovoltaica y solar térmica, se incluye la producción correspondiente

a un año medio, a partir de las potencias y superficie en servicio a 31 de diciembre, de acuerdo con las características de las instalaciones puestas en marcha hasta la fecha, y no el dato real de 2004. No incluidos biogás térmico y geotermia, que en 2004 representan 28 y 8 ktep.

Tabla 2.2. Síntesis de escenarios energéticos y escenarios de energías renovables.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

De acuerdo con estos resultados, el desarrollo de las energías renovables correspondiente al escenario probable alcanza el 12,1% de cobertura, con lo que se cumpliría el objetivo propuesto para el 2010. Sin embargo, en el caso del escenario actual, como es lógico, estamos aún muy por debajo del compromiso, solo se cubriría el 7,2%. En el escenario optimista se supera el objetivo propuesto para el 2010 llegando a cubrir con energías renovables hasta un 15,4% de la producción de energía primaria total.

Por lo que se refiere al objetivo de generación de electricidad con fuentes de energías renovables, establecido en el 29,4% para el año 2010, en el escenario probable se alcanza el objetivo, ya que la producción eléctrica con fuentes de energía renovable se sitúa en el 30,3% del consumo bruto de

electricidad en 2010. También en este caso, como en el anterior, en el escenario actual estamos muy por debajo de cumplir el objetivo, mientras que en el escenario optimista estamos por encima.

En relación con el consumo previsto de biocarburantes, el correspondiente al escenario probable, 2,2 millones de tep en 2010, representaría un 5,83% del consumo de gasolina y gasóleo previsto para el transporte en ese mismo año, lo que significa que estamos ligeramente por encima del objetivo señalado en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 en el uso de biocarburantes que es el 5,75% en el año 2010.

La siguiente tabla recoge la contribución de las energías renovables a la limitación de emisiones de CO₂. En el caso de la generación eléctrica, la comparación se hace con respecto a las emisiones asociadas a una moderna central de ciclo combinado a gas natural, con un rendimiento del 54%, salvo en el caso de la co-combustión, combustión conjunta de biomasa y carbón en centrales de este combustible fósil, en el que se comparan con las emisiones correspondientes a una central convencional de carbón.

PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES 2005-2010

Emisiones de CO₂ evitadas frente a CC a GN en el año 2010 por el incremento de fuentes renovables entre 2005 y 2010 (t CO₂/año)

	Escenarios de Energías Renovables		
	Actual	Probable	Optimista
TOTAL ÁREAS ELÉCTRICAS	5.392.257	18.650.981	26.889.788
TOTAL ÁREAS TÉRMICAS	413.132	2.785.036	6.018.515
TOTAL BIOCARBURANTES	891.368	5.905.270	6.883.212
TOTAL ENERGÍAS RENOVABLES	6.696.756	27.341.287	39.791.515
Valoración económica del CO₂ evitado (millones de euros/año) (1)	134	547	796

(1): Valoración económica del CO₂ evitado por el Plan en el año 2010, no del acumulado hasta entonces, para un precio de la tonelada de CO₂ de 20 €.

Tabla 2.3. Producción de energía primaria con energías renovables en 2006.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

2.2.1.1. Energía eólica.

La energía eólica en España ha experimentado un extraordinario desarrollo en los últimos años, sólo superado a nivel mundial por Alemania, hasta alcanzar la cifra de 11.615 MW en funcionamiento a finales de 2006.

Ello ha sido motivado, principalmente, por disponer de unos destacables recursos eólicos, así como una legislación muy favorable, tanto a nivel nacional como regional. Al mismo tiempo, el alto grado de madurez alcanzado por el sector ha propiciado una elevada competitividad tecnológica, junto con expectativas de rentabilidad razonables capaces de animar la inversión privada.

Se espera que esta evolución tenga continuidad en los próximos años. No obstante, para ello habrá que resolver fundamentalmente dos particularidades que generan cierta incertidumbre: la gestión del volumen de energía asociada a una mayor penetración en la red eléctrica, y el desarrollo de infraestructuras de transporte que permitan la conexión de futuras instalaciones eólicas.

En el Plan de Energías Renovables se planteó un ambicioso objetivo, consistente en que las fuentes de energía renovables fueran el 12% de la energía primaria demandada en el global de la Unión Europea en el año 2010.

En lo que respecta a la energía eólica el objetivo establecido fue incrementar, para el conjunto del territorio nacional, la potencia eólica en 12.000 nuevos MW, lo que supondría alcanzar una potencia eólica instalada de 20.155 MW para el año 2010. En la siguiente tabla se realiza un desglose meramente indicativo de los 12000 nuevos MW en cada una de las Comunidades Autónomas. Para realizar esta distribución, se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- Recursos eólicos existentes.
- Grado de desarrollo regional de la energía eólica: instalaciones en funcionamiento, en construcción y en fase de tramitación administrativa.

- La propia planificación eólica de las Comunidades Autónomas.
- Estado de la normativa regional y grado de desarrollo.
- Evolución tecnológica territorial en el sector eólico.

Comunidad Autónoma	Situación año 2004 (MW)	Incremento 2005-2010 (MW)	Potencia al 2010 (MW)
Andalucía	350	1.850	2.200
Aragón	1.154	1.246	2.400
Asturias	145	305	450
Baleares	3	47	50
Canarias	139	491	630
Cantabria	-	300	300
Castilla y León	1.543	1.157	2.700
Castilla – La Mancha	1.534	1.066	2.600
Cataluña	94	906	1.000
Extremadura	-	225	225
Galicia	1.830	1.570	3.400
Madrid	-	50	50
Murcia	49	351	400
Navarra	854	546	1.400
La Rioja	356	144	500
Comunidad Valenciana	21	1.579	1.600
País Vasco	85	165	250
TOTAL	8.155	12.000	20.155

Tabla 2.4. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de incremento de potencia eólica del Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

2.2.1.2. Energía hidroeléctrica.

La energía hidroeléctrica constituye una de las fuentes principales de electricidad del país, con una larga tradición histórica que ha permitido en la actualidad conformar un sector tecnológicamente maduro y muy consolidado, fruto de los elevados recursos existentes. La evolución de la energía hidroeléctrica en España en las últimas décadas ha sido siempre creciente, aunque la participación de esta en el total de energía eléctrica producida ha ido disminuyendo.

Este sector ha alcanzado una alta eficiencia tecnológica, como resultado de muchos años de desarrollo. Desde el punto de vista medioambiental, cabe destacar que la energía hidroeléctrica es la energía con menores repercusiones o impactos medioambientales.

Las grandes centrales hidroeléctricas (>50 MW) siguen representando la principal fuente de producción eléctrica en España, ya que generan algo más de dos tercios de la misma. Las centrales de tamaño medio (entre 10 y 50 MW) y las minihidráulicas (<10 MW), a pesar de la diferencia de potencia instalada entre ambas, comparten la producción del tercio restante, tal como se observa en la siguiente tabla.

Tipo de central	Potencia (MW)	% potencia	Producción (GWh)	% producción
Mayor de 50 MW	13.521,00	73,97%	25.013,90	68,47%
Entre 10 y 50 MW	2.938,50	16,08%	5.876,90	16,09%
Minihidráulica (<10 MW)	1.818,90	9,95%	5.638,70	15,44%
TOTAL	18.278,40	100%	36.529,50	100%

Tabla 2.5. Potencia de energía hidroeléctrica en España en 2006.

A continuación se muestra para el área minihidráulica, >10 MW, el desglose de los objetivos planteados para el año 2010, estableciendo en su conjunto un objetivo de potencia hidroeléctrica incremental de 450 MW en el periodo 2005-2010, con lo que se lograría una potencia global de 2.199 MW.

ÁREA MINIHIDRÁULICA (MENOR DE 10 MW)			
Comunidad Autónoma	Situación año 2004 (MW)	Incremento 2005-2010 (MW)	Potencia al 2010 (MW)
Andalucía	198	30	228
Aragón	194	40	234
Asturias	90	10	100
Baleares	0	0	0
Canarias	1	1	2
Cantabria	54	5	59
Castilla y León	264	90	354
Castilla – La Mancha	105	40	145
Cataluña	232	50	282
Extremadura	25	7	32
Galicia	215	102	317
Madrid	46	3	49
Murcia	18	4	22
Navarra	161	34	195
La Rioja	46	10	56
Comunidad Valenciana	45	13	58
País Vasco	55	11	66
TOTAL	1.749	450	2.199

Tabla 2.6. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de incremento de potencia al 2010 en el área minihidráulica. Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

Igualmente para el área hidráulica, entre 10 y 50 MW, se muestra el desglose de los objetivos planteados para el año 2010, estableciendo en su conjunto un objetivo de potencia hidroeléctrica incremental de 360 MW en el periodo 2005-2010, con lo que se lograría una potencia global de 3.257 MW.

ÁREA MINIHIDRÁULICA ENTRE 10 Y 50 MW			
Comunidad Autónoma	Situación año 2004 (MW)	Incremento 2005-2010 (MW)	Potencia al 2010 (MW)
Andalucía	285	47	332
Aragón	476	33	509
Asturias	153	0	153
Baleares	0	0	0
Canarias	0	0	0
Cantabria	43	0	43
Castilla y León	378	65	443
Castilla – La Mancha	154	30	184
Cataluña	679	25	704
Extremadura	112	0	112
Galicia	432	86	518
Madrid	53	0	53
Murcia	14	0	14
Navarra	20	28	48
La Rioja	0	0	0
Comunidad Valenciana	69	46	115
País Vasco	29	0	29
TOTAL	2.897	360	3.257

Tabla 2.7. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de incremento de potencia al 2010 en el área hidráulica. Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

2.2.1.3. Energía solar térmica.

La energía solar térmica denominada de baja temperatura puede ser empleada para aplicaciones que en su conjunto suponen un fuerte consumo energético en España. Contando con recursos, tecnologías, sector industrial y unas condiciones económicas interesantes, esta forma de energía renovable debería realizar una contribución mucho más relevante en España ya que, en muchas situaciones, es la mejor solución para producir agua caliente.

La aplicación de la energía solar térmica puede presentar un gran desarrollo en España, asociada a que se apruebe el Código Técnico de la Edificación. Las razones que fundamentan la aplicación de la energía solar en España son:

- Existencia de recursos solares muy favorables para el desarrollo de esta tecnología.
- Adecuación técnica y económica de la energía solar térmica al sector de nuevas viviendas con grandes perspectivas de desarrollo en los próximos años.
- Oportunidad para que una gran parte de la sociedad participe directamente en el desarrollo de las energías renovables.

La energía solar térmica está experimentando fuertes crecimientos en algunos países entre los que destaca China, como principal mercado mundial, y Alemania dentro de la Unión Europea.

Estos hechos se han considerado a la hora de fijar el ambicioso objetivo del Plan de Energías Renovables 2005-2010, que consiste en un incremento global de 4,2 millones de metros cuadrados en el periodo 2005-2010. Para llevar a cabo una distribución, meramente indicativa, por Comunidades Autónomas, de ese objetivo global, se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Densidad de población y previsible número de viviendas a construir.
- Grado de implantación de la energía solar térmica en relación con la insolación existente en la zona.

- Grado de desarrollo de medidas legislativas y planes de promoción e incentivos específicos (ordenanzas solares, programas de ayudas).
- Los propios objetivos planificados por la diferentes Comunidades Autónomas.

Comunidad Autónoma	Situación año 2004 (m²)	Incremento 2005-2010 (m²)	Superficie en 2010 (m²)
Andalucía	213.239	910.398	1.123.637
Aragón	6.686	85.892	92.578
Asturias	9.022	41.810	50.832
Baleares	78.362	358.474	436.836
Canarias	95.731	382.954	478.685
Cantabria	1.501	20.856	22.357
Castilla y León	34.646	257.227	291.873
Castilla – La Mancha	7.845	294.666	302.511
Cataluña	82.358	489.523	571.881
Extremadura	3.310	168.181	171.491
Galicia	8.911	52.900	61.811
Madrid	56.204	380.123	436.327
Murcia	19.321	143.903	163.224
Navarra	12.473	77.405	89.878
La Rioja	204	20.856	21.060
Comunidad Valenciana	58.199	389.260	447.459
País Vasco	4.849	125.572	130.421
TOTAL	700.433	4.200.000	4.900.433

Tabla 2.8. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de incremento de superficie solar térmica para el año 2010.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

De acuerdo con el objetivo anterior y relacionándolo con las cifras de población española del INE, el ratio de metros cuadrados por cada 1.000 habitantes, fruto del incremento, estaría situado en un valor cercano a 100.

2.2.1.4. Energía solar termoeléctrica.

La energía solar termoeléctrica agrupa un conjunto de tecnologías diferenciadas que se caracterizan por realizar concentración solar con el fin de alcanzar temperaturas que permitan la generación eléctrica. Su aplicación puede llegar a constituir una forma de generación de energía competitiva y con las ventajas que corresponde a una fuente de energía renovable y respetuosa con el medioambiente.

Se trata por tanto de una tecnología que actualmente se encuentra en los inicios de un posible desarrollo comercial, y en la cual España cuenta con unas favorables condiciones de partida debido a la importante trayectoria tecnológica que se ha llevado a cabo mediante proyectos de investigación y desarrollo y a los recursos disponibles. También cabe destacar el apoyo vía primas disponibles y la presencia de empresas interesadas en el desarrollo tecnológico del sector y la promoción de proyectos.

Actualmente en el mundo no existen más proyectos comerciales en operación que las plantas de captadores cilindro-parabólicos existentes en Mojave (California).

En España en el ámbito de la investigación trabaja la Plataforma Solar de Almería, como único centro con experiencia en proyectos termoeléctricos de alta temperatura entre los que destacan una Central de Torre de 7 MW térmicos y 1,2 MW eléctricos. Además se encuentran instalados otros sistemas termoeléctricos, como una central de colectores cilindro-parabólicos y sistemas disco-parabólicos.

El objetivo planteado por el Plan de Energías Renovables 2005-2010 es llegar a la instalación de 500 MW a finales de 2010.

Comunidad Autónoma	Potencia (MW)
Andalucía	300
Aragón	-
Asturias	-
Baleares	-
Canarias	-
Cantabria	-
Castilla y León	50
Castilla – La Mancha	50
Cataluña	-
Extremadura	50
Galicia	-
Madrid	-
Murcia	50
Navarra	-
La Rioja	-
Comunidad Valenciana	-
País Vasco	-
TOTAL	500

Tabla 2.9. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de instalación de energía solar termoeléctrica del Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

Existen perspectivas e iniciativas suficientes, por parte de empresas de reconocida capacidad, para llegar a instalar estos 500 MW que se proponen en el Plan de Energía Renovables 2005-2010. Las razones que fundamentan esta propuesta son:

- Existencia de conocimientos y experiencias previas que configuran a España como líder en estas tecnologías, hasta el grado de desarrollo existente actualmente.

- Existencia de recursos solares en España muy favorables para el desarrollo de esta tecnología.
- De cara al futuro, elevado interés de promotores por llevar a cabo proyectos comerciales y capaces de liderar también esta tecnología en el ámbito industrial y comercial.

Con la consecución de estos objetivos y el desarrollo industrial que llevará aparejado, España se convertirá en líder en esta tecnología, además de en el campo de la investigación, como lo es en el momento actual, en el de las realizaciones de plantas comerciales.

2.2.1.5. Energía solar fotovoltaica.

La producción de energía eléctrica directamente mediante el efecto fotovoltaico presenta al día de hoy indudables ventajas energéticas, industriales, medioambientales, sociales, etc. Entre ellas, la implantación de la energía solar fotovoltaica tan amplia como sea posible contribuirá a impulsar un futuro desarrollo tecnológico, que lleve a este procedimiento de generación eléctrica a términos cada vez más competitivos frente a otros procedimientos de generación de energía eléctrica.

El desarrollo de la energía solar fotovoltaica encuentra como principales barreras las de carácter económico, las cuales limitan su desarrollo. Salvar estas barreras y propiciar su desarrollo se fundamenta, entre otras, en las siguientes razones:

- Existencia de recursos solares en España muy favorables para el desarrollo de esta tecnología.
- Interés de numerosos promotores.
- Existencia de tecnología y capacidad de fabricación a nivel nacional, estando la industria española al mejor nivel internacional.
- Aprovechamiento de la industria nacional de las muy favorables perspectivas de evolución tecnológica y económica, que permiten predecir mejoras muy relevantes a medio plazo.

El Plan de Energías Renovables 2005-2010 señala un nuevo objetivo de incremento de potencia fotovoltaica de 363 MWp en el periodo 2005-2010, dentro de la planificación de las energías renovables en su conjunto. Esto supondría una potencia total instalada de 400 MWp a finales de 2010.

Comunidad Autónoma	Situación año 2004 (MWp)	Incremento 2005-2010 (MWp)	Potencia en 2010 (MWp)
Andalucía	7,86	43,38	51,24
Aragón	0,67	16,08	16,75
Asturias	0,34	8,93	9,27
Baleares	1,33	16,41	17,74
Canarias	1,20	16,04	17,24
Cantabria	0,07	9,14	9,21
Castilla y León	2,73	25,60	28,33
Castilla – La Mancha	1,78	11,64	13,42
Cataluña	4,11	52,48	56,59
Extremadura	0,54	12,85	13,39
Galicia	0,51	23,49	24,00
Madrid	2,38	29,33	31,71
Murcia	1,03	19,03	20,06
Navarra	5,44	14,20	19,64
La Rioja	0,15	9,08	9,23
Comunidad Valenciana	2,83	31,25	34,08
País Vasco	2,40	23,70	26,10
No regionalizable	0,77	-	0,77
TOTAL	37	363	400

Tabla 2.10. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo de instalación de energía solar fotovoltaica para 2010. Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

2.2.1.6. Biomasa.

La heterogeneidad es la característica fundamental de la biomasa, una heterogeneidad que afecta tanto a la descripción de los materiales que pueden ser empleados como combustibles como a los posibles usos energéticos de los mismos, y que hace imposible abordar esta área desde una única perspectiva, pues existen tantas como combinaciones entre tipos de biomasa utilizables y tecnologías para su aprovechamiento energético.

Un análisis somero del consumo de biomasa por tipo de recurso empleado como combustible revela una gran utilización de los residuos de industrias forestales y agrícolas con relación a otros tipos de recurso como los residuos forestales, agrícolas, o los cultivos energéticos. A continuación se recoge una relación de los principales recursos existentes:

- **Residuos forestales.** Son los residuos procedentes de los tratamientos y aprovechamientos de las masas vegetales para la defensa y mejora de estas, obtenidos tras las operaciones de corta, saca y transporte a pista.
- **Residuos agrícolas leñosos.** Son los procedentes de las podas de olivos, frutales y viñedos.
- **Residuos agrícolas herbáceos.** Son principalmente pajas de cereal y canote de maíz.
- **Residuos de industrias forestales y agrícolas.** Los residuos de industrias forestales se producen en las industrias de primera y segunda transformación de la madera. Los residuos de industrias agrícolas proceden de la actividad de industrias como la del aceite de oliva, conservera, de frutos secos, etc.
- **Cultivos energéticos.** Son cultivos destinados específicamente a la producción de materiales combustibles. En España son básicamente el cardo, el sorgo y la colza etiope.

En la tabla siguiente se recoge la distribución por Comunidades Autónomas de los objetivos energéticos para el periodo 2005-2010, en términos de energía primaria.

CC.AA.	Cultivos energétic.	Residuos forestal	Res. agr. leñosos	Res. agr. herbáceo	Res. ind. forestal	Res. ind. agrícola	TOTAL
Andalucía	264.158	41.840	178.015	96.740	189.618	104.616	874.987
Aragón	304.391	32.985	56.676	61.329	20.672	82.294	558.347
Asturias	0	11.517	1.648	183	13.046	2.478	28.872
Baleares	0	0	8.834	1.836	7.926	1.595	20.191
Canarias	0	0	2.014	170	9.710	965	12.858
Cantabria	0	8.687	0	154	4.291	1.337	14.468
Castilla-León	538.624	123.676	15.245	240.223	37.844	177.950	1.133.563
Castilla-La	447.496	38.064	97.106	99.720	48.903	124.379	855.668
Cataluña	50.985	31.062	86.204	50.820	75.346	36.288	330.704
Extremadura	151.557	45.190	43.236	31.926	22.152	46.285	340.345
Galicia	0	74.160	4.164	15.219	88.614	19.170	201.326
Madrid	39.856	4.271	4.945	8.483	18.146	12.026	87.826
Murcia	57.391	0.799	44.285	1.298	11.568	16.160	140.501
Navarra	53.843	6.493	7.695	27.782	10.664	18.944	125.420
La Rioja	0	4.189	20.894	8.207	4.292	3.907	41.489
C Valenciana	0	18.450	96.874	8.179	60.583	14.575	198.661
País Vasco	0	11.517	2.161	7.733	46.625	7.031	75.067
TOTAL	1.908.300	462.000	670.000	660.000	670.000	670.000	5.040.300

Figura 2.11. Distribución por CC.AA. del objetivo de instalación de biomasa para el periodo 2005-2010. Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

2.2.1.7. Biogás.

La justificación actual para la producción de biogás a partir del tratamiento de residuos biodegradables es principalmente medioambiental, considerándose por tanto un subproducto del proceso de tratamiento.

El posible aprovechamiento energético del biogás, tanto para energía térmica como para energía eléctrica, tiene su punto de partida en cuatro tipos de residuos biodegradables: ganaderos, de lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), de efluentes industriales y de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU).

La aplicación de procesos de digestión anaerobia en residuos ganaderos sólo es posible tecnológicamente a partir de una elevada concentración de cabezas de ganado en explotaciones intensivas. El nivel de aprovechamiento energético actual de estos residuos puede considerarse como bajo.

El biogás producido a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) tiene una aplicación energética creciente en vertederos controlados, siendo necesario potenciar la digestión anaerobia en biorreactores que incluyan la codigestión con lodos de depuradora.

El desarrollo por Comunidades Autónomas del cumplimiento del objetivo del Plan de Energías Renovables 2005-2010 durante dicho periodo de tiempo aparece recogido en la tabla que se muestra a continuación. Con respecto a dicho objetivo debe tenerse en cuenta que, si bien el objetivo nacional final ha sido fijado, la distribución por Comunidades Autónomas tiene un carácter estrictamente indicativo. No obstante, y a este respecto, debe hacerse notar que dicha distribución se ha hecho considerando criterios de localización del recurso, tanto en lo que se refiere a la localización de la cabaña ganadera como a la distribución de población o la presencia de industrias generadoras de residuos industriales biodegradables.

Comunidad Autónoma	Objetivo incremento 2005-2010 (tep)
Andalucía	26.480
Aragón	6.487
Asturias	5.323
Baleares	8.100
Canarias	5.650
Cantabria	3.708
Castilla y León	14.358
Castilla – La Mancha	5.834
Cataluña	40.920
Extremadura	3.890
Galicia	6.817
Madrid	18.842
Murcia	13.472
Navarra	6.472
La Rioja	4.705
Comunidad Valenciana	11.449
País Vasco	5.492
TOTAL	188.000

Tabla 2.12. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo energético para la producción biogás del Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

A continuación se recogen los objetivos energéticos propuestos en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 por tipo de residuo empleado para la producción de biogás. Corresponden a incremento de energía primaria durante el periodo 2005-2010.

Plan de Energías Renovables 2005-2010	
Recursos	tep
Residuos ganaderos	8.000
Fracción orgánica de RSU	110.000
Residuos industriales biodegradables	40.000
Lodos de depuración de ARU	30.000
Aplicaciones	tep
Aplicaciones eléctricas	188.000

Tabla 2.13. Objetivos energéticos propuestos en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 por tipo de residuo empleado para la producción de biogás.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

2.2.1.8. Biocarburantes.

Llamamos biocarburantes a los combustibles líquidos de origen biológico, que por sus características físico químicas resultan adecuados para sustituir a la gasolina o el gasóleo, bien sea de manera total, en mezcla con estos últimos o como aditivo. Estos productos se obtienen principalmente a partir de materia vegetal.

Actualmente se puede encontrar dos grandes tipos de biocarburantes, el bioetanol, que sustituye a la gasolina, y el biodiesel, que se puede utilizar en lugar del gasóleo, aunque también se está empezando a introducir en el mercado poco a poco el biobutanol por parte de la empresa BP. Nuestra dependencia del petróleo es tan fuerte que incluso para poder entender que papel pueden llegar a jugar los biocarburantes y cuales son su ventajas es preciso recurrir a la comparación con este.

El sector del transporte consume un 30% de toda la energía utilizada en el mundo. Esta cifra se eleva en la Unión Europea al 32% y en España al 39%.

Actualmente se consumen diariamente unos 83,7 millones de barriles de petróleo en todo el mundo y las estimaciones indican que esta cifra aumentará hasta llegar a los 112 millones de barriles diarios en 2020.

No es que el petróleo se vaya a acabar a corto plazo, pero extraer lo que queda se va haciendo cada vez más difícil y más caro. El suministro futuro depende de nuevos yacimientos, siempre de pequeño tamaño, y de la mejora en las tecnologías de extracción de los grandes pozos ya existentes, en su mayoría descubiertos en la década de los 70.

Más tarde o más temprano, la escasez de petróleo está asegurada, por lo que encontrar y desarrollar soluciones alternativas no sólo es una cuestión ambiental, sino también una necesidad estratégica de futuro. Los biocarburantes constituyen una salida poco traumática para paliar la escasez de crudo, ya que son capaces de sustituirlo sin necesidad de realizar grandes cambios en el parque móvil mundial. El biodiesel se puede usar en la mayoría de los automóviles actuales sin modificación alguna y sea cual sea la mezcla entre este y el gasóleo convencional. En los motores de explosión sí son necesarias pequeñas modificaciones para que estos admitan mezclas de más de un 15% de bioetanol en la gasolina. De este modo ambos productos se configuran como una opción de lo más práctico para paliar el problema energético, ya que, también son mucho menos agresivos con el medio ambiente.

El bioetanol se produce principalmente mediante la fermentación de granos ricos en azúcares o almidón, por ejemplo los cereales, la remolacha azucarera, la caña de azúcar y el sorgo. Mezclado con la gasolina convencional, normalmente como aditivo al 5%, puede utilizarse en los motores modernos de explosión que no han sufrido modificación. Los motores modificados, tales como los utilizados en los llamados vehículos de uso flexible de carburante, pueden funcionar con mezclas de etanol al 85%, así como con bioetanol puro y gasolina convencional.

Otra modalidad de utilización es la síntesis de un aditivo incorporado a las gasolinas para aumentar el índice de octano, el ETBE, que sustituye al MTBE, de origen fósil. Para fabricar ETBE, el etanol se mezcla con un subproducto obtenido en las refinerías llamado isobutileno. El uso de este aditivo tiene como ventajas una menor volatilidad y solubilidad, además de una mayor eficiencia térmica y el hecho de resultar menos corrosivo. Como desventajas, la necesidad de disponer de isobutileno y la exigencia de un proceso industrial añadido.

En general, lo más frecuente es utilizar el bioetanol absoluto en mezclas directas con gasolina, y en proporciones que pueden llegar al 10%, como en Estados Unidos, o hasta el 20%, como en el caso de Brasil. En Europa se utiliza mayoritariamente para la fabricación de ETBE, aunque la tendencia es ir también a mezclas con gasolina.

El biodiesel es el otro gran pilar de los biocarburantes. Se obtiene principalmente de plantas oleaginosas, tales como la colza, la soja o el girasol, si bien se pueden utilizar igualmente los aceites de fritura usados y las grasas animales. Los aceites extraídos se transforman mediante transesterificación hasta producir biodiesel (ésteres metílicos). El biodiesel se utiliza en los motores de compresión, normalmente en forma de mezcla al 5% en los coches, hasta el 30% en los autobuses urbanos y a menudo también en forma pura en los motores modificados.

El Plan de Fomento fijó el objetivo de alcanzar los 500.000 tep a finales del año 2010 partiendo de una situación de referencia de total ausencia de plantas de producción de biocarburantes.

Con el 45,6% del objetivo del Plan de Fomento cumplido y un sector industrial en plena expansión, y tras la aprobación de la Directiva 2003/30, que recoge el objetivo de cubrir el 5,75% de la cuota de mercado de combustibles para el transporte con biocarburantes y otros combustibles renovables, el Plan de Energías Renovables 2005-2010 elevó el objetivo hasta alcanzar los 2,2 millones de tep a finales del año 2010.

En la tabla siguiente se refleja una comparativa entre la situación en el año 2004 y los objetivos para el año 2010, tanto del anterior Plan de Fomento de Energías Renovables (PFER) como del actual Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER).

Comunidad Autónoma	Situación año 2004 (tep)	Objetivo PFER 2010 (tep)	Objetivo PER 2010 (tep)
Andalucía	-	100.000	88.000
Aragón	-	5.0000	88.000
Asturias	3.600	-	44.000
Baleares	-	-	44.000
Canarias	-	-	-
Cantabria	-	-	220.000
Castilla y León	-	100.000	330.000
Castilla – La Mancha	36.000	50.000	176.000
Cataluña	50.400	50.000	330.000
Extremadura	-	50.000	176.000
Galicia	64.500	50.000	220.000
Madrid	4.500	-	22.000
Murcia	51.200	50.000	220.000
Navarra	-	-	154.000
La Rioja	-	-	-
Comunidad Valenciana	-	-	-
País Vasco	18.000	-	88.000
TOTAL	228.200	500.000	2.200.000

Tabla 2.14. Distribución indicativa por CC.AA. del objetivo energético para la producción de biocarburantes del Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

La distribución por Comunidades Autónomas de los objetivos relativos al Plan de Energías Renovables 2005-2010 responde a una relación de proyectos que en la actualidad se encuentran en estado de ejecución o estudio, y es, por lo tanto, fruto de la experiencia acumulada sobre el sector.

A continuación se recogen los objetivos energéticos propuestos para cada tipo de recurso y biocarburante. Corresponden a incremento de energía primaria durante el periodo 2005-2010.

Plan de Energías Renovables 2005-2010	
Recursos	tep
Cereales y biomasa	550.000
Alcohol vinílico	200.000
Aceites vegetales puros	1.021.800
Aceites vegetales usados	200.000
Aplicaciones	tep
Bioetanol	750.000
Biodiesel	1.221.800
TOTALES	tep
Energía primaria	1.971.800

Tabla 2.15. Objetivos energéticos propuestos en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 para cada tipo de recurso y biocarburante.

Fuente: Memoria anual 2006. IDAE.

2.3. El biobutanol.

El biobutanol es un biocarburante de segunda generación, no corrosivo y que tiene el potencial de ser mezclado con las gasolinas en mayor concentración que los actuales biocombustibles, sin la necesidad de modificaciones sustanciales en los vehículos.

El biobutanol cumple con las características de un “buen” biocombustible, ya que tiene alta densidad energética, una volatilidad controlada, un octanaje suficiente y bajos niveles de impurezas. Además se ha demostrado que el biobutanol no se separa en presencia de agua, y no tiene ningún impacto en la dilatación de los elastómeros.

La densidad energética del biobutanol es mayor que la del bioetanol y se acerca mucho a la de la gasolina sin plomo. En la siguiente tabla se muestran las densidades energéticas (megajulios/litro) de los tres carburantes citados.

Carburante	Densidad energética (Megajulios/litro)
Bioetanol	21,1 – 21,7
Biobutanol	26,9 – 27,0
Gasolina	32,2 – 32,9

Tabla 2.16. Densidades energéticas del bioetanol, biobutanol y gasolina.

2.3.1. Ventajas e inconvenientes del biobutanol.

➤ ***Principales ventajas del biobutanol.***

- Tiene un nivel energético más cercano al de la gasolina que el bioetanol, ya que alcanza el 95% de energía que el mismo volumen de gasolina, mientras que el etanol no pasa del 75%.
- Puede ser añadido fácilmente a la gasolina convencional, debido a su baja presión de vapor.
- Se puede mezclar con la gasolina convencional, sin tener que hacer adaptaciones en los coches, en una proporción mayor que el bioetanol.
- Tolera mejor la contaminación por agua y es menos corrosivo que el bioetanol, por lo que se puede mezclar directamente con la gasolina en la refinería y enviarlo por las mismas

infraestructuras petroleras de transporte ya existentes, algo que no es posible con el bioetanol.

- Se produce a partir de materias primas agrícolas como la remolacha, la caña de azúcar, el maíz o el trigo, que son materias primas renovables e inagotables.
- La infraestructura existente para la producción de bioetanol puede ser utilizada para la producción de biobutanol con cambios de menor importancia en la fermentación y la destilación.
- Actualmente se están haciendo cálculos detallados sobre la emisión de gases por la quema de biobutanol en vehículos y los valores iniciales indican que el biobutanol da las mismas reducciones que el bioetanol con respecto a la gasolina. Además al provenir de una fuente de materia prima vegetal el CO₂ emitido es el que fue utilizado por la misma materia prima para su crecimiento con lo que se cierra un ciclo neutro.

➤ ***Principales inconvenientes del biobutanol.***

- El principal inconveniente al que se enfrenta el biobutanol, y en general los biocombustibles, es que se basan en cultivos “alimentarios” como el maíz, los cereales, la remolacha o la caña de azúcar. Sus detractores afirman que la fórmula “alimento por combustible” no es ni factible ni ética, puesto que para sustituir a los combustibles fósiles no hay superficie suficiente en el mundo, además de poner en peligro el sustento de millones de personas.
- Falta de competitividad del biobutanol y bioetanol. Ambos tienen que aumentar aún más su eficiencia para poder competir de igual a igual con los combustibles fósiles, y superar los problemas de compatibilidad que puede presentar en los sistemas de combustión actuales.

El primero de los inconvenientes citados, no es tal inconveniente, ya que como se citó en la introducción de este capítulo los países de la Unión Europea votaron a favor de retirar del mercado, para la campaña 2007-2008, unas dos millones de toneladas de azúcar, es decir el 13,5% de la producción comunitaria. Para España, la decisión supondrá sacar del mercado unas 93.418 toneladas de azúcar.

Si en España no reducimos la producción de azúcar y utilizamos estas 93.418 toneladas de azúcar para obtener biobutanol podríamos obtener, según los cálculos realizados con la cinética del microorganismo utilizado en este proyecto fin de carrera, aproximadamente unos 28 millones de litros de biobutanol.

Del mismo modo y si se hiciera lo mismo en toda la Unión Europea, con las dos millones de toneladas de azúcar que se quiere reducir de la producción para la campaña 2007-2008, se podría llegar a producir, y de nuevo según los cálculos realizados con la cinética del microorganismo utilizado en este Proyecto Fin de Carrera, aproximadamente unos 480 millones de litros de biobutanol.

La utilización de este biobutanol como combustible para vehículos reduciría notablemente la utilización de combustibles fósiles para el transporte, y consecuentemente se reducirían las emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero.

2.3.2. Perspectivas futuras.

Recientemente tres empresas anunciaron sus planes para el desarrollo y producción de biobutanol, un biocarburante de segunda generación.

La empresa energética y de petróleo BP y DuPont están trabajando juntas, en colaboración con la azucarera British Sugar, que convertirá una planta de producción de bioetanol para la producción de biobutanol.

La compañía Green Biologics Ltd. también ha anunciado que desarrollará un nuevo método para la fabricación de biobutanol que podría reducir los gastos de producción a una tercera parte. Su proyecto cuenta con una financiación de 380.000 euros del Departamento de Energía Británico y de 420.000 euros por parte de accionistas e inversores privados.

La meta de BP y DuPont es hacer al Biobutanol competitivo frente a la gasolina. Actualmente, los biocombustibles responden de sólo el 2% del consumo total de combustibles, pero según algunos pronósticos para el año 2020 pueden lograr hasta el 20%. Los expertos de las empresas BP y DuPont calculan que el mercado internacional puede conseguir la producción de 330 billones de litros de biobutanol para 2020, incrementándose la producción actual de 42 billones.

Capítulo 3

VIABILIDAD

En este capítulo se justifica la viabilidad del presente Proyecto Fin de Carrera desde tres puntos de vista que son: la viabilidad técnica, la viabilidad económica y la viabilidad legal y laboral.

3.1. Viabilidad técnica.

El objeto del presente Proyecto Fin de Carrera es la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta (sacarosa) que ha sido sometida a una hidrólisis enzimática para obtener azúcares simples (glucosa y fructosa) que son susceptibles de una posterior fermentación acetobutílica, también llamada fermentación ABE.

Hay dos métodos para la obtención de azúcares simples (glucosa y fructosa) a partir de azúcar bruta (sacarosa) que son la hidrólisis ácida o la hidrólisis enzimática.

➤ Hidrólisis ácida.

La hidrólisis ácida consiste en un proceso químico que mediante el empleo de catalizadores ácidos, como el ácido sulfúrico o ácido clorhídrico, transforma las cadenas de polisacáridos que forman el azúcar bruta (sacarosa) en sus monómeros elementales (glucosa y fructosa). Este método de hidrólisis no es muy selectivo, y los azúcares simples obtenidos en ella deben someterse antes de

ser fermentados a una etapa de eliminación y recuperación del ácido empleado como catalizador.

➤ **Hidrólisis enzimática.**

La hidrólisis enzimática consiste en un proceso químico que mediante el empleo de catalizadores enzimáticos, en nuestro caso la enzima invertasa, también conocida como sacarasa, (E.C. 3.2.1.26) [9001-57-4], transforma las cadenas de polisacáridos que forman el azúcar bruta (sacarosa) en sus monómeros elementales (glucosa y fructosa). Este método de hidrólisis es muy selectivo debido al uso de una enzima específica, aunque tiene la desventaja de que las enzimas suelen ser caras.

Los dos métodos de hidrólisis explicados anteriormente son factibles a la hora de utilizarlos en la práctica ya que en la actualidad ambos métodos de hidrólisis se utilizan en distintas industrias.

En el presente Proyecto Fin de Carrera se utilizará el método de hidrólisis enzimática usando la enzima invertasa, también conocida como sacarasa, (E.C. 3.2.1.26) [9001-57-4]. Los motivos de esta elección han sido que la hidrólisis enzimática es mucho más selectiva que la hidrólisis ácida, además, en la hidrólisis ácida los azúcares simples obtenidos deben someterse antes de ser fermentados a una etapa de eliminación y recuperación del ácido empleado como catalizador.

Después de la hidrólisis enzimática de la que se obtiene los azúcares simples (glucosa y fructosa), hay que realizar la fermentación de dichos azúcares simples. Para ello se utilizan normalmente dos tipos de fermentación: la fermentación en reactores agitados discontinuos con los microorganismos en suspensión o la fermentación en reactores continuos con los microorganismos inmovilizados en lechos fijos.

➤ **Reactores agitados discontinuos con los microorganismos en suspensión.**

Los reactores agitados discontinuos con los microorganismos en suspensión son los más utilizados en cualquier tipo de fermentación industrial en la que se necesita un gran volumen de fermentación en general, como ocurre en el caso que nos ocupa en este Proyecto Fin de Carrera. Esta fermentación discontinua tiene algunas desventajas frente a la fermentación continua (LEMA y NÚÑEZ, 1994) como son:

- La pérdida de eficiencia asociada a los lapsos o periodos de parada, esterilización y puesta en marcha del reactor, con la consecuente repercusión en los costes, derivados de la baja productividad total.
- La dificultad de integrar esta operación en otras etapas del proceso debido a su carácter discontinuo, lo que implica que la separación de los productos obtenidos en la fermentación se tienen que llevar a cabo una vez finalizada esta.
- La necesidad de filtrar el caldo de fermentación para la eliminación de los microorganismos utilizados para la fermentación.

➤ **Reactores continuos con los microorganismos inmovilizados en lechos fijos.**

Los reactores continuos con los microorganismos inmovilizados en lechos fijos no se suelen utilizar en fermentación, en las que se necesita un gran volumen de fermentación, a pesar de que estos reactores suelen dar una mayor productividad que los reactores discontinuos. En el caso que ocupa a este Proyecto Fin de Carrera, hay estudios en los que se utilizan este tipo de reactores, pero todos estos estudios son a escala de laboratorio o a escala de

planta piloto con reactores que nunca superan un volumen mayor de 10 litros.

En el presente Proyecto Fin de Carrera se utilizarán reactores agitados discontinuos con los microorganismos en suspensión, a pesar de su menor productividad, debido a que se necesita tener un gran volumen de fermentación y se conoce la existencia de plantas que utilizan este tipo de reactores para realizar fermentaciones similares a las que se llevarán a cabo en el presente Proyecto Fin de Carrera.

Una vez terminada la fermentación es preciso separar los productos obtenidos en dicha fermentación. Dos de los productos que se obtienen, hidrógeno y dióxido de carbono, se dejan escapar a la atmósfera ya que se obtienen en fase gaseosa y el coste de su recuperación es mucho mayor que la ganancia que luego nos reportaría su venta. Los otros productos se obtienen mezclados en fase líquida en el caldo de fermentación. Este caldo de fermentación se compone en gran medida de agua, más del 95%, así como otros compuestos como son butanol, 2,2% en peso, acetona, 1,15% en peso, ácido acético, 0,11% en peso, ácido butírico, 0,05% en peso, y biomasa, 1,15% en peso. Para llevar a cabo la separación de todos estos compuestos se pueden aplicar distintas técnicas que se explicarán a continuación.

La biomasa, es la primera fracción que se recupera, en gran medida debido a que parte de la biomasa que se recupera se utiliza como inóculo para la siguiente fermentación y además su retirada facilita la separación de los distintos compuestos del caldo de fermentación. Para esta recuperación de la biomasa son posibles dos opciones muy distintas, una consiste en utilizar técnicas de membranas como son la microfiltración o la ultrafiltración y la otra en utilizar la centrifugación.

➤ **Técnicas de membrana, microfiltración y ultrafiltración.**

El principio de la microfiltración y la ultrafiltración es la separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que

determina hasta qué punto son eliminados los sólidos que se encuentran en el líquido, en nuestro caso los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana. Las membranas usadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro de entre 0,1–10 μm y las membranas usadas para la ultrafiltración tienen un tamaño de poro de entre 0,001 – 0,1 μm .

➤ **Centrifugación.**

La centrifugación consiste en la separación de dos líquidos de diferente densidad o de sólidos en suspensión en un líquido creando un campo de fuerza centrífuga mediante un sistema mecánico de rotación. La fuerza centrífuga creada es varias veces superior a la de la gravedad, y el proceso es en consecuencia mucho más rápido que si se efectuase una separación por gravedad. El proceso de centrifugación puede necesitar desde unos pocos minutos hasta unas cuantas horas. (CALLEJA, G. y col., 1999).

Las dos técnicas citadas anteriormente son factibles a la hora de utilizarlas en la práctica ya que en la actualidad ambas técnicas se utilizan en distintas industrias. En el presente Proyecto Fin de Carrera se utilizará la técnica de centrifugación, en concreto una centrífuga de tornillo sin fin, ya que todas las técnicas que suponen el paso de un fluido a través de membranas precisan mucho tiempo, y el tiempo representa finalmente un coste económico.

Una vez separada la biomasa del caldo de fermentación hay que separar y purificar los distintos compuestos que componen dicho caldo de fermentación, para ello se pueden utilizar distintas técnicas de separación como son la destilación binaria y la destilación multicomponente, la pervaporación, una técnica novedosa, en desarrollo y muy poco utilizada en la

industria en la actualidad, la extracción líquido-líquido, la adsorción, la osmosis inversa o el arrastre gaseoso “*gas stripping*” entre otras.

➤ **Destilación binaria.**

La destilación binaria se llevará a cabo en una columna de platos. A la columna entra una alimentación con dos compuestos, el más volátil saldrá por la cabeza de la torre y el menos volátil por la cola. En el interior de la columna se producen corrientes ascendentes de vapor y descendentes de líquido que están en íntimo contacto. El líquido desciende por la acción de la gravedad, mientras que el vapor asciende por la diferencia de presiones de plato en plato. Esta diferencia de presión es generada por el calderín que es donde la presión es más elevada. (McCABE, W. L., SMITH, J. C. and HARRIOTT, P., 2001).

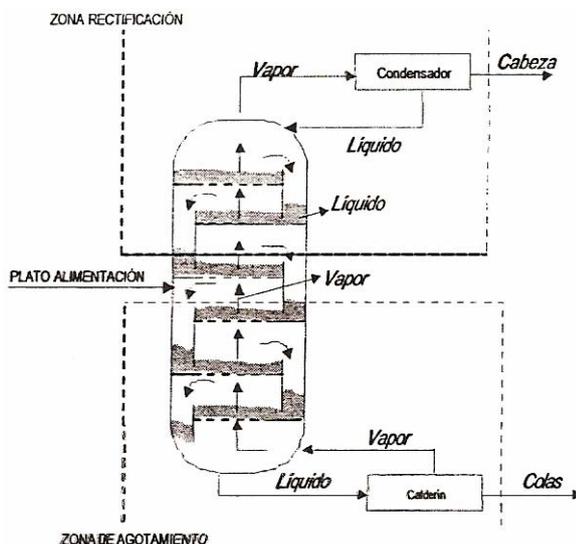


Figura 3.1. Esquema de una destilación.

➤ **Destilación multicomponente.**

La destilación multicomponente se llevará a cabo en una columna de platos. A la columna entra una alimentación con varios compuestos. Se llama clave pesado al componente más volátil de

los compuestos pesados que se encuentra en una cantidad apreciable por cola y clave ligero al componente menos volátil de los componentes ligeros que se encuentra en una cantidad apreciable por cabeza. Estos compuestos, clave ligero y clave pesado, pueden ser los que el ingeniero elija, de tal manera que es posible separar por cabeza o por cola un único compuesto en función de lo que nos interese. (McCABE, W. L., SMITH, J. C. and HARRIOTT, P. “Operaciones unitarias en ingeniería química”. 2001).

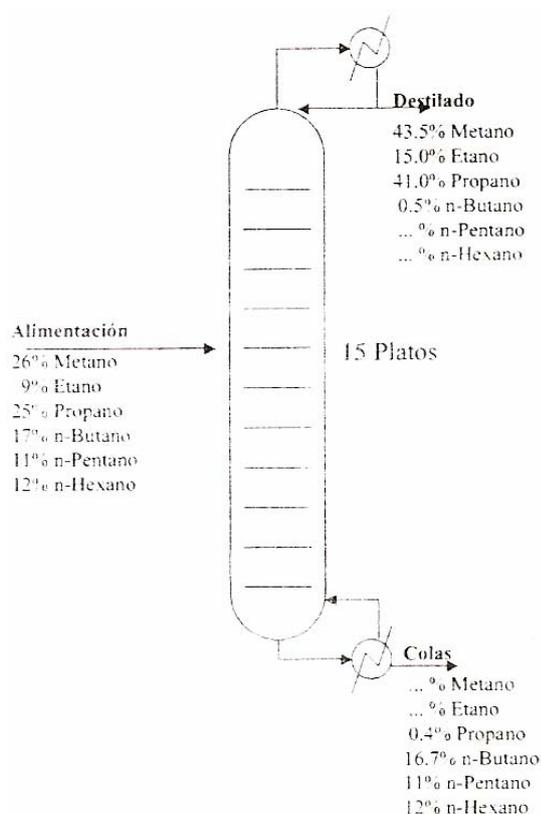


Figura 3.2. Esquema de una destilación multicomponente

➤ **Pervaporación.**

La pervaporación es una tecnología de membranas utilizada para separar mezclas líquidas. El término pervaporación es una contracción de los términos permeación y evaporación, ya que se trata de un proceso de separación en el que una mezcla líquida se pone en contacto con una membrana selectiva y uno o varios de los

componentes de la mezcla se transporta mediante permeación preferencial a través de la membrana, saliendo en fase vapor del otro lado de la membrana. Debido a que sólo es necesario evaporar una fracción de la mezcla, el consumo de calor latente es inferior al requerido en destilación, lo cual representa una gran ventaja de la pervaporación en la separación de azeótropos y mezclas de componentes cuyo punto de ebullición está cercano, así como para eliminar sustancias presentes en bajas concentraciones. Además, esta tecnología permite separar compuestos sensibles a la temperatura, ya que no es necesario calentar la mezcla a la temperatura ebullición. (NOBLE, R. D. and STERN, S. A. “Membrana separations technology. Principles and applications”. 1995).

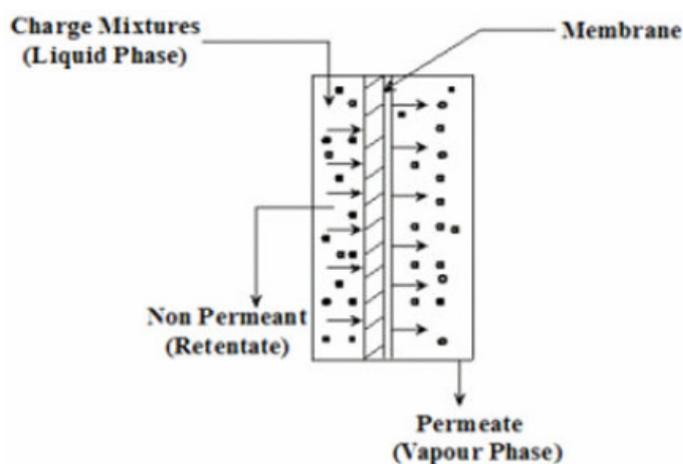


Figura 3.3. Esquema de la operación de pervaporación.

➤ **Extracción líquido-líquido.**

La extracción líquido-líquido es una operación básica de separación controlada por la transferencia de materia por la que un líquido multicomponente, la alimentación, se pone en contacto con otro líquido inmiscible, el disolvente, de manera que se produce la transferencia de materia de uno o más de los componentes de la alimentación al disolvente. El disolvente debe ser inmiscible con alguno de los componentes de la solución a separar, lo que indica que se van a generar dos fases. La solución a separar o

alimentación, se pone en contacto con el disolvente, se facilita así el íntimo contacto para que haya la mayor transferencia de materia posible y se deja reposar el sistema. Éste se escinde en dos fases: extracto o fase rica en disolvente, constituido por el disolvente junto con la cantidad de soluto extraído de la alimentación y refinado o fase pobre en disolvente, constituido por la corriente de alimentación una vez que se le ha extraído el soluto. La alimentación y el disolvente deben tener distintas densidades, para que se separen las fases y no tengamos un sistema homogéneo. La fase de mayor densidad se conoce como fase pesada y la de menor densidad como fase ligera, aunque no hay que confundir fase ligera con extracto y pesada con refinado. (TREYBAL, R. E. “Operaciones de transferencia de masa”. 1988).

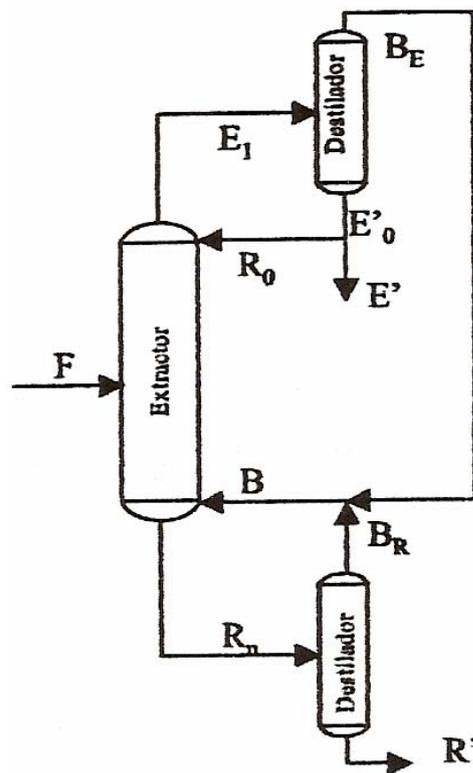
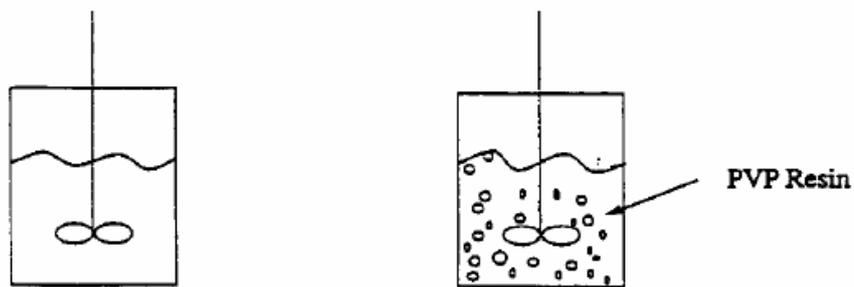


Figura 3.4. Esquema de una extracción líquido-líquido.

➤ **Adsorción.**

La adsorción es un fenómeno superficial que consiste en la retención temporal de las moléculas de un fluido, adsorbato, sobre la superficie de un sólido, adsorbente. La adsorción de un soluto en disolución sobre una superficie sólida se produce como consecuencia de las propiedades características del sistema disolvente-soluto-sólido. Así, si un cierto número de moléculas de un fluido incide continuamente sobre una superficie, permaneciendo sobre ella algún tiempo antes de retornar al fluido, su concentración sobre dicha superficie será superior a la correspondiente al seno del mismo. Este aumento de la concentración de adsorbato en la superficie es precisamente el fenómeno que sirve de base para la aplicación de la adsorción como método de separación.

Una forma sencilla de aplicar la adsorción a la fermentación ABE para la recuperación de solventes es la siguiente. Antes de comenzar la fermentación se añade al reactor unas partículas de resina de polivinilpiridina (PVP), las cuales actúan como adsorbente. Entonces comienza la fermentación y a la vez que se produce los productos son adsorbidos por las partículas de adsorbente. Después de acabar la fermentación hay que recuperar el adsorbato del adsorbente. A continuación se muestra un esquema de cómo sería el proceso de fermentación discontinua con adsorción.



Traditional Batch Fermentation

Adsorption-Coupled Fermentation

Figura 3.5. Esquema de fermentación discontinua y fermentación discontinua con adsorción.

Fuente: Yang, X., Tsai, G.-J. and Tsao, G. T. (1994). Enhancement of in situ adsorption on the acetone-butanol fermentation by *Clostridium acetobutylicum*. Sep. Technol., 4: 81-92.

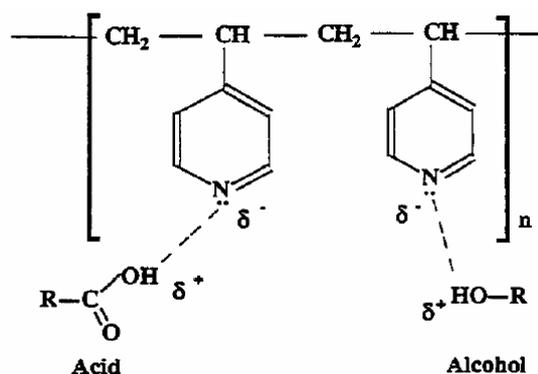


Figura 3.6. Representación del posible mecanismo de adsorción por resina PVP.

Fuente: Yang, X., Tsai, G.-J. and Tsao, G. T. (1994). Enhancement of in situ adsorption on the acetone-butanol fermentation by *Clostridium acetobutylicum*. Sep. Technol., 4: 81-92.

➤ **Ósmosis inversa.**

La ósmosis es un fenómeno físico-químico relacionado con el comportamiento del agua, como solvente de una solución, ante una membrana semipermeable para el solvente, pero no para los solutos. Tal comportamiento entraña una difusión simple de agua a través de la membrana, sin "gasto de energía". La membrana es

semipermeable y contiene poros, al igual que cualquier filtro. El tamaño de los poros es tan minúsculo, normalmente de micras, que deja pasar las moléculas pequeñas pero no las grandes. Lo descrito hasta ahora es lo que ocurre en situaciones normales, en las que los dos lados de la membrana están a la misma presión. Si se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración al de baja concentración. Se puede decir que se está haciendo lo contrario de la ósmosis, por eso se llama ósmosis inversa. Téngase en cuenta que en la ósmosis inversa a través de la membrana semipermeable sólo pasa agua. Es decir, el agua de la zona de alta concentración pasa a la de baja concentración. (McCABE, W. L., SMITH, J. C. and HARRIOTT, P. “Operaciones unitarias en ingeniería química”. 2001).

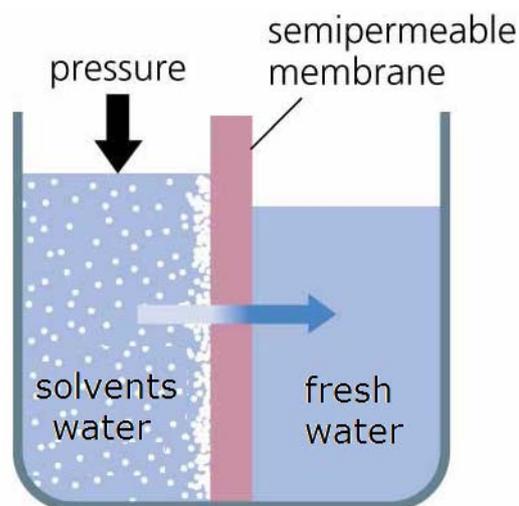


Figura 3.7. Esquema de la ósmosis inversa.

Fuente: www.osmosisdomestica.com

➤ **Arrastre gaseoso o “gas stripping”.**

El arrastre gaseoso o “gas stripping” es una técnica que permite la recuperación selectiva de los compuestos volátiles del caldo de fermentación sin el uso de membranas. Las propiedades de los volátiles de la fermentación ABE permiten su fácil recuperación mediante esta técnica. Dicha técnica consiste en dejar escapar los

gases producidos durante la fermentación, hidrógeno y dióxido de carbono, para que junto con ellos arrastren los compuestos volátiles producidos en la fermentación que son: butanol, acetona y etanol. Estos volátiles son condensados mediante un condensador en el que el líquido refrigerante es una disolución de etilenglicol de 50% v/v. Los compuestos volátiles condensados se recogen en un recipiente que mediante un colector y una bomba peristáltica son recuperados y almacenados en un tanque. El hidrógeno y el dióxido de carbono son recirculados al fermentador. Durante este proceso se mantienen las condiciones anaeróbicas introduciendo gas nitrógeno al reactor. Para mantener el nivel de líquido constante en el reactor se introduce agua destilada libre de oxígeno. A continuación se muestra un esquema del proceso de gas stripping explicado anteriormente.

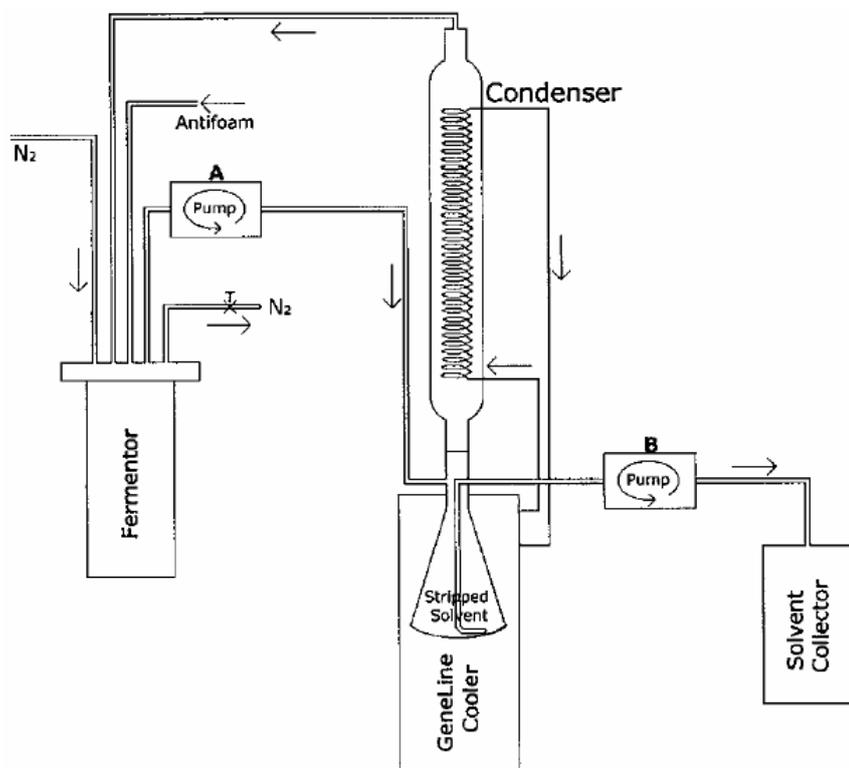


Figura 3.8. Esquema de la producción de butanol y recuperación in situ por gas stripping.

Fuente: Ezeji, T., Qureshi, N. and Blaschek, H. P. (2003). Production of acetone, butanol and ethanol by *Clostridium beijerinckii* BA101

and in situ recovery by gas stripping. Worl Journal of Microbiology and Biotechnology, 19: 595-603.

No todas las técnicas de separación expuestas anteriormente son factibles a la hora de utilizarlas en la práctica. Evidentemente todas tienen sus limitaciones ya que ninguna técnica de separación es perfecta. Algunas como la extracción líquido-líquido, la adsorción, la ósmosis inversa o gas stripping tienen mayores limitaciones a la hora de ser aplicadas a escala industrial para la recuperación de butanol de la fermentación ABE, a pesar de que a escala de laboratorio sí dan un buen resultado. A continuación se explicarán las limitaciones por las que no se aplicarán dichas técnicas de separación en el presente Proyecto Fin de Carrera.

La extracción líquido-líquido tiene su limitación en el disolvente a emplear para dicha extracción, ya que es difícil encontrar un disolvente para separar el butanol del caldo de fermentación sin que contamine dicho caldo de fermentación (QURESHI and BLASCHEK, 1999) y que además sea fácilmente separable del butanol recuperado.

La adsorción tiene su mayor limitación en encontrar un adsorbente que tenga una buena velocidad de adsorción de solventes del caldo de fermentación y también una buena velocidad de desorción de los productos (YANG, TSAI and TSAO, 1994), ya que una vez adsorbidos los solventes en el adsorbente, luego hay que recuperarlos de este.

Poco se conoce sobre la utilización de ósmosis inversa para la recuperación de butanol de la fermentación ABE. Tal vez porque la ósmosis inversa tiene la limitación de que la acetona que contiene el caldo de fermentación disuelve las membranas utilizadas en dicha operación (QURESHI and BLASCHEK, 1999).

El arrastre gaseoso o *“gas stripping”* tiene su principal limitación en la baja velocidad ofrecida en la recuperación de solventes volátiles del caldo de fermentación ABE (QURESHI and BLASCHEK, 1999).

En el presente Proyecto Fin de Carrera las técnicas de separación que se van a utilizar son la pervaporación, la destilación binaria y la destilación multicomponente. Aunque estas técnicas de separación también tienen limitaciones como las anteriores, aun así resultan ser las más adecuadas para llevar a cabo la separación de los productos obtenidos en la fermentación ABE.

La pervaporación es la primera técnica de separación que se utilizará después de eliminar la biomasa del caldo de fermentación. Una de las razones por la que se usa esta técnica es porque el ácido acético y el butan-1-ol tienen prácticamente el mismo punto de ebullición, 118 °C y 117 °C respectivamente, con lo que es prácticamente imposible separarlos mediante destilación. Además la pervaporación tiene la ventaja de que solo se evapora la cantidad de fluido que pasa a través de la membrana por lo es más barata que la destilación.

La destilación binaria se utiliza para separar el butanol y la acetona presentes en el permeado de la pervaporación y también para separar una corriente que contiene agua y acetona. Se utiliza la destilación para separar los compuestos que tenemos en estas dos corrientes porque en ambas corrientes los puntos de ebullición de ambos compuestos son diferentes. En la corriente que contiene butanol y acetona la diferencia en los puntos de ebullición es de 61 °C mientras en la corriente que contiene agua y acetona la diferencia en los puntos de ebullición es de 44 °C.

La destilación multicomponente se utiliza para separar una corriente que contiene agua, ácido acético y ácido butírico. Esta corriente se puede separar fácilmente por destilación ya que los puntos de ebullición de los compuestos son 100 °C, 118 °C y 164 °C respectivamente, lo que quiere decir que la diferencia mínima que hay entre los puntos de ebullición es de 18 °C, diferencia suficiente para separarlos por destilación.

3.2. Viabilidad económica.

La Directiva 2003/30/CE tiene por objeto fomentar la utilización de biocarburantes u otros combustibles renovables como sustitutos del gasóleo o la gasolina a efectos de transporte en los Estados miembros, con el fin de contribuir a objetivos como el cumplimiento de los compromisos asumidos en materia de cambio climático, la seguridad de abastecimiento en condiciones ecológicamente racionales y la promoción de las fuentes de energía renovables. Para el cumplimiento de dichos objetivos, algunos Estados miembros recurren a exenciones fiscales para estos biocarburantes, facilitadas por la Directiva 2003/96/CE sobre imposición de los productos energéticos (DOL 283 DE 31-10-2003), que en su artículo 16 permite exonerar de impuestos especiales a este tipo de biocarburantes, abriendo la puerta al desarrollo de estos productos y permitiendo crear en la Unión Europea un mercado de biocarburantes competitivos.

En España, los biocarburantes gozan de una exención total de impuestos especiales desde el 1 de Enero de 2003, conforme dispone la Ley 53/2002 de 30 de Diciembre de 2002. Dicho impuesto es modulable, en función de la evolución comparativa de los costes de producción de los productos petrolíferos y los biocarburantes.

La Directiva 2003/30/CE en el apartado 1 de su artículo 2, da una definición de lo que se entenderá como biocarburante y como biomasa en dicha Directiva, estas definiciones son las siguientes:

- Biocarburante: el combustible líquido o gaseoso para transporte producido a partir de la biomasa.
- 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.

Es evidente que el biobutanol obtenido por el proceso descrito en el presente Proyecto Fin de Carrera, se ajusta perfectamente a la definición de biocarburante dada en el apartado 1 de su artículo 2 de la Directiva 2003/30/CE, con lo que se le podría aplicar las exenciones de impuestos especiales explicadas anteriormente.

Esta misma Directiva, en el apartado 2 de su artículo 2, proporciona una lista de productos que se considerarán biocarburantes, en esa lista no se encuentra el biobutanol ya que esta Directiva es del año 2003, año en el que aún no se consideraba al biobutanol como un biocarburante para el transporte. Pero si que se deja una puerta abierta para todos aquellos nuevos biocarburantes que fuesen desarrollados después de la entrada en vigor de dicha Directiva y que cumplan los requisitos que en ella se nombran para que también se les pueda aplicar lo que en esta se recoge.

Con respecto al coste de la materia prima, éste no resulta un problema ya que ese coste es superado ampliamente por los beneficios que reportan la venta de los productos obtenidos a partir de esa materia prima.

Evidentemente también hay que tener en cuenta los servicios: agua, vapor y electricidad, así como los costes de producción y el coste en inmovilizado, de lo que al final se desprende un balance positivo, ya que también todos estos costes son cubiertos con solvencia por los beneficios reportados por la venta de los productos obtenidos durante el proceso.

Como consecuencia de todo lo dicho anteriormente, la construcción y explotación del proceso de obtención de biobutanol explicado en el presente Proyecto Fin de Carrera resulta perfectamente viable económicamente.

3.3. Viabilidad legal y laboral.

La Unión Europea quiere reducir la elevada dependencia energética de los productos petrolíferos y aumentar la seguridad del suministro de un combustible sostenible en el sector del transporte, ya que prácticamente todo el petróleo que consume Europa procede del exterior.

Otro de los motivos por el que la Unión Europea quiere tener un suministro de combustible sostenible para el sector del transporte es porque este es responsable del 21% de las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global del planeta. Así que para cumplir los objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, suscritas por la Unión Europea en el protocolo de Kioto, es esencial encontrar soluciones para reducir dichas emisiones en el sector del transporte.

La Unión Europea tiene el objetivo de que para el año 2010 el 5,75% del combustible utilizado por el sector del transporte sean biocarburantes.

En España, el Plan de Energías Renovables plantea el objetivo energético de que para el año 2010 tengamos una producción de 2.200.000 tep de biocarburantes.

Con este panorama tanto europeo como español, el presente Proyecto Fin de Carrera se encuentra perfectamente insertado en el marco de la legalidad, tanto nacional como europea, por lo que la viabilidad legal del presente Proyecto Fin de Carrera está asegurada.

Además, la planta propuesta en el presente Proyecto Fin de Carrera se encuentra dentro del marco de la legalidad porque durante el proceso de obtención de biobutanol si se produjeran efluentes líquidos contaminantes que legalmente no pueden ser vertidos al medio ambiente, estos serían tratados y depurados por una empresa especializada.

En cuanto a viabilidad laboral, la producción de biocarburantes puede generar también beneficios económicos, ya no solo por la creación de empleo en las propias plantas de producción, sino por la reducción de las facturas de las importaciones de energía, así como la creación de nuevos mercados potenciales de exportación en numerosos países en desarrollo.

Por otra parte, la obtención de biocarburantes a partir de azúcar bruta puede ser una buena salida para ayudar a los agricultores de remolacha que

están viendo como se reduce la cuota de producción de azúcar en toda Europa. De esta manera estos agricultores pueden seguir con sus explotaciones agrícolas de remolacha aunque el fin de esta no sea para la obtención de azúcar para uso alimentario, sino para la obtención de azúcar bruta que luego se utilizará en la obtención de biocarburantes. De esta manera se mantendrían muchos puestos de trabajo que actualmente con la reforma del azúcar se están perdiendo.

Además, de esta manera el suelo agrícola se seguiría utilizando y se podrían utilizar otros suelos que en la actualidad no se utilizan y están abandonados para el cultivo de la remolacha u otros cultivos energéticos, evitando así la desertificación y erosión de estos suelos que por razones de mercado están siendo o han sido abandonados por los agricultores.

Capítulo 4

MATERIA PRIMA

4.1. Proceso de fabricación del azúcar.

El proceso de fabricación de azúcar en la actualidad utiliza las siguientes operaciones, recepción, lavado y cortado de la remolacha, difusión, depuración y filtración de jugos, evaporación, filtración del jarabe, cristalización, secado, almacenamiento, envasado y distribución, además de instalaciones auxiliares como laboratorio, caldera, horno de cal, talleres y sala de control.



Figura 4.1. Esquema de un proceso de fabricación de azúcar.

Fuente: www.azucareraebro.com

La remolacha azucarera se cultiva exclusivamente para producir azúcar. Llegado el momento, la remolacha se arranca y se le quita el tallo y hojas. La raíz, materia prima para la fabricación del azúcar, se lleva a la fábrica lo más limpia posible. A cada vehículo se le calcula el peso escueto de raíz (descontadas las impurezas) y su contenido en azúcar, para pagarla según su riqueza. En el lavadero se eliminan las impurezas adheridas a la materia prima, tales como tierra, hierbas, hojas o piedras. La instalación completa se compone de un lavadero, un desarenador, un despedrador, un deshojador y un recuperador de rabillos. Una vez lavada, la remolacha se corta en los molinos en unos filamentos estrechos y largos, llamados coseta. El motivo no es otro que mezclarla con agua, para que la sacarosa que contiene la remolacha se diluya en ella. Esto no sería posible si la remolacha estuviese entera o en grades trozos. A continuación la coseta se introduce en el difusor, cuando este está en funcionamiento la coseta circula en una dirección, y el agua caliente, que se convertirá en jugo de difusión, en la opuesta. La coseta, ya sin sacarosa, se denomina pulpa agotada o pulpa fresca. Luego pasamos a la depuración y filtración de jugos, cuya finalidad es eliminar las impurezas que contiene el jugo. Para ello, se aplica cal en forma de lechada (cal diluida con agua o jugo) y gas carbónico producido en el horno de cal al cocer la piedra caliza con carbón. Todos los jugos que salen del difusor, se depuran y tras esa depuración obtenemos por una parte un jugo claro depurado, y por otra parte, las espumas de cal o lodos, que contienen las impurezas eliminadas. Después en la evaporación se elimina aproximadamente dos tercios del agua que contiene el jugo de azúcar para dejarlo más concentrado. El agua evaporada se aprovecha para calentar varios departamentos. El producto obtenido después de evaporar el agua es el jarabe. Este jarabe pasa a ser filtrado para eliminar las partículas que se hayan podido introducir en el proceso después de la evaporación o en la refundición. Para ello, se utilizan filtros semejantes a los del jugo o bien coladores que permiten un paso máximo de partículas de 50 micras. Este jarabe filtrado se introduce en el cristizador para convertirlo en granos de azúcar. La parte de jarabe que no acaba siendo grano de azúcar en la cocción se llama miel y se reincorpora al proceso para intentar nuevamente su cristalización. Luego pasamos al secado donde el azúcar queda en el adecuado grado de humedad para que pueda

conservarse inalterable a lo largo del tiempo, esto se hace mediante aire seco y templado. Por último el azúcar es almacenada en silos que permiten mantener la temperatura y humedad constantes, por medio de aire. De estos silos se va llenando camiones cisterna que transportan el azúcar hasta los lugares donde esta es demandada y también se va envasando para su posterior distribución.

4.2. Distribución de la producción de azúcar en España.

El sector azucarero está pasando una crisis desde que el Comité de Gestión del Azúcar de la Unión Europea, formado por expertos de todos los países miembros, acordaron retirar del mercado para la campaña 2007/2008 el 13,5% de la producción comunitaria para evitar los excedentes de este producto. Como consecuencia España deberá reducir obligatoriamente el 10,5% de su producción comercializada de azúcar en la campaña 2007/2008.

En España esta reforma del azúcar esta provocando que muchas de las azucareras estén cerrando. En el año 2006 la cuota de azúcar a producir en España se la repartían entre las siguientes empresas productoras: Azucarera Ebro, S.L. Sociedad Unipersonal, Sociedad Cooperativa General Agropecuaria ACOR, Azucareras Reunidas de Jaén, Sociedad Anónima y Azucarera de Guadalfeo, Sociedad Anónima. En la actualidad de estas cuatro empresas productoras sólo quedan dos que son Azucarera Ebro, S.L. Sociedad Unipersonal y Sociedad Cooperativa General Agropecuaria ACOR.

En España la asignación de cuotas de azúcar a partir de la campaña de comercialización 2007/2008 se regula por la ORDEN APA/437/2008, de 22 de Febrero, por la que se asignan cuotas de azúcar e isoglucosa a las empresas productoras establecidas en España. A continuación trataré de resumir y explicar lo que nos dice esta ORDEN APA/437/2008, de 22 de Febrero con respecto a las cuotas de azúcar, omitiendo todo lo referido a la isoglucosa ya que esta no resulta relevante para el desarrollo del presente Proyecto Fin de Carrera.

El Reglamento (CE) nº 318/2006 del Consejo, de 20 de febrero, por el que se establece la organización común de mercados en el sector del azúcar, en su anexo III fija las cuotas nacionales y regionales de producción de azúcar, por Estados miembros, para su posterior atribución a las empresas productoras. Para España, la cantidad fijada inicialmente era 996.961 toneladas de azúcar.

Durante las campañas de comercialización 2006/2007 y 2007/2008, las empresas azucareras han renunciado a parte de sus cuotas de producción, acogiéndose a lo previsto en el artículo 3.1 del Reglamento (CE) nº 320/2006 del Consejo, de 20 de febrero, por el que se establece un régimen temporal para la reestructuración del sector del azúcar en la Comunidad. La cantidad de azúcar a la que se ha renunciado en las citadas campañas asciende a 109.797,3 toneladas. Por tanto, la cuota de producción de azúcar de España, a partir de la campaña 2007/2008, queda establecida en 887.163,7 toneladas de azúcar, según se especifica en el Reglamento (CE) nº 247/2007 de la Comisión, de 8 de marzo, por el que se modifica el anexo III del Reglamento (CE) nº 318/2006 del Consejo, de 20 de febrero, para la campaña de comercialización 2007/2008.

Por otra parte, el Reglamento (CE) nº 290/2007 de la Comisión, de 16 de marzo, por el que se fija, para la campaña de comercialización 2007/08, el porcentaje previsto en el artículo 19 del Reglamento (CE) nº 318/2006 del Consejo, de 20 de febrero, establece los mecanismos para determinar la cantidad de azúcar de cuota que cada empresa debe retirar. El artículo 1 del Reglamento (CE) nº 290/2007 de la Comisión, de 16 de marzo, establece que, para la campaña de comercialización 2007/08, el porcentaje contemplado en el artículo 19, apartado 1, del Reglamento (CE) nº 318/2006, de 20 de febrero, queda fijado en el 13,5%. Asimismo establece que, en el caso de los Estados miembros cuya cuota nacional ha sido liberada en una cantidad inferior al 50% a partir del 1 de julio de 2006, como consecuencia de la renuncia a las cuotas en virtud del artículo 3 del Reglamento (CE) nº 320/2006, de 20 de febrero, el porcentaje de retirada previsto en el apartado 1 se reducirá proporcionalmente a las cuotas liberadas, quedando fijado para España en el 10,53%.

Finalmente, como consecuencia de la aplicación del porcentaje de retirada, es conveniente establecer el umbral de producción para dicha campaña, que será la cantidad resultante de la diferencia entre la cuota asignada en 2007/2008 y la cantidad de retirada resultante de la aplicación del artículo 1 del Reglamento (CE) nº 290/2007 de la Comisión, de 16 de marzo.

Procede en consecuencia, sin perjuicio de las posibles reducciones previstas en el artículo 10 del Reglamento (CE) nº 318/2006 del Consejo, de 20 de febrero, que establece los mecanismos para adaptar en cada campaña las cuotas de producción, asignar las cuotas entre las empresas productoras establecidas en España.

En el procedimiento de elaboración de la presente orden han sido consultadas las Comunidades Autónomas y las entidades representativas de los intereses de los sectores afectados.

Finalmente en la ORDEN APA/437/2008, de 22 de Febrero, se resuelve:

Uno. Asignación de cuotas de azúcar. A partir de la campaña de comercialización 2007/2008, se asignan las siguientes cuotas de producción de azúcar, expresadas en cantidades equivalentes de azúcar blanco.

Azucarera Ebro, S. L. Sociedad Unipersonal.

Cuota de azúcar: 719.435,8 toneladas.

Sociedad Cooperativa General Agropecuaria ACOR.

Cuota de azúcar: 167.727,9 toneladas.

Dos. Asignación de cuotas de isoglucosa. Este punto no resulta relevante para el presente Proyecto Fin de Carrera.

Tres. Adaptación de cuotas. Las cuotas fijadas en los artículos uno y dos de esta orden se adaptarán en cada campaña de comercialización, si fuera

necesario, de acuerdo con el procedimiento descrito en el artículo 10 del Reglamento (CE) nº 318/2006 del Consejo, de 20 de febrero.

Cuatro. Coeficiente de retirada. El coeficiente mediante el cual se permite establecer el umbral de retirada para la campaña de comercialización 2007/2008 ha quedado fijado para España en 0,1053 (10,53%). La cantidad resultante de multiplicar este coeficiente por la cuota asignada a cada empresa nos dará el umbral de retirada de cada empresa.

Cinco. Retirada preventiva de azúcar en la campaña 2007/2008. Las cantidades de azúcar de cuota que habrá que retirar, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 1 del Reglamento (CE) nº 290/2007 de la Comisión, de 16 de marzo de 2007, es la siguiente, expresadas en cantidades equivalentes de azúcar blanco:

Azucarera Ebro, S. L. Sociedad Unipersonal.

Cuota de retirada de azúcar: 75.756,59 toneladas.

Sociedad Cooperativa General Agropecuaria ACOR.

Cuota de retirada de azúcar: 17.661,75 toneladas.

Seis. Cantidades de azúcar a producir en la campaña 2007/2008. Como consecuencia de la aplicación del coeficiente de retirada en virtud del artículo 1 del Reglamento (CE) nº 290/2007 de la Comisión, es conveniente asignar las cantidades de azúcar de cuota a producir en la campaña 2007/2008, siendo las siguientes, expresadas en cantidades equivalentes de azúcar blanco:

Azucarera Ebro, S. L. Sociedad Unipersonal.

Cuota de azúcar: 643.679,21 toneladas.

Sociedad Cooperativa General Agropecuaria ACOR.

Cuota de azúcar: 150.066,15 toneladas.

Siete. Fecha de efectos. La presente Orden surtirá efectos a partir del día siguiente al de su publicación.

4.3. Azúcar, la sacarosa.

Se denomina coloquialmente azúcar a la sacarosa, también llamado azúcar común o azúcar de mesa. La sacarosa, pertenece a un grupo de hidratos de carbono llamados disacáridos, es extraída de la remolacha azucarera, en la que se encuentra en un 15% del peso, o de la caña de azúcar, en la que se encuentra en un 20% del peso. La miel también es un fluido que contiene gran cantidad de sacarosa parcialmente hidrolizada. La sacarosa es soluble en agua y ligeramente soluble en alcohol y éter. Cristaliza en agujas largas y delgadas y es dextrógira, es decir, desvía el plano de polarización de la luz hacia la derecha. Por hidrólisis origina una mezcla de glucosa y fructosa, que son levógiras, pues desvían el plano de polarización hacia la izquierda. Cuando se calienta a temperaturas superiores a 180 °C, la sacarosa se transforma en una sustancia amorfa, de color ámbar y consistencia espesa, parecida al jarabe, llamada caramelo.

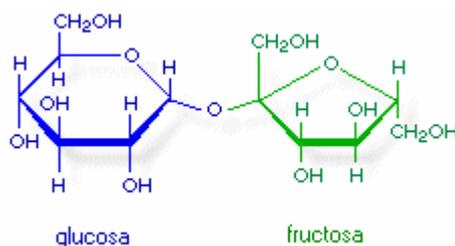


Figura 4.2. Molécula de sacarosa diferenciando los dos monosacáridos de los que se compone.

La sacarosa es sintetizada por las plantas, pero no en animales superiores. Contiene dos átomos de carbono anomérico libre, puesto que los carbonos anoméricos de sus dos unidades monosacáridos constituyentes se hallan unidos entre sí, covalentemente mediante un enlace O-glucosídico. Por esta razón, la sacarosa no es un azúcar reductor y tampoco posee un extremo reductor. La sacarosa es un producto intermedio principal de la fotosíntesis, en muchas plantas constituye la forma principal de transporte de azúcar desde las hojas a otras partes de la planta. En las semillas germinadas de plantas, las grasas y proteínas almacenadas se convierten en sacarosa para su transporte a partir de la planta en desarrollo.

Una curiosidad de la sacarosa es que es triboluminiscente, que produce luz mediante una acción mecánica.

La sacarosa es el edulcorante más utilizado en el mundo industrializado, aunque ha sido en parte reemplazada en la preparación industrial de alimentos por otros endulzantes tales como jarabes de glucosa, o por combinaciones de ingredientes funcionales y endulzantes de alta intensidad.

El azúcar se puede clasificar por su origen, según sea extraída de la caña de azúcar o de la remolacha, pero también por el grado de refinación de ésta. Normalmente la refinación se expresa visualmente a través del color. Se distingue entre azúcar moreno, azúcar rubio, azúcar blanco y azúcar extrablanco. Esta clasificación se basa principalmente en el porcentaje de sacarosa con contiene cada tipo de azúcar.

- El azúcar moreno, también llamado “negro” o “crudo”, se obtiene del jugo de remolacha sin refinar ni procesar, sólo cristalizado. Este producto integral, debe su color a una película de melaza que envuelve cada cristal. Normalmente contiene entre un 96 y un 98% de sacarosa. Su contenido de mineral es ligeramente superior al azúcar blanco, pero muy inferior al de la melaza.
- El azúcar rubio es menos oscuro que el azúcar moreno y con un mayor porcentaje de sacarosa.
- El azúcar blanco contiene un 99,5% de sacarosa. También es denominado azúcar sulfatado.
- El azúcar refinado o extrablanco es altamente puro, contiene entre un 99,8 y un 99,9 % de sacarosa. Se ha cristalizado dos veces con el fin de lograr su máxima pureza.

En el presente Proyecto Fin de Carrera se utiliza como materia prima azúcar bruto o crudo que tiene un contenido de 96-98% de sacarosa. El resto son impurezas compuestas por azúcares simples que son perfectamente asimilables por el microorganismo empleado en la fermentación.

4.4. Azúcares simples, la glucosa y la fructosa.

La glucosa.

La glucosa o dextrosa, es una forma de azúcar encontrada en las frutas y en la miel. Es un sólido cristalino de color blanco, algo menos dulce que el azúcar destinado al consumo. La glucosa es un monosacárido con la misma fórmula empírica que la fructosa pero con diferente estructura. Es una hexosa, es decir, que contiene seis átomos de carbono. La glucosa cristaliza en tres formas diferentes y cada una de ellas gira el plano de polarización de la luz en distinto grado. Las disoluciones de glucosa giran el plano de polarización de la luz a la derecha, de ahí el otro nombre alternativo, dextrosa.

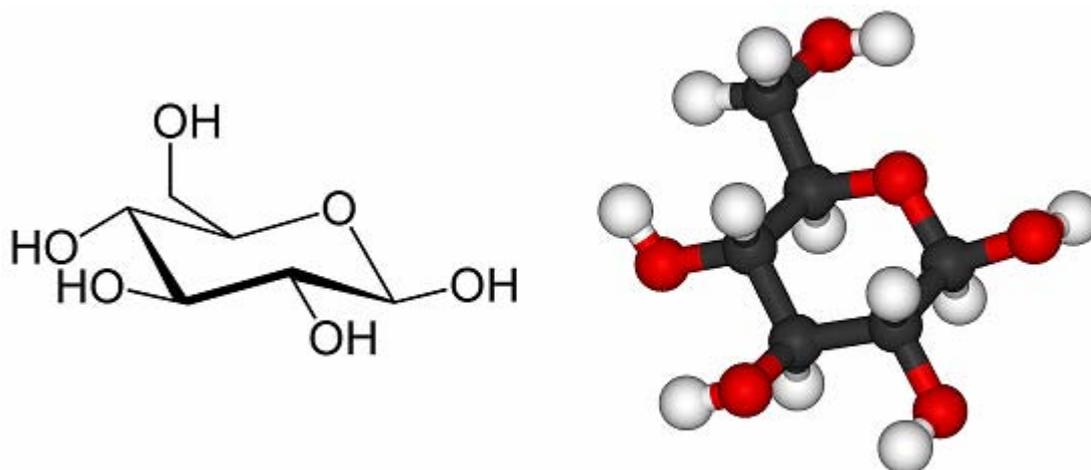


Figura 4.3. Forma y estructura de una molécula de glucosa.

La glucosa es el segundo compuesto orgánico más abundante de la naturaleza, después de la celulosa. Es la fuente principal de energía de las células, mediante la degradación catabólica, y es el componente principal de polímeros de importancia estructural como la celulosa y de polímeros de almacenamiento energético como el almidón.

La glucosa en su forma D-glucosa sufre una ciclación hacia su forma hemiacetalica para lograr sus formas furano y pirano, D-glucofuranosa y D-glucopiranosa, que a su vez presentan anómeros Alpha y Beta. Estos

anómeros no presentan diferencias de composición estructural, pero sí difieren en características físicas y químicas.

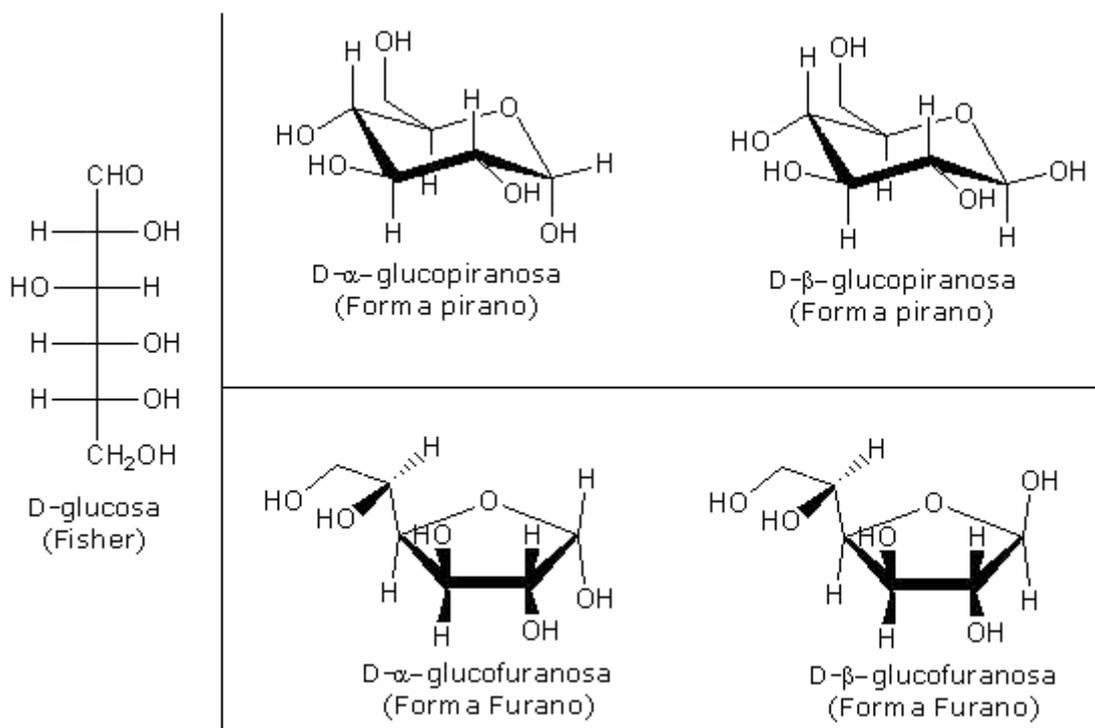


Figura 4.4. Formas furano y pirano de la D-glucosa.

Todas las frutas naturales tienen cierta cantidad de glucosa, a menudo con fructosa, que puede ser extraída y concentrada para hacer un azúcar alternativo. Pero a nivel industrial tanto la glucosa líquida, jarabe de glucosa, como la dextrosa, glucosa en polvo, se obtienen a partir de la hidrólisis, ya sea bajo la acción de ácido diluido o más frecuentemente de enzimas, de almidón de cereales, generalmente trigo o maíz.

La aplicación más importante de la glucosa es como agente edulcorante en la elaboración de alimentos. También se emplea en curtidos y tintes, y en medicina para el tratamiento de la deshidratación y alimentación intravenosa.

La fructosa.

La fructosa, también denominada levulosa o azúcar de las frutas, es una forma de azúcar encontrada en las frutas y en la miel. La fructosa es un

monosacárido con la misma fórmula empírica que la glucosa pero con diferente estructura. Es una cetohexosa, es decir, tiene 6 átomos de carbono.

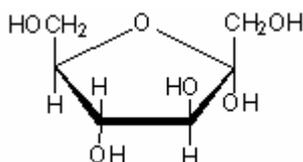


Figura 4.5. Forma y estructura de una molécula de fructosa.

La fructosa cristaliza con dificultad y los cristales se funden en un rango de temperatura que varía entre los 102 y los 104 °C.

La molécula de fructosa es levógira, es decir, las disoluciones de fructosa hacen rotar el plano de la luz polarizada hacia la izquierda. La glucosa en su forma furano tiene dos isómeros, el isómero trans y el isómero cis.

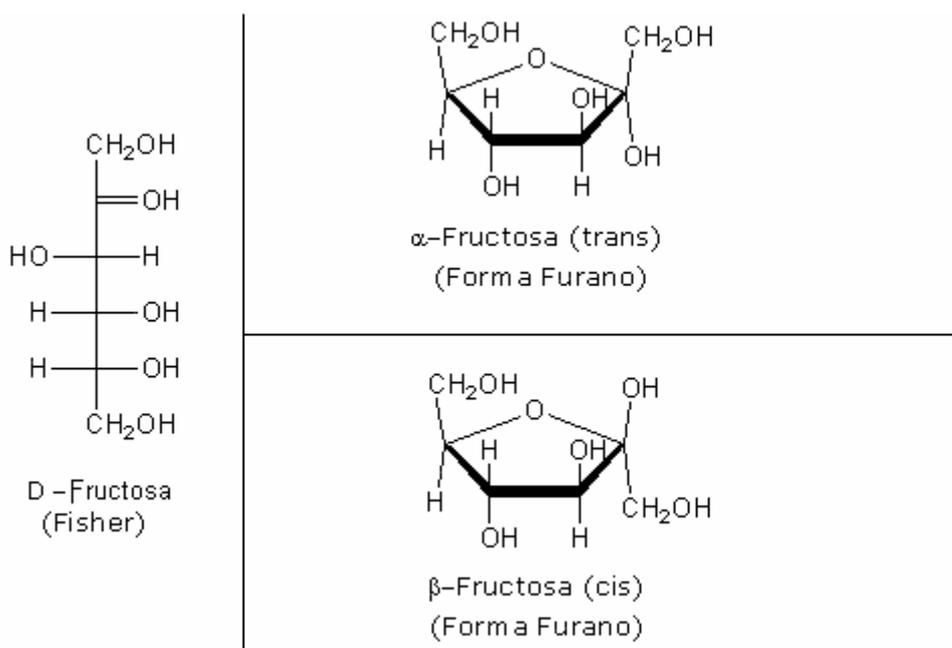


Figura 4.6. Formas furano de la fructosa.

La fructosa se produce junto con la glucosa como consecuencia de la hidrólisis, ya sea en ácido diluido o por medio de enzimas, de la sacarosa, pero

la mejor manera de obtener esta molécula consiste en tratar la inulina con un ácido diluido.

Todas las frutas naturales tienen cierta cantidad de fructosa, a menudo con glucosa, que puede ser extraída y concentrada para hacer un azúcar alternativo.

La fructosa se utiliza como edulcorante para los diabéticos ya que tomado en dosis moderadas no precisa insulina para ser metabolizada. A diferencia del azúcar refinado que se absorbe instantáneamente produciendo una subida y una bajada rápida de energía, la fructosa, es metabolizada y guardada, en parte, por el hígado en forma de glucógeno como reserva para cuando necesitemos hacer un esfuerzo. La fructosa produce escasos efectos en el nivel de glucosa en la sangre y no estimula la secreción de insulina. La fructosa endulza más que la glucosa, con lo que se necesita menor cantidad, consecuentemente se consume menos calorías, dado que es del mismo valor calórico que la glucosa, 400 kilocalorías por 100 gramos.

Capítulo 5

PRODUCTOS, SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS

La fermentación de los azúcares simples (glucosa y fructosa) mediante el microorganismo *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* N1-4 nos va a dar lugar a seis compuestos. Un producto principal, el biobutanol, y cinco productos secundarios o subproductos, la acetona, el ácido acético, el ácido butírico, el hidrógeno y el dióxido de carbono, de los cuales dos de estos compuestos serán emitidos en fase gaseosa y los otros cuatro compuestos estarán en fase líquida.

Tanto el hidrógeno como el dióxido de carbono, que son los dos compuestos obtenidos en fase gaseosa, se dejan escapar a la atmósfera durante el transcurso de la fermentación, debido a que los gastos de su recuperación y tratamiento para ser luego vendidos serían mayores que los beneficios que reportaría su posterior venta, por lo que no son rentables.

Los otros cuatro compuestos obtenidos, el butanol, la acetona, el ácido acético y el ácido butírico, se encuentran en fase líquida mezclados con una gran cantidad de agua. El butanol, que es el producto principal, será recuperado y purificado hasta un grado de pureza superior al 99,9% de manera que pueda ser utilizado como biocarburante, ya sea mezclado con gasolina o puro. Los otros tres compuestos, la acetona, el ácido acético y el ácido butírico, también serán recuperados y purificados hasta obtener un grado de pureza superior al 99,5%, producto químicamente puro, para su posterior comercialización.

5.1. Producto principal.

El producto principal es el butanol, que puede tener hasta cuatro formas diferentes dependiendo de la distribución de los átomos de carbono y de la situación del grupo alcohol o hidroxilo. Esas cuatro formas diferentes son: butan-1-ol, butan-2-ol, metilpropan-1-ol y metilpropan-2-ol. De esas cuatro formas químicas diferentes, los microorganismos que se utilizan para llevar a cabo la fermentación ABE, únicamente son capaces de sintetizar el compuesto butan-1-ol (IZÁK et al., 2008), y en ningún caso es capaz de sintetizar butan-2-ol, metilpropan-1-ol o metilpropan-2-ol.

A pesar de que el microorganismo utilizado únicamente es capaz de producir butan-1-ol, hay dos formas químicas que son el butan-1-ol y el butan-2-ol, que solamente se diferencian en el carbono al que va enlazado el grupo alcohol. Esta pequeña diferencia hace que tengan distintas propiedades físicas y químicas como por ejemplo los puntos de fusión y ebullición de los compuestos, la solubilidad en agua, la presión de vapor, el punto de inflamación, la temperatura de autoignición y los límites de explosividad entre otros.

Precisamente haciendo hincapié en algunas de esas propiedades que son diferentes para ambos compuestos, se van a exponer a continuación tres hipótesis por las que se trata de explicar porqué el microorganismo solamente es capaz de sintetizar butan-1-ol.

➤ Primera hipótesis.

Esta primera hipótesis se basa en la forma o estructura espacial de las moléculas de butan-1-ol y butan-2-ol. Las dos moléculas tienen la misma fórmula empírica, $C_4H_{10}O$, las dos moléculas forman una cadena lineal de cuatro átomos de carbono, pero la diferencia se encuentra en el carbono al que va enlazado el grupo alcohol o hidroxilo. Mientras que en la molécula de butan-1-ol el grupo alcohol va enlazado a uno de los carbonos que se

encuentra en los extremos de la molécula, en la de butan-2-ol el grupo alcohol va enlazado a uno de los carbonos que se encuentra en el centro de la molécula. Esta simple y única variación en la estructura espacial de la molécula hace que ambas moléculas tengan diferentes propiedades tanto físicas como químicas.

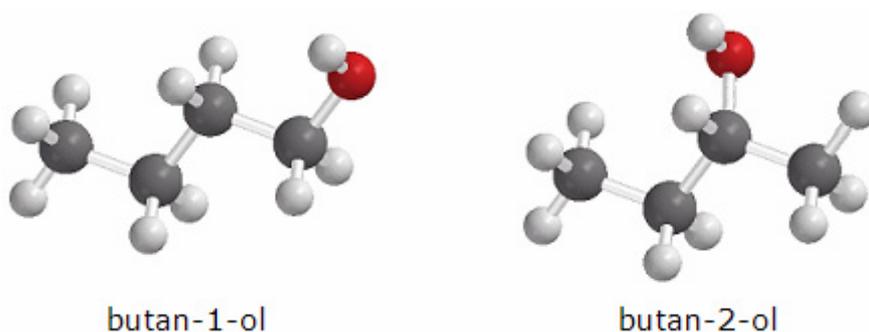


Figura 5.1. Representaciones de la estructura química del butan-1-ol y butan-2-ol.

Al colocarse el grupo alcohol en el extremo de la molécula, el mayor volumen del grupo alcohol frente al de un único átomo de hidrógeno no afecta mucho al ángulo que forman los carbonos entre sí, ya que únicamente tiene cerca a dos de los cuatro átomos de carbono que forman la molécula, por lo cual apenas se ve afectada la estabilidad de la molécula. Sin embargo al colocarse este grupo alcohol en uno de los átomos centrales de carbono, este grupo alcohol sí que afecta a los ángulos que forman los carbonos entre sí porque tiene cerca a tres de los cuatro átomos de carbono que forman la molécula, y esto provoca la variación de los ángulos de los enlaces entre estos tres carbonos, con lo que se crean tensiones en la molécula de butan-2-ol haciendo que ésta sea más inestable.

➤ **Segunda hipótesis.**

Esta segunda hipótesis se basa en la diferencia en los puntos de ebullición de las dos moléculas. Mientras que el butan-1-ol tiene un punto de ebullición de 118 °C, el butan-2-ol tiene un punto de

ebullición de 99,5 °C. Como se observa la diferencia en los puntos de ebullición entre ambas moléculas es de 18.5 °C. Al tener el butan-1-ol un punto de fusión mayor que el butan-2-ol, quiere decir que se necesita aportar una mayor cantidad de energía para hacer pasar a una molécula de butan-1-ol de estado líquido a estado gaseoso, de lo que se deduce que una molécula de butan-1-ol es más estable que una molécula de butan-2-ol, y por lo tanto que es más probable que durante la fermentación acetobutílica se produzca butan-1-ol, que es más estable, y no butan-2-ol, que es más reactivo, y que en caso de producirse este último pueda reaccionar en el medio para transformarse en butan-1-ol.

➤ **Tercera hipótesis.**

Esta tercera hipótesis se basa en la diferencia en la solubilidad en agua de las dos moléculas. Mientras que el butan-1-ol tiene una solubilidad en agua de 7,9 gramos en 100 gramos de agua, el butan-2-ol tiene una solubilidad en agua de 12,5 gramos en 100 gramos de agua. Como se observa la diferencia en la solubilidad en agua es de 4,6 gramos en 100 gramos de agua a favor del butan-2-ol. Esta mayor solubilidad en agua del butan-2-ol nos indica que las moléculas de butan-2-ol son más reactivas que las moléculas de butan-1-ol, o dicho en otras palabras, que las moléculas de butan-2-ol son más inestables que las moléculas de butan-1-ol, que son más estables, y por lo tanto que es más probable que durante la fermentación acetobutílica se produzca butan-1-ol, que es más estable, y no butan-2-ol, que es más reactivo, y que en caso de producirse este último pueda reaccionar en el medio para transformarse en butan-1-ol.

5.1.1. Biobutanol.

Por tanto, todos los indicios (hipótesis) permiten asegurar la presencia prácticamente a nivel de trazas de butan-2-ol en los medios de fermentación

ABE. Como consecuencia, el butan-1-ol, es la forma química en la que se obtiene el producto principal.

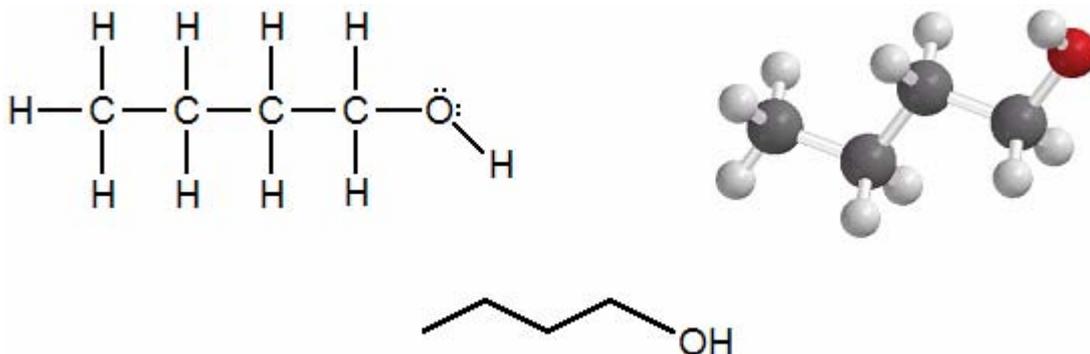


Figura 5.2. Representaciones de la estructura química del butan-1-ol.

El butanol no sólo se produce mediante la fermentación acetobutílica, sino que hay otros procesos como por ejemplo la reducción del n-butiraldehído a n-butanol, mediante una hidrogenación en dos etapas. La primera etapa es la hidrogenación en fase vapor y la segunda etapa es la hidrogenación en fase líquida, debido a que la reacción de hidrogenación es exotérmica la temperatura de reacción necesita ser controlada específicamente.

Las distintas formas del butanol tienen importantes aplicaciones industriales y se utilizan en la elaboración de disolventes, plásticos, detergentes y como base para perfumes y fijadores. Una de estas formas, el metilpropan-2-ol, se utiliza para desnaturalizar alcohol etílico.

En lo que concierne al presente Proyecto Fin de Carrera, el butanol, en su forma butan-1-ol, puede ser utilizado como biocombustible para vehículos, ya sea mezclado parcialmente con gasolina o puro, lo que supondría un importante descenso de las emisiones de gases de efecto invernadero.

5.2. Subproductos.

Los productos secundarios o subproductos son: la acetona, el ácido acético y el ácido butírico en fase líquida y el hidrógeno y el dióxido de carbono en fase gaseosa.

De los cinco subproductos, sólo se van a recuperar los tres que se encuentran en fase líquida disueltos en un gran volumen de agua, los otros dos subproductos se emitirán a la atmósfera durante el transcurso de la fermentación.

5.2.1. Acetona.

La acetona o propanona, según la IUPAC, es un compuesto químico del grupo de las cetonas que se encuentra de forma natural en el medio ambiente. Es un líquido incoloro y de olor y sabor característicos. Se evapora fácilmente, es inflamable y es soluble en agua.

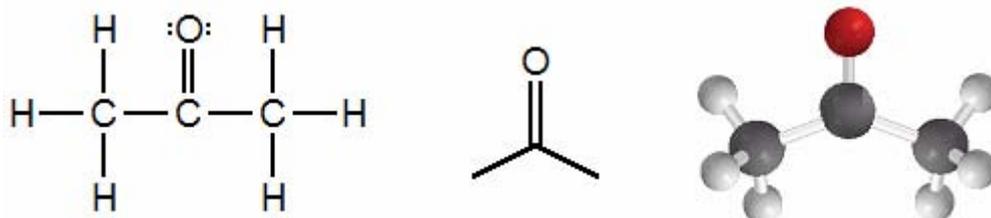


Figura 5.3. Representaciones de la estructura química de la acetona.

La síntesis a escala industrial de la acetona se puede realizar mediante múltiples procesos aunque mayoritariamente se utiliza el proceso catalítico de hidrólisis en medio ácido del hidroperóxido de cumeno, que permite también la obtención de fenol como subproducto, en una relación en peso de 0,61: 1.

Un segundo método de obtención es la deshidrogenación catalítica del alcohol isopropílico.

Otras vías de síntesis de la acetona son:

- Biofermentación. (Como es el caso del presente Proyecto Fin de carrera, aunque no sea el producto principal, la acetona se obtiene en grandes cantidades).
- Oxidación de polipropileno.
- Oxidación de diisopropilbenceno.

La acetona tiene múltiples usos y aplicaciones, tanto a nivel industrial como en la vida cotidiana, de entre los que destacan los que citamos a continuación:

- La aplicación más importante de la acetona se encuentra en la fabricación de metil metacrilato (MMA), mercado que experimenta una demanda creciente por el incremento en los usos del polimetilmetracrilato (PMMA), un material antifracturación alternativo al vidrio en la industria de la construcción.
- Otra aplicación importante de la acetona es para la fabricación de bisfenol A y de resinas de policarbonato que son muy demandados por la industria del automóvil y de la microelectrónica para la fabricación de CDs y DVDs.
- Para fabricar derivados del Aldol como metil isocubil cetona (MIBK) y metil isobutil carbinol (MIBC).
- Para la limpieza de microcircuitos y partes electrónicas.
- Para la limpieza de prendas de lana y pieles.
- En la industria farmacéutica para la cristalización y lavado de fármacos.
- Como base para diluyentes de lacas, pinturas, tintas, etc.
- En productos de cosmética como quitaesmaltes.

5.2.2. Ácido acético.

El ácido acético o ácido etanoico, como se denomina sistemáticamente de acuerdo con la IUPAC, es un compuesto químico del grupo de los ácidos carboxílicos y es un ácido débil. Se encuentra en el vinagre, y es el principal responsable de su sabor y olor agrios. Tiene un punto de fusión de 16 °C y un

punto de ebullición algo mayor que el agua, 118 °C. En disolución acuosa, el ácido acético puede perder el protón del grupo carboxilo para dar su base conjugada, el acetato.

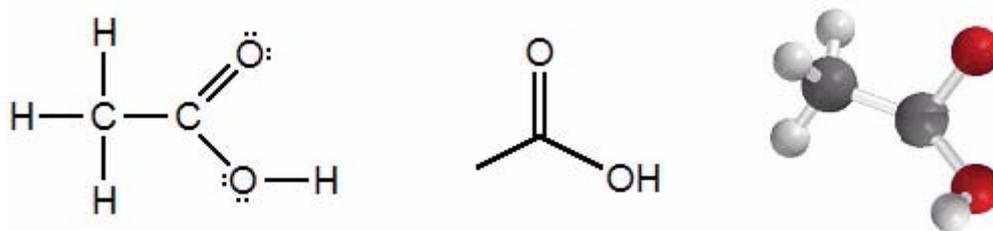


Figura 5.4. Representaciones de la estructura química del ácido acético.

Actualmente, la vía natural de obtención de ácido acético es a través de la carbonilación, que consiste en la reacción de metanol con monóxido de carbono (CO). Antaño, el ácido acético se producía por oxidación de etileno en acetaldehído y posterior oxidación de este a ácido acético.

El ácido acético es de interés para la química orgánica como reactivo, para la química inorgánica como ligando, y para la bioquímica como metabolito (activado como acetil-coenzima A). También es utilizado como sustrato, en su forma activada, en reacciones catalizadas por las enzimas conocidas como acetil transferasas, y en concreto histona acetil transferasas.

El ácido acético tiene múltiples usos y aplicaciones, de entre los que destacan los que citamos a continuación:

- Sus aplicaciones en la industria química van muy ligadas a sus ésteres, como son el acetato de vinilo o el acetato de celulosa (base para la fabricación de rayón, celofán...).
- En apicultura es utilizado para el control de las larvas y huevos de las polillas de la cera, enfermedad denominada galleriosis, que destruyen los panales de cera que las abejas melíferas obran para criar o acumular la miel.
- En la industria de la alimentación se utiliza para estabilizar la acidez de los alimentos y como diluyente para ciertas sustancias colorantes.

Además de ser un ácido que se encuentra de manera natural en el vinagre.

5.2.3. Ácido butírico.

El ácido butírico como se denomina comúnmente, también tiene otros nombres aceptados como son: ácido butanoico, ácido butánico, ácido etilacético, ácido propilfórmico o ácido 1-propanocarboxílico.

El ácido butírico es un ácido carboxílico. Los ácidos carboxílicos con un único grupo carboxilo y, generalmente, de cadena lineal, como es el caso del ácido butírico, se denominan ácidos grasos. La cadena hidrocarbonada puede ser saturada o bien contener uno o más enlaces dobles. Muchos ácidos carboxílicos son esenciales en la química de los organismos vivos. Otros son productos químicos de gran importancia industrial.

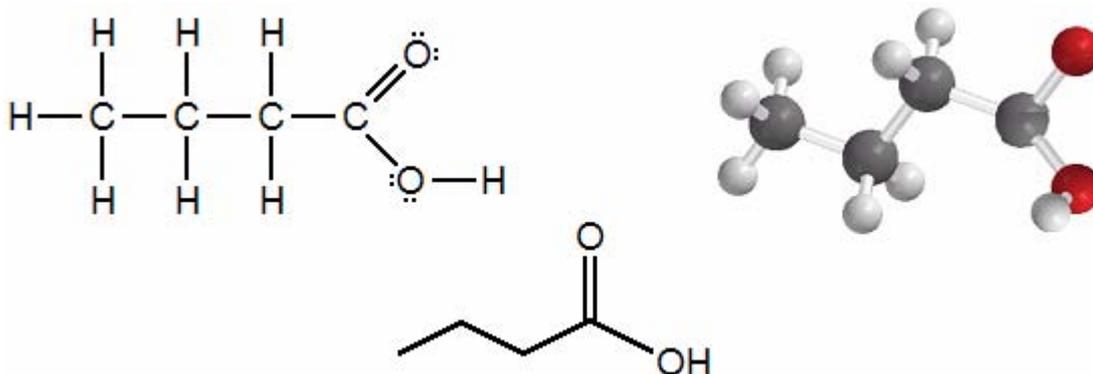


Figura 5.5. Representaciones de la estructura química del ácido butírico.

El ácido butírico se produce mediante fermentación butírica, descubierta por Pasteur en 1854, al convertirse los glúcidos en ácido butírico, por acción de las bacterias anaerobias *Clostridium butyricum*, en ausencia de oxígeno.

El ácido butírico es el ácido graso que se produce de forma natural en la mantequilla rancia, las heces, la orina, y, en cantidades traza, en el bazo y la sangre.

El ácido butírico se utiliza en la preparación de sustancias saborizantes, aceites emulsionantes y fármacos.

5.2.4. Dióxido de carbono.

El dióxido de carbono, también denominado óxido de carbono (IV) y anhídrido carbónico, es un gas incoloro cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono, y su fórmula química es CO₂. Es una molécula lineal y no polar, a pesar de tener enlaces polares. Esto se debe a que dada la hibridación del carbono la molécula posee una geometría lineal y simétrica.



Figura 5.6. Representaciones de la estructura química del dióxido de carbono.

El dióxido de carbono tiene un ciclo natural de renovación en la atmósfera que comprende, en primer lugar, un ciclo biológico donde se producen unos intercambios de dióxido de carbono entre los seres vivos y la atmósfera. La retención del dióxido de carbono se produce a través de la fotosíntesis de las plantas, y la emisión a la atmósfera, a través de la respiración animal y vegetal. Este proceso es relativamente corto y puede renovar el dióxido de carbono de toda la tierra en 20 años. En segundo lugar, se tiene un ciclo biogeoquímico más extenso que el biológico y que regula la transferencia entre la atmósfera y los océanos y el suelo (litosfera). El dióxido de carbono emitido a la atmósfera, si supera al contenido en los océanos, ríos, etc. es absorbido con facilidad por el agua convirtiéndose en ácido carbónico. Este ácido influye sobre los silicatos que constituyen las rocas y se producen los iones bicarbonato. Los iones bicarbonato son asimilados por los animales acuáticos en la formación de sus tejidos. Una vez que estos seres vivos mueren quedan depositados en los sedimentos de los fondos marinos.

Finalmente, el dióxido de carbono vuelve a la atmósfera durante las erupciones volcánicas al fusionarse en combustión las rocas con los restos de los seres vivos.

Además de este ciclo natural del dióxido de carbono, la acción del hombre introduce grandes cantidades de dióxido de carbono en la atmósfera. La principal y única forma en la que el hombre produce dióxido de carbono es mediante la combustión de combustibles fósiles, ya sea en plantas eléctricas para la producción de electricidad, en industrias o en el transporte.

Otra fuente de producción de dióxido de carbono son las reacciones de fermentación, como la que se lleva a cabo en este Proyecto Fin de Carrera, que generalmente producen grandes cantidades de dióxido de carbono, pero que se pueden considerar que están dentro del ciclo natural de renovación del dióxido de carbono ya que éste es producido por la acción de descomposición de materia orgánica por determinados microorganismos y generalmente esa materia orgánica suele provenir de plantas o cultivos vegetales como es el caso que ocupa a este Proyecto Fin de Carrera.

El dióxido de carbono tiene múltiples usos y aplicaciones, de entre los que destacan los que citamos a continuación:

- Se usa como agente extintor eliminando el oxígeno para el fuego.
- En la industria alimenticia se utiliza en bebidas carbonatadas para proporcionarles efervescencia.
- En refrigeración se usa como una clase de fluido refrigerante en máquinas frigoríficas o congelado como hielo seco.
- Otro uso que está incrementándose es su empleo como agente extractante cuando se encuentra en condiciones supercríticas, dada su escasa o nula presencia de residuos en los extractos. De este modo, junto con el agua es el disolvente más empleado en procesos con fluidos supercríticos.
- Es utilizado también como material activo para generar luz coherente (láser de CO₂).
- Se utiliza en el desenchalado del cuero.

- Se emplea para la expansión de espumas de poliuretano.
- Se utiliza para el lavado de pulpa de celulosa y papel.
- También es utilizado en la mejora de procesos de fabricación de papel reciclado.

5.2.5. Hidrógeno.

El hidrógeno es un elemento químico representado por el símbolo H y con un número atómico de 1. En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico, incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. El hidrógeno es el elemento químico más ligero y es, también, el elemento más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia del universo.

El hidrógeno puede obtenerse mediante síntesis industrial de distintas maneras, pero las más económicas implican su extracción a partir de hidrocarburos. El hidrógeno comercial se produce generalmente mediante el reformado con vapor del gas natural.

Otra forma de obtener el hidrógeno es a partir del agua por un proceso de electrólisis, pero resulta un método mucho más caro que la obtención a partir del gas natural.

El hidrógeno también se produce en cantidades significativas como un subproducto en la mayoría de los procesos petroquímicos de *cracking* con vapor y reformado. La electrólisis de la salmuera para obtener cloro también genera hidrógeno como subproducto.

El hidrógeno también puede producirse mediante síntesis biológica. Hay ciertos microorganismos, como por ejemplo *Clostridium butyricum*, *Clostridium acetobutylicum*, *Clostridium beijerinckii* o *Clostridium saccharoperbutylacetonicum N1-4*, que son capaces de transformar azúcares simples como la glucosa, la fructosa o la xilosa entre otros en productos como

el etanol, el butanol, la acetona, el ácido acético, el dióxido de carbono ó el hidrógeno mediante una fermentación de los azúcares antes citados.

El hidrógeno tiene múltiples usos y aplicaciones, de entre los que destacan los que citamos a continuación:

- En la industria petroquímica se requieren grandes cantidades de hidrógeno para el procesamiento de combustibles fósiles. Los procesos fundamentales que consumen hidrógeno en una planta petroquímica son la hidrodeshidrogenación, la hidrodeshidrosulfuración y el *hydrocracking*.
- En la industria química se utiliza el hidrógeno principalmente en la producción de amoníaco (usado principalmente para fertilizantes).
- El hidrógeno posee otros muchos usos como agente hidrogenante, particularmente en el incremento de la saturación de grasas y aceites insaturados (que se encuentran en productos como la margarina), y en la producción de metanol.
- El hidrógeno es empleado también en la manufactura del ácido clorhídrico, y como agente reductor para minerales metálicos.
- Aparte de sus usos como reactivo, el hidrógeno se usa en otras muchas aplicaciones, por ejemplo, se usa para el escudo de gas en métodos de soldadura tales como la soldadura con hidrógeno atómico.
- Se emplea como refrigerante en generadores eléctricos en las estaciones eléctricas, ya que es el gas con mayor conductividad térmica.
- El hidrógeno líquido se usa en la investigación criogénica, incluyendo el estudio de la superconductividad.
- En la actualidad también se utiliza el hidrógeno como combustible para vehículos, aunque está aun en fase de prueba y son pocas las marcas que tienen un modelo que funcione únicamente con hidrógeno, una de estas marcas es BMW.

5.2.5. Agua.

El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. A temperatura ambiente es líquida, inodora, insípida e incolora, aunque adquiere una leve tonalidad azul en grandes volúmenes. Se considera fundamental para la existencia de la vida. No se conoce ninguna forma de vida que tenga lugar en su ausencia completa.

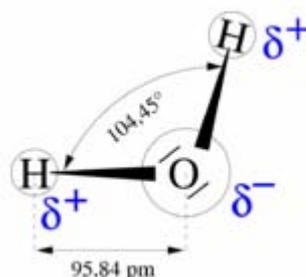


Figura 5.7. Representaciones de la estructura química del agua.

Es el único compuesto que puede estar en los tres estados (sólido, líquido y gaseoso) a las temperaturas que se dan en la Tierra. Se halla en forma líquida en los mares, ríos, lagos y océanos; en forma sólida, nieve o hielo, en los casquetes polares, en las cumbres de las montañas y en los lugares de la Tierra donde la temperatura es inferior a cero grados Celsius y en forma gaseosa se encuentra formando parte de la atmósfera terrestre como vapor de agua.

Es el compuesto con el calor latente de vaporización más alto, 543 cal/gramo y con el calor específico más alto después del litio, 1 cal/gramo.

El agua cubre tres cuartas partes (71%) de la superficie de la Tierra, pese al área por la cual se extiende, la hidrósfera terrestre es comparativamente bastante escasa. A pesar de que es una sustancia tan abundante, sólo supone el 0,022 por ciento de la masa de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

El 97% es agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares, sólo el 3% de su volumen es dulce. De esta última, un 1% está en estado líquido, componiendo los ríos y lagos. El 2% restante se encuentra en casquetes o banquisa en las latitudes próximas a los polos. Fuera de las regiones polares el agua dulce se encuentra principalmente en humedales y, subterráneamente, en acuíferos.

Para obtener agua químicamente pura es necesario realizar diversos procesos físicos de purificación ya que el agua es capaz de disolver una gran cantidad de sustancias químicas, incluyendo gases.

Se llama agua destilada al agua que ha sido evaporada y posteriormente condensada. Al realizar este proceso se eliminan casi la totalidad de sustancias disueltas y microorganismos que suele contener el agua y el resultado es prácticamente la sustancia química pura H₂O.

5.3. Residuos.

El único residuo que se obtiene en la planta de proceso es la biomasa que es separada del caldo de fermentación en el proceso de centrifugación. Dicho lodo es tratado por un gestor autorizado que se encarga de su tratamiento.

5.4. Expedición de los productos.

No todos los productos son expedidos de la misma forma.

La acetona, el ácido acético y el ácido butírico son embotellados en botellas de un litro y etiquetados para luego ser vendidos.

Por otro lado el agua destilada se carga en camiones cisternas que la transporta a las plantas que la compran para sus procesos.

El biobutanol se carga en camiones cisternas que se encargan de transportarlo hasta las estaciones de servicios para su venta como biocombustible para vehículos.

Capítulo 6

PROCESO DE PRODUCCION DE BIOBUTANOL

6.1. Producción de biobutanol a partir de azúcar bruta.

Diversos procesos microbianos fueron desarrollados antes de la Primera Guerra Mundial con la finalidad de obtener butadieno, que participa en la fabricación de caucho sintético, utilizado extensamente en la elaboración de neumáticos para automóviles y camiones.

Uno de los pioneros de aquel momento fue el químico y primer presidente del Estado de Israel Chaim Weizmann, quién en 1916 realizó una importantísima investigación sobre la producción de acetona (utilizada en explosivos), butanol y etanol a través de la fermentación llevada a cabo por la bacteria *Clostridium acetobutylicum*, denominada luego como la Fermentación Acetobutílica (ABE).

La fermentación ABE fue utilizada por numerosos países hasta los años 50 cuando la sustituyeron por un método petroquímico mucho más barato. Entonces casi todas las plantas que utilizaban la fermentación acetobutílica fueron cerradas. Pero en 1973, la crisis del petróleo renovó el interés en los procesos de fermentación. Gracias, tanto a los avances relacionados al genoma del *Clostridium acetobutylicum*, como el descubrimiento de otros microorganismos, sumado al abaratamiento de los sustratos utilizados, y con el desarrollo de nuevas técnicas que mejoran el rendimiento, renació el interés por la fermentación ABE para producir biobutanol.

Recientemente tres empresas anunciaron sus planes para el desarrollo y producción de biobutanol, un biocombustible de segunda generación. La empresa energética y de petróleo BP y DuPont están trabajando juntas, en colaboración con la azucarera British Sugar, que convertirá una planta de bioetanol para la producción de biobutanol. La compañía Green Biologics Ltd también ha anunciado que desarrollará un nuevo método para la fabricación de biobutanol que podría reducir los gastos de producción a una tercera parte.

La producción inicial que llevarán a cabo las empresas BP y DuPont se basará en un proceso convencional para facilitar el inicio de su comercialización, pero después empezarán a utilizar otro método que actualmente está a prueba. La materia prima para su fabricación puede ser la misma que para el bioetanol, utilizando por ejemplo, cereales, remolacha, etc. aunque en el futuro se espera poder producirlo a partir de materias celulósicas tales como la paja o la caña de azúcar, usando microorganismos obtenidos mediante ingeniería genética.

Las proyecciones actuales demuestran que los biocombustibles pueden formar parte significativa en la mezcla de combustibles para el transporte en el futuro, posiblemente hasta un 30% en los mercados claves, recordemos que el objetivo de la Unión Europea es que el 20% de la energía consumida en Europa en 2020 deberá ser de origen renovable.

En el presente Proyecto Fin de Carrera el objetivo es la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta, para ello se llevan a cabo distintas operaciones que se van a explicar en los apartados siguientes con detalle.

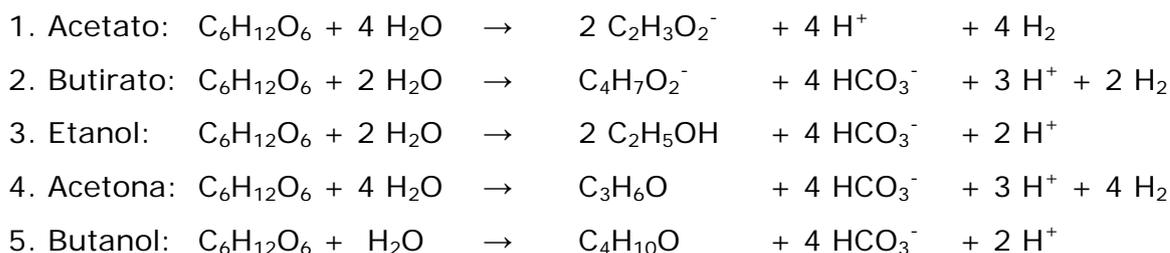
La primera operación que se lleva a cabo es la preparación de una disolución del 50% en peso de azúcar a partir del azúcar bruta almacenada en los silos. La preparación de esta disolución es necesaria para realizar la hidrólisis enzimática.

Una vez preparada dicha disolución se hace pasar ésta por el reactor de hidrólisis enzimática que contiene inmovilizada la enzima invertasa, también

conocida como sacarasa, (E.C. 3.2.1.26) [9001-57-4], la cual transformará el azúcar bruta (sacarosa) en azúcares simples (glucosa y fructosa).

Una vez obtenidos los azúcares simples (glucosa y fructosa) necesarios para llevar a cabo la fermentación, estos son introducidos, en la concentración adecuada, en un reactor junto con los microorganismos encargados de la fermentación, para transformarlos en biobutanol, etanol, acetona, ácido acético y ácido butírico. Estos productos pueden modificar su proporción en función del microorganismo utilizado, por ejemplo hay microorganismos que no producen etanol o lo producen en cantidades trazas como es el caso del microorganismo empleado en el presente Proyecto Fin de Carrera.

Este complejo proceso puede ser representado por las siguientes reacciones de formación de productos:



Una vez finalizada la fermentación hay que separar y purificar los productos obtenidos en la misma, para ello se utilizan distintas técnicas de separación y purificación, aunque antes se procede a separar la biomasa del caldo de fermentación por medio de una centrifuga de tornillo sin fin.

Una vez separada la biomasa del caldo de fermentación, se lleva a cabo la operación de pervaporación en la que se obtiene por un lado el permeado, que contiene prácticamente el 100% del butanol y gran parte de la acetona del caldo de fermentación, y por otro lado el retentato o retenido, que contiene la acetona y el butanol que no pasó al permeado y todo el ácido acético, ácido butírico y agua del caldo de fermentación.

El permeado se introduce en una columna de destilación en la que se separa el butanol de la acetona obteniéndose por cabeza la acetona con una pureza del 99,98% en peso y por cola el butanol con una pureza superior al 99,99% en peso.

El retentato o retenido se introduce primero en la caldera 1 para obtener por un lado una corriente de vapor que contiene toda la acetona del retentato y agua, y por otro lado una corriente líquida que contiene todo el ácido acético y ácido butírico del retentato y agua. La corriente de vapor se introduce en dos columnas de destilación puestas en serie para recuperar por cabeza prácticamente el 100% de la acetona con una pureza superior al 99,99% en peso.

La corriente líquida que sale de la caldera 1 se introduce en la caldera 2 para recuperar aproximadamente el 98% del agua que tiene esa corriente, que se utilizará primero como fluido caliente en los intercambiadores de calor y luego se venderá como agua destilada.

Después de su paso por la caldera 2, el retentato se introduce en dos columnas de destilación de las que obtenemos por cabeza de la primera agua y por cabeza de la segunda ácido acético y por cola de la segunda ácido butírico. Estas dos columnas de destilación se construirán siempre que las cantidades producidas de ácido acético y ácido butírico puedan ser vendidas en el mercado. En caso de que no se construyan la corriente que sale de la caldera tendrá que ser tratada por un gestor autorizado ya que es un efluente contaminante.

6.2. Etapas principales en la obtención de biobutanol.

Las tres etapas principales en la obtención de biobutanol son la hidrólisis de los azúcares complejos para transformarlos en azúcares simples asimilables, la fermentación de los azúcares simples por medio de los microorganismos y la separación y purificación de los productos obtenidos en la fermentación.

En el presente Proyecto Fin de Carrera, como ya se citó en el apartado de viabilidad técnica, la hidrólisis será una hidrólisis enzimática, la fermentación será una fermentación acetobutílica llevada a cabo por el microorganismo *Clostridium saccharoperbutylacetonium N1-4* y las operaciones de separación y purificación serán la pervaporación, la destilación binaria y la destilación multicomponente.

A continuación, en los apartados siguientes, se explicarán brevemente los fundamentos teóricos de las citadas etapas de proceso.

6.2.1. Hidrólisis.

La hidrólisis consiste en la escisión de un compuesto por la acción del agua, lo que origina, al menos, dos productos. Por extensión, recibe este nombre todo proceso en el que se rompen enlaces químicos por la acción del agua o de disoluciones ácidas o básicas.

La hidrólisis enzimática se consigue por adición directa del enzima específico o bien mediante el cultivo de algún microorganismo que la pueda producir sobre el propio sustrato a utilizar. Las enzimas son compuestos biológicos que producen la ruptura de enlaces químicos específicos, a la vez que limitan la obtención de productos de degradación de los compuestos hidrolizados.

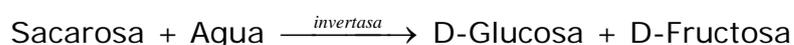
6.2.1.1. Hidrólisis enzimática.

La hidrólisis enzimática consiste en un proceso químico que mediante el empleo de catalizadores enzimáticos, en nuestro caso la enzima invertasa, también conocida como sacarasa, (E.C. 3.2.1.26) [9001-57-4], transforma las cadenas de polisacáridos que forman el azúcar bruta (sacarosa) en sus monómeros elementales (glucosa y fructosa). Este método de hidrólisis es muy selectivo debido al uso de una enzima específica, aunque tiene la desventaja de que las enzimas suelen ser caras.

Para entender un poco mejor la hidrólisis enzimática, a continuación se explicará brevemente los conceptos fundamentales en cinética enzimática.

A pesar de que la contribución de trabajos previos, especialmente de Henri (1902, 1903), fue sustancial, Michaelis y Menten son considerados como los fundadores de la cinética enzimática moderna debido a sus experimentos y la viabilidad de su teoría cinética.

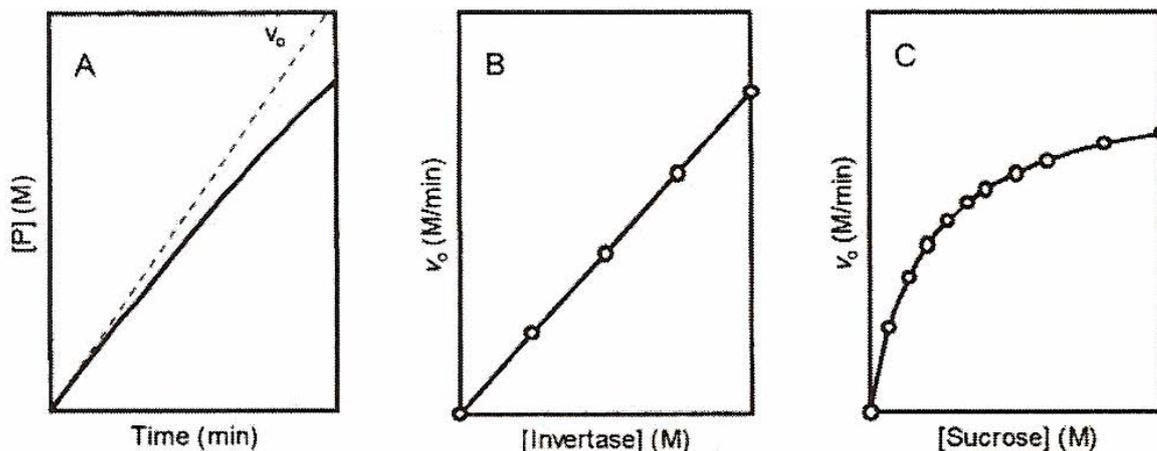
Michaelis y Menten realizan precisamente el estudio de la hidrólisis enzimática de la sacarosa:



Puesto que la concentración de agua en esta reacción permanece prácticamente constante, una reacción química bimolecular puede ser tratada cinéticamente como una reacción química monomolecular, lo que simplifica considerablemente el tratamiento cinético.

El trabajo cinético de Michaelis y Menten estuvo enfocado a la medición de la influencia del aumento de la concentración de sustrato y el incremento de la concentración de enzimas sobre la velocidad inicial de la reacción, con el siguiente protocolo experimental:

- A) Determinación de la velocidad inicial de la reacción por cambios en la concentración del sustrato o producto con el tiempo.
- B) Determinación de la influencia del incremento de la concentración de enzimas sobre la velocidad inicial de la reacción.
- C) Determinación de la influencia del incremento de la concentración del sustrato sobre la velocidad inicial de la reacción.



(A) Time course of reaction; v_o is the initial rate of reaction, [P] is the concentration of product. (B) Influence of enzyme concentration on initial reaction rate. (C) Influence of substrate concentration on initial reaction rate.

Fuente: *Comprehensive enzyme kinetics*, 2003. Vladimir Leskovac.

En la mayoría de las reacciones enzimáticas que se llevan a cabo, la concentración de enzima es más bajo que la concentración de sustrato, debido a la alta actividad catalítica de las enzimas. Por lo tanto, con el progreso de la reacción enzimática la velocidad decrece gradualmente debido al agotamiento del sustrato, por esta razón, siempre es necesario determinar la velocidad inicial de la reacción, la cual es igual a la tangente de la curva de progreso de la reacción mostrada en la figura A. La figura B muestra que la velocidad inicial de la reacción responde linealmente al incremento de la concentración de enzima, siempre que la concentración de sustrato sea mayor que la concentración de enzima, y la figura C muestra que la velocidad inicial de la reacción no responde linealmente al incremento de la concentración de sustrato, siempre que se realice en similares condiciones.

La enzima invertasa demuestra ser un verdadero catalizador, ya que no se destruye tras la reacción y aún sigue activa después de catalizar la hidrólisis de cien mil veces su peso de sacarosa. La estabilidad térmica de la enzima es mejor en presencia de sustrato, sacarosa, que en su ausencia. Este hecho indica que la enzima invertasa entra en combinación con el azúcar, lo que protege a la enzima de la desactivación.

De este modo, la enzima tiene un comportamiento cinético estable, con un papel de un catalizador reciclable, lo que llevó a Michaelis y Menten a proponer el siguiente mecanismo cinético de acción para la enzima invertasa.

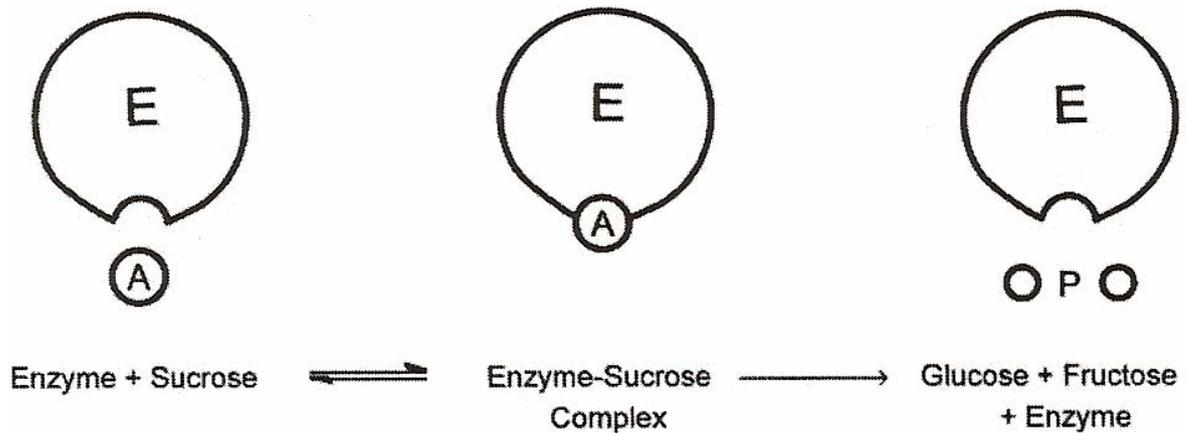
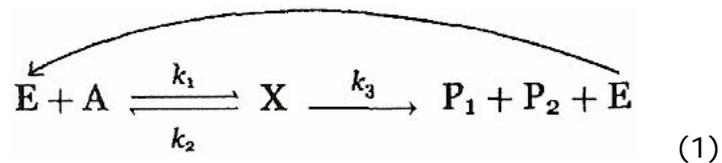


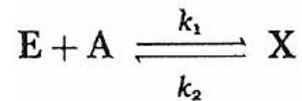
Figura 6.1. Mecanismo de la hidrólisis enzimática de la sacarosa.

Fuente: Comprehensive enzyme kinetics, 2003. Vladimir Leskovac.

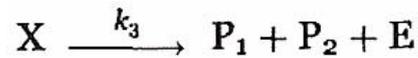
Una sola molécula de enzima (E), combina reversiblemente con una sólo molécula de sustrato (A) para formar un complejo enzima-sustrato (X), el cual es transformado irreversiblemente en una enzima libre y los productos de reacción (P_1 , P_2). Cinéticamente, esto es una reacción química monomolecular en la que la enzima juega un papel de un catalizador reciclado (MAHLER and CORDES, 1966):



Michaelis y Menten impusieron dos restricciones sobre la reacción enzimática para dividirlas en dos partes, una parte rápida y reversible y otra parte lenta e irreversible. La parte rápida y reversible,



es mucho más rápida que la parte lenta e irreversible,



porque

$$k_3 \ll k_2 \quad (2)$$

La deducción de la ley de velocidad comienza por escribir las cuatro ecuaciones cinéticas para el esquema de reacción (1), el cual describe el cambio en las concentraciones de sustrato, enzima libre, complejo enzima-sustrato, y el producto con el tiempo.

$$-\frac{dA}{dt} = k_1AE - k_2X \quad (3)$$

$$\frac{dX}{dt} = k_1AE - (k_2 + k_3)X \quad (4)$$

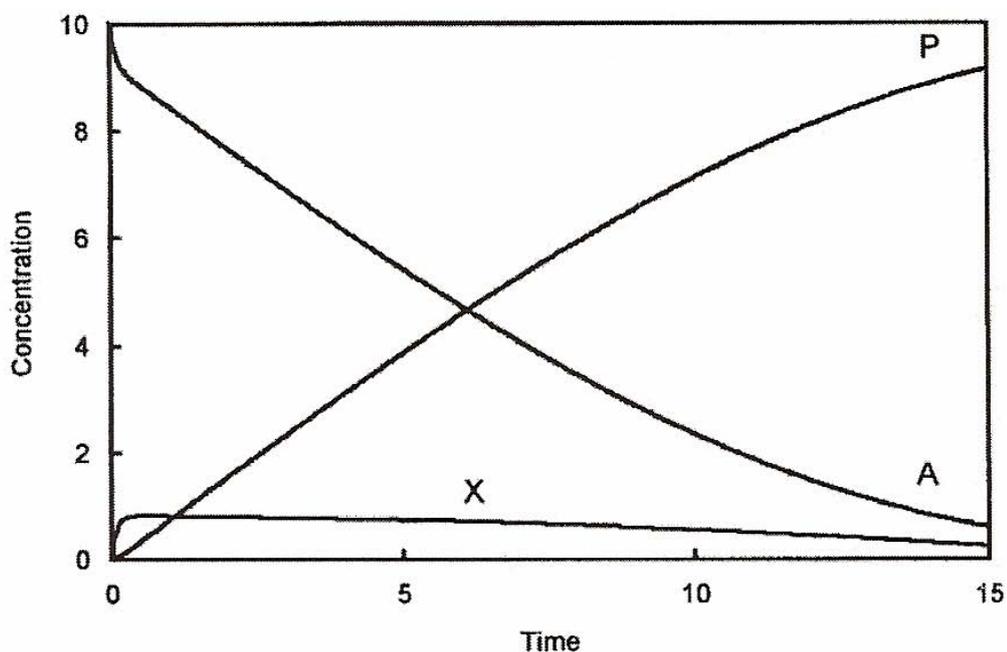
$$\frac{dE}{dt} = (k_2 + k_3)X - k_1AE \quad (5)$$

$$\frac{dP}{dt} = k_3X \quad (6)$$

más la ecuación de conservación de la masa:

$$E_o = E + X \quad (7)$$

En el caso más general, cuando no existe restricción con respecto a la magnitud relativa de las constantes de velocidad k_1 , k_2 y k_3 , la concentración relativa de enzima, E , y sustrato, A , y el tiempo, t , para el que queremos establecer la ley de velocidad, la solución explícita es imposible. Las cuatro ecuaciones diferenciales (3)-(6) más la ecuación de conservación de la masa (7) nos proporciona cuatro incógnitas y solo pueden ser resueltas con la ayuda de un ordenador. Una solución típica, obtenida por un programa de ordenador (BARSHOP et al., 1983), se muestra a continuación.



Progress curve for the enzyme-catalyzed reaction $A + E \rightleftharpoons X \rightarrow E + P$, assuming that $k_1 = k_2 = k_3$, and $A_0 = 10E_0$.

Figura 6.2. Representación de la variación de la concentración de los compuestos con el tiempo en una reacción enzimática.

Fuente: Comprehensive enzyme kinetics, 2003. Vladimir Leskovac.

La gráfica de la figura 6.2 muestra que la concentración del complejo enzima-sustrato es aproximadamente constante durante un prolongado periodo de tiempo, es decir, que:

$$\frac{dX}{dt} \approx 0 \quad (8)$$

Mientras esta condición prevalezca, la aproximación del estado estacionario puede ser aplicada a la reacción (1). La ecuación (4) ahora se convierte en:

$$k_1AE \approx (k_2 + k_3)X \quad (9)$$

y nos permite expresar la concentración del complejo enzima-sustrato (X) en términos de la concentración del sustrato (A) y la cantidad total de enzima (E_0), mediante la sustitución de la concentración de enzima (E) en la ecuación (7) obtenemos:

$$X = \frac{k_1AE_0}{k_1A + k_2 + k_3} \quad (10)$$

Sustituyendo la concentración del complejo enzima-sustrato (X) en la ecuación (6), obtenemos:

$$v_o = -\frac{dA}{dt} = \frac{dP}{dt} = k_3X = \frac{k_1k_3AE_0}{k_1A + k_2 + k_3} \quad (11)$$

Ya que $A_0 \approx A$, esta se reduce a la ecuación fundamental de Michaelis-Menten:

$$v_o = \frac{V_{\max}A_0}{K_A + A_0} \quad (12)$$

donde:

$$V_{\max} = k_3E_0 \quad \text{y} \quad K_A = \frac{k_2 + k_3}{k_1} \quad (13)$$

La ecuación de Michaelis-Menten predice un comportamiento cinético de primer orden para concentraciones bajas de sustrato y de orden cero para concentraciones elevadas, como se observa en la figura que se muestra a continuación.

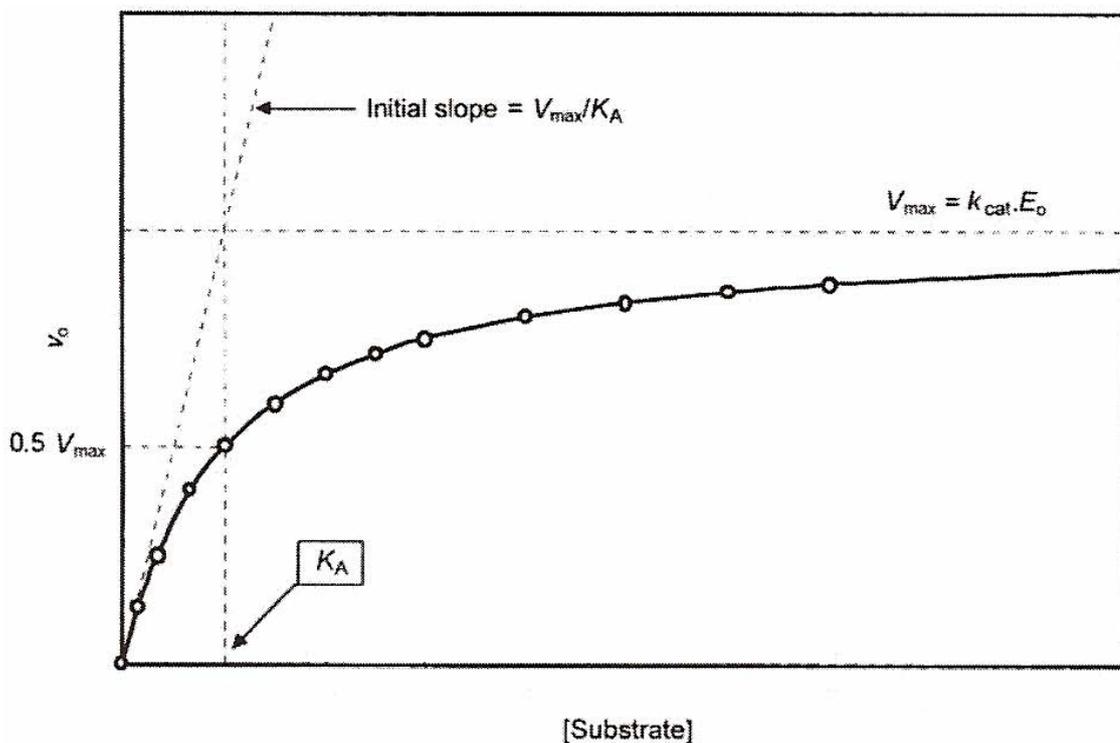


Figura 6.3. Velocidad de reacción frente a la concentración de sustrato según la ecuación de Michaelis-Menten.

Fuente: *Comprehensive enzyme kinetics, 2003. Vladimir Leskovic.*

6.2.2. Fermentación.

La fermentación es una reacción biológica en la que un microorganismo es capaz de asimilar uno o varios sustratos para dar lugar a uno o varios productos.

6.2.2.1. Fermentación acetobutílica.

La fermentación acetobutílica consiste en que un microorganismo es capaz de asimilar azúcares simples y transformarlos en solventes como butanol, acetona, etanol, ácido acético y ácido butírico.

La fermentación acetobutílica se puede llevar a cabo con diferentes microorganismos, entre los más destacados y estudiados se encuentran, *Clostridium acetobutylicum*, *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* y *Clostridium beijerinckii*. En función del microorganismo empleado para la fermentación, se obtendrán unos solventes u otros y en unas cantidades determinadas. Por ejemplo el *Clostridium saccharoperbutylacetonicum*, que será el microorganismo empleado en el presente Proyecto Fin de Carrera, no produce etanol y a cambio produce mayor cantidad de butanol y acetona. Sin embargo, tanto el *Clostridium acetobutylicum* como el *Clostridium beijerinckii* sí son capaces de producir etanol.

La fermentación acetobutílica se desarrolla en general siguiendo dos fases más o menos netamente dissociadas, una primera fase llamada acidogénesis y una segunda fase llamada disolventogénesis.

En la primera fase, llamada acidogénesis, se asiste a una caída del pH y a la excreción de los ácidos acético y butírico hasta un máximo alcanzado tras 12 a 18 horas. Se produce también un desprendimiento gaseoso de composición en volumen sensiblemente igual en hidrógeno y dióxido de carbono. Esta fase corresponde a un crecimiento activo del microorganismo, aunque la cinética exponencial sólo sea respetada durante un periodo muy corto, alrededor de 3 a 4 horas. Durante esta fase, la biomasa bacteriana permanece baja en el biorreactor. Los factores responsables de este fenómeno no han sido estudiados en detalle, pero se puede pensar que los ácidos producidos ejercen un papel inhibitor sobre el crecimiento.

Durante una segunda fase, llamada disolventogénesis, el metabolismo de los azúcares sufre una reorientación y se producen directamente acetona, butanol y etanol. Al mismo tiempo, la acidez del medio decrece como consecuencia de un consumo más o menos completo y conversión en disolventes de los ácidos producidos previamente. El desprendimiento gaseoso,

que había descendido al final de la acidogénesis, aumenta de nuevo y la mezcla se enriquece en dióxido de carbono y se empobrece en hidrógeno durante esta fase caracterizada igualmente por un crecimiento lento y después estacionario.

La importancia del desprendimiento de gas explica el rendimiento relativamente modesto de la fermentación, alrededor del 33-40% en peso en relación al azúcar inicial.

El control del pH del medio durante la acidogénesis es capital para el buen desenvolvimiento de la fermentación. Este puede asegurarse según dos técnicas diferentes:

- Por regulación a un valor constante, variable según las cepas o siguiendo un perfil determinado gracias a la adición de un agente alcalino como por ejemplo NH_4OH , KOH o NaOH .
- Por adición de un tampón al medio de fermentación, como por ejemplo CaCO_3 ó acetato. En este caso el paso de la acidogénesis a la disolventogénesis se traduce en un punto de ruptura característico en la evolución del pH, se observa un perfil en forma de V.

Cuando el pH se mantiene a un valor demasiado elevado, o cuando el poder tampón del medio es demasiado fuerte, la excreción de los ácidos acético y butírico se ve favorecida en detrimento de los disolventes. Por el contrario, cuando el valor de consigna del pH es excesivamente bajo o cuando el poder tampón del medio es demasiado débil, la fermentación se endentece y puede incluso detenerse como consecuencia de la autoacidificación.

La temperatura, por último, influye, y de manera sensible, sobre la relación butanol/acetona, favoreciendo las temperaturas más bajas, entre 25 y 30 °C la producción de butanol (HONGO, 1960; PODVIN, 1989).

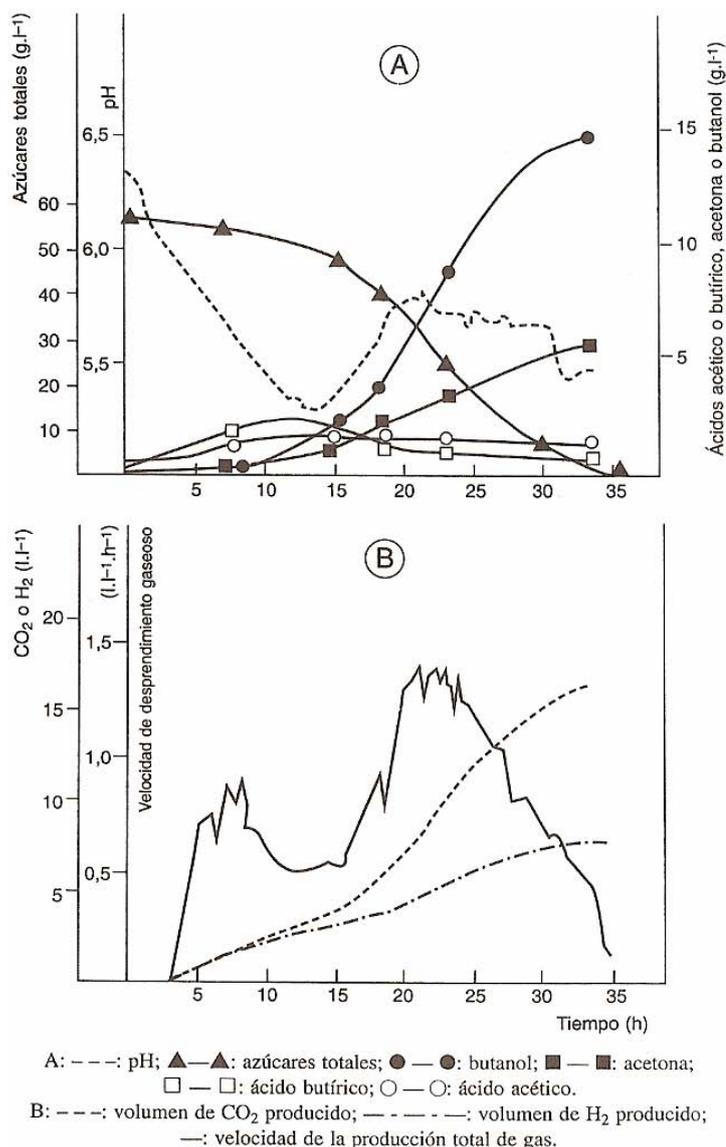


Figura 6.4. Representación de la evolución del pH y la producción de gas.
Fuente: Microbiología industrial. Los microorganismos de interés industrial, 2000. Leveau, J.-Y. y Bouix, M.

En la figura 6.4 se observa perfectamente todo lo explicado anteriormente sobre las dos fases de la fermentación, acidogénesis y solventogénesis, y la evolución del pH y el desprendimiento de gases que tiene lugar durante el transcurso de la fermentación acetobutílica.

La fermentación acetobutílica constituye un ejemplo típico de una fermentación limitada por la inhibición de los productos. Esta característica

fisiológica es determinante para la orientación de las investigaciones tendentes a la mejora de los rendimientos de esta fermentación.

Es el butanol el que a través de su acumulación en el medio enlentece y detiene la fermentación mientras que la acetona a la concentración presente no ejerce inhibición notable (RYDEN, 1959). El butanol a concentración inferior a la inhibidora provoca un aumento de la fluidez membranaria que el microorganismo compensa por síntesis de los ácidos grasos saturados en detrimento de los ácidos grasos insaturados (LEPAGE y col., 1987) y se puede pensar que a las concentraciones superiores, la adaptación membranaria es insuficiente para asegurar el funcionamiento normal de la célula. El butanol afecta también al sistema de transporte de los azúcares y a los otros sistemas enzimáticos de localización membranaria como la ATP asa (MOREIRA y col., 1981).

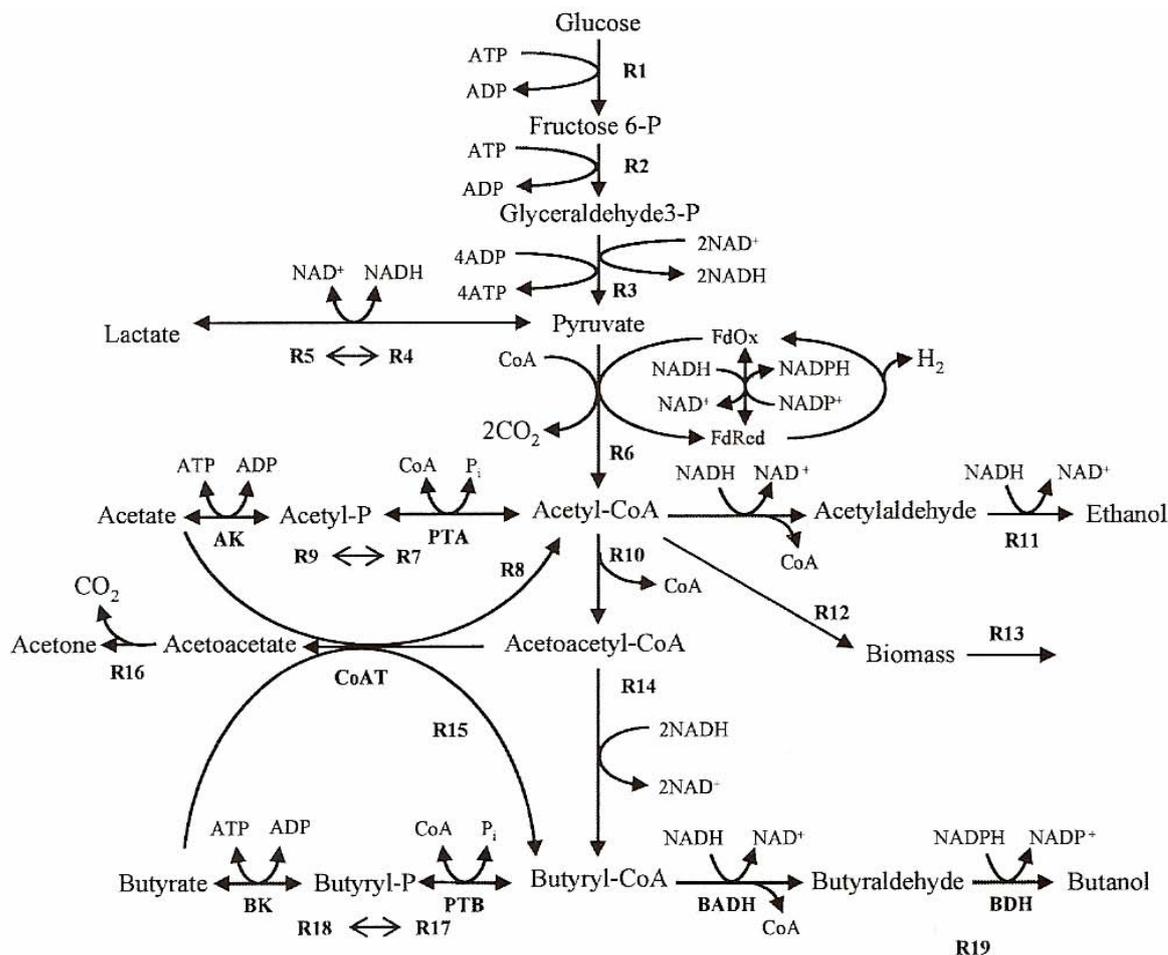
Con la finalidad de ser aplicada, se ha investigado la mejora de la resistencia de cepas al butanol. Dos técnicas han permitido obtener resultados positivos: la adaptación de las cepas a través de cultivos en medios progresivamente enriquecidos en butanol (LIN y BLASCHEK, 1983; SOUCAILLE y col., 1987) y la acción de agentes mutagénicos asociada a la selección de los mutantes por su resistencia al butanol (HERMANN y col., 1985; MATTA-EL-AMMOURI y col., 1986).

Los Clostridios son microorganismos estrictamente anaerobios, es decir, no toleran la presencia de oxígeno. Si en las condiciones habituales de cultivo, el medio no contiene oxígeno disuelto, se hace burbujear aire, el crecimiento del microorganismo se detiene. Este efecto es debido a la presencia de oxígeno disuelto. Fisiológicamente, el oxígeno provoca un enlentecimiento del consumo de glucosa, así como el detenimiento del crecimiento y de la síntesis de ADN, ARN y proteínas. El oxígeno provoca igualmente el detenimiento de la producción de ácido butírico pero no del ácido acético. En ausencia de los mecanismos clásicos de eliminación de los subproductos provenientes del oxígeno, asegurados generalmente por la catalasa y la superóxido dismutasa, el microorganismo induce una NADH oxidasa. Es en esta enzima en la que

recae el papel de detoxificación que es realizado por un desvío del NADH normalmente destinado a las biosíntesis reductoras (GOTTSCHALK y col., 1981).

El fenómeno de degeneración fue observado por primera vez por GRIMBERT (1983) en *Clostridium butylicum*. Consiste en una evolución considerada irreversible de la forma clostridiana hacia una forma “degenerada”, anesporulada, acidógena y no disolventógena. Se manifiesta, durante subcultivos, pases sucesivos de las cepas practicados sin choque térmico, por la desaparición súbita de la disolventogénesis, tras de 6 o 10 pases, y la aparición de una acidogénesis disminuida. Al cabo de 15 a 18 pases, la viabilidad de la cepa ha desaparecido totalmente (KUTZENOK y ASHNER, 1952).

A continuación se muestra el mecanismo de reacción de la fermentación acetobutílica llevado a cabo por *Clostridium acetobutylicum*. En el presente Proyecto Fin de Carrera no se utiliza este microorganismo sino que se utiliza *Clostridium saccharoperbutylacetonicum*, que tiene exactamente el mismo mecanismo de reacción exceptuando la reacción 11 de producción de etanol, la que no se produce cuando se emplea dicho microorganismo.



Metabolic pathways in *C. acetobutylicum* ATCC824. Enzymes are indicated in bold and abbreviated as follows: PTA, phosphotransacetylase; AK, acetate kinase; CoAT, CoA transferase; PTB, phosphotransbutyrylase; BK, butyrate kinase; BADH, butyraldehyde dehydrogenase; BDH, butanol dehydrogenase.

Figura 6.5. Representación del esquema de la ruta de reacción de la fermentación acetobutílica llevada a cabo por el microorganismo *Clostridium acetobutylicum*.

Fuente: *Kinetic modeling and sensitivity analysis of acetone-butanol-ethanol production. Journal of Biotechnology, (2007), 131: 45-56.*

6.2.3. Separación y purificación de los productos.

Para llevar a cabo la separación y purificación de los productos obtenidos tras la fermentación acetobutílica se hace uso de la destilación, tanto binaria como multicomponente, y de la pervaporación.

6.2.3.1. Destilación binaria.

La destilación es una operación unitaria física de separación controlada por la transferencia de materia, que consiste en la vaporización parcial de una mezcla líquida, de forma que se obtienen dos corrientes de salida: una vapor, más rica que la mezcla inicial en el componente más volátil, y otra líquida, que es una corriente residual más pobre en el componente más volátil.

Para poder llevar a cabo la destilación es necesario que los componentes de la mezcla tengan distintas presiones de vapor. Cuanto más diferentes sean más eficaz será la destilación. Por lo que, el fundamento básico de la destilación se encuentra en el estudio de los datos de equilibrio líquido-vapor de las distintas mezclas.

En la figura 6.5 se representa esquemáticamente la instalación de recipiente único más común para llevar a cabo la destilación con rectificación, una torre de platos.

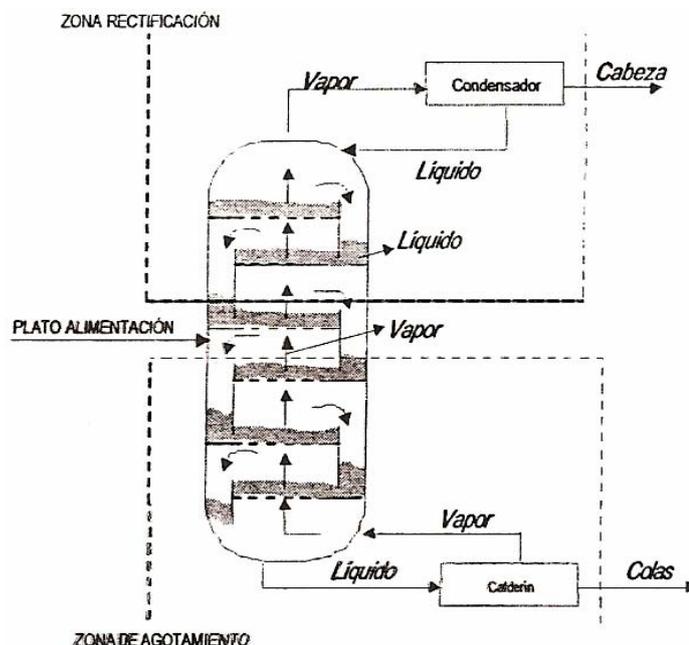


Figura 6.6. Representación de una torre de platos.

A esta torre entra una alimentación, F , con una composición en el compuesto más volátil, x_F , y se obtiene por cabeza una corriente de destilado, D , con una composición en el compuesto más volátil, x_D , y una corriente de colas, W , con una composición, x_W .

En el interior de la columna se producen corrientes ascendentes de vapor y descendentes de líquido que están en íntimo contacto. El líquido desciende por la acción de la gravedad, mientras que el vapor asciende debido a la fuerza de una ligera diferencia de presiones de plato en plato. Esta diferencia de presiones está generada en el calentador inferior, generalmente de vapor de agua, denominado caldera ó calderín que es donde la presión es más elevada. El vapor pasa a través de aberturas que presentan los platos y entra en contacto con el líquido que circula a lo largo de los mismos. El contacto entre el vapor y el líquido en los platos es suficiente para que se aproximen al equilibrio las corrientes de vapor y líquido que abandonan el plato.

La zona por encima de la alimentación se denomina rectificación o enriquecimiento ya que se enriquece el vapor en el componente más volátil, mientras que la parte de abajo se denomina agotamiento o *stripping* porque agota al líquido en el más volátil. Con respecto a la temperatura, si analizamos el proceso en un diagrama Txy , fácilmente se observa que se produce un incremento de temperatura al descender en la columna, debido a que los puntos de burbuja de las disoluciones que se encuentran en la zona de agotamiento son más altas ya que están más concentradas en el menos volátil.

En la parte inferior de la columna, aparece una caldera que combina las funciones de calefacción y separador de fases. En la parte superior de la columna, aparece un condensador que toma el vapor de cabeza de la columna y condensa una fracción del mismo, devolviéndolo a la columna como reflujo. Este condensador es un condensador parcial, llamado así porque sólo condensa una fracción del vapor de cabeza. Se utilizan también con frecuencia condensadores totales que condensan totalmente el vapor ascendente y lo dividen en dos porciones: una como producto de cabeza y otra para su

devolución al plato superior como reflujo. Este reflujo puede definirse de dos formas:

- Como un reflujo interno: L/V oscilando entre los valores 0 y 1.
- Como un reflujo externo: L/V oscilando entre los valores 0 e ∞ .

Los dispositivos utilizados industrialmente son cambiadores de calor o aerorrefrigerantes para el condensador y cambiadores de calor tipo Kettle para el calderín.

Se han propuesto y construido muchos diseños diferentes para los platos, platos perforados, platos de válvula o platos de campana de borboteo entre otros. El vapor debe entrar en el plato con una distribución relativamente uniforme, debe contactar con el líquido íntimamente, y debe desprenderse del líquido suficientemente rápido. El tipo más sencillo de plato es el plato perforado que consiste en una plancha metálica con agujeros de 3 a 13 mm, espaciados de una forma regular.

El Ingeniero Químico tiene dos posibilidades a la hora de enfrentarse a una columna de destilación. Por un lado, realizar el diseño partiendo de una alimentación conocida y especificando la separación necesaria, el trabajo consistiría en calcular el número de platos necesarios, y por otro, trabajar con una columna ya construida para obtener la máxima separación, para lo cual hay que conocer como funciona la columna plato a plato y ver como influye la relación de reflujo en el producto. En ambos casos, es imprescindible la resolución de los balances de la columna. Un balance global de materia y otro aplicado al componente más volátil, estos balances se expresan como:

- Balance global de materia: $F = D + W$
- Balance al componente más volátil: $F \times x_F = D \times x_D + W \times x_W$

Si se conoce la alimentación, para resolver estas dos ecuaciones es necesario conocer dos de las cuatro incógnitas. Como dos de estas cuatro

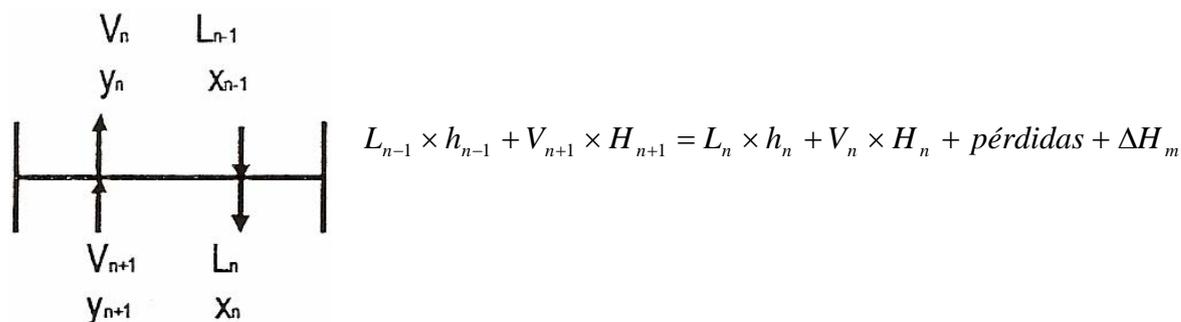
variables puede fijarse arbitrariamente, es evidente que la rectificación de una alimentación determinada de composición conocida, puede dar lugar a productos de cabeza y cola en cantidades y composiciones diversas, que son función de los valores asignados a dos de las variables independientes. Normalmente estas dos variables que se eligen arbitrariamente suelen ser las composiciones de destilado y cola.

Al efectuar el balance de materia anterior no hemos atendido al diseño de la columna de rectificación ni a las relaciones de equilibrio líquido-vapor de la mezcla a tratar. Para incluir tales relaciones se considerará los balances a las zonas de rectificación y agotamiento, numerando los platos de la columna en sentido descendente, e indicando el plato de que proceden como subíndices de los caudales del líquido, del vapor y de sus respectivas composiciones:

- Para la sección superior:
$$y_{m+1} = \frac{L_m}{V_{m+1}} x_m + \frac{D}{V_{m+1}} x_D$$

- Para la sección inferior:
$$y_m = \frac{L'_{m-1}}{V'_m} x_{m-1} - \frac{W}{V'_m} x_W$$

Estas ecuaciones nos relacionan la composición del vapor procedente de un piso con la del líquido que llega a él procedente del piso inmediatamente superior. En general, V_n y L_{n-1} varían a lo largo de la columna, y para determinar la relación entre ambos es necesaria la aplicación de un balance de energía al plato correspondiente. Para el plato n se tiene:



En donde H y h representan las entalpías específicas del vapor y del líquido respectivamente procedentes del plato indicado por el subíndice correspondiente a la concentración en dicho plato, y ΔH_m es el calor de mezcla. El cálculo exacto de este balance entálpico es difícil para la mayoría de las mezclas por lo que en este punto hay que distinguir diferentes posibilidades en el cálculo:

- Métodos aproximados: Consideran que no hay pérdidas de calor con el exterior, que el calor de vaporización, λ , es constante e independiente de la composición, que el calor sensible es despreciable, y que no hay calor de mezcla.

$$L_{n-1} \times h_{n-1} + V_{n+1} \times H_{n+1} = L_n \times h_n + V_n \times H_n$$

Tomándose como valor de referencia las condiciones del líquido saturado se obtiene que:

$$h_n = 0$$

$$H_n \cong \lambda_n$$

$$h_{n-1} = 0$$

$$H_{n+1} \cong \lambda_{n+1}$$

Por lo que el balance queda:

$$V_{n+1} \times \lambda_{n+1} = V_n \times \lambda_n$$

$$V_{n+1} = V_n = V$$

$$L_{n-1} = L_n = L$$

Se deduce que tanto el caudal de líquido como el de vapor son constantes en cada una de las secciones de la columna. La resolución se puede realizar de dos formas:

- Método analítico: Sorel-Lewis.

- Método gráfico: McCabe-Thiele.
- Métodos rigurosos: Consideran el balance entálpico. Se utiliza un método gráfico para resolverlo: Ponchon-Savarit.

6.2.3.2. Destilación multicomponente.

El estudio de una destilación de una mezcla multicomponente conlleva el planteamiento de gran cantidad de ecuaciones de balance tanto de materia como de energía y de relaciones de equilibrio. Este equilibrio no se representa tan fácilmente como en el caso binario y habrá que recurrir a la utilización de ábacos en donde calcular las volatilidades de las diversas sustancias en función de la presión y temperatura de operación.

Una forma de determinar las composiciones de equilibrio de una mezcla multicomponente conocidas las composiciones del líquido y la temperatura es hacer uso de la expresión de Raoult de forma que la composición del vapor se calcularía del siguiente modo:

$$y_i = \frac{P_i^o}{P} x_i$$

Para cálculos más complejos, es necesario hacer uso de las razones de equilibrio. Estas razones, o volatilidades, describen el equilibrio líquido-vapor para una mezcla. Así mismo, la relación entre razones de equilibrio de dos sustancias nos permite calcular la volatilidad relativa entre dos sustancias. Estas volatilidades nos serán de gran utilidad en la determinación de la temperatura de burbuja, temperatura inicial de ebullición de una mezcla líquida, o la temperatura de rocío, temperatura inicial de condensación, necesarias en el cálculo de una destilación flash y para cada una de las etapas de una columna de fraccionamiento. Las razones de equilibrio o volatilidades dependen de la presión y temperatura para cada sustancia. Los datos pueden obtenerse en ábacos o gráficas en los que se relaciona la presión con la temperatura para distintas sustancias.

Para estimar el punto de burbuja se parte de considerar que el sumatorio de la fracción molar del vapor debe ser igual a la unidad:

$$\sum_{i=1}^{comp} y_i = \sum_{i=1}^{comp} K_i \cdot x_i = 1,0$$

Para utilizar esta ecuación, se supone un valor de la temperatura y los valores de K_i se obtienen a partir de la gráfica o ábaco en función de la presión total conocida, o a partir de los datos de presión de vapor conocida. Si el sumatorio de los $K_i \cdot x_i$ es superior a 1,0 se elige una temperatura inferior y se repite el cálculo hasta que se cumpla la condición anterior.

Si la temperatura de burbuja se determina exactamente ($K_i \cdot x_i = 1,00$), la composición del vapor en equilibrio con este líquido viene dada directamente por los términos $K_i \cdot x_i$. Sin embargo, cuando el sumatorio se acerca a 1,0 la composición del vapor puede determinarse con poco error a partir de la contribución relativa de cada término a al sumatorio:

$$y_i = \frac{K_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{comp} K_i \cdot x_i}$$

El procedimiento para el cálculo del punto de rocío es análogo al del punto de burbuja pero en este caso se considera la siguiente condición:

$$\sum_{i=1}^{comp} x_i = \sum_{i=1}^{comp} \frac{y_i}{K_i} = 1,0$$

Nuevamente se supone una temperatura, y para la presión de trabajo conocida se localizan en el ábaco los valores de $K_i = y_i/x_i$. Se estima la composición de x_i y se comprueba que se cumple el sumatorio anterior. Si el sumatorio de los valores y_i/K_i es superior a 1,0 se elige una temperatura inferior y se repite el cálculo hasta que se cumpla la condición anterior. Igualmente, si no se tiene un valor exacto de la temperatura, es posible

obtener el valor de la composición considerando las contribuciones relativas de cada término al sumatorio:

$$x_i = \frac{y_i / K_i}{\sum_{i=1}^{comp} y_i / K_i}$$

Para el caso de columnas de fraccionamiento de mezclas binarias, en el diseño del número de platos se supone que los platos son ideales y después se corrige el número de etapas teniendo en cuenta la eficiencia de los platos. Además también se encuentran las condiciones límites de reflujo total y reflujo mínimo. A continuación se presenta el problema de resolución de una columna multicomponente que necesitaría de gran cantidad de cálculos. Estos cálculos se resuelven hoy en día con la ayuda de ordenadores. De todas formas, existen métodos aproximados que permiten obtener una solución bastante fiable del problema.

Balance a una columna de destilación multicomponente.

Para llevar a cabo el estudio, se va a considerar una columna de t platos y un condensador parcial. En la columna entra una alimentación, F , con, R , componentes. La nomenclatura de dicha columna aparece recogida en la figura 6.7.

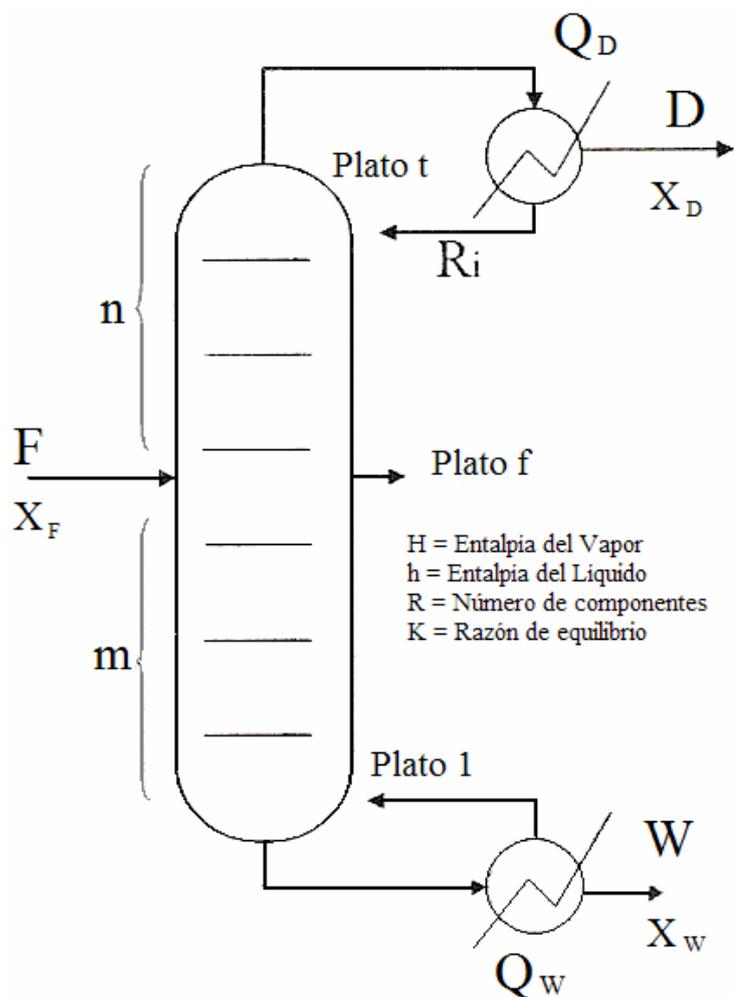


Figura 6.7. Representación esquemática de las corrientes de entrada y salida de una columna de platos.

A esta columna se pueden plantear las siguientes ecuaciones a cada zona:

Balances de materia a cada uno de los componentes de la columna (R) en cada etapa.

Al condensador:

$$V_t \cdot y_t - R_i \cdot x_{Ri} = D \cdot y_D$$

A la zona de rectificación:

$$V_{t-1} \cdot y_{t-1} - L_t \cdot x_t = V_t \cdot y_t - R_i \cdot x_{Ri}$$

$$V_{t-2} \cdot y_{t-2} - L_{t-1} \cdot x_{t-1} = V_{t-1} \cdot y_{t-1} - L_t \cdot x_t$$

...

$$V_f \cdot y_f - L_{f+1} \cdot x_{f+1} = V_{f+1} \cdot y_{f+1} - L_{f+2} \cdot x_{f+2}$$

Al plato de alimentación:

$$V_{f-1} \cdot y_{f-1} - L_f \cdot x_f + F \cdot x_F = V_f \cdot y_f - L_{f+1} \cdot x_{f+1}$$

A la zona de agotamiento:

$$V_{f-2} \cdot y_{f-2} - L_{f-1} \cdot x_{f-1} = V_{f-1} \cdot y_{f-1} - L_f \cdot x_f$$

...

$$V_w \cdot y_w - L_1 \cdot x_1 = V_1 \cdot y_1 - L_2 \cdot x_2$$

Al calderín:

$$-W \cdot x_w = V_R \cdot y_R - L_1 \cdot x_1$$

Balances de energía a cada una de las etapas de la columna.

Al condensador:

$$V_t \cdot H_t - R_i \cdot h_{Ri} = D \cdot H_D + Q_D$$

A la zona de rectificación:

$$V_{t-1} \cdot H_{t-1} - L_t \cdot h_t = V_t \cdot H_t - R_i \cdot h_{Ri}$$

$$V_{t-2} \cdot H_{t-2} - L_{t-1} \cdot h_{t-1} = V_{t-1} \cdot H_{t-1} - L_t \cdot h_t$$

...

$$V_f \cdot H_f - L_{f+1} \cdot h_{f+1} = V_{f+1} \cdot H_{f+1} - L_{f+2} \cdot h_{f+2}$$

Al plato de alimentación:

$$V_{f-1} \cdot H_{f-1} - L_f \cdot h_f + F \cdot h_F = V_f \cdot H_f - L_{f+1} \cdot h_{f+1}$$

A la zona de agotamiento:

$$V_{f-2} \cdot H_{f-2} - L_{f-1} \cdot h_{f-1} = V_{f-1} \cdot H_{f-1} - L_f \cdot h_f$$

...

$$V_w \cdot H_w - L_1 \cdot h_1 = V_1 \cdot H_1 - L_2 \cdot h_2$$

Al calderín:

$$Q_w - W \cdot h_w = V_R \cdot H_R - L_1 \cdot h_1$$

Relaciones de equilibrio para los componentes (R).

Al condensador:

$$y_D = K_c \cdot x_{Ri}$$

A la zona de rectificación:

$$y_t = K_t \cdot x_t$$

$$y_{t-1} = K_{t-1} \cdot x_{t-1}$$

...

$$y_{f+1} = K_{f+1} \cdot x_{f+1}$$

Al plato de alimentación:

$$y_f = K_f \cdot x_f$$

A la zona de agotamiento:

$$y_{f-1} = K_{f-1} \cdot x_{f-1}$$

...

$$y_1 = K_1 \cdot x_1$$

Al calderín:

$$y_w = K_w \cdot x_w$$

Definición del equilibrio para cada componente (R).

Al condensador:

$$K_D \equiv \text{función } (T_D, P)$$

A la zona de rectificación:

$$K_t \equiv \text{función } (T_t, P)$$

$$K_{t-1} \equiv \text{función } (T_{t-1}, P)$$

...

$$K_{f+1} \equiv \text{función } (T_{f+1}, P)$$

Al plato de alimentación:

$$K_f \equiv \text{función } (T_f, P)$$

A la zona de agotamiento:

$$K_{f-1} \equiv \text{función } (T_{f-1}, P)$$

...

$$K_1 \equiv \text{función } (T_1, P)$$

Al calderín:

$$K_w \equiv \text{función } (T_w, P)$$

Ecuaciones de definición de la entalpía.

Al condensador:

$$H_D \equiv \text{función } (T_D, y_D)$$

$$h_{Ri} \equiv \text{función } (T_D, x_{Ri})$$

A la zona de rectificación:

$$H_t \equiv \text{función } (T_t, y_t)$$

$$h_t \equiv \text{función } (T_t, x_t)$$

$$H_{t-1} \equiv \text{función } (T_{t-1}, y_{t-1})$$

$$h_{t-1} \equiv \text{función } (T_{t-1}, x_{t-1})$$

...

$$H_{f+1} \equiv \text{función } (T_{f+1}, y_{f+1})$$

$$h_{f+1} \equiv \text{función } (T_{f+1}, x_{f+1})$$

Al plato de alimentación:

$$H_f \equiv \text{función } (T_f, y_f)$$

$$h_f \equiv \text{función } (T_f, x_f)$$

A la zona de agotamiento:

$$H_{f-1} \equiv \text{función } (T_{f-1}, y_{f-1}) \quad h_{f-1} \equiv \text{función } (T_{f-1}, x_{f-1})$$

...

$$H_1 \equiv \text{función } (T_1, y_1) \quad h_1 \equiv \text{función } (T_1, x_1)$$

Al calderín:

$$H_w \equiv \text{función } (T_w, y_w) \quad h_w \equiv \text{función } (T_w, x_w)$$

Ecuaciones de definición de x , y , y x_F .

Al condensador:

$$\sum y_D = 1 \quad \sum x_{Ri} = 1$$

A la zona de rectificación:

$$\sum y_t = 1 \quad \sum x_t = 1$$

$$\sum y_{t-1} = 1 \quad \sum x_{t-1} = 1$$

...

$$\sum y_{f+1} = 1 \quad \sum x_{f+1} = 1$$

Al plato de alimentación:

$$\sum y_f = 1 \quad \sum x_f = 1 \quad \sum x_F = 1$$

A la zona de agotamiento:

$$\sum y_{f-1} = 1 \quad \sum x_{f-1} = 1$$

...

$$\sum y_1 = 1 \quad \sum x_1 = 1$$

Al calderín:

$$\sum y_w = 1 \quad \sum x_w = 1$$

Contabilización de todas las ecuaciones.

Balance de materia:	$R(n+m+3)$
Balance de energía:	$(n+m+3)$
Relaciones de equilibrio:	$R(n+m+3)$
Definición del equilibrio:	$R(n+m+3)$
Ecuaciones de definición de la entalpía:	$2(n+m+3)$
Ecuaciones de definición de x , y , x_F :	$2(n+m+3)+1$
Total de ecuaciones:	$(3R+5)(n+m+3)+1$

Contabilización de todas las incógnitas.

Balance de materia:	$(2R+2)(n+m+3)+3$
Balance de energía:	$2(n+m+3)+3$
Relaciones de equilibrio:	$R(n+m+3)$
Definición del equilibrio:	$(n+m+3)+1$
Ecuaciones de definición de la entalpía:	ninguna
Ecuaciones de definición de x , y , x_F :	R
Total de incógnitas:	$(2R+5)(n+m+3)+7+R$

Con lo cual tenemos la necesidad de fijar $R+6$ incógnitas para resolver el problema. De estas, habitualmente aparecen fijas la composición de la alimentación, la entalpía de la alimentación y la presión, en total $R+2$, siendo necesario fijar 4 incógnitas más entre las que pueden figurar las siguientes:

- El número de platos, n y m , serían 2 incógnitas.
- La fracción de recuperación de algún componente, fracción del alimento que aparece en algún producto.
- Calores intercambiados en caldera y condensador.
- Composición de algún producto en alguna corriente.
- Relación de reflujo.
- Plato de alimentación.

La resolución de todas las ecuaciones anteriores no es tarea fácil. Hay diversos métodos de resolución para el estudio de procesos de destilación multicomponente. Estos métodos se resumen a continuación:

- Métodos gráficos: El método de McCabe-Thiele es un método gráfico aplicado a destilación binaria. En multicomponente existen métodos análogos que resuelven el problema de forma aproximada. Ninguno de ellos es lo suficientemente preciso como para poder obviar métodos más complejos, pero son una buena aproximación para comenzar el estudio. El método más utilizado es el de *análisis equivalente binario* considerando un clave ligero y un clave pesado.
- Métodos de cálculo. Los métodos gráficos están muy limitados y es necesario recurrir a métodos más adecuados de cálculo para la resolución de una columna de destilación multicomponente. Los métodos de cálculo se puede clasificar en los siguientes grupos:
 - Métodos etapa a etapa: Parten de fijar las condiciones en una etapa y calcular el resto de las etapas secuenciales mediante un adecuado procedimiento repetitivo. Parten generalmente de laguna etapa final y continúan el cálculo hasta el otro extremo. Uno de los métodos de este estilo más aplicado es el propuesto por Lewis-Matheson en 1932 que parte de considerar como independientes las composiciones de destilado y colas y a partir de ahí, calcular el resto de la columna. Este método fue el más utilizado hasta 1963 con la llegada de los ordenadores.
 - Método de aproximaciones sucesivas: Se suelen dividir en dos grupos, métodos de iteración y de relajación. Se suponen las condiciones en cada etapa y entonces se calcula mediante diversas ecuaciones la composición en cada etapa. La velocidad de convergencia hacia la solución correcta dependerá principalmente de los métodos de corrección, que en la actualidad se hallan muy desarrollados. El principal método de

iteración es el propuesto por Thiele-Geddes en 1963 que parte de considerar como variables independientes la temperatura de cada etapa. Este método comenzó a utilizarse más a partir de 1963 con el uso de los ordenados. El orden en que se resuelven las ecuaciones viene definido por diversos métodos de convergencia entre los que destacan los siguientes:

- Método θ de convergencia.
 - Método K_b para el cálculo de la temperatura.
 - Método de composición constante para resolver los balances de entalpía.
-
- Métodos de grupo: Mientras que los dos anteriores se puede considerar como métodos rigurosos, los métodos de grupos son métodos aproximados. Se basan en calcular el número de etapas en una sección de una columna directamente del conocimiento de las composiciones en los extremos de la sección, o viceversa. El más utilizado es la secuencia de cálculo propuesta por Fenske, Underwood y Gilliland, método FUG, para el cálculo del número de platos teóricos mínimo, la relación de reflujo mínima y el cálculo de la relación de reflujo y número de platos teóricos, respectivamente.

6.2.3.3. Pervaporación.

La pervaporación es una tecnología de membranas utilizada para separar mezclas líquidas. El término "pervaporación" es una contracción de los términos permeación y evaporación, ya que se trata de un proceso de separación en el cual una mezcla líquida se pone en contacto con una membrana selectiva y uno de los componentes de la mezcla se transporta mediante permeación preferencial a través de la membrana, saliendo en fase vapor del otro lado de la membrana, como se muestra en la figura 6.7.

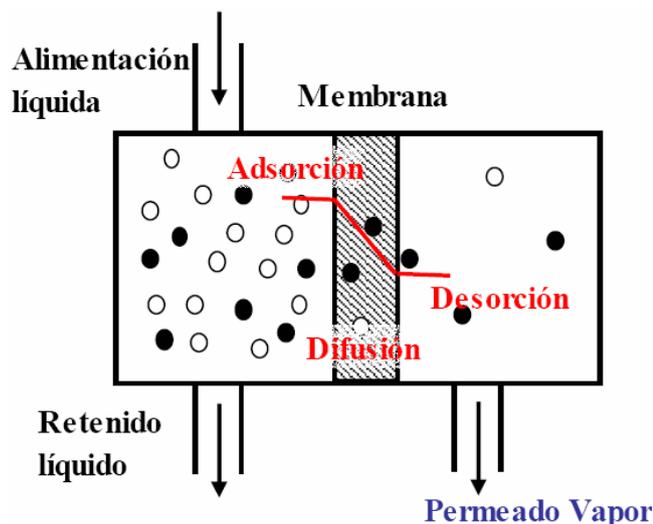


Figura 6.8. Diagrama del mecanismo de pervaporación a través de una membrana.

Una membrana es una estructura interpuesta entre dos fases fluidas, actuando como barrera selectiva en relación al transporte de materia entre las fases adyacentes a ella. Debido a que sólo es necesario evaporar una fracción de la mezcla, el consumo de calor latente es inferior al requerido en destilación, lo cual representa una gran ventaja de la pervaporación en la separación de azeótropos y mezclas de componentes cuyo punto de ebullición está cercano, así como para eliminar sustancias presentes en bajas concentraciones. Además, esta tecnología permite separar compuestos sensibles a la temperatura, ya que no es necesario calentar la mezcla a la temperatura ebullición.

El vapor obtenido como permeado es rico en el componente que permea de forma preferente y se condensa para posteriores tratamientos, mientras, el retenido se enriquece en el otro componente y puede bien ser utilizado en otro proceso o reciclado para conseguir una mayor separación.

La pervaporación tiene lugar en tres etapas fundamentales: adsorción de los componentes de la mezcla líquida en la membrana, difusión de los compuestos adsorbidos a través de la membrana y desorción en el lado del

permeado, con un efecto calorífico. Las membranas de pervaporación se escogen por su alta selectividad, y suelen ser densas, es decir, no porosas.

La fuerza impulsora de la transferencia de materia a través de una membrana de pervaporación es el gradiente de potencial químico del componente que permea desde el líquido de alimentación hasta el vapor del permeado. Se expresa generalmente como gradiente de presiones parciales o de actividad de dicho compuesto. La fuerza impulsora se puede establecer de dos maneras para mantener una presión total reducida en el lado del permeado: aplicando vacío o mediante una purga con un gas de arrastre. Este último sistema es poco frecuente. En la figura 6.8 se muestra ambos sistemas.

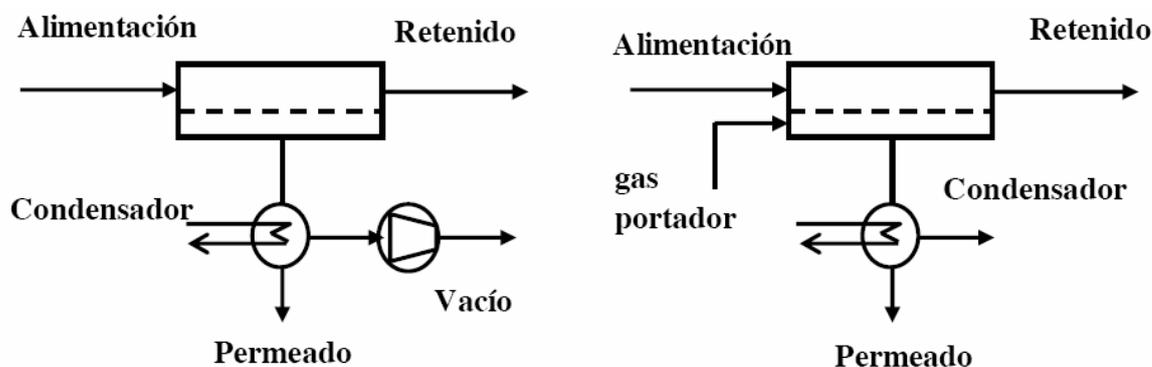


Figura 6.9. Esquemas generales de una unidad de pervaporación a vacío (izquierda) y con gas de arrastre (derecha).

El rendimiento de una membrana de pervaporación en la separación de una mezcla se caracteriza evaluando tres aspectos: la productividad de la membrana, la selectividad y la estabilidad de la membrana.

➤ **La productividad.**

La productividad de una membrana se caracteriza experimentalmente mediante el flujo de permeado, es decir, la cantidad de compuesto que atraviesa la unidad de área de membrana por unidad de tiempo, midiéndose habitualmente en $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

➤ **La selectividad.**

La selectividad se cuantifica mediante dos cocientes alternativos α y β , definidos como:

$$\alpha = \frac{C_i^P / C_j^P}{C_i^F / C_j^F} \qquad \beta = \frac{C_i^P}{C_j^F}$$

donde C^P y C^F son las concentraciones másicas del componente i o j en la mezcla de permeado o de alimentación, respectivamente.

El parámetro α es la forma más común de cuantificar la selectividad de una membrana, y proviene de la descripción de la separación de gases, donde α corresponde al cociente de permeabilidades de la membrana al poner ésta en contacto con gases puros de manera sucesiva. En el caso de la pervaporación, el significado físico de α no está tan claro como en la separación de gases, ya que los componentes de la mezcla de alimentación no permean de manera independiente, sino que el flujo de uno influye en el del otro, en ocasiones el acoplamiento es muy fuerte.

El flujo y la selectividad dependen a su vez de variables de operación tales como la presión de la alimentación, la presión de permeado, la temperatura, la composición de la alimentación, así como de variables asociadas a la membrana: el material elegido, la estructura de la membrana y el espesor de la capa activa (BELANCHE *et al.*, 1986).

➤ **La estabilidad.**

La estabilidad de la membrana es la capacidad que tiene ésta de mantener las mismas condiciones de permeabilidad y selectividad durante largos periodos de tiempo. Debido al tiempo necesario para

realizar pruebas de estabilidad sobre membranas de pervaporación, hay pocos estudios publicados acerca de la caracterización de membranas de pervaporación en condiciones transitorias. Sin embargo, el carácter robusto de las membranas poliméricas de alcohol polivinílico (PVA) ha permitido el desarrollo de procesos comerciales, casi todos aplicados a la deshidratación de etanol e isopropanol.

Las aplicaciones de la pervaporación se pueden clasificar en tres grupos:

- Deshidratación de compuestos orgánicos.
- Eliminación de compuestos orgánicos de disoluciones acuosas.
- Separación de mezclas orgánicas.

➤ **Deshidratación de disolventes orgánicos.**

Se utilizan membranas hidrófilas, a través de las cuáles se produce la permeación preferencial del agua, para la deshidratación de disolventes orgánicos, sobre todo mezclas azeotrópicas. Estas membranas separan el agua con flujos y selectividades variables en función de la estructura química de su capa activa así como de su morfología. La mayoría de las membranas hidrófilas disponibles en el mercado están hechas de alcohol polivinílico (PVA), más o menos entrecruzado mediante agentes especiales o temperatura para proporcionar la resistencia química necesaria en medios ácidos o solvatados. En los últimos años se ha producido un notable aumento de los trabajos en los que se emplean membranas cerámicas hidrófilas, en especial aquéllas cuya capa activa está hecha de sílice o de zeolita NaA.

➤ **Separación de componentes orgánicos del agua.**

Se trata de aplicaciones en las que la concentración del compuesto orgánico en la mezcla es minoritaria. Se utilizan

membranas organófilas con una permeación preferente por compuestos no polares. Hoy en día, sólo hay unos pocos ejemplos de la implantación industrial de membranas hidrófobas para extraer compuestos orgánicos del agua mediante pervaporación, a pesar del alto potencial aparente de esta tecnología (JONQUIÈRES *et al.*, 2002). El más importante es la separación de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos en aguas contaminadas (URTIAGA *et al.*, 1999 y 2002).

La pervaporación es especialmente atractiva cuando el soluto orgánico exhibe una baja miscibilidad con el agua. Para estos solutos, la corriente de permeado, una vez condensado, se separa en dos fases líquidas: la fase orgánica contiene una alta concentración del soluto, mientras que la fase acuosa puede ser recirculada al proceso.

Los polímeros que contienen silicona son los más organófilos, y las membranas basadas en polidimetilsiloxano (PDMS) y otros polímeros relacionados son las estudiadas para la separación de compuestos organoclorados volátiles, alcoholes, cetonas, fenol, benceno. Para mejorar la selectividad, se pueden añadir adsorbentes hidrófobos que quedan retenidos en la matriz de PDMS (DOTREMONT *et al.*, 1996; OLIVEIRA *et al.*, 2002). Otros autores (LIU Q *et al.*, 1996) han preparado membranas cerámicas hidrófobas, de silicalita, para separar mezclas de compuestos orgánicos del agua.

➤ **Separación de mezclas de componentes orgánicos.**

Esta es la aplicación menos desarrollada, aunque en las últimas décadas han surgido numerosos trabajos de investigación debido al alto potencial de esta tecnología para la separación de mezclas de compuestos orgánicos (SMITHA *et al.*, 2004). Para esta aplicación se utilizan las llamadas membranas organoselectivas.

Estas membranas pueden ser de tipo hidrófilo, como en el caso de la separación de mezclas alcohol/éter, cuando el compuesto que permea es polar, que es el caso de la separación de mezclas de hidrocarburos aromáticos y alifáticos.

Modelo de disolución-difusión.

El modelo de disolución-difusión es el más utilizado para dar una descripción general del proceso de permeación a través de las membranas de pervaporación. Este modelo considera el mecanismo de transporte en cinco etapas:

1. Transporte de un componente desde la alimentación a la superficie de la membrana.
2. Reparto del mismo entre el líquido y la membrana.
3. Transporte a través de la membrana.
4. Desorción del componente en fase vapor en el lado del permeado.
5. Transporte desde esta otra superficie de la membrana al seno de la fase vapor.

Sin embargo, la mayoría de los autores sólo tienen en cuenta el transporte en la membrana, es decir, las etapas de adsorción en la superficie de la membrana y de difusión a través de la capa activa de pervaporación. Algunos autores, como BRUIJN *et al.* (2003), afirman que el soporte poroso ejerce una resistencia a tener en cuenta. Otros, aseguran que la adsorción de los componentes de la mezcla en membranas inorgánicas es mucho más rápida que la difusión a través de la capa activa de la membrana.

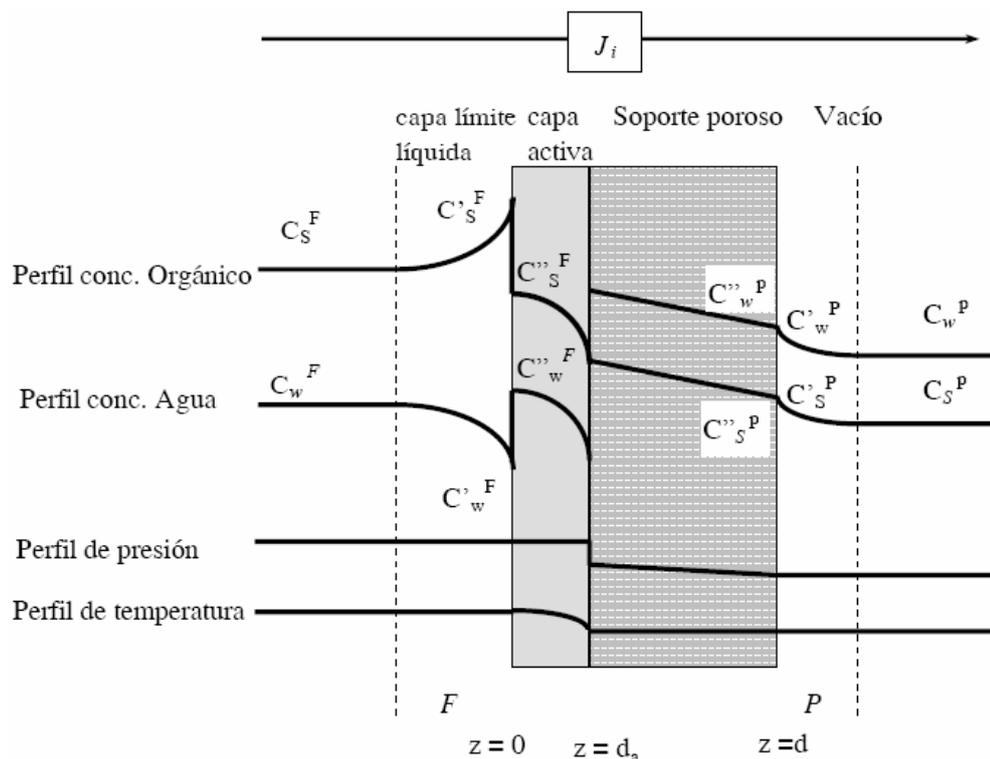


Figura 6.10. Perfiles de concentración, temperatura y presión en el proceso de pervaporación a través de membranas compuestas.

Los principales enfoques están basados en la ley de Fick, clásica o termodinámica, la cual expresa el flujo de una sustancia a través de una membrana proporcional a su gradiente de potencial químico a través de la membrana, o bien en las ecuaciones de Maxwell-Stefan.

Termodinámica de los procesos irreversibles.

La termodinámica de los procesos irreversibles constituye la base para una comprensión cualitativa de la transferencia de materia en procesos de separación con membranas. Cuando se describe la transferencia de materia a través de la membrana mediante la termodinámica de los procesos irreversibles, la fuerza impulsora es el gradiente de potencial químico, y la ecuación básica de flujo puede ser escrita como:

$$J_i = L_i \nabla \mu_i \quad (1)$$

donde J_i es el flujo del componente i y L_i es un coeficiente fenomenológico. Para un sistema de z componentes la ecuación correspondiente sería:

$$J_i = \sum_{j=1}^z L_{ij} \nabla \mu_j \quad (2)$$

De manera que en el caso del transporte de dos componentes 1 y 2, resulta un sistema de dos ecuaciones de flujo con cuatro coeficientes:

$$J_1 = -L_{11} \frac{d\mu_1}{dx} - L_{12} \frac{d\mu_2}{dx} \quad (3)$$

$$J_2 = -L_{21} \frac{d\mu_1}{dx} - L_{22} \frac{d\mu_2}{dx} \quad (4)$$

El primer término de la ecuación (3) describe el flujo del componente 1 bajo su propio gradiente, mientras que el segundo término proporciona la contribución del gradiente del componente 2 al flujo del componente 1. L_{12} representa el efecto de acoplamiento entre flujos.

De acuerdo con la relación de Onsager, los coeficientes fenomenológicos cruzados de las expresiones anteriores pueden ser considerados idénticos, es decir:

$$L_{ij} = L_{ji} \quad (5)$$

lo cual significa que para una mezcla binaria únicamente es necesario considerar tres coeficientes.

También se suelen aplicar otras dos restricciones:

$$L_{11} \text{ (y } L_{22}) \geq 0 \quad (6)$$

$$L_{11} \cdot L_{22} \geq L_{12}^2 \quad (7)$$

Uno de los puntos fuertes de esta teoría es que la existencia de fenómenos de acoplamiento entre fuerzas impulsoras y flujos puede ser descrita de manera clara. Sin embargo, su uso requiere la recopilación de una gran cantidad de datos experimentales que permitan la estimación del elevado número de parámetros implicados, por lo que se han ido desarrollando otros modelos empíricos con el fin de proporcionar relaciones adecuadas para un modelado más sencillo.

Ley de Fick clásica.

La ley de Fick clásica es la más utilizada, si bien relativamente pocos sistemas se ajustan exactamente a las condiciones ideales establecidas por las hipótesis básicas del modelo. La fuerza impulsora en la ecuación de Fick es un gradiente de concentración:

$$J_{i,mol} = -D_i(C_i, C_j) \frac{dC_i}{dz} \quad (8)$$

que es válida en condiciones de idealidad termodinámica. La ecuación (8) también puede escribirse de forma general así:

$$J_i = -C_i D \nabla x_i \quad (9)$$

para describir el transporte difusivo de un componente i en un sistema binario.

Las ecuaciones de Maxwell-Stefan para describir el transporte por difusión en un sistema binario tienen la forma:

$$J_i = -C_i \Delta \Gamma \nabla x_i \quad (10)$$

donde

$$\Gamma = 1 + x_i \frac{\partial \ln \gamma_i}{\partial x_i} \quad (11)$$

es el factor de no idealidad termodinámica, \mathcal{D} , el coeficiente inverso de arrastre o coeficiente de difusión de Maxwell-Stefan en microporos, γ y x , el coeficiente de actividad y la fracción molar del componente i en la mezcla líquida, respectivamente.

Comparando las ecuaciones (10) y (11) con la ecuación (9), se observa que el significado físico de la difusividad de Fick incorpora dos aspectos: (i) el efecto de arrastre (\mathcal{D}) y (ii) la no idealidad termodinámica, por lo que su interpretación es menos clara que la de la difusividad de Maxwell-Stefan.

$$D = \mathcal{D}\Gamma \quad (12)$$

Para una mejor comprensión del transporte de sustancias individuales en una mezcla, de las fuerzas que actúan sobre ellas y su movimiento resultante.

Ley de Fick termodinámica.

Las moléculas de los compuestos que se difunden se mueven a través de la membrana con una velocidad v_i debido a la existencia de una fuerza impulsora $d\mu_i / dz$ que actúa sobre ellas. Esta fuerza impulsora, el gradiente de potencial químico, es necesaria para mantener la velocidad v_i frente a la resistencia ofrecida por la membrana. Si la resistencia se representa por f_i , la velocidad viene dada a través de:

$$v_i = -\frac{1}{f_i} \left(\frac{d\mu_i}{dz} \right) \quad (13)$$

Como el coeficiente de movilidad m_i es el inverso del coeficiente de fricción, la ecuación anterior se puede escribir:

$$v_i = -m_i \left(\frac{d\mu_i}{dz} \right) \quad (14)$$

y la cantidad de moléculas que atraviesan un determinado área por unidad de tiempo viene dada por:

$$J_{i,mol} = v_i \cdot C_i = -m_i C_i \left(\frac{d\mu_i}{dz} \right) \quad (15)$$

El hecho de que la pervaporación implique la evaporación del permeado hace que sea probable que se produzca un gradiente de temperatura a través de la membrana. Sin embargo, este gradiente suele ser despreciado, considerando el proceso isoterma.

Sustituyendo $\mu_i = \mu_i^o + RT \ln a_i^m$ en la ecuación (15) se obtiene:

$$J_{i,mol} = -m_i C_i RT \frac{d \ln a_i^m}{dz} \quad (16)$$

donde $D_{T,i} = m_i RT$ es el coeficiente de difusión termodinámica, que expresa la desviación respecto de la idealidad termodinámica de la ley de Fick. Según METZ *et al.* (2002), el coeficiente de difusión termodinámica corrige el coeficiente de difusión D_i para tener en cuenta la no idealidad del sistema:

$$D_{T,i} = \frac{D_i(C_i, C_j)}{\frac{d \ln(a_i)}{d \ln(C_i)}} \quad (17)$$

El coeficiente de difusión D_i suele depender fuertemente de la concentración del componente i en la membrana, por lo que también variará a través de la membrana en función de la distancia a la superficie, y para una completa caracterización de la transferencia de materia en pervaporación se necesitan leyes que describan la variación de los coeficientes de difusión.

Hay muchas maneras de expresar esta variación. Lo habitual es considerar una dependencia exponencial del coeficiente de difusión con la

concentración, que para la separación en pervaporación de una mezcla binaria tiene la forma:

$$D = D_o \exp(\zeta C_w + \xi C_s) \quad (18)$$

donde C_w y C_s son las concentraciones locales de agua y disolvente orgánico en la membrana, mientras que ζ y ξ son los coeficientes de plastificación de cada componente en la membrana polimérica. Es habitual despreciar la plastificación del componente que se encuentra en menor concentración en la membrana, es decir, aquel por el que la membrana tiene menos afinidad.

En cuanto a los materiales microporosos, KÄRGER y RUTHVEN (1991) describen cinco tipos de variación de la difusividad con la concentración:

- (i) La difusividad decrece de forma monótona con la ocupación de los poros.
- (ii) La difusividad es constante hasta que los poros se llenan hasta la mitad, observándose una disminución a concentraciones elevadas.
- (iii) A baja concentración la difusividad aumenta de forma monótona, para luego mantenerse constante a mayores concentraciones.
- (iv) La difusividad presenta un máximo a un cierto nivel de llenado de los poros.
- (v) La difusividad aumenta de forma monótona con la concentración.

Así pues, dependiendo de la expresión de la difusividad que introduzcamos en la ecuación (16), se obtendrá una forma u otra de la ecuación de flujo en la membrana. No obstante, la más extendida es la ecuación de Darken, que relaciona la difusividad termodinámica con la difusividad propia a concentración igual a cero, a temperatura constante, según la expresión (17). Esta expresión ha sido validada por SKOULIDAS y SHOLL (2001) para la descripción de la difusión de gases a través de una membrana de silicalita.

Por último, decir que la pervaporación es una tecnología poco aplicada en escala industrial en la actualidad, por tener una componente empírica muy fuerte y estar todavía en fase de estudio, a pesar de que a nivel de laboratorio sí que hay numerosos estudios y trabajos de experimentación.

Antes de la construcción e instalación del equipo de pervaporación se precisaría de experimentación previa con las membranas reales.

Capítulo 7

UBICACIÓN DE LA PLANTA

7.1. Localización de la planta.

Para la localización de la planta se ha tenido en cuenta una serie de condiciones que deberá cumplir la zona geográfica para suplir sus necesidades, y asegurar un funcionamiento óptimo de la misma.

Entre estas condiciones se tendrá en cuenta:

- Suministro de la materia prima.
- Suministro de combustible.
- Suministro eléctrico.
- Comunicaciones.
- Clima.

Al ser la materia prima fundamental para el presente Proyecto Fin de Carrera el azúcar, la planta de proceso estará ubicada lo más proximo posible a una azucarera. La única azucarera que sigue produciendo en la provincia de Cádiz en la actualidad, es la situada en el polígono El Portal, situado en Jerez de la Frontera, por lo que ubicaremos la planta en dicho polígono industrial, y a ser posible al lado de la azucarera.

La parcela destinada a la planta tendrá una superficie de 12.500 m², con 125 metros de largo y 100 metros de ancho aproximadamente.

Indicar por último que el lugar elegido está perfectamente comunicado e integrado por medio de vías terrestres, marítimas y/o aéreas con Europa y el mercado nacional.



Figura 7.1. Vista aérea de España.

Fuente: www.earth.google.com



Figura 7.2. Vista aérea la provincia de Cádiz.

Fuente: www.earth.google.com



Figura 7.1. Vista aérea del polígono El Portal.

Fuente: www.earth.google.com

7.2. Disponibilidad de la materia prima.

Como se ha indicado previamente, la planta irá situada al lado de la azucarera o lo más próximo a ella, por lo que el suministro de la materia prima está asegurado.

7.3. Suministro de energía.

El suministro de energía de la zona está garantizado, ya que la planta se situará en un polígono industrial que cuenta con todos los servicios necesarios para la industria.

El combustible seleccionado para la obtención de energía es el gas natural, por su bajo coste y excelente disponibilidad. Además el continuo aumento del consumo de gas natural en España asegura el suministro, ya que se trata de una fuente de energía que goza de relativa estabilidad debido a las amplias reservas disponibles en el mundo, y especialmente de las que se abastece España.

7.4. Suministro eléctrico.

El suministro de energía eléctrica en la zona está garantizado. La ubicación concreta no supone ningún problema, ya que habría diversos centros de transformación ubicados en distintos puntos del polígono industrial, abasteciendo los diferentes equipos que necesiten la electricidad para su funcionamiento.

7.5. Comunicación y transporte.

En este apartado se tienen en cuenta las posibilidades de distribución de los productos obtenidos en la planta. Se trata de un suelo industrial muy bien comunicado, tanto por carretera, como por mar, debido a la cercanía de los puertos de Cádiz y Algeciras, como por aire, ya que el aeropuerto de Jerez está muy próximo.

La situación geográfica del polígono industrial le confiere una posición estratégica que facilita las labores de distribución de los productos, tanto con el resto del territorio español como el extranjero. Además, su proximidad con otros polígonos industriales resulta un factor de comodidad y de reducción de costes.

7.6. Condiciones Climáticas.

La zona elegida posee un clima que es óptimo para el desarrollo industrial, debido a que no presente cambios bruscos de temperatura, siendo un clima templado, con una media de unos 18 °C, y al estar situada en el sur de España goza de muchas horas de sol al año, lo que supone un gran ahorro de energía y la posibilidad de desarrollar sistemas de utilización de la energía solar como fuente de energía alternativa, actividad de futuro en el sector industrial.

En cuanto a la pluviometría, la zona tiene una media de unos 539 mm. Por otra parte destacar que el viento predominante es del este, pudiendo alcanzar en algunas ocasiones una elevada intensidad, con rachas de hasta 120 km/h.

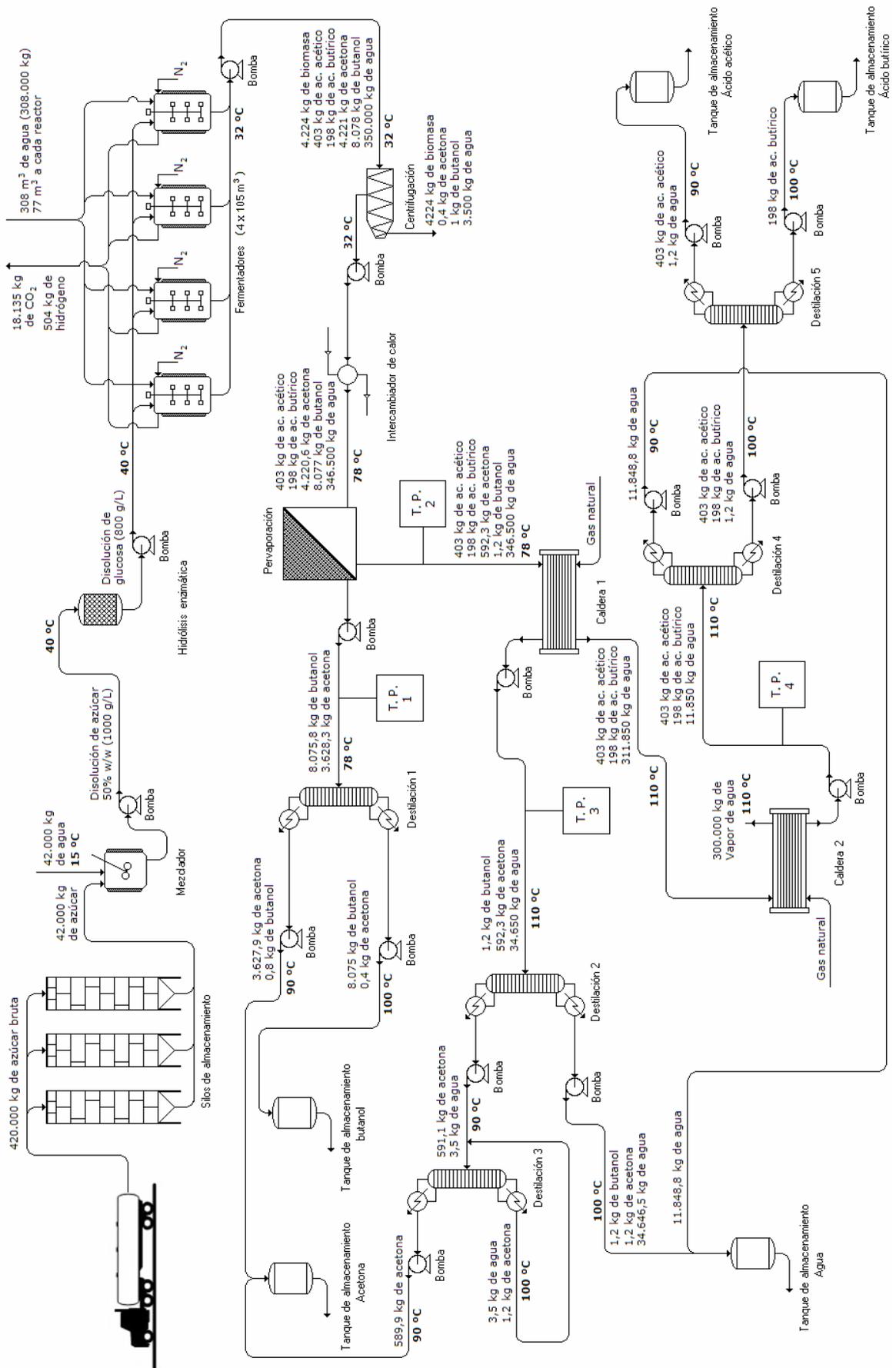
Capítulo 8

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA PLANTA DE PROCESOS

8.1. Diagrama de flujo del proceso.

Cabe decir que todas las operaciones están representadas en el diagrama de flujo, excepto el intercambiador que se utiliza para calentar el agua necesaria para los reactores de fermentación. Además, no todas las bombas de la planta de procesos están representadas en dicho diagrama de flujo.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la planta de proceso.



8.2. Distribución de equipos en la planta de proceso.

En un mundo tan competitivo como es el de la industria, deben analizarse todos los posibles caminos hacia la reducción del coste. En muchas industrias, es ya difícil, si no imposible, asegurar una ventaja frente a la competencia, en cualquiera de los factores principales. Los materiales, la maquinaria, los métodos de distribución y aun los salarios, han llegado a ser más y más estandarizados. Por lo tanto, la dirección debe asegurar, cada vez más, a través de los detalles, detalles que afectan al precio de coste, su margen de beneficios. Uno de estos detalles importantes es la distribución en planta.

El enfoque y resolución de los problemas de distribución en planta es tan importante en alcance y variedad que sólo se puede comparar con el diseño del proceso.

Las actividades del diseño del proceso y las del diseño de distribución están íntimamente relacionadas. En el diseño de proceso se pueden aplicar más rápidamente los principios de ingeniería a un problema específico. En el diseño de distribución, todas sus actividades se sobrepasan con las áreas de todas las disciplinas de diseño trayendo consigo una gran complejidad. Muchos principios y requerimientos tienen que conjugarse para poder ser aplicados, y finalmente conseguir una distribución en planta económica y estética.

En la disposición del equipo, instalaciones, máquinas, etc., y área de trabajo, la distribución es un problema que no es posible evitar.

El mero hecho de colocar un equipo en el interior de un área ya presenta un problema de ordenación. El trabajo de ubicación en planta implica la ordenación física de los elementos industriales, esta ordenación ya practicada o en proyecto, incluye espacios necesarios, mínimos para el mantenimiento del equipo y la maquinaria, almacenamiento, servicios y otras actividades.

Así pues, el plano de localización de los equipos está relacionado con el arreglo espacial y tiene una influencia vital en la eficiencia y utilidad de las plantas químicas.

Las buenas prácticas de distribución consiguen un balance económico de los requerimientos de seguridad, construcción, mantenimiento, operación, futuras expansiones y las variables de proceso como flujo por gravedad o altura positiva de succión de bombas.

Para una buena distribución en planta debe tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- Escala y alcance de la operación.
- Limitaciones existentes de lugar.
- Consideraciones de seguridad.
- Supervisión de la operación.
- Suministro de servicios.
- Requerimiento de manejo de materiales.
- Conveniencia en el mantenimiento.
- Economía en la construcción.
- Expansión futura o posibles adiciones.
- Condiciones del suelo.
- Información básica del contrato.
- Requerimientos del cliente.
- Diagramas de flujo del proceso.
- Dimensiones preliminares del equipo.
- Equipos y subestaciones eléctricas.
- Localización de acometidas de servicios incluyendo corriente eléctrica.
- Dimensiones preliminares de edificios.
- Información de plantas similares.

De entre esta información necesaria para iniciar un *“plot-plan”*, es fundamental el diagrama de flujo del proceso, y como información básica del

proyecto, las bases de diseño, ya que en este documento se encuentran definidos todos los requerimientos de la planta, así como la localización de las características climatológicas del lugar.

Una buena distribución del equipo puede lograr los siguientes beneficios:

- Reducción del riesgo para la salud y aumento de la seguridad para los operarios.
- Elevación de la moral y la satisfacción del operador.
- Incremento de la capacidad útil del terreno.
- Disminución de retrasos en la operación del proceso.
- Se facilita el mantenimiento del equipo.

8.3. Recepción y almacenamiento de las materias primas y pretratamiento de la corriente de entrada a la planta de proceso.

8.3.1. Recepción de la materia prima.

La zona de recepción de la materia prima consta de una zona de descarga para los camiones que transportan la materia prima a la planta de proceso y de los cinco silos habilitados para su almacenamiento.

Tanto la descarga de materia prima de los camiones como el transporte de esta hasta el mezclador se lleva a cabo por medio de transporte neumático y cuyos fundamentos se explican en el apartado siguiente.

8.3.2. Transporte neumático.

El transporte neumático viene a sustituir en muchos casos las clásicas instalaciones mecánicas más o menos costosas y complicadas como son las cintas transportadoras, elevadores de cangilones, etc. Uno de los puntos más destacables del sistema neumático, respecto a sistemas mecánicos, es la gran simplicidad que ofrece la instalación de tubería para el transporte y distribución del material.

Los lugares de trabajo con atmósferas irrespirables, los escapes de polvo, las pérdidas de material producidas en los sistemas mecánicos de transporte, quedan suprimidos al efectuarse el transporte en un sistema totalmente cerrado, consiguiéndose la más absoluta limpieza.

Mediante una simple red de tuberías que puede instalarse en zanjas, colgando de techos, paredes o atravesando naves, salvando toda clase de obstáculos, el material es transportado tan fácilmente como si se tratara de un líquido hasta cualquier punto elegido.

Existen diversos modos de llevar a cabo el transporte de partículas sólidas desde el punto de recogida hacia el punto de descarga. Estos modos se diferencian en las velocidades y caudales de aire que se muevan y la presión que se emplee en el transporte de los sólidos. Así, si se emplea una cantidad de aire elevada a alta velocidad, se habla de transporte neumática en fase diluida. Si se emplea una presión elevada, baja velocidad y caudal de aire, se hablará de transporte neumático en fase densa. En la siguiente figura se muestran diferentes regímenes de transporte neumático. Desde fase densa a fase diluida.

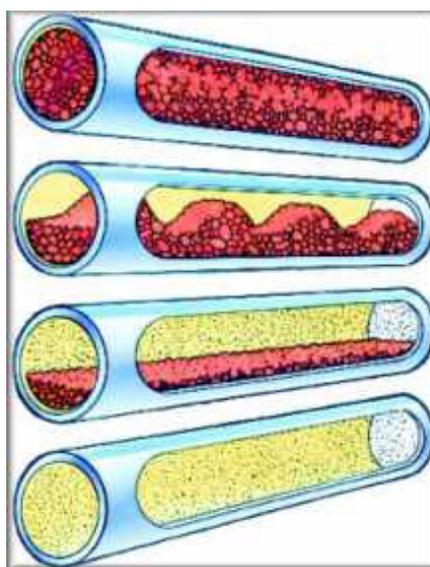


Figura 8.1 Diferentes regímenes de transporte neumático.

El diseño de un sistema de tuberías para transporte neumático requiere una consideración cuidadosa de los factores que puede llevar a la fatalidad al sistema o a unos márgenes de operación no aceptables. Existen algunas normas básicas que deben cumplirse estrictamente como son:

1. Todas las rutas deberían ser directas entre el punto de recogida del material y la descarga con el menor número posible de cambios de dirección o elevación.
2. Debería existir un tramo recto horizontal de al menos 1,5 metros antes de cada cambio de dirección. Este tramo debe ser progresivamente mayor para diámetros de tuberías mayores. Una buena regla heurística es tomar un tramo de 1,5 metros para tuberías de 5 cm de diámetro e ir añadiendo 1,5 metros por cada 2,5 cm de incremento del diámetro.
3. No se deberían usar ángulos rectos a menos que sea imprescindible.

8.3.3. Silos.

Para almacenar la materia prima se instalarán cinco silos exactamente iguales.

Los silos se construirán en virolas de acero inoxidable AISI 316L, soldadas y estarán soportados por patas. La elección de este material viene condicionada, entre otros aspectos, porque la formación de óxidos de hierro podría contaminar a la materia prima, pasando a todo el sistema de proceso.

Las tolvas de descarga de los silos serán construidas también en acero inoxidable AISI 316L, pero con un acabado 2B, acabado pulido con bajo coeficiente de fricción.

8.3.3.1. Diseño de los silos.

Debido al enorme volumen que ocupa la materia prima necesaria para el abastecimiento de la planta durante 10 días, este lo vamos a dividir en cinco

silos exactamente iguales, de manera que los silos de almacenamiento que se quiere diseñar tienen cada uno un volumen real de $144,0 \text{ m}^3$ y un volumen de trabajo de $120,0 \text{ m}^3$.

El silo de almacenamiento estará compuesto por un cuerpo cilíndrico y una tolva de descarga con forma troncocónica, y estará cubierto por la parte superior para conservar mejor la materia prima, además se colocará un pequeño techo de chapa en el conjunto de los cinco silos para en caso de lluvia estar mejor protegido. El volumen real del silo será un 20% mayor al volumen de trabajo por motivos de seguridad y sobredimensionamiento.

Las dimensiones geométricas del silo de almacenamiento serán las siguientes:

- Diámetro del cuerpo cilíndrico = 3,60 metros.
- Diámetro de descarga de la tolva = 0,50 metros.
- Altura del cuerpo cilíndrico = 13,12 metros.
- Altura de la tolva = 2,64 metros.
- Altura total del silo = 15,76 metros
- Distancia desde la tolva al suelo = 1,00 metros.

8.3.3.2. Espesores de los silos.

El espesor se calcula siguiendo las recomendaciones de la norma NBE AE-88, capítulo IX, y la metodología de cálculo seguida se puede ver en el Anexo 1. Cálculos justificativos, apartado A1.1.2.

El espesor obtenido es de $0,280 \text{ in} \approx 7,1 \text{ mm}$ tanto para el cuerpo cilíndrico como para la tolva de descarga.

8.3.4. Mezclador.

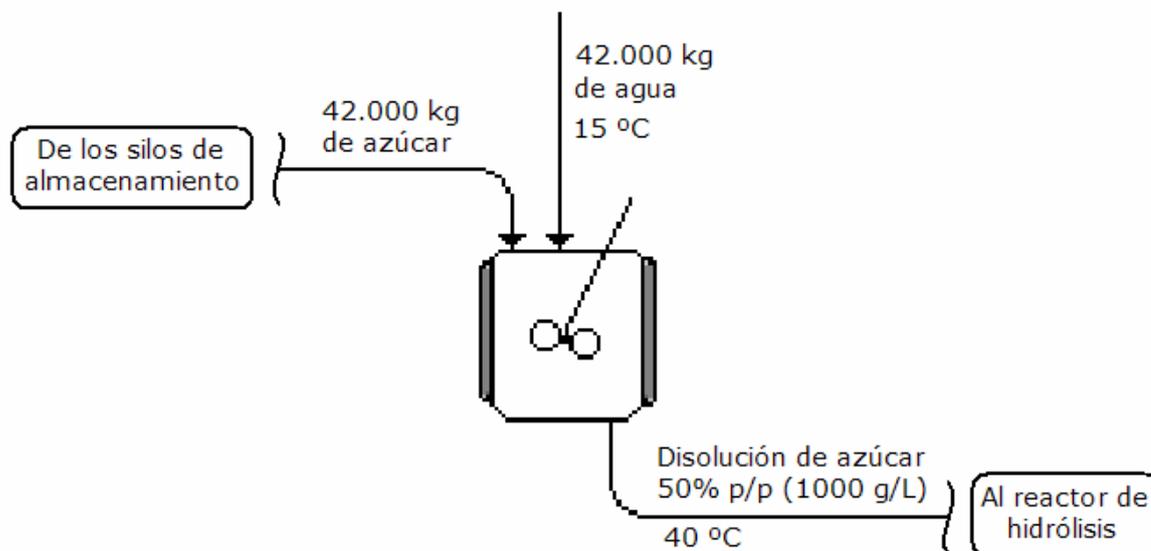
El mezclador consiste fundamentalmente en un tanque con una capacidad de 51 m^3 , un sistema de agitación y un sistema de calefacción.

El sistema de calefacción consiste en una camisa de calefacción formada por tubos de media caña soldados al cuerpo del mezclador. Su objetivo es aumentar la temperatura del agua primero y de la disolución de sacarosa después, de 15 °C a unos 43 °C.

Para conseguir que tanto la temperatura como la concentración de la disolución sea homogénea en el mezclador, éste tiene instalado un sistema de agitación que consiste en un eje suspendido y soportado en la parte superior del tanque. Sobre este eje hay instalados tres impulsores de palas planas, y dicho eje está accionado por un motor acoplado al eje a través de una caja reductora de velocidad.

Para evitar la aparición de volúmenes muertos el tanque tiene un fondo toriéférico, que al ser redondeado, no presenta aristas en las cuales se puedan formar volúmenes muertos. Además el tanque tiene cuatro placas deflectoras para romper los vórtices.

8.3.4.1. Corrientes del mezclador.



8.3.4.2. Diseño del mezclador.

El mezclador que se quiere diseñar tiene un volumen real de 51 m^3 y un volumen de trabajo de 42 m^3 . Su forma será cilíndrica, con los fondos toriesféricos. El volumen real del mezclador será un 20% mayor al volumen de trabajo por motivos de seguridad y sobredimensionamiento.

Las dimensiones geométricas del mezclador serán las siguientes:

- Diámetro interior = 3,0 metros.
- Altura del tanque = 7,2 metros.

8.3.4.3. Espesores del mezclador.

Los espesores se calculan siguiendo las recomendaciones del código americano de diseño ASME, y la metodología de cálculo seguida se puede ver en el Anexo 1. Cálculos justificativos, apartado A1.5.2.

Los espesores obtenidos son:

- Espesor del casco debido al esfuerzo longitudinal: $0,068 \text{ in} \approx 1,7 \text{ mm}$.
- Espesor del casco debido al esfuerzo circunferencial: $0,137 \text{ in} \approx 3,5 \text{ mm}$.
- Espesor de los cabezales toriesféricos: $0,043 \text{ in} \approx 1,1 \text{ mm}$.

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de $0,137 \text{ in} \approx 3,5 \text{ mm}$.

8.3.4.4. Agitación.

El sistema de agitación consta de un eje suspendido y soportado en la parte superior del tanque. Sobre este eje hay instalados tres impulsores de palas planas con seis palas cada uno, los cuales están separados 1,5 metros

entre sí, tienen un diámetro de 1,0 metros y un ancho de pala de 0,20 metros. Además la distancia del impulsor inferior al fondo del tanque es de 1,0 metros y la distancia del impulsor superior a la superficie del líquido es de 2,0 metros.

El tanque lleva instaladas cuatro placas deflectoras las cuales tienen un ancho de placa de 0,25 metros y una altura de 7,2 metros.

La velocidad de agitación es de 1,2 rps, o lo que es lo mismo, de 72 rpm. El motor que hace girar al eje a esa velocidad tiene una potencia de 19,18 kW.

8.3.4.5. Calefacción del mezclador.

El mezclador tiene instalada una camisa de calefacción para aumentar la temperatura del agua de alimentación y luego de la disolución de 15 °C a 43°C y mantenerla constante en esta última temperatura. Como agente calefactor se utiliza vapor de agua a 110 °C procedente de la caldera 2, el cual sólo cambia de estado vapor a líquido, y no de temperatura. El fluido circula por el interior de la camisa de calefacción fabricada en acero al carbono y adosada mediante soldadura al cuerpo del mezclador.

Esta camisa de calefacción tiene un área de calefacción de 55,95 m² y está formada por 47 tubos de media caña con un diámetro nominal de 5 in y un espesor de 0,258 in (6,5 mm). El caudal másico de vapor de calefacción que circula por el interior de estos tubos es de 741 kg/h.

8.3.4.6. Aislamiento del mezclador.

El mezclador se aislará con poliuretano de tipo I, que tiene una densidad 35 kg/m³, espumado “in situ”. La conductividad térmica de este material es suficientemente pequeña, $k = 0,023 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, como para cumplir a la perfección su cometido. Además, el espesor del recubrimiento de este material será de 15 cm.

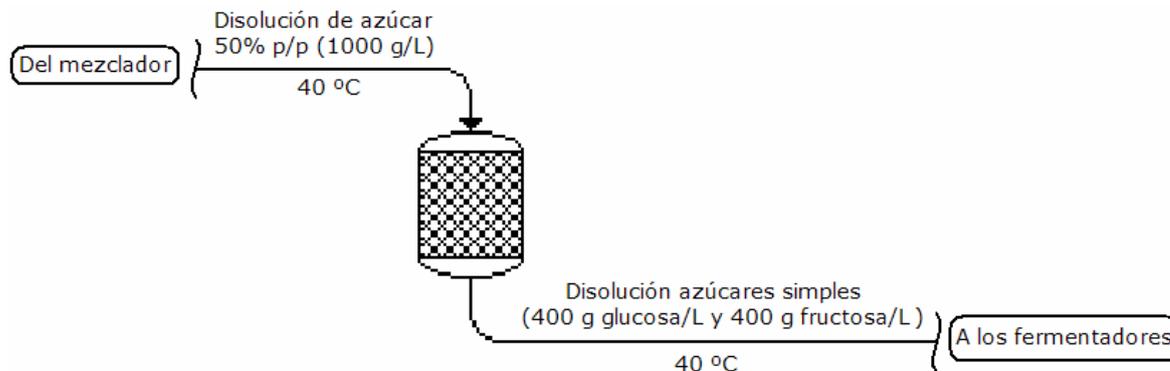
Para que el espumado se realice de forma satisfactoria y para proporcionar protección mecánica, se colocará una envoltura de chapa.

8.4. Hidrólisis enzimática.

En el reactor de hidrólisis se llevará a cabo la transformación de la sacarosa (azúcar bruta) en azúcares simples (glucosa y fructosa).

Esta hidrólisis se lleva a cabo con la enzima invertasa (E.C. 3:2:1:26), también conocida como sacarasa. La enzima se encuentra inmovilizada en un soporte, de manera que se distribuye de manera que ocupe la mayor superficie posible y que el contacto con la disolución de sacarosa sea la mayor posible y así poder lograr una conversión alta. A pesar de esto la conversión alcanzada es del 80%.

8.4.1. Corrientes del reactor de hidrólisis.



8.4.2. Diseño del reactor de hidrólisis.

El reactor de hidrólisis que se quiere diseñar tiene un volumen real de 8,5 m³ y un volumen de trabajo de 7 m³. Su forma es cilíndrica, con los fondos toriesféricos. El volumen real del mezclador será un 20% mayor al volumen de trabajo por motivos de seguridad y sobredimensionamiento.

Las dimensiones geométricas del reactor de hidrólisis serán las siguientes:

- Diámetro interior = 1,5 metros.
- Altura del tanque = 4,8 metros.

8.4.3. Espesores del reactor de hidrólisis.

Los espesores se calculan siguiendo las recomendaciones del código americano de diseño ASME, y la metodología de cálculo seguida se puede ver en el Anexo 1. Cálculos justificativos, apartado A1.5.2.

Los espesores obtenidos son:

- Espesor del casco debido al esfuerzo longitudinal: 0,034 in \approx 0,9 mm.
- Espesor del casco debido al esfuerzo circunferencial: 0,069 in \approx 1,7 mm.
- Espesor de los cabezales toriesféricos: 0,022 in \approx 0,6 mm.

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,069 in \approx 1,7 mm.

8.4.4. Refrigeración del reactor de hidrólisis.

El reactor de hidrólisis tiene instalada una camisa de refrigeración para mantener la temperatura constante en 40 °C, ya que la reacción de hidrólisis es exotérmica, es decir, genera calor. Como agente refrigerante se utiliza agua de la red que entra a la camisa de refrigeración a una temperatura de unos 15 °C y sale de ella a unos 40 °C. El fluido circula por el interior de la camisa de refrigeración fabricada en acero al carbono y adosada mediante soldadura al cuerpo del mezclador.

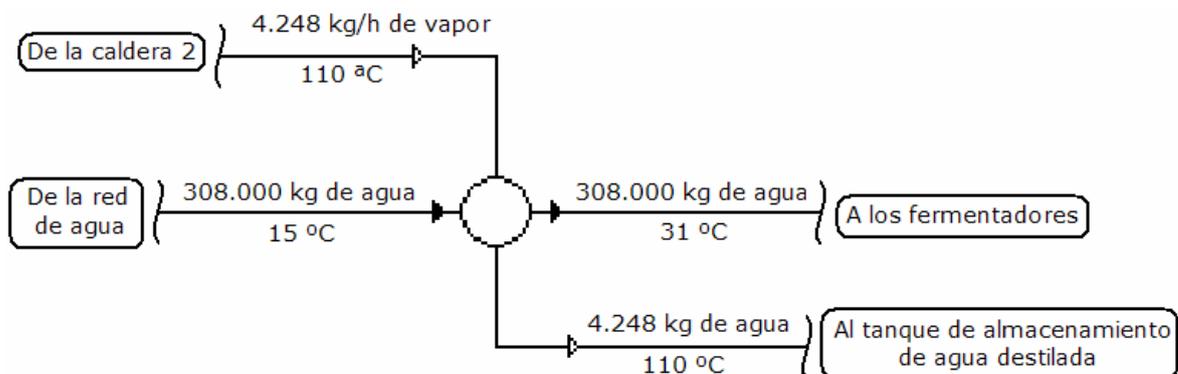
Esta camisa de refrigeración tiene un área de refrigeración de 18,67 m² y está formada por 36 tubos de media caña con un diámetro nominal de 4 in y un espesor de 0,237 in (6,0 mm). El caudal de agua de refrigeración que circula por el interior de estos tubos es de 23,56 m³/h.

8.4.5. Aislamiento del reactor de hidrólisis.

El reactor de hidrólisis se aislará con poliuretano de tipo I, que tiene una densidad 35 kg/m³, espumado “in situ”. La conductividad térmica de este material es suficientemente pequeña, $k = 0,023 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, como para cumplir a la perfección su cometido. Además, el espesor del recubrimiento de este material será de 15 cm.

Para que el espumado se realice de forma satisfactoria y para proporcionar protección mecánica, se colocará una envoltura de chapa.

8.5. Intercambiador de calor 1.



El intercambiador de calor que se utiliza para calentar el agua proveniente de la red para la alimentación de la fermentación de 15 °C a 31 °C es un intercambiador de calor de un paso por carcasa y dos pasos por tubo a contracorriente. Como fluido caliente se utilizará vapor de agua a 110 °C y 1 atmósfera de presión, el cual sale del intercambiador como agua líquida a la misma temperatura, por lo que sólo hay cambio de fase y no de temperatura.

Este intercambiador de calor es muy importante ya que cumple dos funciones fundamentales en la planta de proceso que son, el aumento de la temperatura necesario para acondicionar el agua necesaria para fermentación y a su vez se condensa el vapor de agua producido en la caldera 2 para luego almacenar dicha agua en su correspondiente tanque de almacenamiento.

Debido a que se condensa vapor de agua, este intercambiador de calor se puede considerar un condensador y así ha sido. Según la tabla de coeficientes globales de transmisión de calor que se muestra en el Anexo 7 “Diseño de intercambiadores de calor”, se ha tomado un valor del coeficiente global de transmisión de calor del orden de $1.000-4.000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, correspondiente a condensadores de vapor enfriados por agua. Por lo tanto, se puede suponer que el intercambiador tiene un coeficiente global de transmisión de calor de $2.500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Como consecuencia, el caudal másico de vapor necesario para calentar la corriente de agua de alimentación de los fermentadores es de 4.248 kg/h .

La longitud de los tubos por los que circula la corriente a calentar es de 2 metros y tienen un diámetro de 100 mm. El área de intercambio de calor es de $12,35 \text{ m}^2$, distribuida en 10 tubos.

8.6. Fermentación acetobutílica.

La fermentación acetobutílica es un proceso estrictamente anaerobio realizado por microorganismos del tipo clostridium, de entre los cuales hay diferentes microorganismos con capacidad para llevar a cabo dicha fermentación.

Estos microorganismos consiguen la energía necesaria para vivir por medio de la fermentación acetobutílica, en la que rompen las moléculas de azúcares simples, principalmente glucosa, para obtener la energía necesaria para su mantenimiento y producen butanol y otros productos como consecuencia de la fermentación.

8.6.1. Elección del microorganismo.

El microorganismo ideal para un proceso de fermentación sería aquel que combinara rapidez y eficiencia en la conversión de las fuentes de carbono, como son la glucosa y la fructosa en nuestro caso, y también que tuviera una alta tolerancia al producto o los productos obtenidos, en nuestro caso butanol, y a los diferentes compuestos inhibitorios que pudieran existir en el medio de fermentación.

Como ya se indicó anteriormente, diferentes microorganismos son capaces llevar a cabo la fermentación acetobutílica, entre ellos los más importantes son: *Clostridium acetobutylicum*, *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* y *Clostridium beijerinckii*.

Para el presente Proyecto Fin de Carrera, el microorganismo elegido para realizar la fermentación es el *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* por los motivos que se exponen a continuación:

- Este microorganismo es el que a priori produce mayor cantidad de butanol por gramo de glucosa fermentado. Razón principal que justifica su elección. Concretamente, esto es así, porque este microorganismo no produce etanol durante la fermentación sino que la glucosa, que otros microorganismos emplean para la obtención de etanol, éste la emplea para la obtención de más butanol y acetona.
- Al no producir etanol, se obtiene un producto menos, por tanto existe una mayor facilidad a la hora de la separación y purificación de los productos y un menor coste de separación. Este es un punto extremadamente importante, puesto que los productos obtenidos en el caldo de cultivo son muy complicados de separar.
- Este microorganismo junto con el *Clostridium beijerinckii* son los que soportan mayores concentraciones de butanol en el medio de fermentación, lo que representa una ventaja a la hora de la

fermentación, ya que la concentración de la glucosa inicial en el medio puede ser mayor como consecuencia la producción de butanol también será mayor.

- Otro aspecto importante es el tiempo que dura la fermentación, el *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* es el microorganismo que tiene una mayor velocidad de consumo de glucosa, por lo que emplea menos tiempo en degradar una misma concentración de glucosa. Este es un aspecto que también incide significativamente en la economía global del proceso.

8.6.2. Características del microorganismo.

8.6.2.1. Cinética del microorganismo.

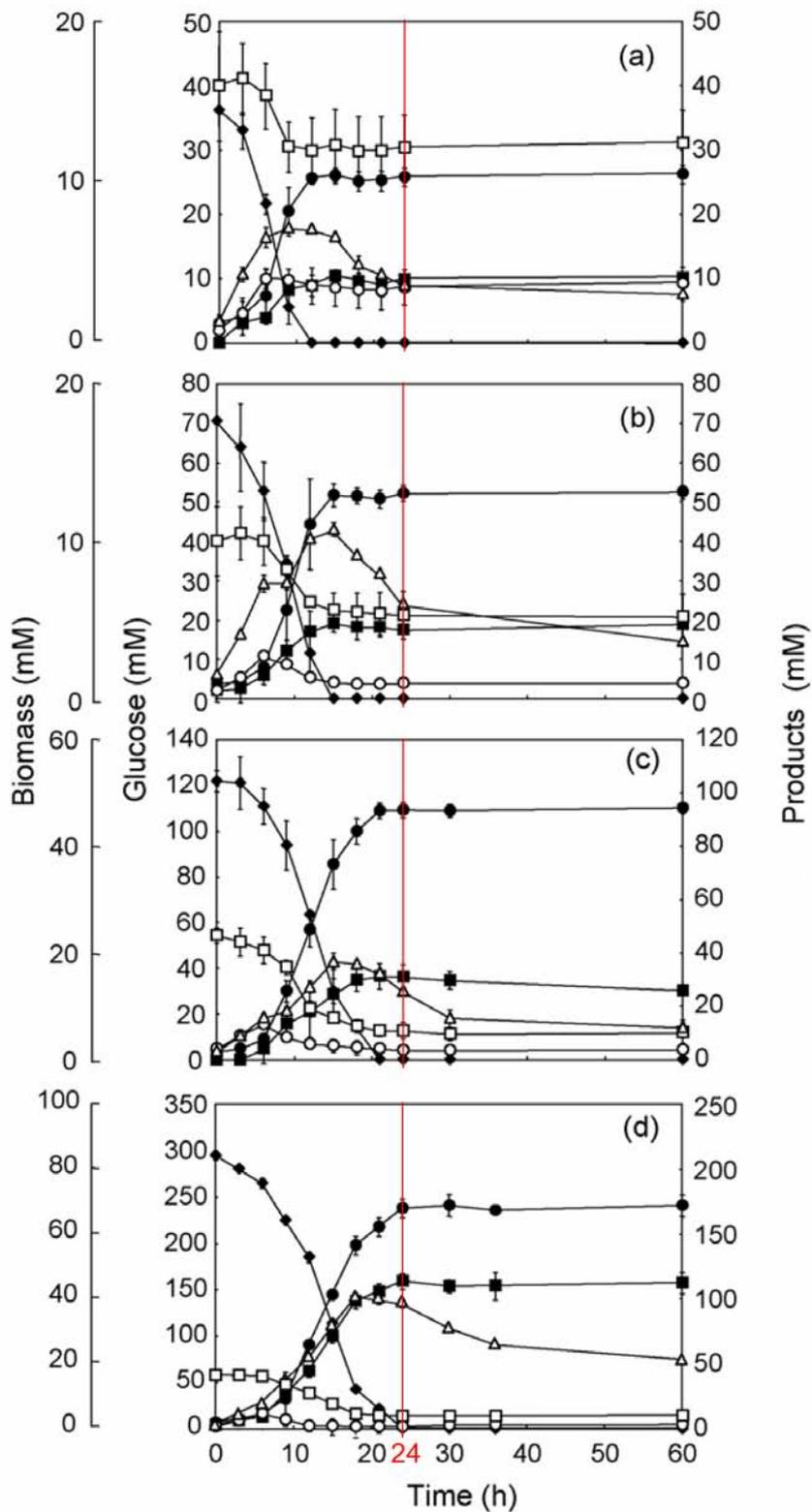
En tabla se muestra la cinética del microorganismo a partir de cuatro concentraciones iniciales de glucosa distintas. La que se ha elegido para los cálculos en el presente Proyecto Fin de Carrera es la de concentración inicial de glucosa 295 mM/l, o lo que es lo mismo 53,15 g/l, por ser la más cercana a la que se tendrá en los fermentadores diseñados en este Proyecto Fin de Carrera y por lo tanto ser la más representativa.

	mM/l	g/l	mM/l	g/l	mM/l	g/l	mM/l	g/l
Glucosa inicial	36,10	6,51	70,60	12,72	122,0	21,98	295,0	53,15
Biomasa	7,05	1,21	10,44	1,80	16,20	2,79	38,85	6,68
Butanol	25,79	1,91	51,80	3,83	86,33	6,39	172,7	12,78
Acetona	9,12	0,53	19,57	1,14	30,22	1,75	115,1	6,68
Acido Acético	29,93	1,77	22,45	1,32	12,95	0,76	10,79	0,64
Acido Butírico	8,80	0,77	4,60	0,40	4,75	0,41	3,60	0,31
CO₂	79,78	3,51	156,0	6,87	269,6	11,86	651,9	28,69
H₂	48,74	0,10	95,31	0,19	164,7	0,33	398,2	0,80

A continuación se muestran cuatro gráficas en las que se representan los datos de la tabla anterior. Cada gráfica corresponde a una concentración inicial de glucosa distinta.

La línea vertical situada a las 24 horas en el eje de tiempo indica hasta cuando dura la fermentación. Esto no quiere decir que la fermentación que se lleva a cabo en el presente Proyecto Fin de Carrera dure 24 horas, sino que la fermentación mostrada en la gráfica con esa concentración inicial de glucosa en concreto dura 24 horas.

En el caso que ocupa al Presente Proyecto Fin de Carrera, la concentración inicial de glucosa es mayor (96 g/L), por lo que el tiempo de fermentación es de 43,5 horas, debido a que los microorganismos tienen que sintetizar mayor cantidad de glucosa. Esto será así, siempre y cuando el aumento en la concentración de glucosa en el medio no afecte a la velocidad de consumo de glucosa y esta velocidad sea igual en los dos casos.



◆ glucosa, ● butanol, ■ acetona, □ ácido acético, ○ ácido butírico, Δ biomasa.

Figura 8.2. Cinética del microorganismo.

Fuente: Kinetic modeling and sensitivity analysis of acetone-butanol-ethanol production. (2007). Shinto, H., Tashiro, Y., Yamashita, M., Kobayashi, G.

Si se supone que el microorganismo se va a comportar de igual modo en las condiciones de operación establecidas en el presente Proyecto Fin de Carrera, es decir, concentración inicial de glucosa de 96 g/L y volumen de fermentación de 350 m³, se obtendrán los siguientes datos:

- Biomasa: 12,07 g/L.
- Butanol: 23,10 g/L.
- Acetona: 12,06 g/L.
- Ácido acético: 1,15 g/L.
- Ácido butírico: 0,57 g/L.
- CO₂: 51,58 g/L.
- H₂: 1,44 g/L.
- Tiempo de fermentación: 43,5 horas.

8.6.2.2. Limitaciones del microorganismo.

La fermentación acetobutílica es una fermentación limitada por la inhibición por los productos. El butanol a través de la acumulación en el medio enlentece y detiene la fermentación, lo cual es algo que no interesa en ningún momento. En este sentido el microorganismo empleado en el presente Proyecto Fin de Carrera es capaz de soportar concentraciones de 18-25 g/l de butanol en el medio de fermentación (QURESHI y BLASCHEK, 2001).

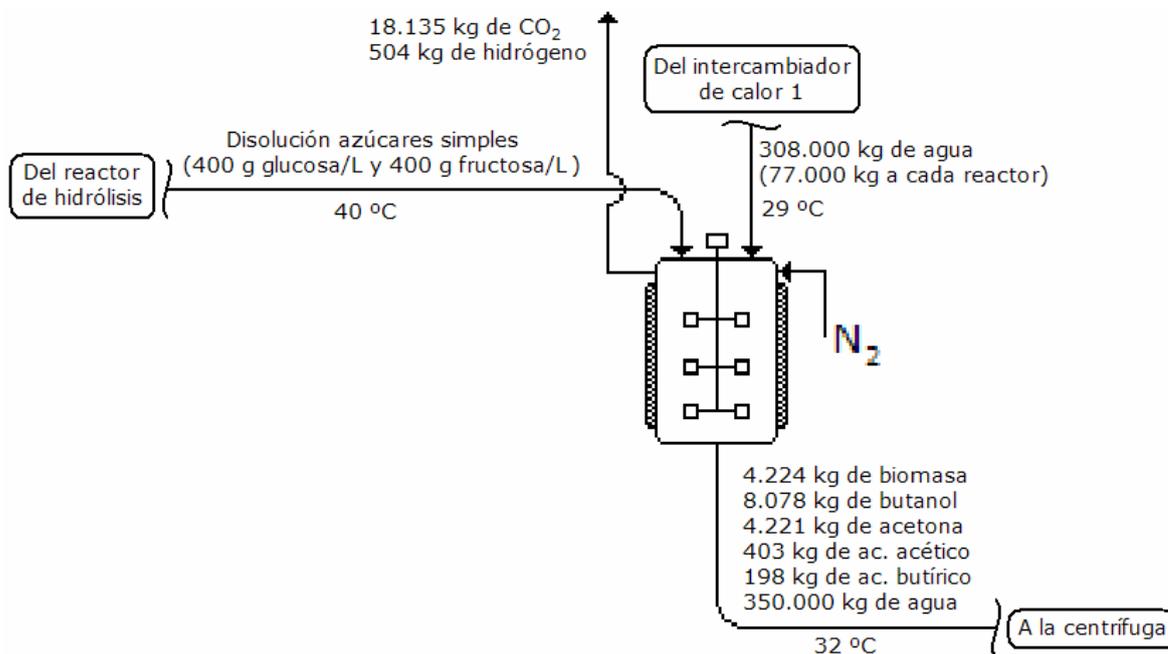
Otra de las limitaciones que presenta el microorganismo es el fenómeno de degeneración, que consiste en una evolución considerada irreversible de la forma clostridiana hacia una degenerada, anesporulada acidogénea y no disolventógena. Se manifiesta a partir de los 10 ciclos, y al cabo de 15 a 18 ciclos, la viabilidad de la cepa ha desaparecido totalmente.

8.6.2.3. Condiciones óptimas de operación.

Las condiciones óptimas a las cuales se va a llevar a cabo la fermentación son las siguientes:

- Temperatura: 32 °C.
- Presión: 1 atmósfera.
- pH: Variará en un rango de 5 a 6,5 en función de la fase en la que se encuentre la fermentación, acidogénesis o solventogénesis.
- Agitación: 72 rpm.
- Aeración: La fermentación se lleva a cabo en condiciones estrictamente anaerobias. Hay que tener en cuenta que antes de introducir los microorganismos, para obtener unas condiciones estrictamente anaerobias, se introducirá nitrógeno gas hasta conseguir dichas condiciones.
- También se añadirá al medio de fermentación antiespumante con el propósito de evitar la formación de espumas que puedan interferir en la fermentación y por lo tanto en la conversión.

8.6.3. Corrientes de la fermentación.



8.6.4. Diseño de los reactores de fermentación.

Debido al enorme volumen de fermentación, éste se va a dividir en cuatro fermentadores exactamente iguales, de manera que el tanque de fermentación que se quiere diseñar tiene un volumen real de 105 m³ y un

volumen de trabajo de 87,5 m³. La forma será cilíndrica, con los fondos toriesféricos. El volumen real del fermentador será un 20% mayor al volumen de trabajo por motivos de sobredimensionamiento y de seguridad, debido a que durante la fermentación se puede formar espumas.

Las dimensiones geométricas del reactor de fermentación serán las siguientes:

- Diámetro interior = 3,6 metros.
- Altura del tanque = 10,3 metros.

8.6.5. Espesores de los reactores de fermentación.

Los espesores se calculan siguiendo las recomendaciones del código americano de diseño ASME, y la metodología de cálculo seguida se puede ver en el Anexo 1. Cálculos justificativos, apartado A1.5.2.

Los espesores obtenidos son:

- Espesor del casco debido al esfuerzo longitudinal: 0,082 in \approx 2,1 mm.
- Espesor del casco debido al esfuerzo circunferencial: 0,164 in \approx 4,2 mm.
- Espesor de los cabezales toriesféricos: 0,052 in \approx 1,3 mm.

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,164 in \approx 4,2 mm.

8.6.6. Agitación de los reactores de fermentación.

El sistema de agitación es necesario para mantener unas características homogéneas en todo el seno del fluido, como por ejemplo la misma temperatura o la misma concentración de nutrientes, y así facilitar la labor de

los microorganismos. Además es importante no originar estrés hidrodinámico a los microorganismos.

El sistema de agitación consta de un eje suspendido y soportado en la parte superior del tanque. Sobre este eje hay instalados tres impulsores de palas planas con seis palas cada uno, los cuales están separados 2,5 metros entre sí, tienen un diámetro de 1,2 metros y un ancho de pala de 0,24 metros. Además la distancia del impulsor inferior al fondo del tanque es de 1,2 metros y la distancia del impulsor superior a la superficie del líquido es de 2,4 metros.

El tanque lleva instaladas cuatro placas deflectoras las cuales tienen un ancho de placa de 0,30 metros y una altura de 10,3 metros.

La velocidad de agitación es de 1,2 rps, o lo que es lo mismo, de 72 rpm. El motor que acciona el eje a esa velocidad tiene una potencia de 47,73 kW.

8.6.7. Refrigeración de los reactores de fermentación.

Los fermentadores tienen instalados una camisa de refrigeración para mantener la temperatura constante en 32 °C, ya que la fermentación en su conjunto es una reacción exotérmica, es decir, genera calor. Como agente refrigerante se utiliza agua de la red que entra a la camisa de refrigeración a una temperatura de unos 15 °C y sale de ella a unos 30 °C. El fluido circula por el interior de la camisa de refrigeración fabricada en acero al carbono y adosada mediante soldadura al cuerpo del mezclador. Esta camisa de refrigeración tiene un área de refrigeración de 97,20 m² y está formada por 172 tubos de media caña con un diámetro nominal de 2 in y un espesor de 0,154 in (3,9 mm). El caudal de agua de refrigeración que circula por el interior de estos tubos es de 1,40 m³/h.

8.6.8. Aislamiento de los reactores de fermentación.

El fermentador se aislará con poliuretano de tipo I, que tiene una densidad 35 kg/m³, espumado “in situ”. La conductividad térmica de este

material es suficientemente pequeña, $k = 0,023 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, como para cumplir a la perfección su cometido. Además, el espesor del recubrimiento de este material será de 15 cm.

Para que el espumado se realice de forma satisfactoria y para proporcionar protección mecánica, se colocará una envoltura de chapa.

8.7. Separación de la biomasa. Centrifugación.

Las centrífugas decantadoras se utilizan para separar dos o más fases de peso específico diferente, es decir, en los procesos de clarificación de un líquido en los que se presentan materiales sólidos en suspensión, como es nuestro caso.

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

Bajo la fuerza centrífuga, el lodo es introducido en la cámara de alimentación a través del tornillo sin fin y es expulsado del cuerpo una vez ya separado. Mientras esto sucede, el lodo es alimentado de forma totalmente continua, circulando a través de todo el tambor gracias a la acción del tornillo para ser expulsado al final del recorrido.

La centrífuga es una unidad de operación automática y trabajo continuo en la que se puede programar su funcionamiento y evitar la intervención de personal en el arranque, el proceso de lavado de la unidad y su parada total a final del proceso.

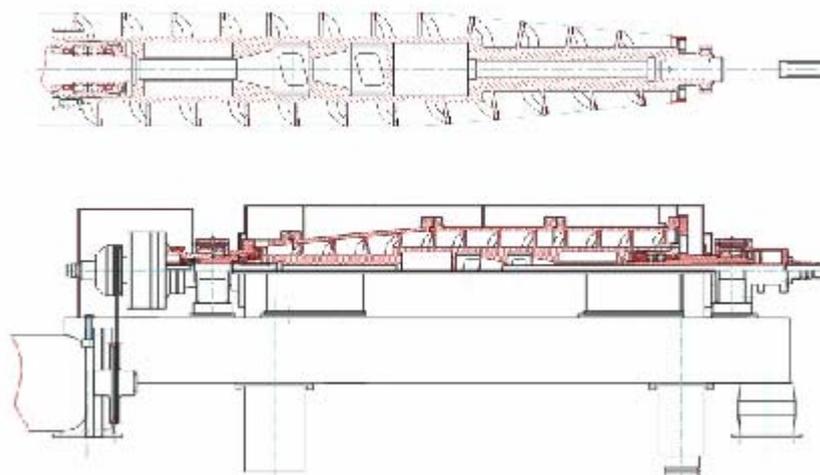
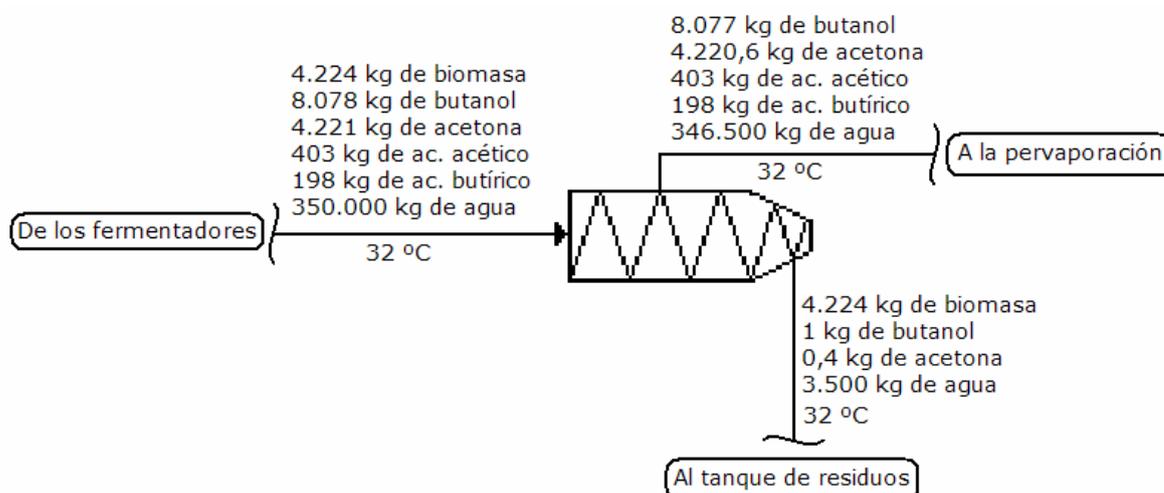


Figura 8.3 Esquema de la centrífuga y del tornillo sin fin.

Fuente: www.ingor.net.

Para ver las características y fotos de la centrífuga vease anexo 6 “Diseño de la centrífuga”.

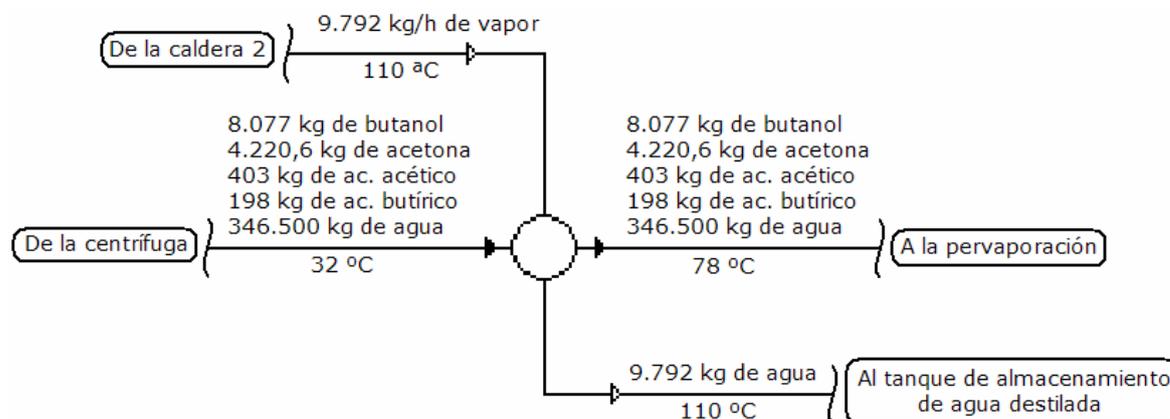
8.7.1. Corrientes de la centrífuga.



8.8. Intercambiador de calor 2.

El intercambiador de calor que se utiliza para calentar la alimentación de la pervaporación de 32 °C a 78 °C es un intercambiador de calor de un paso por carcasa y dos pasos por tubo a contracorriente. Como fluido caliente se

utilizará vapor de agua a 110 °C el cual sale del intercambiador como agua líquida a la misma temperatura, por lo que sólo hay cambio de fase y no de temperatura.



Este intercambiador de calor es muy importante ya que cumple dos funciones fundamentales en la planta de proceso que son, el aumento de la temperatura necesario para acondicionar la alimentación del equipo de pervaporación y a su vez se condensa el vapor de agua producido en la caldera 2 para luego almacenar dicha agua en su correspondiente tanque de almacenamiento.

Debido a que se condensa vapor de agua, este intercambiador de calor se puede considerar un condensador y así ha sido. Según la tabla de coeficientes globales de transmisión de calor que se muestra en el Anexo 7 "Diseño de intercambiadores de calor", se ha tomado un valor del coeficiente global de transmisión de calor del orden de 1.000-4.000 W/m²·K, correspondiente a condensadores de vapor enfriados por agua. Por lo tanto, se puede suponer que el intercambiador tiene un coeficiente global de transmisión de calor de 3.800 W/m²·K. Como consecuencia, el caudal másico de vapor necesario para calentar la corriente de alimentación de la pervaporación es de 9.792 kg/h.

La longitud de los tubos por los que circula la corriente a calentar es de 3 metros y tienen un diámetro de 100 mm. El área de intercambio de calor es de 38,83 m², distribuida en 21 tubos.

8.9. Equipos para la separación y purificación de los productos obtenidos en la fermentación acetobutílica.

8.9.1. Sistema de pervaporación.

El sistema de pervaporación consistirá en 127 tubos de 10 metros de longitud y 50 mm de diámetro dispuestos de forma radial (vease la figura que se muestra a continuación) por los que circula el fluido. En el interior de estos tubos la presión es de 1 atmósfera, mientras que en el exterior de estos tubos pero dentro de la carcasa se hace el vacío. Este vacío es necesario para forzar el líquido a que pase a través de la membrana.

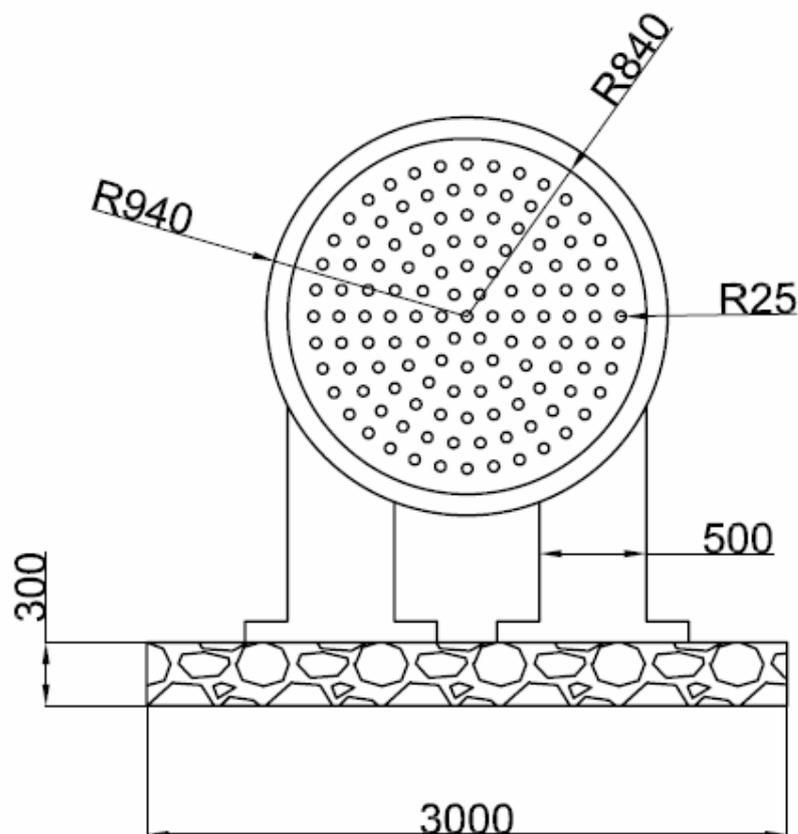
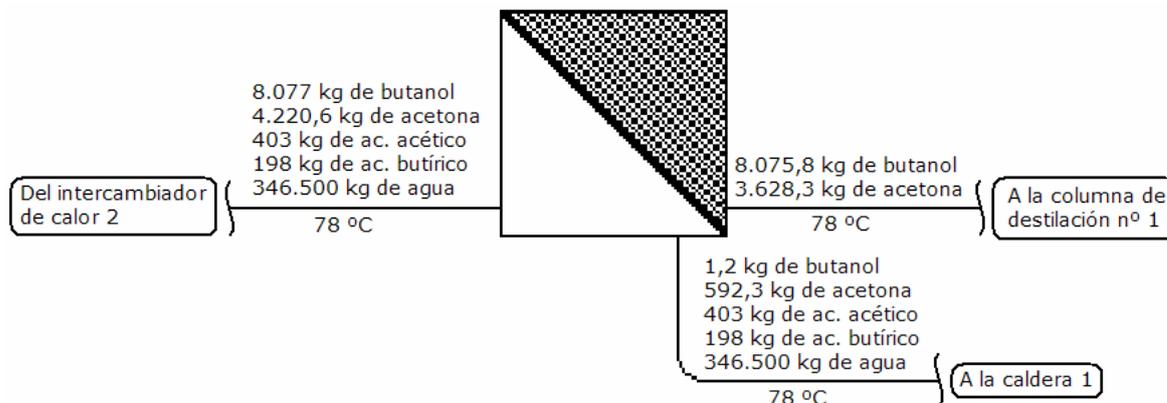


Figura 8.4. Sección transversal del sistema de pervaporación.

8.9.1.1. Corrientes del sistema de pervaporación.



8.9.1.2. Diseño de la pervaporación.

Las características del sistema de pervaporación son las siguientes:

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE PERVAPORACIÓN	
Diámetro de la carcasa (m)	1,68
Longitud de la carcasa (m)	11
Diámetro de los tubos (m)	0,05
Longitud de los tubos (m)	10
Número de tubos	127
Superficie de un tubo (m ²)	1,57
Superficie total de los tubos (m ²)	199,39
Superficie efectiva de la membrana (m ²)	54.118,0
Factor de pérdida de superficie específica	0,01
Cantidad de silicalita necesaria (kg)	15,551

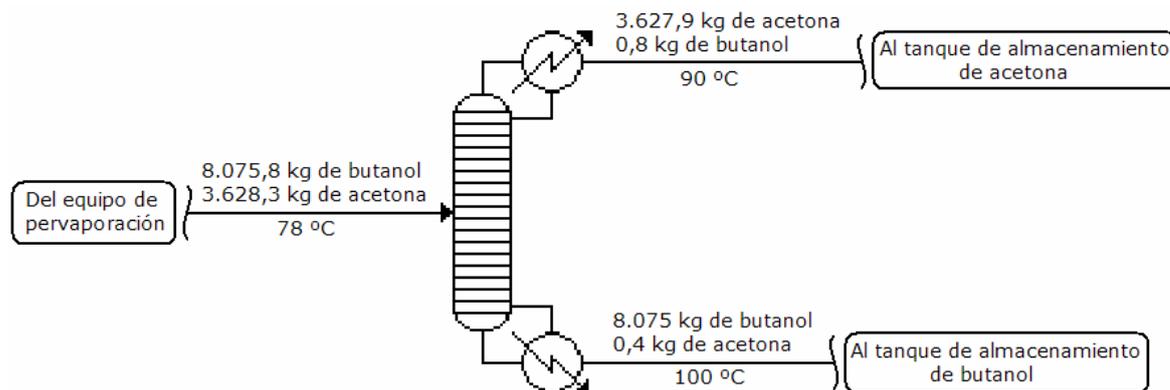
8.9.2. Columnas de destilación.

Las características de las columnas de destilación se han obtenido mediante simulación con el programa SuperPro Designer 3.10 (Academic Versión), el cual usa para los cálculos un modelo que emplea los métodos rápidos de Fenske, Gilliland y Underwood.

Todas las columnas de destilación se construirán en acero inoxidable AISI 316L.

8.9.2.1. Columna de destilación nº 1.

8.9.2.1.1. Corrientes de la columna de destilación.



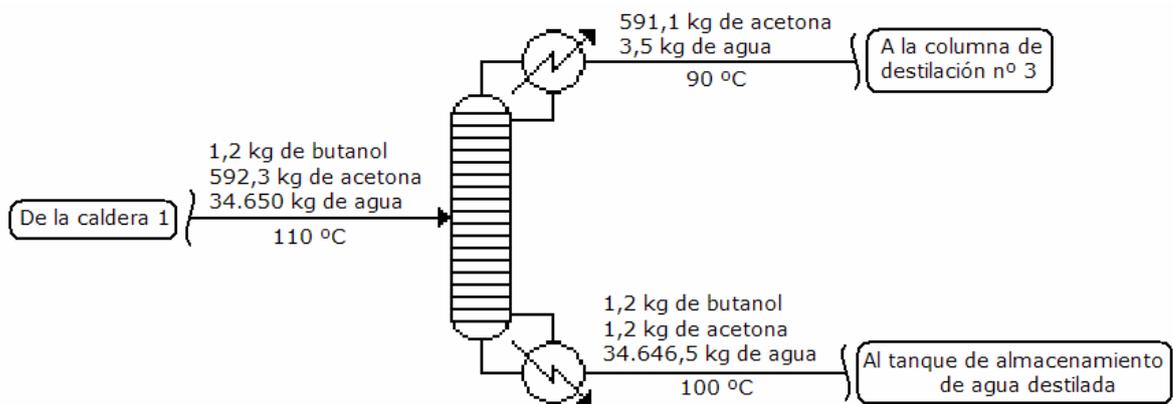
8.9.2.1.2. Diseño de la columna de destilación.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 1	
Diámetro de la columna (m)	2,36
Altura de la columna (m)	18,00
Distancia entre platos (m)	0,60
Número de platos	30
Eficiencia de los platos (%)	80
Relación R/R_{min}	1,240
Presión de trabajo (bar)	1,030
Presión de diseño (bar)	1,500
ESPESORES DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 1	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,054
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,108
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,034

Se tomará un espesor único en la totalidad de la columna de destilación, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,108 in \approx 2,7 mm.

8.9.2.2. Columna de destilación n° 2.

8.9.2.2.1. Corrientes de la columna de destilación.



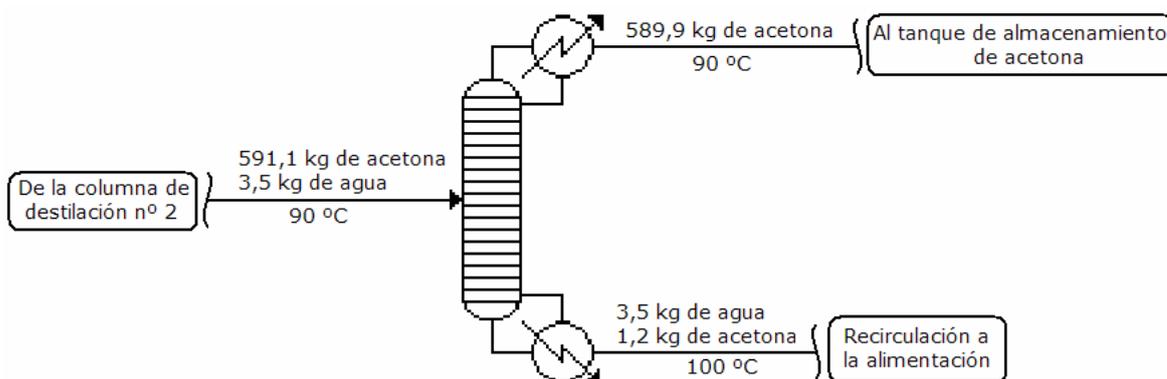
8.9.2.2.2. Diseño de la columna de destilación.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN N° 2	
Diámetro de la columna (m)	2,20
Altura de la columna (m)	16,80
Distancia entre platos (m)	0,60
Número de platos	28
Eficiencia de los platos (%)	80
Relación R/R_{\min}	1,250
Presión de trabajo (bar)	1,030
Presión de diseño (bar)	1,500
ESPEORES DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN N° 2	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,050
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,101
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,032

Se tomará un espesor único en la totalidad de la columna de destilación, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,101 in \approx 2,6 mm.

8.9.2.3. Columna de destilación n° 3.

8.9.2.3.1. Corrientes de la columna de destilación.



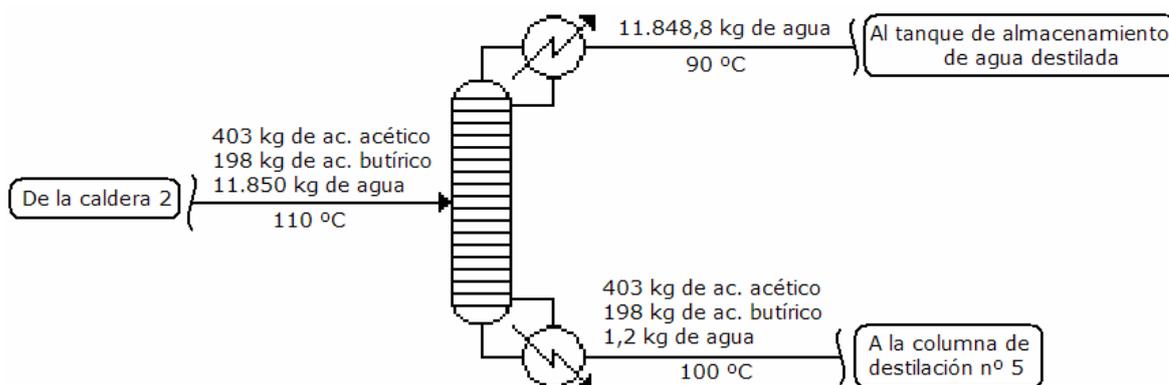
8.9.2.3.2. Diseño de la columna de destilación.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN N° 3	
Diámetro de la columna (m)	2,80
Altura de la columna (m)	21,60
Distancia entre platos (m)	0,60
Número de platos	36
Eficiencia de los platos (%)	80
Relación R/R_{\min}	1,330
Presión de trabajo (bar)	1,030
Presión de diseño (bar)	1,500
ESPEORES DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN N° 3	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,064
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,128
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,040

Se tomará un espesor único en la totalidad de la columna de destilación, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,128 in \approx 3,6 mm.

8.9.2.4. Columna de destilación nº 4.

8.9.2.4.1. Corrientes de la columna de destilación.



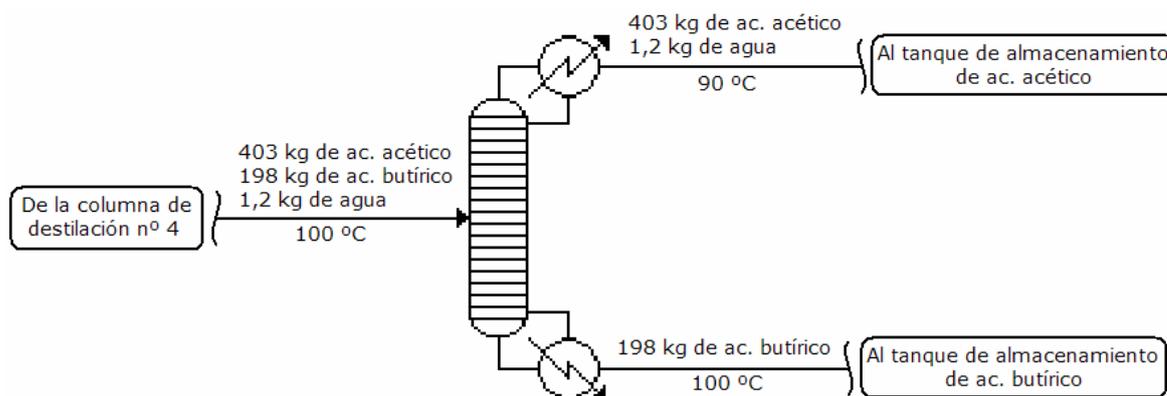
8.9.2.4.2. Diseño de la columna de destilación.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 4	
Diámetro de la columna (m)	2,50
Altura de la columna (m)	19,20
Distancia entre platos (m)	0,60
Número de platos	32
Eficiencia de los platos (%)	80
Relación R/R_{\min}	1,210
Presión de trabajo (bar)	1,030
Presión de diseño (bar)	1,500
ESPESORES DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 4	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,057
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,114
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,036

Se tomará un espesor único en la totalidad de la columna de destilación, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,114 in \approx 2,9 mm.

8.9.2.3. Columna de destilación nº 5.

8.9.2.3.1. Corrientes de la columna de destilación.



8.9.2.3.2. Diseño de la columna de destilación.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 5	
Diámetro de la columna (m)	2,20
Altura de la columna (m)	16,80
Distancia entre platos (m)	0,60
Número de platos	28
Eficiencia de los platos (%)	80
Relación R/R_{min}	1,210
Presión de trabajo (bar)	1,030
Presión de diseño (bar)	1,500
ESPEORES DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 5	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,050
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,101
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,032

Se tomará un espesor único en la totalidad de la columna de destilación, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,101 in \approx 2,6 mm.

8.10. Calderas.

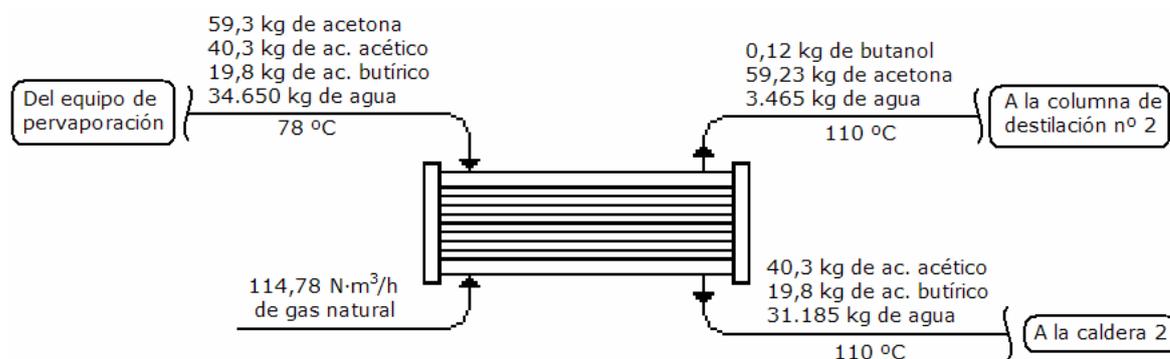
Las dos calderas, tanto la caldera 1 como la 2, son exactamente iguales. Las especificaciones técnicas de la caldera se pueden ver en el anexo 9 “Diseño de las calderas”.

Las calderas utilizadas son calderas pirotubulares, es decir, el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente, y es atravesado por tubos por los cuales circula fuego y gases producto de un proceso de combustión.

El objetivo de estas calderas no es más que evaporar el agua que se encuentra en una disolución, para hacerla más concentrada y por tanto facilitar la purificación de los productos que se encuentran en ella, y asimismo aprovechar el vapor generado para autoabastecer los intercambiadores de calor instalados en la planta de proceso.

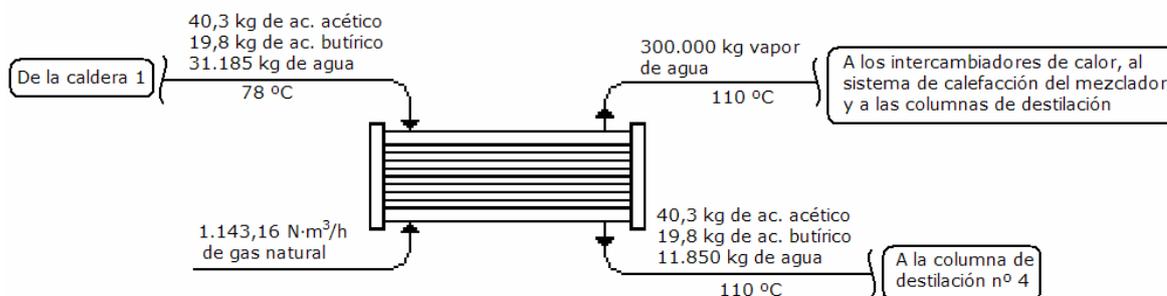
8.10.1. Caldera 1.

8.10.1.1. Corrientes de la caldera.



8.10.2. Caldera 2.

8.10.2.1. Corrientes de la caldera.



8.11. Tanques de almacenamiento de los productos purificados.

Los tanques de almacenamiento serán de forma cilíndrica, con los fondos toriesféricos. El volumen real de los tanques de almacenamientos será un 20% superior al volumen de trabajo por motivos de seguridad y sobredimensionamiento.

Todos los tanques de almacenamiento se construirán en acero inoxidable AISI 316L.

Los espesores se calculan siguiendo las recomendaciones del código americano de diseño ASME, y la metodología de cálculo seguida se puede ver en el Anexo 1. Cálculos justificativos, apartado A1.5.2.

8.11.1. Tanque de almacenamiento del biobutanol.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TANQUES	
Volumen de real (m ³)	85,0
Volumen de trabajo (m ³)	70,7
Diámetro del tanque (m)	3,4
Altura del tanque (m)	9,4

ESPEORES DE LOS TANQUES	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,077
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,155
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,049

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,155 in \approx 3,9 mm.

8.11.2. Tanque de almacenamiento de la acetona.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TANQUES	
Volumen de real (m ³)	45,0
Volumen de trabajo (m ³)	37,0
Diámetro del tanque (m)	2,8
Altura del tanque (m)	7,3
ESPEORES DE LOS TANQUES	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,064
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,128
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,040

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,128 in \approx 3,3 mm.

8.11.3. Tanque de almacenamiento del ácido acético.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TANQUES	
Volumen de real (m ³)	7,0
Volumen de trabajo (m ³)	5,0
Diámetro del tanque (m)	1,5
Altura del tanque (m)	4,0

ESPEORES DE LOS TANQUES	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,034
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,069
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,022

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,069 in \approx 1,8 mm.

8.11.4. Tanque de almacenamiento del ácido butírico.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TANQUES	
Volumen de real (m ³)	7,0
Volumen de trabajo (m ³)	5,0
Diámetro del tanque (m)	1,5
Altura del tanque (m)	4,0
ESPEORES DE LOS TANQUES	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,034
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,069
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,022

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,69 in \approx 1,8 mm.

8.11.5. Tanque de almacenamiento del agua destilada.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TANQUES	
Volumen de real (m ³)	105,0
Volumen de trabajo (m ³)	87,0
Diámetro del tanque (m)	3,6
Altura del tanque (m)	10,3

ESPESORES DE LOS TANQUES	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,082
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,164
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,052

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,164 in \approx 4,2 mm.

8.11.5. Tanque de biomasa procedente de la fermentación.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TANQUES	
Volumen de real (m ³)	30,0
Volumen de trabajo (m ³)	24,5
Diámetro del tanque (m)	2,5
Altura del tanque (m)	6,1
ESPESORES DE LOS TANQUES	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,057
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,114
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,036

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,114 in \approx 2,9 mm.

8.12. Tanques pulmón.

Los tanques pulmón serán de forma cilíndrica, con los fondos toriesféricos. El volumen real de los tanques pulmón será un 20% superior al volumen de trabajo por motivos de seguridad y sobredimensionamiento.

Todos los tanques pulmón se construirán en acero inoxidable AISI 316L.

Los espesores se calculan siguiendo las recomendaciones del código americano de diseño ASME, y la metodología de cálculo seguida se puede ver en el Anexo 1. Cálculos justificativos, apartado A1.5.2.

8.12.1. Tanque pulmón 1.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TANQUES	
Volumen de real (m ³)	90,0
Volumen de trabajo (m ³)	73,2
Diámetro del tanque (m)	3,5
Altura del tanque (m)	8,9
ESPEORES DE LOS TANQUES	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,080
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,160
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,050

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,160 in \approx 4,1 mm.

8.12.2. Tanque pulmón 2.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TANQUES	
Volumen de real (m ³)	250,0
Volumen de trabajo (m ³)	210,0
Diámetro del tanque (m)	5,0
Altura del tanque (m)	12,8
ESPEORES DE LOS TANQUES	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,114
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,228
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,072

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,219 in \approx 5,6 mm.

8.12.3. Tanque del pulmón 3.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TANQUES	
Volumen de real (m ³)	125,6
Volumen de trabajo (m ³)	103,7
Diámetro del tanque (m)	4,0
Altura del tanque (m)	10,2
ESPEORES DE LOS TANQUES	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,091
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,183
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,057

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,183 in \approx 4,6 mm.

8.12.4. Tanque de pulmón 4.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TANQUES	
Volumen de real (m ³)	85,0
Volumen de trabajo (m ³)	70,8
Diámetro del tanque (m)	3,4
Altura del tanque (m)	9,4
ESPEORES DE LOS TANQUES	
Espesor debido al esfuerzo longitudinal (in)	0,077
Espesor debido al esfuerzo circunferencial (in)	0,155
Espesor de los cabezales toriesféricos (in)	0,049

Se tomará un espesor único en la totalidad del tanque, por lo que, tomando la situación más desfavorable, los fermentadores tendrán un espesor de pared de 0,155 in \approx 3,9 mm.

8.13. Red de tuberías y equipos de bombeo.

En la planta de proceso se diseñará un sistema de red de tuberías que permita el transporte de las diferentes corrientes a lo largo de las distintas etapas de obtención del biobutanol.

Los componentes que forman parte de un sistema de red de tuberías pueden agruparse en cuatro grandes familias que son:

- Tuberías.
- Accesorios.
- Bridas.
- Válvulas.

El simple examen de un diagrama de flujo de un proceso deja presentir la importancia que tendrán los anteriores elementos en la construcción de una planta como la que se describe en el presente Proyecto Fin de Carrera. El paso del esquema a la realidad ofrece una gran variedad de problemas, ya que existen diversas soluciones técnicas, con diferentes ventajas a lo referente a las pérdidas de energía, duración del material, facilidad de utilización y precio.

Los sistemas de red de tuberías representan, aproximadamente, un tercio del coste del material en una planta de proceso, requieren de un 30% a un 40% del trabajo de montaje, consumen del 40% al 48% de las horas de ingeniería y ocupan el 60% del volumen del material.

El material usado para el diseño y la construcción del sistema de red de tuberías es acero al carbono.

Las características más importantes del acero al carbono a efectos de su utilización en “piping” son: resistencia a altas temperaturas, resistencia al choque, resiliencia, tenacidad, maquinabilidad, y sobre todas, el ser forjable y soldabilidad.

La longitud de tramo recto de tubería empleado para la red de tuberías de la planta de proceso es de aproximadamente 2.000 metros, o lo que es lo mismo, de 2 kilómetros.

8.13.1. Válvulas.

Las válvulas son elementos que estando instalados en un sistema de red de tuberías pueden realizar algunas de las siguientes funciones:

- Impedir parcial o totalmente la circulación de un fluido por una tubería, o bien permitirla sin oponer ningún obstáculo.
- Variar la pérdida de carga que sufre un fluido al atravesar la válvula con lo cual se puede regular el caudal que circula por la tubería.
- Permitir la circulación de un fluido a través de la válvula en un único sentido.
- Permitir el paso de un fluido a través de la válvula, únicamente cuando la diferencia de presión a un lado y a otro de la misma, sobrepasa un cierto valor previamente establecido.
- Permitir el paso de un fluido a través de la válvula, cuando dicho fluido se presenta en forma líquida, pero no si se presente en forma gas o vapor o viceversa.

8.13.1.1. Tipos de válvulas.

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

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

- Válvulas de regulación.

8.13.1.1.1. Válvulas de corte de flujo.

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

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

- De compuerta.
- De retención.
- De bola.
- Tronco-cónica.
- De mariposa.

Válvula de compuerta.

El órgano de cierre es un disco perpendicular a la dirección del flujo, que se mueve verticalmente, sin girar, bajo la acción del husillo. El disco tiene forma de cuña y se adapta a un asiento que tiene la misma forma. Cuando se abre la válvula el disco se eleva hasta que queda completamente fuera de la trayectoria del fluido, por lo que cuando está totalmente abierta, deja una sección de paso igual a la de la tubería, y no se produce variación en la dirección del flujo. Son adecuadas para abrir o cerrar completamente la conducción.

Válvula de retención.

Sólo permiten el paso de fluido en un único sentido. Se abren debido a la presión del fluido que circula en un determinado sentido, cuando se detiene

el flujo o tiende a invertirse, la válvula cierra automáticamente por gravedad o por medio de un resorte que presiona la pieza móvil.

Válvulas de bola o troncocónicas.

El órgano de cierre es una bola o un tronco de cono, respectivamente, con una perforación diametral de igual sección que la de la tubería. El movimiento completo de accionamiento de la válvula es $\frac{1}{4}$ de vuelta, con el que pasan de estar totalmente cerradas a totalmente abiertas. En esta última posición, como ocurría con las válvulas de compuerta, la pérdida de presión es muy pequeña, y no hay alteración en la dirección del flujo.

Válvulas de mariposa.

El órgano de cierre es un disco de igual sección que la tubería, que gira alrededor de su diámetro horizontal, o vertical, accionado por un eje solidario que sale al exterior. Cuando está totalmente abierta, el disco queda en medio de la conducción, paralelamente al flujo del fluido. Cuando está medio cerrada, la presión del fluido sobre el disco tiende a cerrarla del todo.

8.13.1.1.2. Válvulas de regulación.

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

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

Válvulas de asiento y de aguja.

Son las válvulas por excelencia para la regulación del caudal. En las válvulas de asiento el órgano de cierre es un asiento troncocónico o semiesférico, mientras que en las válvulas de aguja es una aguja cónica. En cualquier caso, tanto el asiento como la aguja hacen de cierre apoyándose sobre una base fija en forma de silla apoyada en el interior de la conducción.

Válvulas de diafragma.

Constan de una membrana accionada exteriormente por un eje móvil, que la desplaza hasta producir el cierre total al entrar en contacto con un saliente de la pared interna de la tubería. La membrana suele ser de un material elástico, como caucho, plástico, neopreno, etc., y presenta los inconvenientes de tener una duración limitada y resistir presiones no muy grandes. Son especialmente adecuadas para controlar el caudal de los fluidos con sólidos en suspensión, pudiéndose instalar en cualquier posición.

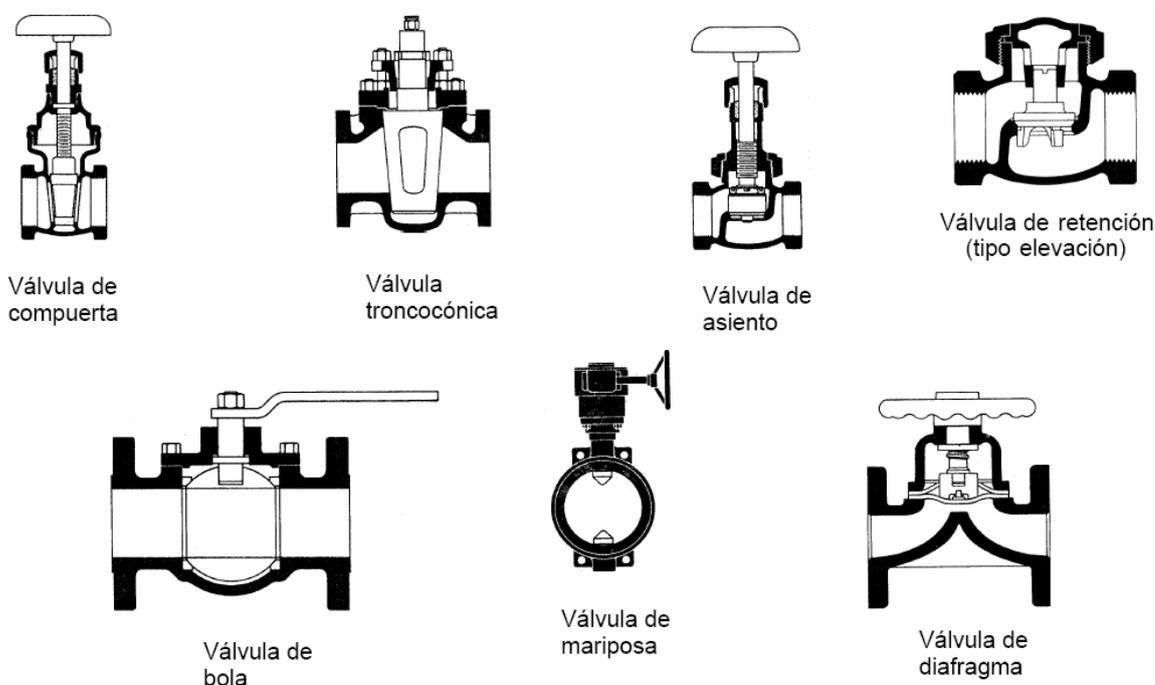


Figura 8.5. Tipos de válvulas.

En la planta de proceso se va a utilizar principalmente válvulas de corte de flujo y dentro de estas válvulas de compuerta. El número de válvulas empleadas y distribuidas por toda la red de tuberías es de unas 165.

8.13.2. Accesorios.

Los fluidos que circulan por las conducciones con frecuencia han de cambiar de dirección, sufrir estrechamientos, ensanchamientos, ramificaciones, etc. Para ello, existen accesorios de las conducciones de muy diversas clases, cuyos diámetros y roscas coinciden con los nominales de las tuberías comerciales. En general, las roscas pueden ser macho o hembra, pudiendo existir accesorios cuyas dos roscas presenten cualquier posible combinación: doble macho, macho-hembra, doble hembra.

8.13.2.1. Tipos de accesorios.

Ramificaciones (tes y crucetas).

Pueden tener tres o cuatro salidas, en un mismo plano o en planos diferentes. También pueden tener alguna salida de tamaño diferente a las otras (ramificación con reducción, etc). Se utilizan para separar una corriente en varias, o para juntar dos corrientes en una tercera, etc.

Codos.

Son accesorios para cambiar de dirección la tubería. Se fabrican de 45 o 90°, con radios pequeños, medio o grande. Al igual que en las ramificaciones pueden darse codos con reducción simultánea. Tanto unos como otros presentan generalmente escasa pérdida de carga.

Manguitos.

Sirven para unir dos tramos rectos de tubería. Según sean las roscas de sus extremos pueden ser doble hembra, doble macho, macho- hembra y con reducción.

En la planta de proceso dentro de la red de tuberías se instalarán codos y tes principalmente para los cambios de dirección del fluido. El número de codos y tes empleados en la planta de proceso y distribuidos por toda la red de tuberías es de unos 150 y 35 respectivamente.

8.13.3. Bombas.

El objeto del bombeo de cualquier fluido es transportarlo de un punto más bajo a otro más alto, venciendo presiones, resistencias en las conducciones y desniveles, mediante una máquina que llamaremos bomba.

Los aparatos dedicados a la impulsión de líquidos se denominan bombas. La selección y aplicación adecuadas de las bombas requiere una comprensión de sus características de funcionamiento y usos típicos.

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

- La naturaleza del líquido que se va a bombear.
- La capacidad requerida, caudal volumétrico.
- La carga total de la bomba.
- El tipo de fuente de alimentación, motor eléctrico, motor diesel.
- Coste de la bomba, de su instalación, de operación y mantenimiento.
- Y otros factores como: códigos y estándares que rigen a las bombas, condiciones en el lado de la succión y en el lado de la descarga de la bomba, limitaciones de espacio, peso y posición y condiciones ambientales.

8.13.3.1. Tipos de bombas.

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

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

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

8.13.3.1.1. Bombas de desplazamiento positivo.

En estas bombas, en la admisión el líquido es confinado en un cierto espacio de la bomba, donde se le comunica la energía, siendo desplazado a continuación a la zona de expulsión. Este tipo de bombas proporciona una cantidad de líquido constante en cada embolada o revolución de la parte móvil, sin que el líquido pueda circular libremente a través del cuerpo de la bomba.

En este tipo de bombas, al ser constante el caudal de líquido en cada embolada y trabajar el motor a velocidad constante, el caudal de salida dependerá solamente del tamaño de la bomba, su diseño, y las condiciones de succión.

Según el mecanismo de impulsión del líquido se dividen en:

- Bombas alternativas o reciprocantes.
 - De émbolo.
 - De pistón.
 - De diafragma.
- Bombas rotatorias.
 - De ruedas dentadas.
 - De lóbulos.

- De ruedas excéntricas.
- De paletas.
- De tornillo.
- De hélice salomónica.
- Peristálticas.

8.13.3.1.2. Bombas centrífugas.

Las bombas centrífugas son las más utilizadas debido a sus ventajas: gran versatilidad, bajo coste, fácil diseño, operación y mantenimiento.

Una bomba centrífuga consta de una tubería de aspiración, otra de impulsión y una carcasa, llamada cuerpo o cubierta, dentro de la que se encuentran uno o varios rodetes o impulsores enchavetados o atornillados al eje de la bomba y que giran movidos por un elemento accionador, normalmente un motor eléctrico, una turbina de vapor o un motor de combustión.

En el impulsor la energía mecánica del eje de accionamiento se transforma en energía hidráulica o del líquido en forma de energía de presión y energía de velocidad.

El líquido es aspirado por el centro del rodete y debido a la rotación de este, obliga a acompañar a los alabes en su movimiento. Al llegar al extremo del alabe, el líquido es despedido tangencialmente a estos. Tenemos por tanto, que al líquido se le ha suministrado energía de velocidad o cinética.

A esta velocidad el líquido tiende a salir de la bomba. El cuerpo de la misma conduce este líquido hacia la salida. La energía de velocidad se convierte entonces en energía de presión por medio de la forma de voluta o por medio de un conjunto de paletas difusoras estacionarias que rodean la periferia del rodete o impulsor. En ambos casos lo que se pretende es darle una salida de sección gradualmente creciente al agua para disminuir la velocidad y consecuentemente aumentar la presión.

El líquido, al girar de la bomba, recibe una velocidad que es combinación de dos velocidades. Por un lado, el líquido sufre un aumento de velocidad relativa producida en su movimiento por el alabe y por otro lado un aumento de velocidad centrífuga tangencial debida al giro.

Como la velocidad total de salida del líquido por el extremo del alabe es la suma de estas dos velocidades citadas, podemos observar que para aumentar el caudal suministrado por la bomba, o lo que es lo mismo, la velocidad de salida del líquido se puede hacer dos cosas:

- Aumentar la velocidad de rotación del accionador. Si se aumenta la velocidad de giro de la bomba, aumenta la velocidad centrífuga y entonces aumenta el caudal.
- Aumentar el diámetro del impulsor. Si se aumenta el diámetro, aumenta la velocidad tangencial.

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

En la planta de proceso para impulsar los fluidos se utilizarán bombas centrífugas, distribuidas por toda la planta habrá un total de 35 bombas, además de estas 35 bombas se tendrá un cierto número más por si se estropease alguna.

8.13.3.2. Cavitación.

La cavitación es un fenómeno que se produce siempre que la presión en algún punto de un líquido desciende por debajo de un valor admisible. Este

valor es la presión de vapor que es la presión a la que un líquido se evapora, a una temperatura determinada.

En el caso de una bomba, si la presión en la aspiración es menor que la presión de vaporización, parte del agua que se aspira se evapora produciéndose burbujas de vapor, que son arrastradas por el líquido llegando a las zonas de descarga, donde hay presión alta y se produce una condensación violenta del vapor de nuevo al estado líquido con una reducción brusca de volumen y con una elevación local de la presión que produce un impacto brusco en el contorno.

Cuando existe el fenómeno de cavitación en las bombas, los rodets quedan como carcomidos, como erosionados, y se escucha un ruido muy característico.

La presión crítica para la que aparece la cavitación depende de numerosos factores como la naturaleza del líquido, la temperatura o las presiones entre otros.

Los efectos de la cavitación son:

- Pérdidas del control entregado por la bomba. Pérdida de rendimiento.
- Ruido.
- Vibraciones.
- Descebado.
- Calentamientos.
- Erosiones en el impulsor.
- Golpes de ariete.
- Desalineaciones bomba-motor.

Para evitar los efectos de la cavitación será conveniente lo siguiente:

- Disminuir la longitud de la tubería de aspiración, si se puede.

- Aumentar el diámetro de la tubería de aspiración.
- Reducir codos y formas bruscas en la aspiración.
- Quitar reducciones de paso de líquido.
- Disminuir la viscosidad del fluido a trasegar.
- Evitar temperatura alta del fluido a trasegar.
- Por supuesto, abrir totalmente la válvula de aspiración.
- Cerrar parcialmente la válvula de impulsión.
- Bajar las revoluciones de la bomba.
- Tornear el impulsor.

Concepto de NPSH.

En la aspiración de la bomba nunca la presión debe estar por debajo de la presión de vapor para evitar que se produzca cavitación.

La energía disponible para que el agua circule por la tubería de aspiración y que entre a la bomba es siempre la altura de aspiración menos la presión de vapor a la temperatura de bombeo, de acuerdo con lo dicho en el párrafo anterior, y suele expresarse en metros de columna de líquido. Este concepto es lo que se llama NPSH, altura de aspiración neta positiva.

Puede interpretarse como la altura de equilibrio de presión que nos dice cuantos metros debe tener la altura de presión en la línea de aspiración por encima de la presión de vapor del líquido para que no pueda producirse la vaporización del mismo, asegurándose así el perfecto trabajo de la bomba.

El concepto de NPSH se expresa en metros. Distinguimos dos NPSH diferentes:

- NPSH_r o requerido: es el valor mínimo de la presión a la que puede funcionar la bomba sin cavitación. Esto es un dato característico de cada bomba, de su proyecto y lo suministra el fabricante, que lo obtienen por ensayos.

- NPSH_d o disponible: es la energía que tiene un líquido en la toma de aspiración de la bomba, independientemente del tipo de esta, por encima de la energía del líquido, debido a su presión de vapor. Es un dato que depende de la instalación de la bomba y es por tanto calculable.

Para que no exista cavitación y la bomba funcione correctamente ha de cumplirse que el NPSH disponible en la instalación sea igual o mayor que el NPSH requerido por la bomba.

$$\text{NPSH}_d \geq \text{NPSH}_r$$

8.14. Instrumentación de control.

En la planta de proceso se van a distribuir diferentes tipos de sensores para el control de las variables que influyen en el proceso de obtención de biobutanol. Estas variables a controlar son: la presión y temperatura de los diferentes equipos, el nivel de todos los tanques, el pH en el proceso de fermentación y el caudal entre otras.

8.15. Control en la planta de proceso.

Las estructuras de control implementadas normalmente en la industria se componen de dos áreas bien definidas, por un lado la parte operativa y por otro la parte de control.

En la parte operativa se encuentran los dispositivos de hardware y software que brindan la información necesaria para llevar a cabo las operaciones de planta necesarias, con una interfase amigable y entendible para el operador.

En la parte de control se encuentran los dispositivos de control, PLC's, DCP's y/o PC industriales, que permiten llevar a cabo las acciones de control en conjunto con los actuadores. Entre todos estos dispositivos hay

comunicación vertical, desde la parte de control hacia la operativa y viceversa, y comunicaciones horizontales, entre distintos dispositivos de control.

8.15.1. Sistema de control.

Todo el proceso de la planta diseñada estará regulado por un ordenador principal, el cual procesará todas las mediciones realizadas por los distintos sensores que se encuentran en la planta de proceso.

Estará ubicado en la sala de control dentro de un armario eléctrico estanco, ignífugo, y dispondrá en la puerta de este armario de una pantalla táctil con cuadro sinóptico y varias subpantallas a las que podrá acceder fácilmente el responsable de la planta.

El programa permitirá modificar, tras introducir una clave restringida, datos o parámetros de las fórmulas y de las relaciones matemáticas con las que trabaja el programa, tiempos, consumos, etc.

Este centro de control electrónico, contendrá todos los elementos necesarios para el control del proceso: para pHmetro, para sensores de temperatura y presión, para sensores de nivel y luminosidad, etc., de manera que el sistema disponga de todos los datos imprescindibles para el control del proceso, ordenando el paro de los elementos eléctricos de control de todos los motores que se encuentran en el cuadro eléctrico cuando se detecte una anomalía productiva: fusibles, contactores, magnetotérmicos, diferenciales, relés, variadores de frecuencia, etc.

El cableado, desde la salida del cuadro eléctrico hasta las cajas de distribución eléctricas y desde estas hasta los puntos de consumo, cumplirá los requisitos según la normativa eléctrica en ambientes peligrosos y explosivos.

El autómata estará programado para que haga su trabajo en secuencia manual o en automático. El sistema normal de trabajo es en automático, ya

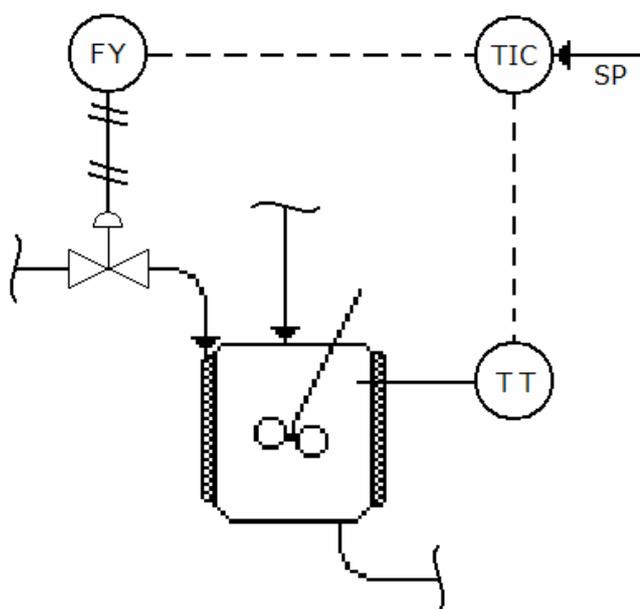
que el manual sólo debe utilizarse para efectuar simulaciones de trabajo y comprobación de funcionamiento de determinados elementos.

8.15.2. Control básico de las unidades principales.

8.15.2.1. Mezclador.

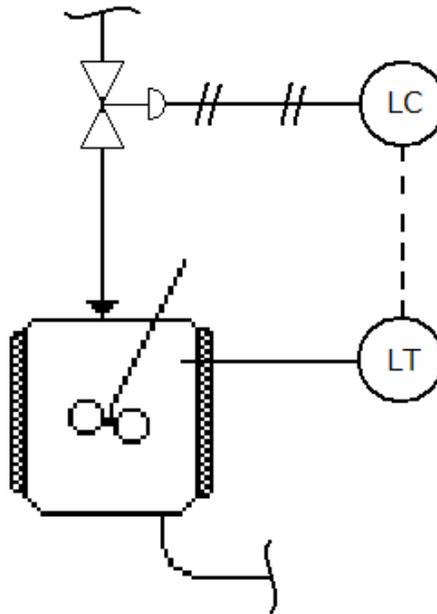
Control de la temperatura.

El sistema de control de la temperatura toma datos constantes de temperatura que son visualizados en un indicador LED de 3 dígitos. En caso de que la temperatura se saliese del rango impuesto, se produciría una de estas acciones. Si la temperatura sobrepasa el límite superior, el caudal de calefacción se disminuiría mediante el cierre parcial de una válvula neumática. Si la temperatura sobrepasa el límite inferior el caudal de calefacción aumentaría mediante la apertura parcial de la válvula neumática.



Control del nivel.

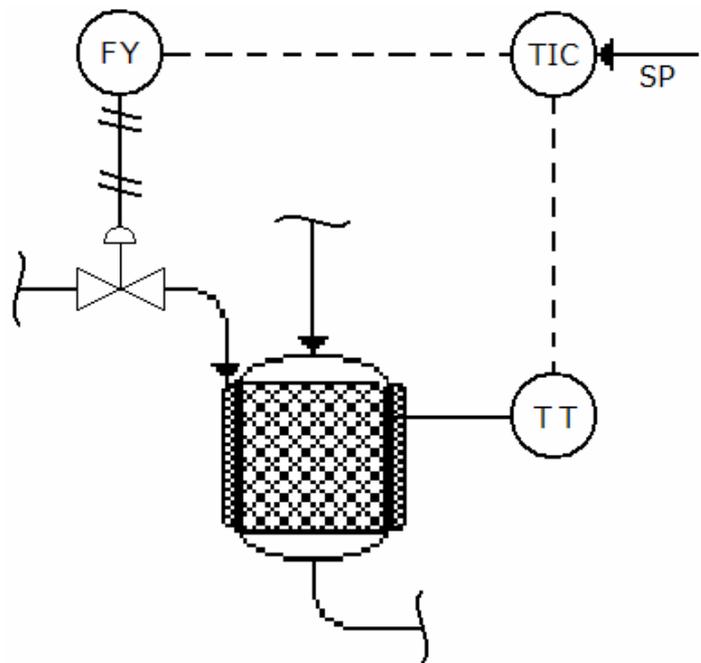
El sensor de nivel incide hasta donde debe de llegar el nivel de agua. La manera de actuar es la siguiente, cuando el nivel de agua llega al sensor de nivel, este manda una señal a la válvula neumática que se cierra automáticamente, de manera que no entra más agua en el mezclador. Se trata de un control en lazo cerrado.



8.15.2.2. Reactor de hidrólisis.

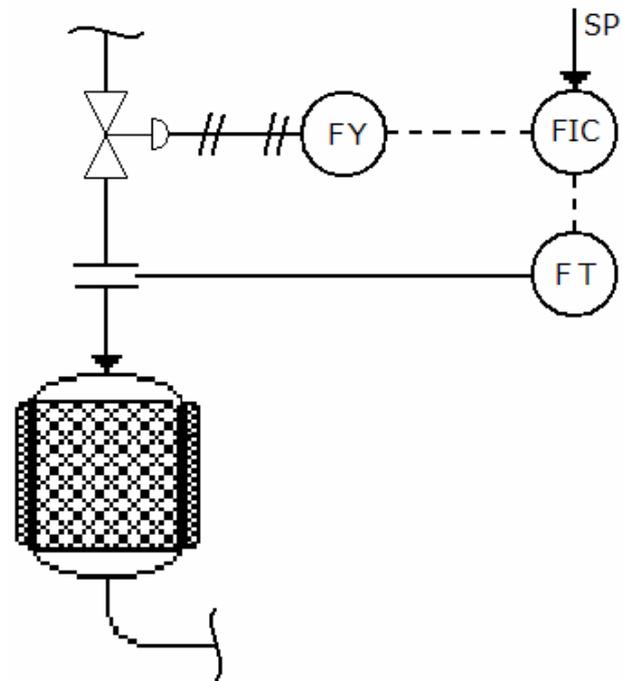
Control de la temperatura.

El sistema de control de la temperatura toma datos constantes de temperatura que son visualizados en un indicador LED de 3 dígitos. En caso de que la temperatura se saliese del rango impuesto, se produciría una de estas acciones. Si la temperatura sobrepasa el límite superior, el caudal de refrigeración se aumentaría mediante la apertura parcial de una válvula neumática. Si la temperatura sobrepasa el límite inferior el caudal de refrigeración disminuiría mediante el cierre parcial de la válvula neumática.



Control del caudal.

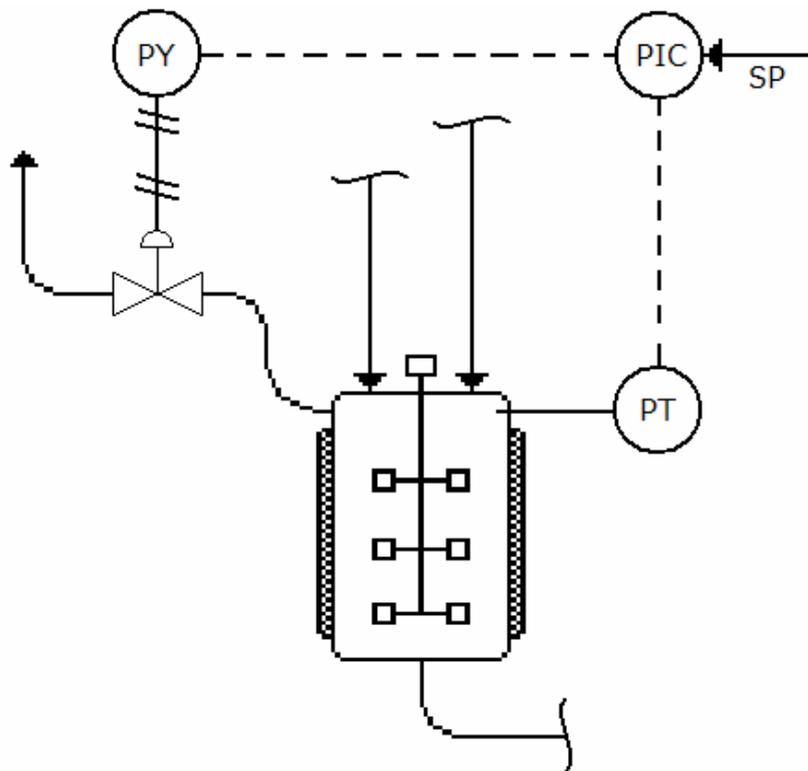
El sistema de control del caudal toma datos constantes del caudal para asegurarnos que es el adecuado para la reacción de hidrólisis. Este sistema tiene un valor máximo y otro mínimo los cuales en caso de ser superados manda una señal para que la válvula neumática se abra o se cierre parcialmente. Se trata de un control en lazo cerrado.



8.15.2.3. Reactores de fermentación.

Control de la presión.

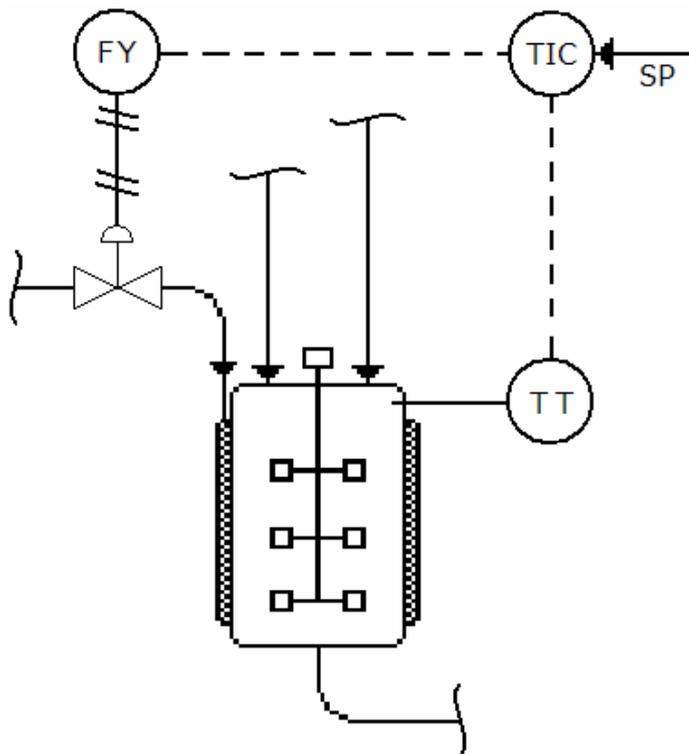
El sensor de presión mide la presión en el interior del tanque de fermentación para evitar explosiones. La manera de actuar es la siguiente, cuando la presión es mayor al valor máximo establecido, el sensor de presión manda una señal a la válvula neumática que se



abre parcialmente para dejar escapar los gases producidos durante la fermentación. Cuando la presión es menor al valor mínimo establecido, el sensor de presión manda una señal a la válvula neumática para que se cierre parcialmente. Se trata de un control en lazo cerrado.

Control de la temperatura.

El sistema de control de la temperatura toma datos constantes de temperatura que son visualizados en un indicador LED de 3 dígitos. En caso de que la temperatura se saliese del rango impuesto, se produciría una de estas acciones. Si la temperatura sobrepasa el límite superior, el caudal de refrigeración se aumentaría mediante la apertura parcial de una válvula neumática. Si la temperatura sobrepasa el límite inferior el caudal de refrigeración disminuiría mediante el cierre parcial de la válvula neumática.

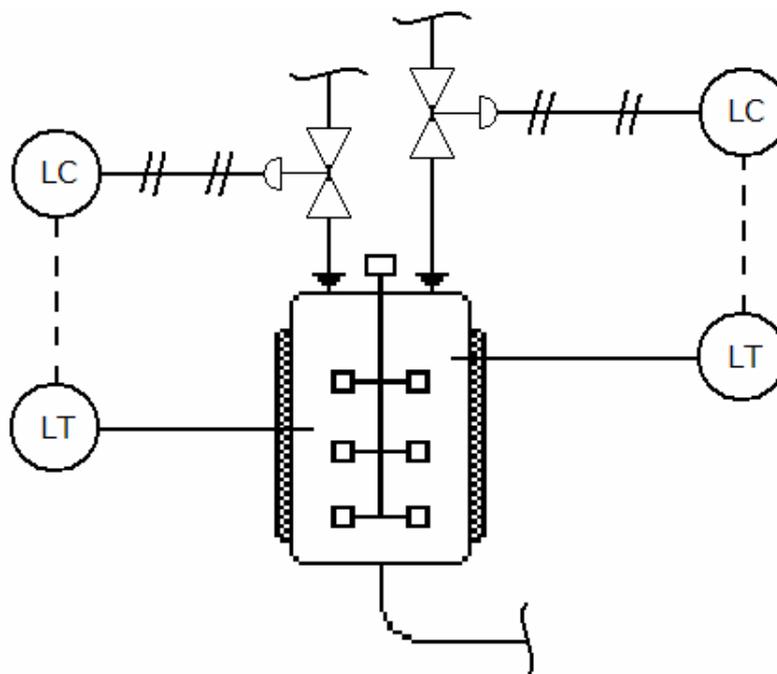


Control del pH.

El sistema de control del pH toma datos constantes del pH que son monitorizados y analizados para un seguimiento correcto durante el proceso de fermentación.

Control del nivel.

Los dos sensores de nivel funcionan de la misma manera. El primero nos incide hasta donde debe de llegar el nivel de agua, y el siguiente hasta donde llega el nivel de la disolución de glucosa y fructosa. La manera de actuar es la siguiente, cuando el nivel de agua llega al primer sensor de nivel, este manda una señal a la válvula neumática que se cierra automáticamente, de manera que no entra más agua en el tanque de fermentación. Se trata de un control en lazo cerrado.



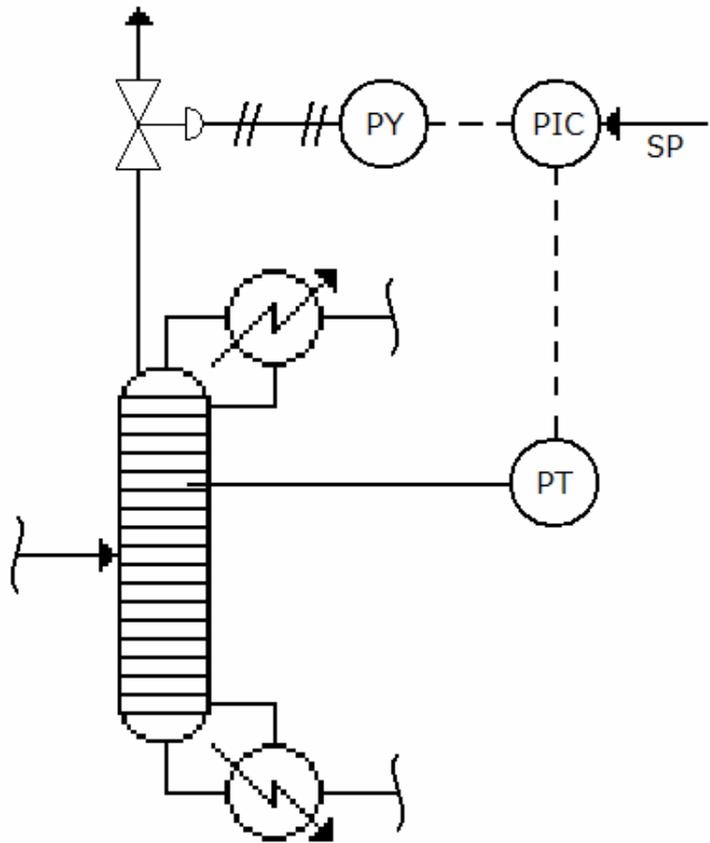
Lo mismo ocurre con la disolución de fructosa y sacarosa, una vez que el tanque está lleno de agua comienza a llenarse de la disolución proveniente del reactor de hidrólisis, en el momento que alcanza el sensor de nivel, este manda una señal y la válvula neumática se cierra.

8.15.2.4. Columnas de destilación.

Control de la presión.

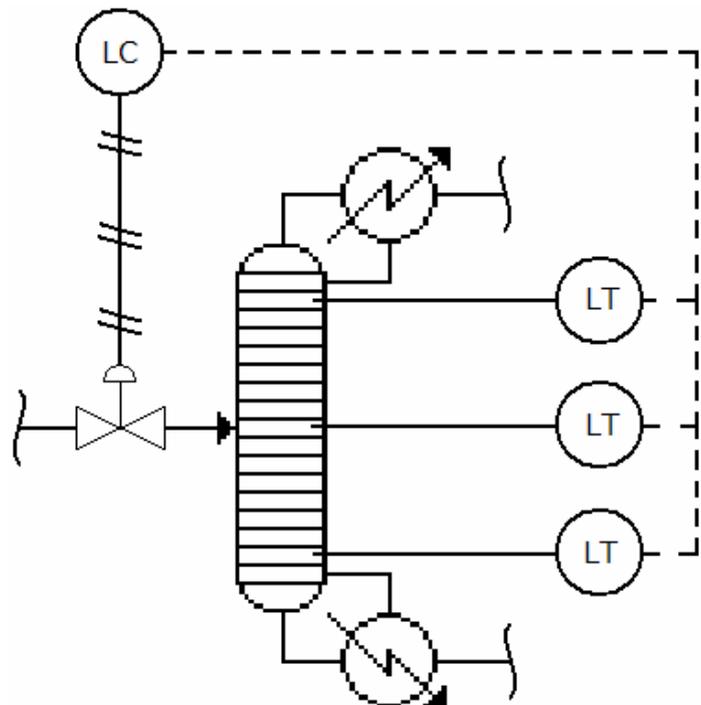
El sistema de control de la presión toma datos constantes de presión, los cuales son monitorizados. En caso de que la presión sobrepasase un límite

superior se produciría la siguiente acción. Se accionaría automáticamente una válvula de seguridad la cual está conectada al sistema de venteo de emergencia para proteger a la columna de un exceso de presión. La válvula está normalmente cerrada, pero se abre automáticamente e instantáneamente en caso de sobrepresión en el sistema.



Control del nivel.

El sensor de nivel en las columnas de destilación se utiliza para controlar que estas no se inunden. Cuando el líquido llega al sensor de nivel este emite una señal de manera que se disminuye el caudal de entrada a la columna de destilación.



8.16. Planificación y programación de la producción.

8.16.1. Personal laboral.

La planta está diseñada para funcionar durante todo el año, excepto para por revisión de algún equipo o avería. Se trabajará ininterrumpidamente en tres turnos de ocho horas cada uno, en los siguientes horarios:

- Mañana: de 6:00 a 14:00 horas.
- Tarde: de 14:00 a 22:00 horas.
- Noche: de 22:00 a 6:00 horas.

El número de trabajadores para las labores de producción será de cinco en cada uno de los tres turnos diarios.

Se considera este número de trabajadores por los siguientes motivos:

- Para el módulo de control y la supervisión del funcionamiento de las instalaciones y del estado de los equipos, revisando que los parámetros de operación se encuentren dentro del rango óptimo en cada caso, se necesitarán dos personas.
- En el laboratorio, donde se hacen los controles de calidad y supervisión de los caldos de fermentación y pureza de los productos se necesitará dos personas.
- Se necesitará una persona para que sea responsable de recepción de materias primas, retirada de los productos acabados y labores de almacenamiento.

A este personal habrá que añadir a dos técnicos mecánicos, para las labores de mantenimiento diarias de los equipos de proceso, un ingeniero de procesos y un gerente o director de planta, que además tendrá la competencia de jefe de ventas y director comercial.

En resumen se tendrá:

- 15 operarios de fabricación repartidos en tres turnos de ocho horas.
- 6 técnicos mecánicos.
- 3 ingenieros.
- 1 gerente.

8.16.2. Planificación de la producción.

La planta va a generar cuatro productos, por un lado se va a obtener biobutanol para su utilización como biocombustible, que es el producto principal, y por otro como productos secundarios de la fermentación se obtendrá acetona, ácido acético y ácido butírico que después de su purificación hasta productos químicamente puros se pueden introducir en el mercado y obtenerse de ellos unos buenos beneficios.

La producción diaria obtenida será de:

- 8.075 kg de biobutanol.
- 4.218 kg de acetona.
- 403 kg de ácido acético.
- 198 kg de ácido butírico.

También se obtendrá en la planta de proceso agua destilada, que se puede utilizar para llenar los tanques de fermentación o para venderla, la opción elegida estará en función de las necesidades del mercado y de las oportunidades comerciales.

La distribución aproximada de los tiempos que se emplean en las diferentes operaciones que componen la planta de proceso es la siguiente:

- Carga del mezclador: 0,29 horas.
- Calefacción y disolución: 2,61 horas.
- Descarga del mezclador: 1 hora.

- Proceso de hidrólisis: 1 hora.
- Carga de los fermentadores: 2 horas.
- Proceso de fermentación: 43,5 horas.
- Descarga de fermentadores: 2,43 horas.
- Proceso de centrifugación: 2,43 horas.
- Proceso de pervaporación: 2,43 horas.
- Destilación 1: 2,43 hora.
- Carga de la caldera 1: 0,24 horas.
- Proceso de la caldera 1: 0,17 horas.
- Descarga de la caldera 1: 0,22 horas.
- Carga de la caldera 2: 0,22 horas.
- Proceso de la caldera 2: 1,5 horas.
- Descarga de la caldera 2: 0,05 horas.
- Destilación 2: 1 hora.
- Destilación 3: 1 hora.
- Destilación 4: 1 hora.
- Destilación 5: 1 hora.

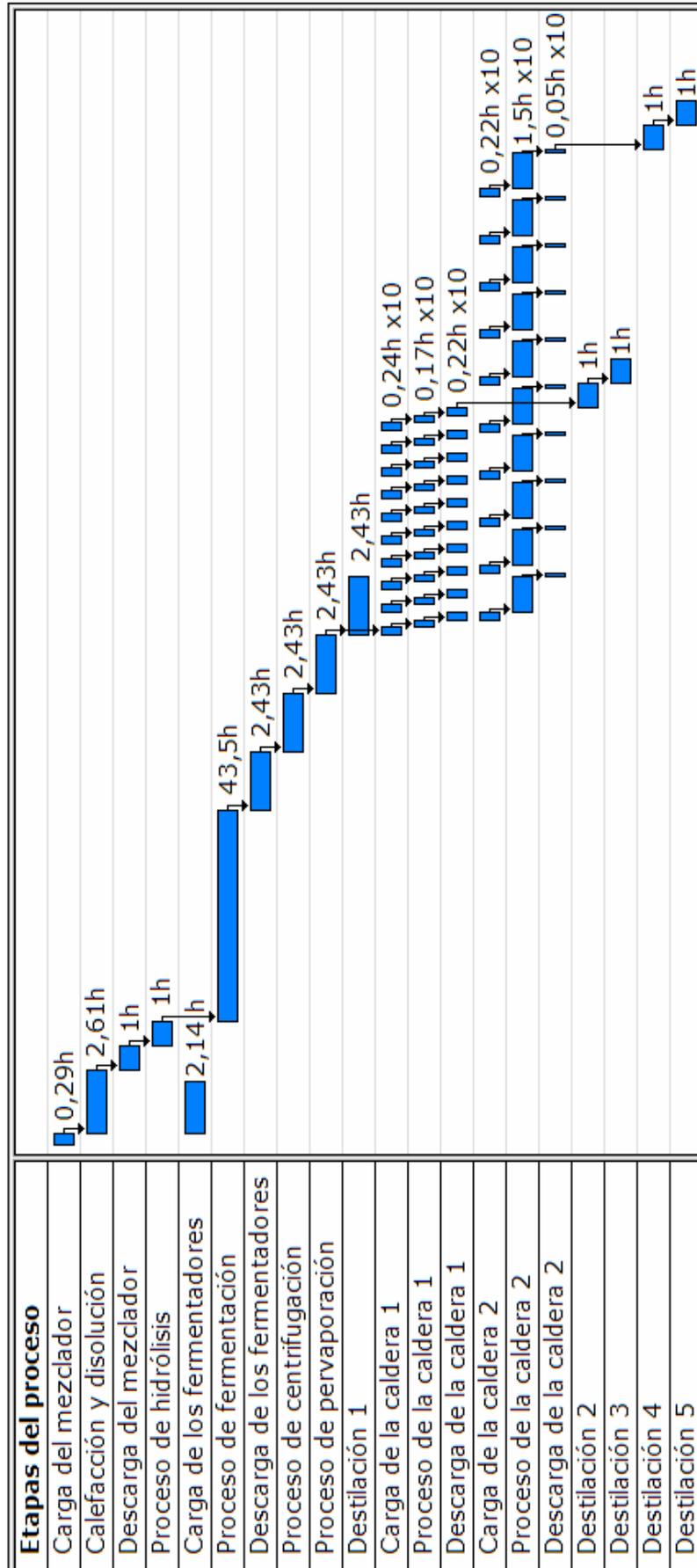
Para la caldera 1 y la caldera 2, los tiempos que aparecen corresponden a los de un ciclo, y cada caldera hace 10 ciclos.

La duración total de un ciclo de proceso será de 83,79 horas.

8.16.3. Diagrama de Gantt.

A continuación se muestra un diagrama de Gantt en el que se distingue perfectamente el tiempo que trabaja cada equipo en un ciclo.

Diagrama de Gantt



8.17. Instalación contra incendios.

Los elementos de prevención y lucha contra incendios que se instalarán distribuidos por la planta de proceso son los siguientes:

- Alarma contra incendios, acústica y visual, apreciable en todas las estancias de la edificación.
- Extintores portátiles de polvo ABC en el área de proceso, y extintores portátiles de polvo ABCE en la zona de oficinas. En total se instalarán 15 extintores portátiles.
- Bocas de incendios equipadas, BIE, se colocarán un total de 11 distribuidas por toda la planta.
- Hidrantes exteriores, se colocarán un total de 5 distribuidos por la planta de proceso.
- Se instalarán pulverizadores de agua en todos los tanques de almacenamiento y tanques pulmón.

8.18. Estudio ambiental.

En primer lugar se clasificará la instalación.

Según el artículo 3 del DECRETO 59/2005, de 1 de marzo, por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales, así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos, la instalación diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera es de tipo I, ya que se encuentra en el anexo primero de la Ley 7/1994, de 10 de mayo, de protección ambiental de Andalucía. Por encontrarse en dicho anexo primero, el trámite ambiental que hay que llevar a cabo es una evaluación de impacto ambiental, que contendrá al menos la siguiente información:

- Descripción del proyecto y sus acciones. Examen de alternativas técnicamente viables y presentación de la solución adoptada.

- Inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas y ambientales claves.
- Identificación y valoración de los impactos en las distintas alternativas.
- Propuestas de medidas protectoras y correctoras.
- Programa de vigilancia ambiental.
- Documento de síntesis.

Una vez entregada toda la documentación señalada arriba, se esperará a la declaración de impacto ambiental emitida por el organismo ambiental o competente.

Según la Ley 7/1994, de 10 de mayo, de protección ambiental de Andalucía, no cabe otra alternativa que la descrita anteriormente.

8.19. Normas y referencias.

Este Proyecto Fin de Carrera se ha realizado cumpliendo la Legislación Vigente y los Reglamentos y Normativa de Aplicación que se relacionarán a continuación.

Esta Legislación Vigente, Reglamentos y Normativa de Aplicación los vamos a dividir en tres bloques que serán:

- Normativa general.
- Normativa específica de Medio Ambiente.
- Normativa específica de Seguridad y Salud.

8.19.1. Normativa general.

Se entiende como Normativa general, toda aquella que concierne a la planta industrial, ya sea para su puesta en funcionamiento, o para la instalación de cualquier tipo de aparato o maquinaria necesaria para el buen

funcionamiento de la planta, desde tanques de almacenamiento de productos, hasta reactores, bombas, tuberías o cualquier otro equipo necesario.

Se recogen a continuación los Reglamentos y Normas generales de aplicación:

- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Decreto 59/2005, de 1 de marzo, por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales, así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos.
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.
- Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre Clasificación, Envasado y Etiquetado de Preparados Peligrosos.
- Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los Equipos de Presión y se modifica el Real Decreto 1244/1979, de 4-4-1979, que aprobó el Reglamento de Aparatos a Presión.
- Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre de 1995, que aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial, que complementa al Real Decreto 2584/1981, de 18 de septiembre de 1981.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Orden de 9 de noviembre de 1975, por la que se aprueban las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua (NIA).

- RMC. Recepción de Materiales de Construcción, Cales, Cementos, Ladrillos, Escayolas, Bloques de Hormigón.
- Real Decreto 2661/1998, de 11 de diciembre, por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).
- Real Decreto 779/1997, de 30 de Mayo, por el que se aprueba la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-97).
- Real Decreto 2608/1996, de 20 de diciembre, por el que se aprueba la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Forjados Unidireccionales de Hormigón Armado y Pretensado (EF-96).
- Real Decreto 1829/1995, de 10 de noviembre, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE EA-95 sobre Estructuras de Acero en Edificación.
- Real Decreto 1723/1990, de 20 de diciembre, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE FL-90 sobre Muros Resistentes de Fábrica de Ladrillos.
- Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE CT-79 sobre Condiciones Térmicas en los Edificios.
- Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Real Decreto 1909/81, de 24 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE CA-81 sobre Condiciones Acústicas en los Edificios.
- Orden, de 29 de septiembre de 1988, por la que se aclaran y corrigen diversos aspectos de los anexos a la Norma Básica de la Edificación NBE CA-82, sobre Condiciones Acústicas en los Edificios.
- Real Decreto 2177/1996, de 4 de octubre, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE CPI-96 “Condiciones de Protección contra Incendios en los Edificios”.
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales.

8.19.2. Normativa específica de Medio Ambiente.

Se entiende como Normativa específica de Medio Ambiente, toda aquella que concierne a la protección del medio ambiente, ya sea frente a un impacto visual, frente a la contaminación acústica o cualquier otro tipo de contaminación que pueda ser causada por la construcción o funcionamiento de la instalación o de cualquier tipo de aparato o maquinaria necesaria para el buen funcionamiento de la planta.

Se recogen a continuación los Reglamentos y Normas de aplicación:

- Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental.
- Decreto 297/1995, de 19 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Calificación Ambiental.
- Decreto 153/1996, de 30 de abril de 1996, por el que se aprueba el Reglamento de Informe Ambiental.
- Decreto 292/1995, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera.
- Orden de 18 de octubre de 1976 sobre Prevención y Corrección de la Contaminación Industrial de la Atmósfera.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

8.19.3. Normativa específica de Seguridad y Salud.

Se entiende como Normativa específica de Seguridad y Salud, toda aquella que concierne a la protección de los individuos que trabajan en la planta, ya sea de modo individual o colectivo, frente a accidentes laborales o enfermedades profesionales que puedan afectar a los trabajadores de la planta.

Se recogen a continuación los Reglamentos y Normas de aplicación:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Orden de 9 de mayo de 1971, de Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Real Decreto 1407/1992 de 27 de octubre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la Protección de la Salud y Seguridad de los Trabajadores contra los Riesgos relacionados con la Exposición al Ruido.
- Real Decreto 245/1989 de 27 de febrero, sobre determinación y limitación de potencias acústicas admisibles en determinado material y maquinaria de obra (BOE 11-3-89). Modificado por O. de 17.11.89 (BOE1-12-89). O. de 18.7.91 (BOE 26-7-91) y RD 71/1992 (BOE 6-2-92).
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre Disposiciones Mínimas en materia de Señalización de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de Trabajo.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud relativas a la Manipulación Manual de Cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los Trabajadores.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud relativas a la Utilización por los Trabajadores de Equipos de Protección Individual.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud para la Utilización de los Trabajadores de los Equipos de Trabajo.

- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en las Obras en Construcción.
- Real Decreto 39/1.997, del 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto Legislativo 1/1994, de 20 de junio, por el que se aprueba la Ley General de la Seguridad Social.
- Real Decreto Legislativo 1/1995, de 24 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores.
- Real Decreto 2200/1995 de 28 de diciembre por el que se aprueba el reglamento de la infraestructura para la calidad y la seguridad industrial.
- Real Decreto 88/1990 de 26 de enero sobre protección de los trabajadores mediante la prohibición de determinados agentes específicos o determinadas actividades.
- Real Decreto 407/1992 del 24 de abril, norma básica de protección civil.
- Real Decreto 830/1991, de 24 de mayo, por el que se modifica el Reglamento de Seguridad en las Máquinas.
- Real Decreto 39/97, de 17 de enero, reglamento de los servicios de protección.
- Real Decreto 488/97 de 14 de abril sobre pantallas de visualización.

Capítulo 9

BIBLIOGRAFÍA

9.1. Libros.

- Atkinson, B. and Mavituna, F. “Biochemical engineering and biotechnology handbook”. Second edition. 1991. Editorial Stockton Press.
- Calleja, G y col. “Introducción a la ingeniería química” 1999. Ed. Síntesis.
- Christen, H. R. “Fundamentos de química orgánica”. 1983. Ed. Alhambra.
- Gerhartz, W. “Enzymes in industry. Production and applications”. 1990. Ed. VCH, Weinheim.
- Gòdia Casablanca, F. y López Santín, J. “Ingeniería bioquímica”. 1998. Editorial Síntesis.
- Leskovac, VI. “Comprehensive enzyme kinetics”. 2003. Kluwer Academia Publishers.
- Leveau, J.-Y. y Bouix, M. “Microbiología industrial. Los microorganismos de interés industrial”. 2000. Editorial Acribia, S. A.
- Levenspiel, O. “Flujo de fluidos e intercambio de calor”. 1998. Editorial Reverté S. A.
- McCabe, W. L., Smith, J. C. and Harriott, P. “Operaciones unitarias en Ingeniería química”. 2001. Editorial McGraw Hill.
- Megyesy Eugene, F. “Manual de recipientes a presión. Diseño y cálculo”. 2001. Editorial Limusa, S.A.

- Mills, A. F. “Transferencia de calor”. 1995. Editorial McGraw Hill.
- Mulder, M. “Basic principles of membrana technology”. Second edition. 1997. Kluwer Academic Publishers.
- Noble, R. D. and Stern, S. A. “Membrane separations technology. Principles and applications”. 1995. Editorial Elsevier.
- Perry, R. H. and Green, D. W. “Manual del ingeniero químico. Volumen II”. Cuarta edición (en español). 2001. Editorial McGraw Hill.
- Perry, R. H. and Green, D. W. “Manual del ingeniero químico. Volumen I”. Cuarta edición (en español). 2001. Editorial McGraw Hill.
- Perry, R. H. and Green, D. W. “Manual del ingeniero químico. Volumen III”. Cuarta edición (en español). 2001. Editorial McGraw Hill.
- Perry, R. H. and Green, D. W. “Manual del ingeniero químico. Volumen IV”. Cuarta edición (en español). 2001. Editorial McGraw Hill.
- Ranald, V. Giles, Jack B. Evett, Cheng Liu. “Mecánica de fluidos e hidráulica”. 1994. Editorial McGraw Hill.
- Ruiz, C. “Proyecto y construcción de recipientes a presión”. 1976. Editorial Urmo S. A.
- Scott, K. and Hughes, R. “Industrial membrane separation technology”. 1996. Blackie Academic & Professional.
- Treybal, R. E. “Operaciones de transferencia de masa”. 1988. Editorial McGraw Hill.

9.2. Artículos.

- Allcock, E. R., Reid, S. J., Jones, D. T. and Woods, D. R. (1981). Autolytic activity and an autolysis-deficient mutant of *Clostridium acetobutylicum*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 42: 929-935.

- Barber, J. M., Robb, F. T., Webster, J. R. and Woods, D. R. (1979). Bacteriocin production by *Clostridium acetobutylicum* in an industrial fermentation process. *Appl. Environ. Microbiol.*, 37: 433-437.
- Bowles, L. K. and W. L. Ellefson (1985). Effects of butanol on *Clostridium acetobutylicum*. *Appl. Environ. Microbiol.*, Nov: 1165-1170.
- Busche, R. M. (1985). The business of biomass. *Biotechnol. Prog.*, 1: 165-180.
- Campos, E. J., Qureshi, N. and Blaschek, H.P. (2002). Production of acetone butanol ethanol from degermed corn using *Clostridium beijerinckii* BA101. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Vols. 98-100.
- Cannell, M. G. R. (2003). Carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical, potential and achievable capacities globally, in Europe and the UK. *Biomass and Bioenergy*, 24: 97-116.
- Chauvatcharin, S., Siripatana, C., Seki, T., Takagi, M. and Yoshida, T. (1998). Metabolism analysis and on-line physiological state diagnosis of acetone-butanol fermentation. *Biotechnol. Bioeng.*, 58: 561-571.
- Datta, R. and Zeikus, J. G. (1985). Modulation of acetone-butanol-ethanol fermentation by carbon monoxide and organic acids. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49: 522-529.
- Dürre, P. (1998). New insights and novel developments in clostridial acetone/butanol/isopropanol fermentation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 49: 639-648.
- Ezeji, T., Qureshi, N. and Blaschek, H. P. (2007). Butanol production from agricultural residues: Impact of degradation products on *Clostridium beijerinckii* growth and butanol fermentation. *Biotechnology and Bioengineering*, 97: 1460-1469.
- Ezeji, T., Qureshi, N. and Blaschek, H. P. (2003). Production of acetone, butanol and ethanol by *Clostridium beijerinckii*

- BA101 and in situ recovery by gas stripping. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 19: 595-603.
- Favre, E. and Nguyen, Q. T. (1996). Extraction of 1-butanol from aqueous solutions by pervaporation. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 65: 221-228.
 - Fernandes, P., Prazeres, D. M. F. and Cabral, J. M. S. (2003). Membrane-assisted extractive bioconversions. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 80: 115-148.
 - Forberg, C. and Haggstrom, L. (1985). Control of cell adhesion and activity during continuous production of acetone and butanol with adsorbed cells. *Enzyme Microb. Technol.*, 7: 230-234.
 - Gapes, J. R., Nimcevic, D. and Friedl, A. (1996). Long-term continuous cultivation of *Clostridium beijerinckii* in a two-stage chemostat with on-line solvent removal. *Appl. Environ. Microbiol.*, 62: 3210-3219.
 - George, H. A., Johnson, J. L., Moore, W. E. C., Holdeman, L. V. and Chen, J. S. (1983). Acetone, isopropanol, and butanol production by *Clostridium beijerinckii* (syn. *Clostridium butylicum*) and *Clostridium aurantibutyricum*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 45: 1160-1163.
 - Gottwald, M., Hippe, H. and Gottschalk, G. (1984). Formation of n-butanol from D-glucose by strains of "*Clostridium tetanomorphum*" group. *Appl. Environ. Microbiol.*, 48: 573-576.
 - Groot, W. J., den Reyer, M. C. H., van der Lans, R. G. J. M. and Luyben, K. Ch. A. M. (1991). Integration of pervaporation and continuous butanol fermentation with immobilized cells II: Mathematical modeling and simulations. *Chem. Eng. J.*, 46: B11-B19.
 - Groot, W. J., den Reyer, M. C. H., Baart de la Faille, T., van der Lans, R. G. J. M. and Luyben, K. Ch. A. M. (1991). Integration of pervaporation and continuous butanol

fermentation with immobilized cells I: Experimental results. Chem. Eng. J., 46: B1-B10.

- Haggstrom, L. (1985). Acetone-butanol fermentation and its variants. Biotechnol. Adv., 3: 13-28.
- Hermann, M., Fayolle, F., Marchal, R., Podvin, L., Sebald, M. and Vandecasteele, J. P. (1985). Isolation and characterization of butanol-resistant mutants of *Clostridium acetobutylicum*. Appl. Environ. Microbiol., 50: 1238-1243.
- Herrero, A. A. (1983). End-product inhibition in anaerobic fermentations. Trends Biotechnol., 1: 49-53.
- Holt, R. A., Stephens, G. M. and Morris J. G. (1984). Product of solvents by *Clostridium acetobutylicum* cultures maintained at neutral pH. Appl. Environ. Microbiol., Dec: 1166-1170.
- Huang Y. L., Mann K., Novak J. M. and Yang S. T. (1998). Acetic acid production from fructose by *Clostridium formicoaceticum* immobilized in a fibrous-bed bioreactor. Biotechnol. Prog., 14: 800-806.
- Jeon, Y. J. and Lee, Y. Y. (1989). In situ product separation in butanol fermentation by membrane-assisted extraction. Enzyme Microb. Technol., 11(9): 575-582.
- Johnson, M. J. (1947). Industrial fermentations. Annu. Rev. Microbiol., 1: 159-172.
- Jones, D. T., van der Westhuizen, A., Long, S., Allcock, E. R., Reid, S. J. and Woods, D. R. (1982). Solvent production and morphological changes in *Clostridium acetobutylicum*. Appl. Environ. Microbiol., 43: 1434-1439.
- Jones, D. T. and Woods, D. R. (1986). Acetone-butanol fermentation revisited. Microbiol. Rev., 50: 484-524.
- Kim, B. H., Bellows, P., Datta, R. and Zeikus, J. G. (1984). Control of carbon and electron flow in *Clostridium acetobutylicum* fermentations: utilization of carbon monoxide to inhibit hydrogen production and to enhance butanol yields. Appl. Environ. Microbiol., 48: 764-770.

- Krouwel, P. G., Groot, W. J., Kossen, N. W. F. and van der Laan, W. F. M. (1983). Continuous isopropanol-butanol-ethanol fermentation by immobilized *Clostridium beijerinckii* cells in a packed bed fermenter. *Enzyme Microb. Technol.*, 5: 46-55.
- Largier, S. T., Long, S., Santangelo, J. D., Jones, D. T. and Woods, D. R. (1985). Immobilized *Clostridium acetobutylicum* P262 mutants for solvent production. *Appl. Environ. Microbiol.*, 50: 477-481.
- Lema, J. y Núñez, M. J. (1994). Equipos de alta eficacia en fermentación alcohólica. Universidad de Santiago de Compostela, p 131-168.
- Lin, Y. and Blaschek, H. P. (1982). Butanol production by a butanol-tolerant strain of *Clostridium acetobutylicum* in extruded corn broth. *Appl. Environ. Microbiol.*, 45: 966-973.
- Liu, F., Liu, L. and Feng, X. (2005). Separation of acetone-butanol-ethanol (ABE) from dilute aqueous solutions by pervaporation. *Separation and Purification Technology*, 42: 273-282.
- Maddox, I. S., Qureshi, N. and Roberts-Thomson. K. (1995). Production of acetone-butanol-ethanol from concentrated substrates using *Clostridium acetobutylicum* in an integrated fermentation-product removal process. *Process Biochem.*, 30(3): 209-215.
- Marchal. R., Ropars, M., Pourquoi, J., Fayolle, F. and Vandecasteele, J. P. (1992). Large-scale enzymatic hydrolysis of agricultural lignocellulosic biomass. Part 2: conversion into acetone-butanol. *Bioresource Technol.*, 42: 205-217.
- Martín Arroyo, J. P. (2004). Silos de hormigón para almacenamiento de azúcar. *Dyna*, Vol. 79 n° 2: 11-14.
- Mollah, A. H. and Stuckey, D. C. (1993). Feasibility of in situ gas stripping for continuous acetone-butanol fermentation by *Clostridium acetobutylicum*. *Enzyme Microb. Technol.*, 15: 200-207.

- Monot, F., Martin, J. R., Petitdemange, H. and Gay, R. (1982). Acetone and butanol production by *Clostridium acetobutylicum* in a synthetic medium. *Appl. Environ. Microbiol.*, 44: 1318-1324.
- Mulchandani, A. and Volesky B. (1994). Production of acetone-butanol-ethanol by *Clostridium acetobutylicum* using a spin filter perfusion bioreactor. *J. Biotechnol.*, 34: 51-60.
- Mutschlechner, O., Swoboda, H. and Gapes, J. R. (2000). Continuous two-stage ABE-fermentation using *Clostridium beijerinckii* NRRL B592 Operating with a growth rate in the first stage vessel close to its maximal value. *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.*, 2(1):101-105.
- Ounine, K., Petitdemange, H., Raval, G. and Gay, R. (1985). Regulation and butanol inhibition of D-xylose and D-glucose uptake in *Clostridium acetobutylicum*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49: 874-878.
- Parekh, M., Formanek, J. and Blaschek, H. P. (1999). Pilot-scale production of butanol by *Clostridium beijerinckii* BA101 using a low-cost fermentation medium based on corn steep water. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 51: 152-157.
- Qureshi, N. and Blaschek, H. P. (1999). Butanol recovery from model solution/fermentation broth by pervaporation: Evaluation of membrane performance. *Biomass and Bioenergy*, 17: 175-184.
- Qureshi, N. and Blaschek, H. P. (1999). Production of acetone butanol ethanol (ABE) by a hyper-producing mutant strain of *Clostridium beijerinckii* BA101 and recovery by pervaporation. *Biotechnol. Prog.*, 15: 594-602.
- Qureshi, N. and Blaschek, H. P. (2001). Recovery of butanol from fermentation broth by gas stripping. *Renewable Energy*, 22: 557-564.
- Qureshi, N., Lolas, A. and Blaschek, H. P. (2001). Soy molasses as fermentation substrate for production of butanol

- using *Clostridium beijerinckii* BA101. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 26: 290-295.
- Qureshi, N. and Maddox, I. S. (1995). Continuous production of acetone-butanol-ethanol using immobilized cells of *Clostridium acetobutylicum* and integration with product removal by liquid-liquid extraction. *J. Fermentation and Bioengineering*, 80(2): 185-189.
 - Qureshi, N., Meagher, M. M., Huang, J. and Hutkins, R. W. (2001). Acetone butanol ethanol (ABE) recovery by pervaporation using silicalite-silicone composite membrane from fed-batch reactor of *Clostridium acetobutylicum*. *Journal of Membrane Science*, 187:93-102.
 - Shinto, H., Tashiro, Y., Yamashita, M., Kobayashi, G., Sekiguchi, T., Hanai, T., Kuriya, Y., Okamoto, M. and Sonomoto, K. (2007). Kinetic modeling and sensitivity analysis of acetone-butanol-ethanol production. *Journal of Biotechnology*, 131: 45-56.
 - Silva, E., Montoya, D., Buitrago, G., Daza, Gl., Torres, J. C. and Romero, H. (1995). Fermentación acetobutílica (ABE) con células inmovilizadas de *Clostridium acetobutylicum*. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-farmacéuticas*, 23: 64-69.
 - Somrutai, W., Takagi, M. and Yoshida, T. (1996). Acetone-butanol fermentation by *Clostridium aurantibutyricum* ATCC 17777 from a model medium for palm oil mill effluent. *J. Fermentation. Bioeng.*, 81(6): 543-547.
 - Van der Westhuizen, A., Jones, D. T. and Woods, D. R. (1982). Autolytic activity and butanol tolerance of *Clostridium acetobutylicum*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 44: 1277-1282.
 - Yang, X., Tsai, G.-J. and Tsao, G. T. (1994). Enhancement of in situ adsorption on the acetone-butanol fermentation by *Clostridium acetobutylicum*. *Sep. Technol.*, 4: 81-92.
 - Yang, X. and Tsao, G. T. (1994). Mathematical modeling of inhibition kinetics in acetone-butanol fermentation by *Clostridium acetobutylicum*. *Biotechnol. Prog.*, 10: 532-538.

- Zeikus, J. G. (1980). Chemical and fuel production by anaerobic bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.*, 34: 423-464.

9.3. Recursos web.

- <http://www.aeasa.com>
- <http://www.attsu.com>
- <http://www.ingor.net>
- <http://www.aaronequipment.com>
- <http://www.kobold.com>
- <http://www.armstronginternational.com>
- <http://www.powderandbulk.com>

DOCUMENTO N° 2:

ANEXOS A LA MEMORIA

ANEXO 1

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

A1.1. Diseño de los silos de almacenamiento.

A1.1.1. Cálculos geométricos.

Lo primero es saber cual es el volumen de la cantidad que se quiere almacenar, para ello necesitamos saber la masa y la densidad aparente del sólido que se quiere almacenar en los silos.

En nuestro caso queremos almacenar materia prima suficiente para abastecer la planta durante 10 días, por lo que como se consumen 42.000 kg diarios, se necesita almacenar una cantidad de 420.000 kg de azúcar bruta.

La densidad aparente del azúcar bruta y su ángulo de contacto según la dirección web de reconocido prestigio <http://www.powderandbulk.com> son de 0,7 g/cm³, o lo que es lo mismo, 700 kg/m³ y de 30-44 grados.

Así que ya tenemos todos los datos suficientes para calcular el volumen que ocupa la materia prima necesaria para abastecer la planta durante 10 días. El cálculo de dicho volumen se realiza de la siguiente manera:

$$V = \frac{\textit{masa}}{\textit{densidad aparente}} = \frac{420.000 \textit{ kg}}{700 \textit{ kg / m}^3} = 600 \textit{ m}^3$$

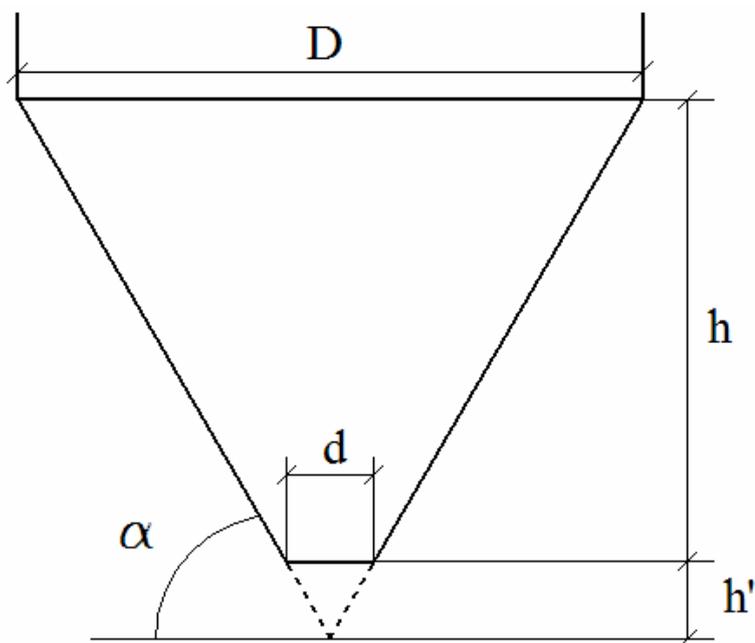
Por razones de seguridad no se puede llenar todo el silo, por lo que el volumen real del silo será el volumen de trabajo más un 20% de seguridad.

$$V_{real} = V + 0,2 \times V = 350 \text{ m}^3 + 0,2 \times 600 \text{ m}^3 = 720 \text{ m}^3$$

Como el volumen es demasiado grande para un solo silo, se construirán 5 silos exactamente iguales, con lo que cada silo tendrá un volumen real de 144 m^3 .

Cálculo geométrico de la tolva de descarga del silo.

El diámetro mayor de la tolva, D , coincide con el diámetro del cuerpo cilíndrico del silo y es de 3,6 metros. Y el diámetro de descarga de la tolva, d , es de 0,5 metros. Además, el ángulo de inclinación de la tolva de descarga con la horizontal es de 60° para garantizar la correcta descarga de la materia prima.



La expresión para calcular el volumen de la tolva es la siguiente :

$$V_{tolva} = \frac{\pi \times [D^2 \times (h + h') - d^2 \times h']}{12}$$

donde h y h' se calculan de la siguiente manera:

$$h = \tan \alpha \times \left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2} \right) = \tan 60 \times \left(\frac{3,6 \text{ m}}{2} - \frac{0,5 \text{ m}}{2} \right) = 2,685 \text{ m}$$

$$h' = \tan \alpha \times \frac{d}{2} = \tan 60 \times \frac{0,5 \text{ m}}{2} = 0,433 \text{ m}$$

Una vez conocidos estos datos ya podemos calcular el volumen de la tolva con la expresión anterior:

$$V_{tolva} = \frac{\pi \times [3,6^2 \text{ m} \times (2,685 \text{ m} + 0,433 \text{ m}) - 0,5^2 \text{ m} \times 0,433 \text{ m}]}{12} = 10,55 \text{ m}^3$$

Cálculo geométrico del cuerpo cilíndrico del silo.

Para hacer el cálculo del volumen del cuerpo cilíndrico, primero hay que saber que:

$$V_{real} = V_{tolva} + V_{cuerpo}$$

Como ya se conoce el volumen de la tolva y el volumen real, podemos calcular cual debe de ser el volumen del cuerpo cilíndrico que será:

$$V_{cuerpo} = V_{real} - V_{tolva} = 144 \text{ m}^3 - 10,55 \text{ m}^3 = 133,45 \text{ m}^3$$

La ecuación que se va a utilizar para realizar los cálculos del cuerpo cilíndrico del silo es la siguiente:

$$V_{\text{cuerpo}} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times H \quad (m^3)$$

Como ya se conoce el volumen del cuerpo cilíndrico porque se ha calculado antes y también se conoce el diámetro del cuerpo cilíndrico, sólo hay que despejar de la expresión anterior la altura del cuerpo cilíndrico del silo.

$$H = \frac{4 \times V_{\text{cuerpo}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 133,45 \text{ m}^3}{\pi \times 3,6^2 \text{ m}} = 13,12 \text{ m}$$

Así que las dimensiones de un silo serán las siguientes:

Diámetro cuerpo cilíndrico (m)	3,60
Diámetro de descarga de la tolva (m)	0,50
Altura del cuerpo cilíndrico (m)	13,12
Altura de la tolva (m)	2,64
Altura total del silo (m)	15,76
Distancia desde la tolva al suelo (m)	1,00

A1.1.2. Cálculos del espesor de las paredes.

Lo primero es calcular la presión que ejerce la materia prima sobre las paredes del silo siguiendo la norma NBE AE-88, capítulo IX, para posteriormente hallar el espesor mínimo de estas paredes para soportar dicha presión.

Para la fabricación de los silos de almacenamiento se utilizará acero inoxidable AISI 316L, que tiene las siguientes características:

- $\sigma_{\text{elas.}} = 38.000 \text{ psi.}$
- $\sigma_{\text{rot.}} = 80.000 \text{ psi.}$

La máxima tensión admisible a la temperatura de diseño es el mínimo de los siguientes valores:

Para la virola sometida a más presión:

- $(2/3) * \sigma_{\text{elas.}} = 25.333,33 \text{ psi.}$
- $(3/8) * \sigma_{\text{rot.}} = 30.000 \text{ psi.}$

Para el resto de virolas:

- $(2/3) * \sigma_{\text{elas.}} = 25.333,33 \text{ psi.}$
- $(2/5) * \sigma_{\text{rot.}} = 32.000 \text{ psi.}$

Por lo tanto, según lo calculado anteriormente, la máxima tensión admisible es de 25.333,33 psi, o lo que es lo mismo de 1.780,23 kg/m².

Cálculo de la presión ejercida por la materia prima sobre las paredes del silo.

Según la norma NBE AE-88, capítulo IX, la expresión para calcular la presión ejercida por la materia prima sobre las paredes del silo es la siguiente:

$$P_N = P_H \times \text{sen}^2 \alpha + P_V \times \text{cos}^2 \alpha$$

donde:

$P_N \equiv$ Presión normal sobre la pared del silo en kg/m².

$P_H \equiv$ Presión horizontal sobre la pared del silo en kg/m².

$P_V \equiv$ Presión vertical sobre la pared del silo en kg/m².

$\alpha \equiv$ Ángulo agudo que forman las paredes del silo con la horizontal, en el caso de un silo cilíndrico el ángulo es de 90°.

A su vez para calcular P_H y P_V , se necesita las siguientes expresiones:

$$P_H = \gamma \times Z_o \times (1 - e^{-Z/Z_o}) \times \lambda_H$$

$$P_v = \gamma \times Z_o \times (1 - e^{-Z/Z_o})$$

donde:

γ \equiv Densidad del producto almacenado.

Z \equiv Profundidad a la que se halla la presión máxima en metros, que será la altura que la materia prima alcanza cuando el silo está lleno.

Z_o \equiv Profundidad crítica en metros

$$Z_o = \frac{A}{U \times \lambda_v}$$

A \equiv Área de la sección mayor en m².

U \equiv Perímetro de la sección mayor en metros.

λ_H \equiv Coeficiente activo de empuje horizontal.

λ_V \equiv Coeficiente activo de empuje vertical.

Los valores de λ_H y λ_V se calculan con la tabla de coeficientes de empuje activo (vease Anexo 4. Diseño de silos) en función de:

- ξ \equiv Ángulo de rozamiento de la materia prima.
- $\cotg \alpha$.
- δ \equiv Ángulo de rozamiento entre la materia prima y el silo.
- β \equiv Ángulo de talud del azúcar bruta (se supone que no existe talud por seguridad).

Sabiendo que los valores de los parámetros citados anteriormente son los siguientes: $\xi = 30^\circ$, $\cotg \alpha = 0$, $\delta = 20^\circ$ y $\beta = 0^\circ$, y valores de los coeficientes activos de empuje horizontal y vertical son: $\lambda_H = 0,28$ y $\lambda_V = 0,10$.

Para poder calcular la presión normal sobre la pared del silo se necesita conocer la presión horizontal y la vertical sobre la pared del silo y para ello se necesita conocer la densidad de la materia prima que llenará el silo que es de 700 kg/m³, la profundidad a la que se halla la presión máxima que es de

10,76 m y la profundidad crítica que hay que calcular y se hace de la siguiente manera:

$$Z_o = \frac{A}{U \times \lambda_v} = \frac{10,17 \text{ m}^2}{11,30 \text{ m} \times 0,10} = 9 \text{ m}$$

donde A es el área de la sección mayor y U el perímetro de la sección mayor.

Ya se conocen todos los datos y estamos en disposición de calcular P_H y P_V , con las siguientes expresiones:

$$P_H = \gamma \times Z_o \times (1 - e^{-Z/Z_o}) \times \lambda_H = 700 \text{ kg/m}^3 \times 9 \text{ m} \times (1 - e^{-10,76/9}) \times 0,28 = 1.230,33 \text{ kg/m}^2$$

$$P_V = \gamma \times Z_o \times (1 - e^{-Z/Z_o}) = 700 \text{ kg/m}^3 \times 9 \text{ m} \times (1 - e^{-10,76/9}) = 4.394,02 \text{ kg/m}^2$$

Una vez que se conoce P_H y P_V , ya se puede calcular la presión normal sobre la pared del silo, sabiendo que el ángulo agudo que forman las paredes del silo con la horizontal es de 60° , y haciendo uso de la siguiente expresión:

$$P_N = P_H \times \text{sen}^2 \alpha + P_V \times \cos^2 \alpha$$

$$P_N = 1.230,33 \text{ kg/m}^2 \times \text{sen}^2 60 + 4.394,02 \text{ kg/m}^2 \times \cos^2 60 = 2.021,25 \text{ kg/m}^2$$

Esta presión calculada es la presión máxima de operación, y se necesita la presión mínima de diseño que ha de ser el mayor de los siguientes tres valores:

- $P \geq 1,1 \cdot \text{Presión máxima de operación (kg/cm}^2\text{)}$.
- $P \geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ kg/cm}^2$.
- $P \geq 3,5 \text{ kg/cm}^2$.

Por lo que la presión de diseño será de $3,5 \text{ kg/cm}^2$, o lo que es lo mismo de $3,5 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$.

El espesor mínimo del material correspondiente a las paredes del silo se calcula con la siguiente expresión:

$$t = \frac{P \times D}{\sigma} = \frac{3,5 \times 10^4 \text{ kg/m}^2 \times 3,6 \text{ m}}{1.780,23 \times 10^4 \text{ kg/m}^2} = 7,1 \times 10^{-3} \text{ m} = 7,1 \text{ mm}$$

A1.1.3. Cálculos de las patas de apoyo.

Los cálculos de las patas de apoyo se realizarán sin mostrar la metodología seguida, sino que se mostrará una tabla resumen con los datos y resultados obtenidos, ya que dichos cálculos se realizan de forma análoga a los fermentadores (para ver detalladamente como se realizarían dichos cálculos vease el apartado A1.5.3).

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20

A1.1.4. Cálculos del efecto del viento.

Los cálculos del efecto del viento se realizarán sin mostrar la metodología seguida, sino que se mostrará una tabla resumen con los datos y resultados obtenidos, ya que dichos cálculos se realizan de forma análoga a los fermentadores (para ver detalladamente como se realizarían dichos cálculos vease el apartado A1.5.4).

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K_a	1
Presión básica del viento (kg/m^2)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coefficiente del esbeltez, K	1
Coefficiente de accesorios, r	1,15

Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,480

A1.2. Diseño del mezclador.

El diseño del mezclador se hace de forma análoga al diseño de los fermentadores. Tanto los cálculos geométricos, los cálculos del espesor de las paredes, los cálculos de las patas de apoyo, los cálculos de efecto del viento y los cálculos del sistema de agitación del mezclador se realizarán sin mostrar la metodología seguida. Se incluirá una tabla resumen con los datos obtenidos para el mezclador puesto que como se indicó previamente los cálculos se realizan igual que para los fermentadores (para ver detalladamente como se realizarían esos cálculos vease los apartados A1.5.1, A1.5.2, A1.5.3, A1.5.4 y A1.5.5 respectivamente).

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	42,0
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	51,0
Diámetro del tanque (m)	3,00
Altura del tanque (m)	7,20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPESORES	
Temperatura de operación (°C)	40
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	60
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	59,173
Línea de tangencia (in)	24,156
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,068
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,137

Espesor fondo toriesférico (in)	0,043
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K_a	1
Presión básica del viento (kg/m^2)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coefficiente del esbeltez, K	1
Coefficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m^2)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,233
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE AGITACIÓN	
Anchura de las placas deflectoras (m)	0,25
Diámetro del impulsor (m)	1,00
Distancia del impulsor al fondo (m)	1,00
Distancia del impulsor a la superficie del líquido (m)	2,00
Anchura de la pala (m)	0,20
Número de impulsores	3
Distancia entre impulsores (m)	1,50
Densidad del líquido (kg/m^3)	1000
Viscosidad del líquido ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$)	$3,16\cdot 10^{-3}$
Velocidad de agitación (rps)	1,20
Número de Reynolds	$3,8\cdot 10^5$
Número de potencia	3,7
Potencia absorbida por los tres impulsores (kW)	19,18

A1.2.1. Cálculos del sistema de calefacción.

Lo primero que hay que calcular es el calor necesario para calentar 42.000 kg de agua de 15 °C a 40 °C, para ello se puede utilizar la siguiente expresión:

$$q = m \times C_p \times (T_f - T_o) \quad (kcal)$$

donde:

$q \equiv$ Calor a aportar, en kcal.

$m \equiv$ Masa de agua a calentar, en kg.

$C_p \equiv$ Capacidad calorífica del agua, en kcal/kg·°C.

$T_o \equiv$ Temperatura inicial, en °C.

$T_f \equiv$ Temperatura final, en °C.

Así que con los datos proporcionados anteriormente y despejando de la expresión anterior se obtiene que el calor necesario para calentar el agua es de:

$$q = m \times C_p \times (T_f - T_o) = 42.000 \text{ kg} \times 1 \text{ kcal / kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (40 ^\circ\text{C} - 15 ^\circ\text{C}) = 1.050.000 \text{ kcal}$$

Sabiendo que el periodo de calefacción durará 2,61 horas es posible calcular el calor necesario por hora que es:

$$Q = \frac{q}{\text{tiempo}} = \frac{1.050.000 \text{ kcal}}{2,61 \text{ horas}} = 402.299 \text{ kcal / h}$$

Una vez que se conoce el calor que hay que aportar, se puede calcular el caudal másico de calefacción, sabiendo que la temperatura de entrada del vapor es de 110 °C y la de salida de 110 °C, es decir, no hay cambio de temperatura (calor sensible) sólo cambio de fase (calor latente), por lo que la expresión será:

$$Q = \dot{m} \times [C_p \times (\Delta T) + \lambda_c] \quad (\text{kcal} / \text{h})$$

donde:

$Q \equiv$ Potencia calorífica, en kcal/h.

$\dot{m} \equiv$ Caudal másico de vapor de agua, en kg/h.

$C_p \equiv$ Capacidad calorífica del agua, en kcal/kg·°C.

$\Delta T_{ent} \equiv$ Incremento de temperatura, en °C.

$\lambda_c \equiv$ Calor latente de condensación del agua, en kcal/kg.

Como se supone que solamente hay cambio de fase y no hay cambio en la temperatura del vapor, simplificando y despejando de la expresión anterior obtenemos que el caudal másico de vapor de agua necesario será de:

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \times (\Delta T) + \lambda_c} = \frac{Q}{\lambda_c} = \frac{402.299 \text{ kcal} / \text{h}}{543 \text{ kcal} / \text{kg}} = 741 \text{ kg vapor de agua} / \text{h}$$

El sistema de calefacción está compuesto por tubos de media caña dispuestos alrededor del tanque, estos tubos tendrán un diámetro nominal de 5 in (12,7 mm) y un espesor de 0,142 in (3,6 mm). El espesor ha sido calculado de igual manera que para el diseño de la red tuberías. Según la norma ANSI B36.10 habría que pedir una tubería de *schelude* 40, cuyo espesor nominal sea de 0,258 in (6,5 mm), ya que es el espesor comercial inmediatamente superior al calculado para tuberías de diámetro nominal 5 in (12,7 mm).

El número de tubos necesarios se calcula dividiendo el área total de calefacción entre el área de un tubo, para ello tenemos que calcular ambas áreas.

Cálculo del área total de calefacción.

El área total de calefacción no es más que el área encerrada por el rectángulo compuesto por la altura del líquido dentro del tanque y la longitud de la circunferencia de la sección transversal del tanque. Para el mezclador, la altura del líquido dentro del tanque es de 5,94 metros y la longitud de la circunferencia de la sección transversal del tanque es de 9,42 metros. Así que:

$$\text{Área total calefacción} = \text{Altura líquido} \times \text{Longitud circunferencia}$$

$$\text{Área total calefacción} = 5,94 \text{ m} \times 9,42 \text{ m} = 55,95 \text{ m}^2$$

Cálculo del área de un tubo de calefacción.

El área de un tubo de calefacción no es más que el área encerrada por el rectángulo compuesto por el diámetro del tubo y la longitud de la circunferencia de la sección transversal del tubo. Para el mezclador, el diámetro del tubo de calefacción es de 0,127 metros y la longitud de la circunferencia de la sección transversal del tubo es de 9,42 metros. Así que:

$$\text{Área tubo calefacción} = \text{Diámetro tubo} \times \text{Longitud circunferencia}$$

$$\text{Área tubo calefacción} = 0,127 \text{ m} \times 9,42 \text{ m} = 1,196 \text{ m}^2$$

Por lo que el número de tubos necesarios para la calefacción del mezclador son:

$$\text{Número tubos} = \frac{\text{Área total calefacción}}{\text{Área tubo calefacción}} = \frac{55,95 \text{ m}^2}{1,196 \text{ m}^2} = 47 \text{ tubos}$$

A1.3. Diseño de los reactores de hidrólisis.

El diseño del reactor de hidrólisis se hace de forma análoga al diseño de los fermentadores. Tanto los cálculos del espesor de las paredes, los cálculos de las patas de apoyo, los cálculos de efecto del viento y los cálculos del sistema de refrigeración del reactor de hidrólisis se realizarán sin mostrar la metodología seguida. Se incluirá una tabla resumen con los datos obtenidos para el reactor de hidrólisis puesto que como se indicó previamente los cálculos se realizan igual que para los fermentadores (para ver detalladamente como se realizarían esos cálculos vease los apartados A1.5.2, A1.5.3 A1.5.4 y A1.5.6 respectivamente).

A1.3.1. Cálculos geométricos.

Para calcular las dimensiones geométricas del reactor de hidrólisis hay que tener en cuenta cuál será el caudal de entrada al reactor, ya que en función de dicho caudal se necesitará un volumen determinado de enzimas inmovilizadas, que determinará cuál debe ser el volumen mínimo del reactor de hidrólisis. Para ello se dispone del siguiente dato: para un caudal de 6 L/h se necesita un litro de enzimas inmovilizadas (Gerhartz, W. “Enzymes in industry. Production and applications”. 1990. Ed. VCH, Weinheim).

Así que, como el caudal que se introducirá al reactor de hidrólisis será de 42 m³/h, o lo que es lo mismo de 42.000 L/h, se necesitará un volumen de enzimas inmovilizadas de 7.000 litros, o lo que es lo mismo de 7 m³.

Como por motivos de seguridad y sobredimensionamiento el volumen del reactor debe tener un 20% más de volumen, el volumen real del reactor de hidrólisis será de:

- Volumen de trabajo = 7,0 m³.
- Volumen real del tanque = 8,5 m³.

La ecuación que se va a utilizar para realizar los cálculos de la geometría del reactor de hidrólisis es la siguiente:

$$V = \pi \times \frac{D^2}{4} \times H \quad (m^3)$$

donde:

V ≡ Volumen real del reactor, en m³.

D ≡ Diámetro del reactor, en metros.

H ≡ Altura del reactor, en metros.

Atendiendo a todo lo anterior, el reactor de hidrólisis tendrá un diámetro de 1,5 metros y una altura de 4,8 metros. Como consecuencia de estas medidas el volumen real del reactor será de 8,48 m³.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPESORES	
Temperatura de operación (°C)	40
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	60
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	29,646
Línea de tangencia (in)	12,079
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,034
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,069
Espesor fondo toriesférico (in)	0,022
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	4
Diámetro de los pernos (mm)	20

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K_a	1
Presión básica del viento (kg/m^2)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m^2)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	0,617
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE REFRIGERACIÓN	
Entalpía de reacción (kcal/mol)	-4,8
Cantidad de sacarosa (mol)	122.699,40
Calor generado por consumo de sacarosa (kcal)	588.957,06
Tiempo de duración de la hidrólisis (horas)	1,0
Calor generado por hora (kcal/h)	588.957,06
Capacidad calorífica del fluido refrigerante ($\text{kcal/kg}\cdot^\circ\text{C}$)	1,00
Temperatura de entrada del fluido refrigerante ($^\circ\text{C}$)	15
Temperatura de salida del fluido refrigerante ($^\circ\text{C}$)	40
Caudal másico de refrigeración (kg/h)	23.588,28
Caudal volumétrico de refrigeración (m^3/h)	23,56
Velocidad del fluido refrigerante (m/s)	1,38
Tiempo de permanencia del fluido refrigerante (h)	0,06
Diámetro de los tubos (m)	0,11
Área total de refrigeración (m^2)	32,64
Número de tubos	63
Espesor de los tubos (mm)	6,00

A1.4. Diseño del intercambiador de calor 1.

Para llevar a cabo la fermentación se necesita que el medio de cultivo esté a $32\text{ }^\circ\text{C}$, para ello hay que calentar el agua de la red para la alimentación de $15\text{ }^\circ\text{C}$ a $31\text{ }^\circ\text{C}$, ya que al venir la corriente de la hidrólisis a $40\text{ }^\circ\text{C}$, y

mezclarse ambas la temperatura final será de 32 °C. Para ello se utiliza un intercambiador de calor de un paso por carcasa y dos pasos por tubo a contracorriente. Como fluido caliente se utilizará vapor de agua a 110 °C y 1 atmósfera de presión, que sale a la misma temperatura ya que sólo se produce su cambio de fase.

El calor necesario para calentar la corriente de agua de 15 °C a 31 °C se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_{sal} - T_{ent})$$

donde:

$Q \equiv$ Potencia calorífica (kcal/h).

$m \equiv$ Caudal másico de agua (kg/h).

$C_p \equiv$ Capacidad calorífica de la corriente (kcal/kg·°C).

$T_{ent} \equiv$ Temperatura de entrada de la corriente (°C).

$T_{sal} \equiv$ Temperatura de salida de la corriente (°C).

Sabiendo que la capacidad calorífica del agua es de 1 kcal/kg·°C, y que el caudal másico de la corriente que se quiere calentar es de 40,00 kg/s, se puede calcular el calor necesario para calentar la corriente con la expresión anterior:

$$Q = 40,00 \text{ kg / s} \times 1 \text{ kcal / kg} \cdot \text{°C} \times (31 \text{ °C} - 15 \text{ °C}) = 640 \text{ kcal / s}$$

Como el calor que es necesario aportar para calentar la corriente es el mismo que el que se retirará del vapor, se puede calcular cual es el caudal másico de vapor, teniendo en cuenta que sólo hay cambio de fase, y no de temperatura. Así que ahora, la expresión para calcular el caudal másico de vapor será la siguiente, sabiendo que el término de incremento de la temperatura por la capacidad calorífica se anula:

$$Q = \dot{m} \times [C_p \times (T_{ent} - T_{sal}) + \lambda_c]$$

donde λ_c es el calor latente de condensación del agua y toma el valor de 543 kcal/kg.

Hay que destacar que el incremento de temperaturas se ha invertido en su orden original para que el signo del calor salga positivo y no negativo.

$$\dot{m} = \frac{Q}{\lambda_c} = \frac{640 \text{ kcal/s}}{543 \text{ kcal/kg}} = 1,18 \text{ kg/s}$$

Ahora hay que calcular cual es el área necesaria para el intercambiador de calor, para ello se hace uso de la siguiente expresión:

$$Q = A \times U \times \Delta T_{ml}$$

donde:

$Q \equiv$ Calor a intercambiar en W.

$A \equiv$ Área de intercambio de calor en m^2 .

$U \equiv$ Coeficiente global de transmisión de calor en $W/m^2 \cdot K$.

$\Delta T_{ml} \equiv$ Incremento de temperatura medio logarítmico.

Este último factor se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{c,e} - T_{f,s}) - (T_{c,s} - T_{f,e})}{\ln \frac{(T_{c,e} - T_{f,s})}{(T_{c,s} - T_{f,e})}}$$

de manera que el valor del $\Delta T_{ml} = 86,75 \text{ K}$.

Según la tabla de coeficientes globales de transmisión de calor que se muestra en el Anexo 7. “Diseño de intercambiadores de calor”, un valor

aproximado del coeficiente global de transmisión de calor para un intercambiador, condensador, de vapor enfriado por agua se encuentra del orden de 1.000-4.000 W/m²·K. Por lo tanto, se puede suponer que el intercambiador que se está diseñando en este apartado, tiene un coeficiente global de transmisión de calor de 3.800 W/m²·K.

Así que despejando el área de la expresión anterior y sustituyendo los valores calculados y supuestos obtenemos:

$$A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{ml}} = \frac{2.677.760,0 \text{ W}}{2.500 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 86,75} = 12,35 \text{ m}^2$$

Una vez conocida el área de intercambio, se necesita conocer cuantos tubos son necesarios y de que medidas. El intercambiador estará compuesto de tubos de 3 metros de largo, y de 100 mm de diámetro. Por lo que con estos datos y sabiendo que el paso de tubo es de dos ya se puede calcular el número de tubos que tendrá en intercambiador.

$$\text{Área tubo} = 2 \times \pi \times D \times L = 2 \times \pi \times 0,10 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 1,256 \text{ m}^2$$

Por lo que el número de tubos que forman el intercambiador son:

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{\text{Área intercambio}}{\text{Área tubo}} = \frac{12,35 \text{ m}^2}{1,256 \text{ m}^2} = 9,83$$

Así que el número de tubos necesarios para construir el intercambiador de calor será de 10 tubos.

A1.5. Diseño de los tanques de fermentación.

A1.5.1. Cálculos geométricos.

Los tanques de fermentación consistirán en tanques cilíndricos con cabezales toriesféricos en sus extremos. Los volúmenes que van a presentar los tanques de fermentación son:

- Volumen de trabajo = 87,5 m³.
- Volumen real del tanque = 105 m³.

El volumen real del tanque se ha calculado como el volumen de trabajo más un 20% más de volumen por seguridad y sobredimensionamiento.

La ecuación que se va a utilizar para realizar los cálculos de la geometría de los tanques de fermentación es la siguiente:

$$V = \pi \times \frac{D^2}{4} \times H \quad (m^3)$$

donde:

V ≡ Volumen real de tanque, en m³.

D ≡ Diámetro del tanque, en metros.

H ≡ Altura del tanque, en metros.

También se tendrá en cuenta la relación aproximada que se aconseja diámetro/altura de 1/3 según el libro Manual del ingeniero químico. Perry, R. H. and Green, D. W. 2001. Editorial McGraw Hill.

Atendiendo a todo lo anterior, los tanques de fermentación tendrán un diámetro de 3,6 metros y una altura de 10,3 metros. Como consecuencia de estas medidas el volumen real del tanque será de 104,8 m³.

A1.5.2. Cálculos del espesor de las paredes.

Lo primero antes de empezar a diseñar el tanque de fermentación es conocer algunos datos como son la presión de diseño, la temperatura de diseño y la corrosión máxima prevista para la vida del elemento entre otros.

Presión de diseño, P.

La presión de diseño debe ser en todo caso mayor a la máxima presión de operación o servicio. En nuestro caso la presión de operación es de 1 atm o lo que es lo mismo de aproximadamente 14,7 psi.

Según el código ASME Sección VIII, la presión mínima de diseño ha de ser el mayor de los siguientes tres valores:

- $P \geq 1,1 * \text{Presión máxima de operación (kg/cm}^2\text{)}$.
- $P \geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ kg/cm}^2$.
- $P \geq 3,5 \text{ kg/cm}^2$.

Por lo que la presión de diseño será de $3,5 \text{ kg/cm}^2$, o lo que es lo mismo de 49,792 psi.

Temperatura de diseño, T_d.

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

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

En nuestro caso, los tanques de fermentación trabajan a una temperatura de $32 \text{ }^\circ\text{C}$, por lo que la temperatura de diseño será de $52 \text{ }^\circ\text{C}$.

Espesor mínimo de pared, t_{\min} .

El espesor mínimo de pared es el espesor mínimo fijado para la envolvente y los fondos, excluido el sobreespesor de corrosión, y será el mayor de los siguientes valores:

- $t_{\min} = 2,5 + c$ (mm), según lo exigido por el código ASME Sección VIII División 1.
- $t_{\min} = (D_i/1000) + 2,54 + c$ (mm). $D_i \equiv$ Diámetro interior.
- $t_{\min} = 5 + c$ (mm). Para aceros al carbono.
- $t_{\min} = 3$ (mm). Para aceros inoxidables.

En nuestro caso, como los tanques estarán contruidos con acero inoxidable $t_{\min} = 3$ mm.

Material empleado.

Para la fabricación de los tanques de fermentación se utilizará acero inoxidable AISI 316L, que tiene las siguientes características:

- $\sigma_{\text{elas.}} = 38.000$ psi.
- $\sigma_{\text{rot.}} = 80.000$ psi.

Tensión máxima admisible, S.

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

Esta tensión máxima admisible depende de las características del material y del coeficiente de seguridad que se adopte, variando con la temperatura de trabajo. Cada norma o código obtiene el valor de la tensión

máxima admisible de forma diferente, aunque en general las variables que se barajan son casi siempre las mismas.

En el presente Proyecto Fin de Carrera se va hacer uso del código ASME, según este código Sección VIII, División 1, la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño es el mínimo de los siguientes valores:

Para la virola sometida a más presión:

- $(2/3) * \sigma_{\text{elas.}} = 25.333,33 \text{ psi.}$
- $(3/8) * \sigma_{\text{rot.}} = 30.000 \text{ psi.}$

Para el resto de virolas:

- $(2/3) * \sigma_{\text{elas.}} = 25.333,33 \text{ psi.}$
- $(2/5) * \sigma_{\text{rot.}} = 32.000 \text{ psi.}$

Por lo tanto, según lo calculado anteriormente, la máxima tensión admisible es de 25.333,33 psi.

Eficiencia de la soldadura, E.

La unión entre chapas se realiza, normalmente, por medio de la soldadura, y ésta representa una discontinuidad dentro del trazado de chapa que puede producir una intensificación local de las tensiones a que se encuentra sometido el material. Esta razón, junto con la posibilidad de producirse efectos en la realización de la soldadura y el calentamiento y rápido enfriamiento al que está sometida la zona próxima a la soldadura, dan pie a considerar la zona de soldadura como debilitada.

Teniendo en cuenta este hecho, en el cálculo de los recipientes se introduce una reducción en la tensión máxima admisible multiplicando ésta por un coeficiente denominado eficiencia de la soldadura, cuyo valor varía según las normas y códigos, y de acuerdo a la soldadura y los controles efectuados sobre ella.

En el anexo 5 titulado “Diseño de tanques”, se pueden consultar las tablas necesarias para aplicar este coeficiente de eficiencia de la soldadura E y el valor de tensión máxima admisible S en función de estos factores.

Para soldaduras tipo 1, es decir, juntas a tope hechos por doble cordón de soldadura, o por otro medio, con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre la superficie interior y exterior de la pieza los valores de E son:

- E = 1,0 para estudio radiográfico completo.
- E = 0,85 para radiografías por zonas o puntual.

En nuestro caso el coeficiente de eficiencia de la soldadura E será de 0,85.

Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, definimos los parámetros que utilizaremos en las diferentes expresiones. Para empezar, considerando el recipiente cilíndrico, se calcula la longitud total del recipiente mediante la siguiente expresión:

$$L = L_{tt} + \frac{1}{3}H_1 + \frac{1}{3}H_2 \quad (in)$$

donde:

L ≡ Longitud total del tanque, en in.

L_{tt} ≡ Distancia entre las líneas de tangencia, en in.

H₁ y H₂ ≡ Alturas de los fondos, en in.

Según las características técnicas del documento Especificación Cepsa ESP – 1101 – 01 y sabiendo que el fondo del recipiente será toriesférico tipo Klopper, las alturas del fondo H₁ y H₂ son:

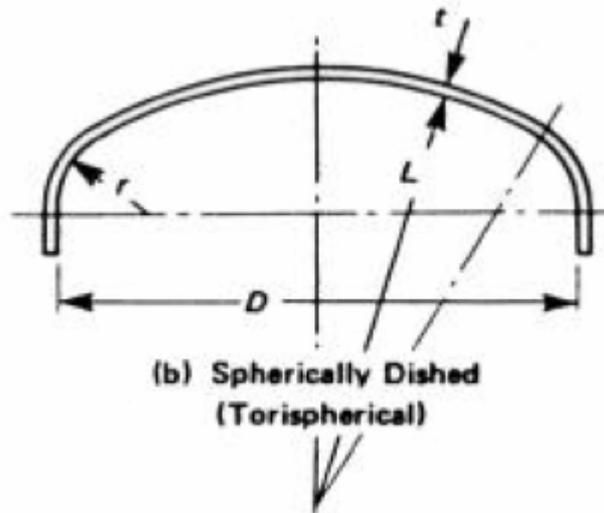


Figura A1.1. Esquema de un cabezal toriesférico.

$$H = 0,2 * D_o$$

$$H = 3,5 * t_F$$

Según esta expresión, es necesario conocer el diámetro exterior, por lo que se debe calcular el espesor del recipiente. Para ello hay que calcular el espesor para el casco o envolvente debido al esfuerzo longitudinal y circunferencial y el espesor de los cabezales toriesféricos, aunque estos poseen mayor resistencia debido a la relación de altura frente a diámetro, y el mayor de los tres valores será el espesor de diseño.

Cálculo del espesor para el casco debido al esfuerzo longitudinal.

Para calcular el espesor del casco debido al esfuerzo longitudinal hay que hacer uso de la siguiente expresión:

$$t = \frac{P \times R_{ic}}{2 \times S \times E + 0,4 \times P} \quad (in)$$

donde:

$R_{ic} \equiv$ radio interior con corrosión, en in.

La expresión para calcular el radio interior con corrosión es la siguiente:

$$R_{ic} = R_i + CA = R_i + c \quad (in)$$

Sabiendo que CA es la corrosión máxima admisible, es decir, el sobreespesor de corrosión, c, que en nuestro caso por ser el recipiente de acero inoxidable es igual a 3 mm, o lo que es lo mismo 0,118 in.

$$R_{ic} = R_i + CA = R_i + c = 70,866 + 0,118 = 70,984 \text{ in}$$

Con lo que el valor de R_{ic} es igual a 70,984 in. Y el resto de los datos que ya conocemos son $S = 25.333 \text{ psi}$, $E = 0,85$ y $P = 49,792 \text{ psi}$.

Por lo tanto el espesor del casco debido al esfuerzo longitudinal es:

$$t = \frac{49,792 \text{ psi} \times 70,984 \text{ in}}{2 \times 25.333 \text{ psi} \times 0,85 + 0,4 \times 49,792 \text{ psi}} = 0,082 \text{ in}$$

Cálculo del espesor para el casco debido al esfuerzo circunferencial.

Para calcular el espesor del casco debido al esfuerzo longitudinal hay que hacer uso de la siguiente expresión:

$$t = \frac{P \times R_{ic}}{S \times E - 0,6 \times P} \quad (in)$$

Sustituyendo los datos ya conocidos que son $R_{ic} = 70,984 \text{ in}$, $S = 25333 \text{ psi}$, $E = 0,85$ y $P = 49,792 \text{ psi}$ obtenemos:

$$t = \frac{49,792 \text{ psi} \times 70,984 \text{ in}}{25.333 \text{ psi} \times 0,85 - 0,6 \times 49,792 \text{ psi}} = 0,164 \text{ in}$$

Cálculo del espesor para los cabezales toriesféricos.

Aunque los cabezales poseen mayor resistencia debido a la relación altura frente a diámetro, también se realiza el cálculo del espesor para asegurarnos. Para ello hay que hacer uso de la siguiente expresión:

$$t = \frac{P \times M \times L_t}{2 \times S \times E - 0,2 \times P} \quad (in)$$

donde L_t es la línea de tangencia que toma el valor de 28,987 in y M es un parámetro que toma el valor 1,54 para cabezales toriesféricos de tipo Klopper según la Especificación Cepsa ESP – 1101 – 01.

Sustituyendo los datos citados en el párrafo anterior y los ya conocidos como son $S = 25.333$ psi, $E = 0,85$ y $P = 49,792$ psi obtenemos:

$$t = \frac{49,792 \text{ psi} \times 1,54 \times 28,987 \text{ in}}{2 \times 25.333 \text{ psi} \times 0,85 - 0,2 \times 49,792 \text{ psi}} = 0,052 \text{ in}$$

Una vez calculados los tres espesores, se toma como espesor de diseño el mayor de los valores, ya que este es el caso más desfavorable. Este valor es el espesor del casco debido al esfuerzo circunferencial y toma el valor de 0,164 in.

Una vez conocido el espesor del tanque se puede calcular el diámetro exterior del mismo de la siguiente manera:

$$D_o = D_i + 2 \times t = 141,732 \text{ in} + 2 \times 0,164 \text{ in} = 142,060 \text{ in}$$

Y una vez se conoce el diámetro exterior se puede calcular la altura de los fondos de la siguiente manera:

$$H = 0,2 \times D_o = 0,2 \times 142,060 \text{ in} = 28,412 \text{ in}$$

De la misma manera, una vez se conoce la altura de los fondos y la distancia entre las líneas de tangencia se puede calcular la longitud total del recipiente mediante la siguiente expresión:

$$L = L_u + \frac{1}{3}H_1 + \frac{1}{3}H_2 = 387,721 \text{ in} + \frac{1}{3} \times 28,412 \text{ in} + \frac{1}{3} \times 28,412 \text{ in} = 406,666 \text{ in}$$

A1.5.3. Cálculos de las patas de apoyo.

El número de patas de apoyo está relacionado con el diámetro del tanque o recipiente. A continuación se muestra una tabla en la que establece dicha relación.

Diámetro del recipiente	Número de patas de apoyo
D < 2,5 m	4
2,5 m < D < 4,5 m	6
D > 4,5 m	8

El tanque de fermentación posee un diámetro mayor que 3,5 metros, por lo que el número de apoyos será de 6. En este caso se trata de perfiles comerciales IPN de dimensiones normalizadas y de acero al carbono, que irán soldados a la carcasa mediante una placa de refuerzo soldada directamente al recipiente, que será de igual material que el recipiente. Las patas estarán igualmente espaciadas sobre el perímetro del tanque de fermentación.

El perfil irá soldado a una placa cuadrangular, fijándose al suelo el conjunto mediante dos pernos de anclaje. El diámetro de los pernos será de 20 mm y el de los taladros de 26 mm.

A1.5.4. Cálculos del efecto del viento.

Al igual que la presión interna o externa, el viento produce unas tensiones en las paredes del recipiente que puede producir inestabilidad mecánica del mismo.

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

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

$$Q = \frac{D_o}{10^3} \times P_w \quad (\text{kg} / \text{m})$$

donde:

$Q \equiv$ Carga debida al viento por metro lineal de altura, en kg/m.

$D_o \equiv$ Diámetro exterior del recipiente, incluido aislamiento si lo hay, en mm.

$P_w \equiv$ Presión de diseño del viento, en kg/m².

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

$$P_w = p \times c \times K \times r \quad (\text{kg} / \text{m}^2)$$

donde:

$p \equiv$ Presión básica del viento, en kg/m².

$c \equiv$ Factor de forma.

$K \equiv$ Coeficiente de esbeltez.

$r \equiv$ Coeficiente de accesorios.

Presión básica del viento, p .

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

$$p = p_o \times K_a \quad (\text{kg} / \text{m}^2)$$

donde:

$p_o \equiv$ Presión básica del viento a la altura del suelo, en kg/m^2 .

$K_a \equiv$ Factor de altura.

La velocidad del viento V elegida se determina en función de la velocidad máxima habida en los últimos años incrementada convenientemente o la que marque la reglamentación oficial, si existe, en la zona donde se va a instalar el equipo. En nuestro caso la velocidad del viento es de 120 km/h. La presión básica a nivel del suelo a partir de la velocidad del viento se obtiene con la siguiente fórmula:

$$p_o = \frac{V}{201,4} \quad (\text{kg} / \text{m}^2)$$

siendo V la velocidad del viento, en km/h.

Como valor de factor de altura se adoptan usualmente los siguientes:

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

En nuestro caso se adopta el valor de 1 para K_a ya que los tanques de fermentación tienen una altura menor a 15 metros.

Así que ya se conocen todos los datos necesarios para poder calcular la presión básica del viento:

$$p = \frac{V}{201,4} \times K_a = \frac{120 \text{ km/h}}{201,4} \times 1 = 0,596 \text{ kg/m}^2$$

Factor de forma, c.

El factor de forma es función de la forma expuesta al viento, y en las torres y recipientes su valor es:

Área expuesta	Factor de forma, c
Cilíndrica (superficie lisa)	0,6
Cilíndrica (superficie rugosa)	0,8
Esférica	0,45

Entre los valores de factor de forma en recipientes cilíndricos, normalmente se debe adoptar 0,6 por tratarse generalmente de superficies lisas. En nuestro caso es así, y se adopta dicho valor para el factor de forma.

Coefficiente de esbeltez, K.

El coeficiente de esbeltez es función de la relación entre la altura H y el diámetro exterior D_o expuesto al viento, incluido el aislamiento si existiese. Su valor se indica a continuación:

Esbeltez H/D_o	Coefficiente de esbeltez, K
De 1 a 5	1
10	1,25
30	1,35
≥ 70	1,5

Para valores intermedios se debe interpolar a partir de los valores indicados.

En nuestro caso la relación altura/diámetro exterior toma el valor 2,86 por lo que el factor de esbeltez tiene el valor de 1.

Coefficiente de accesorios, r.

Para tener en cuenta el efecto de suma de área que producen las tuberías soportadas, las plataformas, escaleras y, en general, cualquier accesorio exterior a las torres o recipientes, se introduce un coeficiente que compensa estas acciones y cuyo valor se obtiene a partir del siguiente cuadro:

Diámetro exterior, D_o (mm)	Coefficiente de accesorios, r
< 399	1,4
De 400 a 599	1,3
De 600 a 999	1,2
> 1000	1,15

En nuestro caso el diámetro exterior de los tanques de fermentación es superior a 1000 mm por lo que el coeficiente de accesorios toma el valor de 1,15.

Con todos estos valores, ya se puede calcular la presión de diseño del viento P_w en función de la presión básica del viento p , para ello se utiliza la expresión que se citó anteriormente:

$$P_w = p \times c \times K \times r = 0,596 \text{ kg / m}^2 \times 0,6 \times 1 \times 1,15 = 0,411 \text{ kg / m}^2$$

Entonces, una vez calculada la presión de diseño del viento, se puede calcular la carga unitaria debida al viento por metro lineal de altura de la siguiente manera:

$$Q = \frac{D_o}{10^3} \times P_w = \frac{3600 \text{ mm}}{10^3} \times 0,411 \text{ kg / m}^2 = 1,479 \text{ kg / m}$$

A1.5.5. Cálculos del sistema de agitación.

El sistema de agitación está diseñado siguiendo unas relaciones geométricas del tanque, impulsores y elementos de agitación ya establecidas de forma estándar en los tanques de fermentación industriales como se muestra en la siguiente tabla.

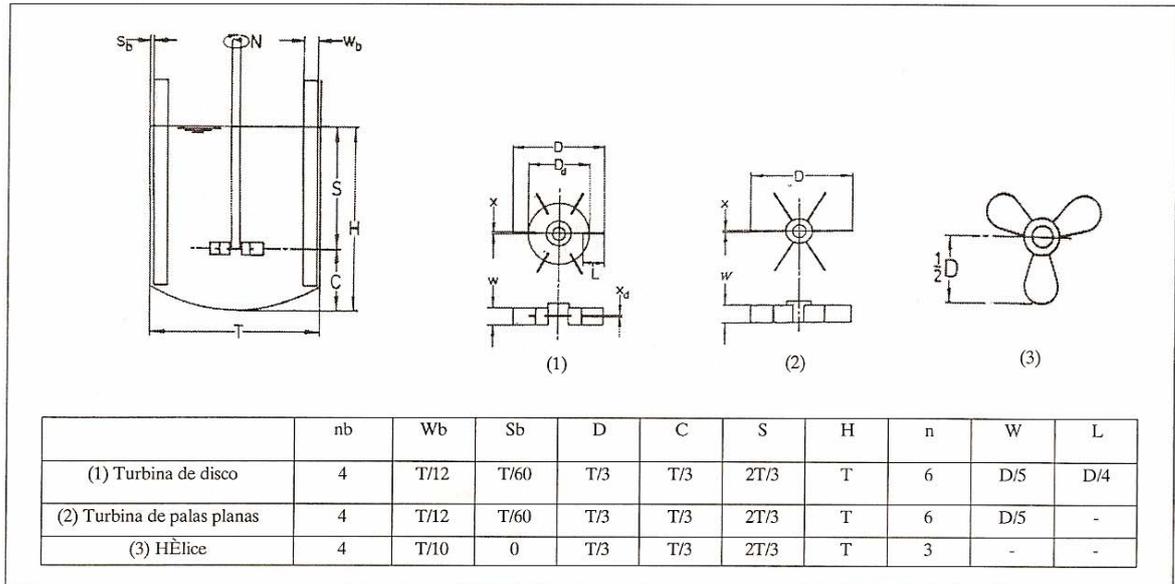


Figura A1.2. Relaciones geométricas de los impulsores y tanques.

Fuente: Ingeniería bioquímica. 1998. Gòdia Casablanca, F. y López Santín, J.

En nuestro caso, para el sistema de agitación se colocarán turbinas de palas planas por lo que estas relaciones geométricas serán:

$$W_b = \frac{T}{12} \quad \rightarrow \quad W_b = \frac{3,6 \text{ m}}{12} = 0,3 \text{ m}$$

$$D = \frac{T}{3} \quad \rightarrow \quad D = \frac{3,6 \text{ m}}{3} = 1,2 \text{ m}$$

$$C = \frac{T}{3} \quad \rightarrow \quad C = \frac{3,6 \text{ m}}{3} = 1,2 \text{ m}$$

$$S = \frac{2T}{3} \quad \rightarrow \quad S = \frac{2 \times 3,6 \text{ m}}{3} = 2,4 \text{ m}$$

$$W = \frac{D}{5} \quad \rightarrow \quad W = \frac{1,2 \text{ m}}{5} = 0,24 \text{ m}$$

La potencia absorbida durante la agitación de un sistema puede representarse a través de módulos adimensionales, como es el número de potencia, definido para sistemas agitados no aerados como:

$$N_p = \frac{P}{\rho \times N^3 \times D^5}$$

donde:

$P \equiv$ Potencia absorbida por el agitador, en W.

$\rho \equiv$ Densidad del líquido, en kg/m^3 .

$N \equiv$ Velocidad de agitación, en rps.

$D \equiv$ Diámetro del impulsor, en metros.

Este número de potencia se puede correlacionar con módulos adimensionales que describan el movimiento del líquido en el interior del tanque, como puede ser el de Reynolds para agitación:

$$R_e = \frac{\rho \times D^2 \times N}{\mu}$$

Así que, conocido el número de Reynolds y el tipo de impulsor, con ayuda de las curvas de potencia (vease Anexo 5. Diseño de tanques) se puede calcular el número de potencia.

$$R_e = \frac{\rho \times D^2 \times N}{\mu} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \times (1,2)^2 \text{ m} \times 1,67 \text{ rps}}{10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}} = 2,4 \times 10^6$$

por lo que el valor del número de potencia es, $N_p = 3,7$.

Una vez que se conocen todos los valores de los factores que intervienen en la ecuación, ya se puede calcular la potencia absorbida por el impulsor, por medio de la ecuación:

$$P = N_p \times \rho \times N^3 \times D^5 = 3,7 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 1,2^3 \text{ rps} \times 1,2^5 \text{ m} = 15.909,32 \text{ W}$$

En fermentadores de grandes dimensiones es necesario colocar más de un impulsor para conseguir una buena mezcla. La distancia de separación entre los impulsores se sitúa entre una y dos veces el diámetro del impulsor. En cuanto a la potencia absorbido se ha visto (WANG, 1979) que esta es directamente proporcional al número de impulsores.

Como la distancia entre impulsores, en nuestro caso, será de 2,5 m, la altura de líquido en el tanque es de 8,6 m, y sabiendo que la distancia del fondo del tanque al impulsor es de 1,2 m y desde la superficie del líquido al impulsor es de 2,4 m, tenemos que poner tres impulsores el eje de agitación de cada tanque de fermentación.

Al tener tres impulsores en nuestro eje de agitación, la potencia será aproximadamente el triple, así que el valor final de la potencia absorbida por agitación será de:

$$P = 3 \times 15,909,3 \text{ W} = 47.728 \text{ W} \approx 47,73 \text{ kW}$$

Como consecuencia, será necesario instalar un motor eléctrico de la potencia indicada.

A1.5.6. Cálculos del sistema de refrigeración.

La generación de calor producido durante el proceso de fermentación y la necesidad de mantener los tanques de fermentación a una temperatura óptima para que el microorganismo pueda llevar a cabo la fermentación con mayor eficacia, hace necesario la instalación de un sistema de refrigeración en los tanques de fermentación.

Las entalpías de reacción de las reacciones que tienen lugar durante la fermentación acetobutílica son las mostradas en la siguiente tabla:

Reacción	ΔH° reacción (kJ/mol)
Glucosa \rightarrow Ac. acético	+94,0
Glucosa \rightarrow Ac. butírico	-45,4
Glucosa \rightarrow acetona	+135,3
Glucosa \rightarrow butanol	-127,1

Fuente: Microbiología industrial. Los microorganismos de interés industrial, 2000. Leveau, J.-Y. y Bouix, M.

Una vez conocido el calor que se genera por mol de glucosa consumido, se necesita conocer cuantos moles de glucosa se consumen en la fermentación para la obtención de cada producto, para así poder calcular el calor total generado o consumido durante la misma para la obtención de cada producto. La suma de estos cuatro calores, nos dará el calor total generado o consumido durante la fermentación. Para ello, se hace uso de las reacciones que se producen durante la fermentación que son las siguientes para la producción de:

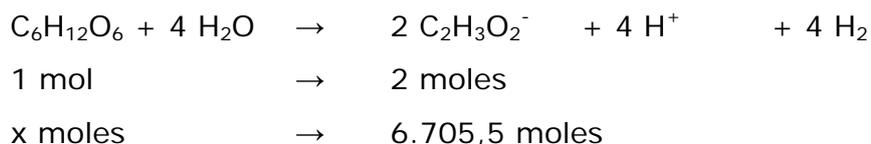
1. Acetato: $C_6H_{12}O_6 + 4 H_2O \rightarrow 2 C_2H_3O_2^- + 4 H^+ + 4 H_2$
2. Butirato: $C_6H_{12}O_6 + 2 H_2O \rightarrow C_4H_7O_2^- + 4 HCO_3^- + 3 H^+ + 2 H_2$
3. Acetona: $C_6H_{12}O_6 + 4 H_2O \rightarrow C_3H_6O + 4 HCO_3^- + 3 H^+ + 4 H_2$
4. Butanol: $C_6H_{12}O_6 + H_2O \rightarrow C_4H_{10}O + 4 HCO_3^- + 2 H^+$

Fuente: Microbiología industrial. Los microorganismos de interés industrial, 2000. Leveau, J.-Y. y Bouix, M.

Para saber cuantos moles de glucosa se necesitan para la obtención de cada producto se realiza el siguiente cálculo, basado en la estequiometría de las reacciones.

Cálculo de los moles necesarios para la producción de ácido acético.

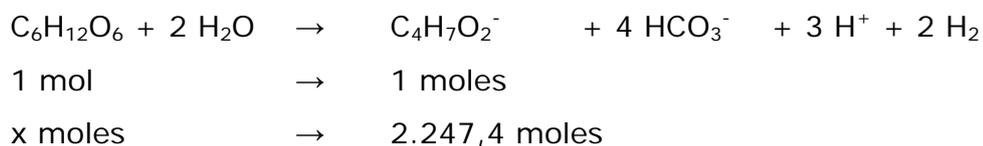
Sabiendo que el peso molecular del ácido acético es de 60,1 g/mol, se puede calcular que 403 kg de ácido acético son iguales a 6.705,5 moles.



$$x = \frac{6.705,5 \text{ moles} \times 1 \text{ moles}}{2 \text{ moles}} = 3.352,75 \text{ moles glucosa}$$

Cálculo de los moles necesarios para la producción de ácido butírico.

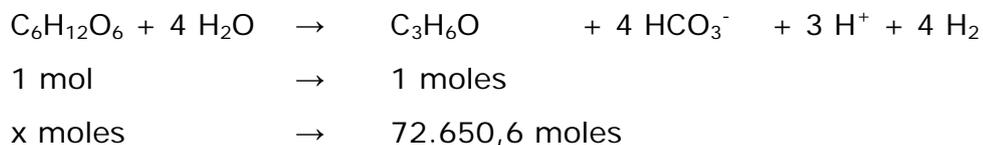
Sabiendo que el peso molecular del ácido butírico es de 88,1 g/mol, se puede calcular que 198 kg de ácido butírico corresponden a 2.247,4 moles.



$$x = \frac{2.247,4 \text{ moles} \times 1 \text{ moles}}{1 \text{ moles}} = 2.247,4 \text{ moles glucosa}$$

Cálculo de los moles necesarios para la producción de acetona.

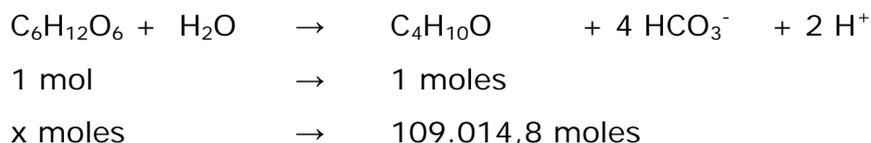
Sabiendo que el peso molecular de la acetona es de 58,1 g/mol, se puede calcular que 4.221 kg de acetona corresponden a 72.650,6 moles.



$$x = \frac{72.650,6 \text{ moles} \times 1 \text{ moles}}{1 \text{ moles}} = 72.650,6 \text{ moles glucosa}$$

Cálculo de los moles necesarios para la producción de butanol.

Sabiendo que el peso molecular del butanol es de 74,1 g/mol, se puede calcular que 8.078 kg de butanol corresponden a 109.014,8 moles.



$$x = \frac{109.014,8 \text{ moles} \times 1 \text{ moles}}{1 \text{ moles}} = 109.014,8 \text{ moles glucosa}$$

Una vez conocidos los moles de glucosa consumidos para producir las cantidades de productos obtenidos durante la fermentación, sólo queda multiplicarlos por el valor correspondiente de entalpía de reacción para así poder calcular el calor total generado o consumido durante la fermentación.

Reacción	ΔH° reacción (kJ/mol)	Glucosa consumida (moles)	Calor generado o consumido (kJ)
Glucosa \rightarrow Ac. acético	+94,0	3.352,75	315.158,5
Glucosa \rightarrow Ac. butírico	-45,4	2.247,4	-102.032,0
Glucosa \rightarrow acetona	+135,3	72.650,6	9.829.626,2
Glucosa \rightarrow butanol	-127,1	109.014,8	-13.855.781,1
SUMA	-	-	-3.813.028,4

El valor negativo obtenido en la suma de los calores indica que el conjunto de las reacciones producidas durante la fermentación da un balance exotérmico, o lo que es lo mismo, que durante la fermentación se genera calor, que hay que eliminar para mantener el fermentador a una temperatura óptima para el correcto funcionamiento del microorganismo.

El calor generado por el consumo de glucosa durante el transcurso de la fermentación es 3.813.028,4 kJ, o lo que es lo mismo, 911.335,7 kcal.

Conociendo el tiempo que dura la fermentación (43,5 horas), se puede calcular el calor generador por el consumo de glucosa por hora.

$$\text{Calor generado} = 911.335,7 \text{ kcal} / 43,5 \text{ horas} = 20.950,2 \text{ kcal} / h$$

Una vez que se conoce el calor generado se puede calcular el caudal másico de agua de refrigeración mediante la siguiente expresión:

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_{sal} - T_{ent}) \quad (\text{kcal} / h)$$

donde:

$Q \equiv$ Potencia calorífica, en kcal/h.

$\dot{m} \equiv$ Caudal másico de agua, en kg/h.

$C_p \equiv$ Capacidad calorífica del agua, en kcal/kg·°C.

$T_{ent} \equiv$ Temperatura de entrada del agua, en °C.

$T_{sal} \equiv$ Temperatura de salida del agua, en °C.

Así que despejando de la expresión anterior obtenemos que el caudal másico de refrigerante será de:

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \times (T_{sal} - T_{ent})} = \frac{20.950,2 \text{ kcal} / h}{1 \text{ kcal} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (30^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C})} = 1.396,7 \text{ kg de agua} / h$$

El sistema de refrigeración está compuesto por tubos de media caña dispuestos alrededor del tanque, estos tubos tendrán un diámetro nominal de 2 in (50 mm) y un espesor de 0,137 in (3,5 mm). El espesor ha sido calculado de igual manera que para el diseño de la red tuberías. Según la norma ANSI B36.10 habría que pedir una tubería de schelude 40, cuyo espesor nominal

sea de 0,154 in (3,9 mm), ya que es el espesor comercial inmediatamente superior al calculado para tuberías de diámetro nominal 2 in (50 mm).

El número de tubos necesarios se calcula dividiendo el área total de refrigeración entre el área de un tubo, para ello hay que calcular ambas áreas.

Cálculo del área total de refrigeración.

El área total de refrigeración no es más que el área encerrada por el rectángulo compuesto por la altura del líquido dentro del tanque y la longitud de la circunferencia delimitada por la sección transversal del tanque. Para los tanques de fermentación, la altura del líquido dentro del tanque es de 8,6 metros y la longitud de la circunferencia delimitada por la sección transversal del tanque es de 11,3 metros. Así que:

$$\text{Área total refrigeración} = \text{Altura líquido} \times \text{Longitud circunferencia}$$

$$\text{Área total refrigeración} = 8,6 \text{ m} \times 11,3 \text{ m} = 97,2 \text{ m}^2$$

Cálculo del área de un tubo de refrigeración.

El área de un tubo de refrigeración no es más que el área encerrada por el rectángulo compuesto por el diámetro del tubo y la longitud de la circunferencia delimitada por la sección transversal del tubo. Para los tanques de fermentación, el diámetro del tubo de refrigeración es de 0,05 metros y la longitud de la circunferencia delimitada por la sección transversal del tubo es de 11,3 metros. Así que:

$$\text{Área tubo refrigeración} = \text{Diámetro tubo} \times \text{Longitud circunferencia}$$

$$\text{Área tubo refrigeración} = 0,05 \text{ m} \times 11,3 \text{ m} = 0,565 \text{ m}^2$$

Por lo que el número de tubos necesarios para la refrigeración de un tanque de fermentación son:

$$\text{Número tubos} = \frac{\text{Área total refrigeración}}{\text{Área tubo refrigeración}} = \frac{97,2 \text{ m}^2}{0,565 \text{ m}^2} = 172 \text{ tubos}$$

Para calcular el tiempo de permanencia del agua en el sistema de refrigeración, se calculará primero el caudal volumétrico, luego la velocidad del agua dentro de los tubos del sistema de refrigeración, y por último el tiempo de permanencia del agua dentro del sistema de refrigeración.

$$Q_v = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{1.396,7 \text{ kg / h}}{1000 \text{ kg / m}^3} = 1,3967 \text{ m}^3 / \text{h}$$

La sección de los tubos del sistema de refrigeración es:

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times (0,05 \text{ m})^2}{4} = 9,8125 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q_v = V \times S \rightarrow V = \frac{Q_v}{S} = \frac{1,3967 \text{ m}^3 / \text{h}}{9,8125 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 1.423,4 \text{ m / h} \approx 0,4 \text{ m / s}$$

Por lo que el tiempo de permanencia del agua en el sistema de refrigeración se puede calcular como:

$$V = \frac{e}{t} \rightarrow t = \frac{e}{V} = \frac{1943,6 \text{ m}}{0,4 \text{ m}} = 4.859 \text{ s} \approx 1,35 \text{ h}$$

Sabiendo que “e” es la distancia recorrida por el agua, o lo que es lo mismo, la longitud de tubo que comprende el sistema de refrigeración que se calcula de la siguiente manera:

$$e = \text{longitud un tubo} \times \text{número tubos} = 11,3 \text{ m} \times 172 = 1943,6 \text{ m}$$

A1.6. Diseño del intercambiador de calor 2.

Para llevar a cabo la operación de pervaporación se necesita que la alimentación de esta se encuentre a 78 °C, por lo que hay que calentarla, ya que esta corriente procede de la operación de centrifugación a 32 °C. Para ello se utiliza un intercambiador de calor de un paso por carcasa y dos pasos por tubo a contracorriente. Como fluido caliente se utilizará vapor de agua a 110 °C, que sale a la misma temperatura ya que sólo se produce su cambio de fase.

El calor necesario para calentar la corriente de 32 °C a 78 °C se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_{sal} - T_{ent})$$

donde:

$Q \equiv$ Potencia calorífica (kcal/h).

$\dot{m} \equiv$ Caudal másico de agua (kg/h).

$C_p \equiv$ Capacidad calorífica de la corriente (kcal/kg·°C).

$T_{ent} \equiv$ Temperatura de entrada de la corriente (°C).

$T_{sal} \equiv$ Temperatura de salida de la corriente (°C).

Cálculo de la capacidad calorífica de la corriente.

La corriente está compuesta por agua (96,41%), butanol (2,25%), acetona (1,17), ácido acético (0,11) y ácido butírico (0,06) (los porcentajes son en peso). Como también son conocidas las capacidades caloríficas de los compuestos que forman la corriente se puede estimar la capacidad calorífica promedio de la corriente de la siguiente manera:

Compuesto	Peso (kg)	Tanto por 1	Cp (kcal/kg·°C)
Agua	346.500	0,9641	1,000
Butanol	8.077	0,0225	0,777
Acetona	4.220,6	0,0117	0,601
Ácido acético	403	0,0011	0,582
Ácido butírico	198	0,0006	0,585

$$C_p = (0,9641 \times 1,000) + (0,0225 \times 0,777) + (0,0117 \times 0,601) + (0,0011 \times 0,582) + (0,0006 \times 0,585) = 0,9896 \text{ kcal / kg} \cdot ^\circ \text{C}$$

Sabiendo que el caudal másico de la corriente que se quiere calentar es de 40,00 kg/s, se puede calcular el calor necesario para calentar la corriente con la expresión anterior:

$$Q = 40,00 \text{ kg / s} \times 0,9896 \text{ kcal / kg} \cdot ^\circ \text{C} \times (78 ^\circ \text{C} - 32 ^\circ \text{C}) = 1.820,86 \text{ kcal / s}$$

Como el calor que es necesario aportar para calentar la corriente es el mismo que el que se retirará del vapor, se puede calcular cual es el caudal másico de vapor, teniendo en cuenta que sólo hay cambio de fase, y no de temperatura. Así que ahora, la expresión para calcular el caudal másico de vapor será la siguiente, sabiendo que el término de incremento de la temperatura por la capacidad calorífica se anula:

$$Q = \dot{m} \times [C_p \times (T_{ent} - T_{sal}) + \lambda_C]$$

donde λ_C es el calor latente de condensación del agua y toma el valor de 543 kcal/kg.

Hay que destacar que el incremento de temperaturas se ha invertido en su orden original para que el signo del calor salga positivo y no negativo.

$$\dot{m} = \frac{Q}{\lambda_C} = \frac{1.820,86 \text{ kcal / s}}{543 \text{ kcal / kg}} = 3,35 \text{ kg / s}$$

Ahora hay que calcular cual es el área necesaria para el intercambiador de calor, para ello se hace uso de la siguiente expresión:

$$Q = A \times U \times \Delta T_{ml}$$

donde:

$Q \equiv$ Calor a intercambiar en W.

$A \equiv$ Área de intercambio de calor en m^2 .

$U \equiv$ Coeficiente global de transmisión de calor en $W/m^2 \cdot K$.

$\Delta T_{ml} \equiv$ Incremento de temperatura medio logarítmico.

Este último factor se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{c,e} - T_{f,s}) - (T_{c,s} - T_{f,e})}{\ln \frac{(T_{c,e} - T_{f,s})}{(T_{c,s} - T_{f,e})}}$$

de manera que el valor del $\Delta T_{ml} = 51,63$ K.

Según la tabla de coeficientes globales de transmisión de calor que se muestra en el Anexo 7. “Diseño de intercambiadores de calor”, un valor aproximado del coeficiente global de transmisión de calor para un intercambiador, condensador, de vapor enfriado por agua se encuentra del orden de 1.000-4.000 $W/m^2 \cdot K$. Por lo tanto, se puede suponer que el intercambiador que se está diseñando en este apartado, tiene un coeficiente global de transmisión de calor de 3.800 $W/m^2 \cdot K$.

Así que despejando el área de la expresión anterior y sustituyendo los valores calculados y supuestos obtenemos:

$$A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{ml}} = \frac{7.618.478,20 \text{ W}}{3.800 \text{ W} / m^2 \cdot K \times 51,63} = 38,83 \text{ m}^2$$

Una vez conocida el área de intercambio, se necesita conocer cuantos tubos son necesarios y de que medidas. El intercambiador estará compuesto de tubos de 3 metros de largo, y de 100 mm de diámetro. Por lo que con estos datos y sabiendo que el paso de tubo es de dos ya se puede calcular el número de tubos que tendrá en intercambiador.

$$\text{Área tubo} = 2 \times \pi \times D \times L = 2 \times \pi \times 0,10 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 1,884 \text{ m}^2$$

Por lo que el número de tubos que forman el intercambiador son:

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{\text{Área intercambio}}{\text{Área tubo}} = \frac{38,83 \text{ m}^2}{1,884 \text{ m}^2} = 20,61$$

Así que el número de tubos necesarios para construir el intercambiador de calor será de 21 tubos.

A1.7. Equipos para la separación y purificación de los productos obtenidos en la fermentación acetobutílica.

A1.7.1. Diseño del sistema de pervaporación.

Lo primero que se pretende calcular es cuanta cantidad de butanol pasa a través de la membrana, y cuanta acetona le acompaña. Para ello se hace uso de las selectividades de dichos compuestos tomadas del artículo *Acetone butanol ethanol (ABE) recovery by pervaporation using silicalite-silicone composite membrane from fed-batch reactor of Clostridium acetobutylicum*. Qureshi, N., Meagher, M. M., Huang, J. and Hutkins, R. W. (2001). *Journal of Membrane Science*. Dichas selectividades toman los valores de 97 y 38 para butanol y acetona respectivamente.

También es necesario conocer la fracción másica de butanol y acetona en la alimentación del sistema de pervaporación, dichas fracciones másicas se calculan de la siguiente manera:

$$X_i = \frac{\text{kg compuesto } i \text{ en la alimentación}}{\text{kg totales alimentación}}$$

Sabiendo que la alimentación se compone de 346.500 kg de agua, 8.077 kg de butanol, 4.220,6 kg de acetona, 403 kg de ácido acético y 198 kg de ácido butírico, la fracción molar de butanol y acetona respectivamente en la alimentación es de:

$$X_b = \frac{8.077 \text{ kg}}{359.398,6 \text{ kg}} = 0,0225$$

$$X_a = \frac{4.220,6 \text{ kg}}{359.398,6 \text{ kg}} = 0,0117$$

Una vez que se conoce la fracción másica de estos componentes en la alimentación, hay que calcular su fracción másica en el permeado, para ello se utiliza la expresión de la selectividad que tiene la forma:

$$\alpha_i = \frac{\frac{Y_i}{1 - Y_i}}{\frac{X_i}{1 - X_i}}$$

donde:

α_i \equiv Selectividad del compuesto i.

X_i \equiv Fracción másica del compuesto i en la alimentación.

Y_i \equiv Fracción másica del compuesto i en el permeado.

Para el butanol y la acetona, sustituyendo en la expresión de la selectividad se obtiene:

$$\alpha_b = \frac{\frac{Y_b}{1-Y_b}}{\frac{X_b}{1-X_b}} \rightarrow 97 = \frac{\frac{Y_b}{1-Y_b}}{\frac{0,0225}{1-0,0225}} \rightarrow Y_b = 0,69$$

$$\alpha_a = \frac{\frac{Y_a}{1-Y_a}}{\frac{X_a}{1-X_a}} \rightarrow 38 = \frac{\frac{Y_a}{1-Y_a}}{\frac{0,0117}{1-0,0117}} \rightarrow Y_a = 0,31$$

Una vez que se conoce las fracciones másicas del butanol y de acetona en el permeado, hay que suponer una base de cálculo para poder saber las cantidades de cada compuesto que se tiene en el permeado. En nuestro caso se supone que pasan 8.075,8 kg de butanol porque la selectividad es alta, por lo que pasará la mayoría del butanol, y porque la membrana de pervaporación ha sido diseñada para que precisamente pase la mayor cantidad posible de butanol.

Al igual que antes se calculó la fracción másica de butanol y acetona en la alimentación, ahora haciendo uso de esa misma expresión para el permeado, y conociendo que en el permeado habrá 8.075,8 kg de butanol, se puede calcular la cantidad de acetona en el permeado y por tanto la cantidad total de permeado.

$$Y_b = \frac{8.075,8 \text{ kg}}{\text{kg permeado}} \rightarrow 0,69 = \frac{8.075,8 \text{ kg}}{\text{kg permeado}} \rightarrow 11.704,1 \text{ kg permeado}$$

$$Y_a = \frac{\text{kg acetona}}{11.704,1 \text{ kg}} \rightarrow 0,31 = \frac{\text{kg acetona}}{11.704,1 \text{ kg}} \rightarrow 3.628,3 \text{ kg permeado}$$

A continuación se pasa a realizar los cálculos de la superficie necesaria para llevar a cabo la separación de las cantidades de butanol y acetona antes calculadas.

Se conoce que el flujo total a través de la membrana de pervaporación es de $89 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$, dato obtenido del artículo *Acetone butanol ethanol (ABE) recovery by pervaporation using silicalite-silicone composite membrane from fed-batch reactor of Clostridium acetobutylicum. Qureshi, N., Meagher, M. M., Huang, J. and Hutkins, R. W. (2001). Journal of Membrane Science.*

Así que, con la expresión que se muestra a continuación se puede calcular el área efectiva de la membrana.

$$F_T = \frac{W}{A \times T}$$

donde:

$F_T \equiv$ Flujo total que pasa a través de la membrana en $\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$.

$W \equiv$ Peso del permeado en gramos.

$A \equiv$ Área efectiva de la membrana en m^2 .

$T \equiv$ Tiempo que dura la pervaporación en horas.

Si la pervaporación dura 2,43 horas, el área efectiva de la membrana para llevar a cabo la separación deseada será de:

$$F_T = \frac{W}{A \times T} \rightarrow A = \frac{W}{F_T \times T} = \frac{11.704.100 \text{ g}}{89,0 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \times 2,43 \text{ h}} = 54.118,00 \text{ m}^2$$

Los flujos a través de la membrana del butanol y de la acetona respectivamente serán de:

$$F_b = \frac{W_b}{A \times T} = \frac{8.075.800 \text{ g}}{54.118,00 \text{ m}^2 \times 2,43 \text{ h}} = 61,4 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$$

$$F_a = \frac{W_a}{A \times T} = \frac{3.628.300 \text{ g}}{54.118,00 \text{ m}^2 \times 2,43 \text{ h}} = 27,6 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$$

Cálculo del número de tubos y el área geométrica necesarios en función del caudal.

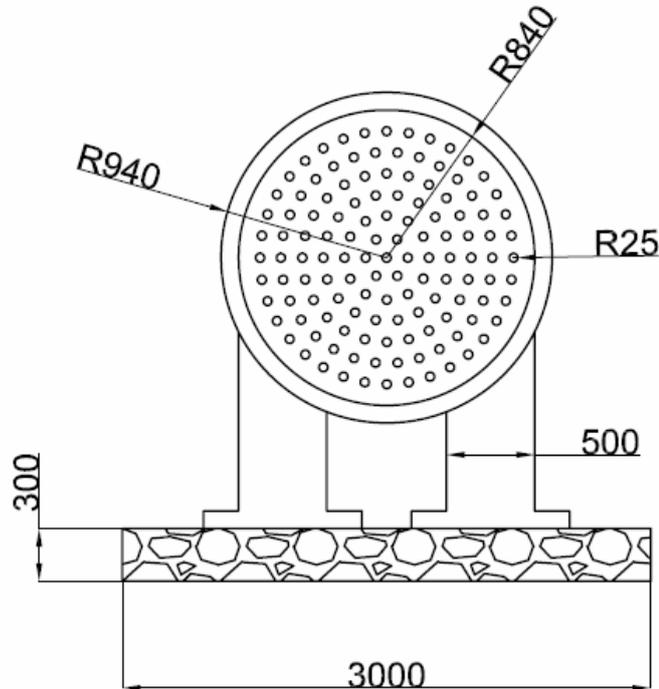


Figura A1.3. Sección transversal del sistema de pervaporación.

Debido a que la pervaporación operará en continuo, el caudal será el mismo que proviene de la operación anterior, es decir, $144 \text{ m}^3/\text{h}$.

Como se conoce que las operaciones de membrana son lentas, se impone una velocidad de paso del fluido por los tubos de pervaporación baja, esta velocidad será de $0,16 \text{ m/s}$.

El diámetro de estos tubos será de 50 mm , porque el fluido debe contactar con la membrana para que la traspase, por lo cual interesa un diámetro pequeño. Y la longitud de estos tubos será de 10 metros para que el fluido pase un tiempo prolongado dentro de ellos.

Con todos estos datos indicados anteriormente se puede calcular la sección del tubo de pervaporación que será:

$$S_t = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 0,05^2 \text{ m}}{4} = 1,9625 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Una vez conocida la sección de un tubo se puede calcular el caudal que circula por este tubo de la siguiente manera:

$$Q_t = V_t \times S_t = 0,16 \text{ m/s} \times 1,9625 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \approx 1,13 \text{ m}^3/\text{h}$$

Conocido el caudal que circula por un tubo, podemos conocer el número de tubos dividiendo el caudal total entre el caudal que circula por un tubo.

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{Q_{total}}{Q_t} = \frac{142,6 \text{ m}^3/\text{h}}{1,13 \text{ m}^3/\text{h}} = 126,2$$

Por lo que el sistema de pervaporación debe tener 127 tubos de las características antes descritas.

Como se observa el caudal total es algo más pequeño que en la operación de centrifugación, esto es debido a que en dicha operación se elimina 3,5 m³ de agua.

Ahora ya se puede calcular el área geométrica necesaria para la pervaporación que será el área que tienen esos 127 tubos. Esa área se calcula de la siguiente manera:

$$A_g = N \times L \times \pi \times D = 127 \times 10 \text{ m} \times \pi \times 0,05 \text{ m} = 199,39 \text{ m}^2$$

donde:

$A_g \equiv$ Área geométrica total, en m².

$N \equiv$ Número de tubos.

$L \equiv$ Longitud de los tubos, en metros.

$D \equiv$ Diámetro interno de los tubos, en metros.

Cálculo de la Silicalita ST-1, necesaria para fabricar la membrana de pervaporación.

Según la tabla del anexo 7 “Diseño del sistema de pervaporación”, la superficie específica de la silicalita está entre 348,0 – 451,7 m²/g, en función del método de fabricación de dicha silicalita. Para el presente Proyecto Fin de Carrera se va a utilizar el dato de 348,0 m²/g, por ser el más desfavorable, para asegurar que en todos los casos la membrana será capaz de separar las cantidades deseadas.

A este dato de superficie específica de la silicalita, hay que aplicarle un factor de pérdida de superficie específica, debido al proceso de fabricación de la membrana, ya que durante el procedimiento de curación, ésta pierde superficie específica por la sinterización de poros y por el taponamiento de poros debido a la silicona que se utiliza como matriz. Este factor de pérdida de superficie específica se considera que será del 0,01, es decir, que la superficie específica que la silicalita pierde durante el proceso de fabricación de la membrana es del 99%.

De este modo, se puede calcular cuál será la cantidad de silicalita TS-1 necesaria para la fabricación de la membrana. Este cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Gramos silicalita} = \frac{\text{Área efectiva}}{\text{Superficie específica}} = \frac{54.118,0 \text{ m}^2}{348,0 \text{ m}^2 / \text{g}} = 155,51 \text{ gramos silicalita}$$

$$\text{Silicalita necesaria} = \frac{\text{gramos silicalita}}{\text{Factor perdida su perficie específcia}} = \frac{155,51 \text{ g}}{0,01} = 15.551 \text{ g}$$

Finalmente, para fabricar la membrana de pervaporación se necesita un total de 15,551 kg de silicalita TS-1.

A1.7.2. Diseño de las columnas de destilación.

Las características de las columnas de destilación, como ya se ha citado en la memoria, se han obtenido mediante simulación con el programa SuperPro Designer 3.10 (Academic Versión). A continuación se muestran algunas pantallas correspondientes a la simulación de cada una de las columnas de destilación.

A1.7.2.1. Diseño de la columna de destilación nº 1.

A1.7.2.1.1. Cálculos característicos de la columna.

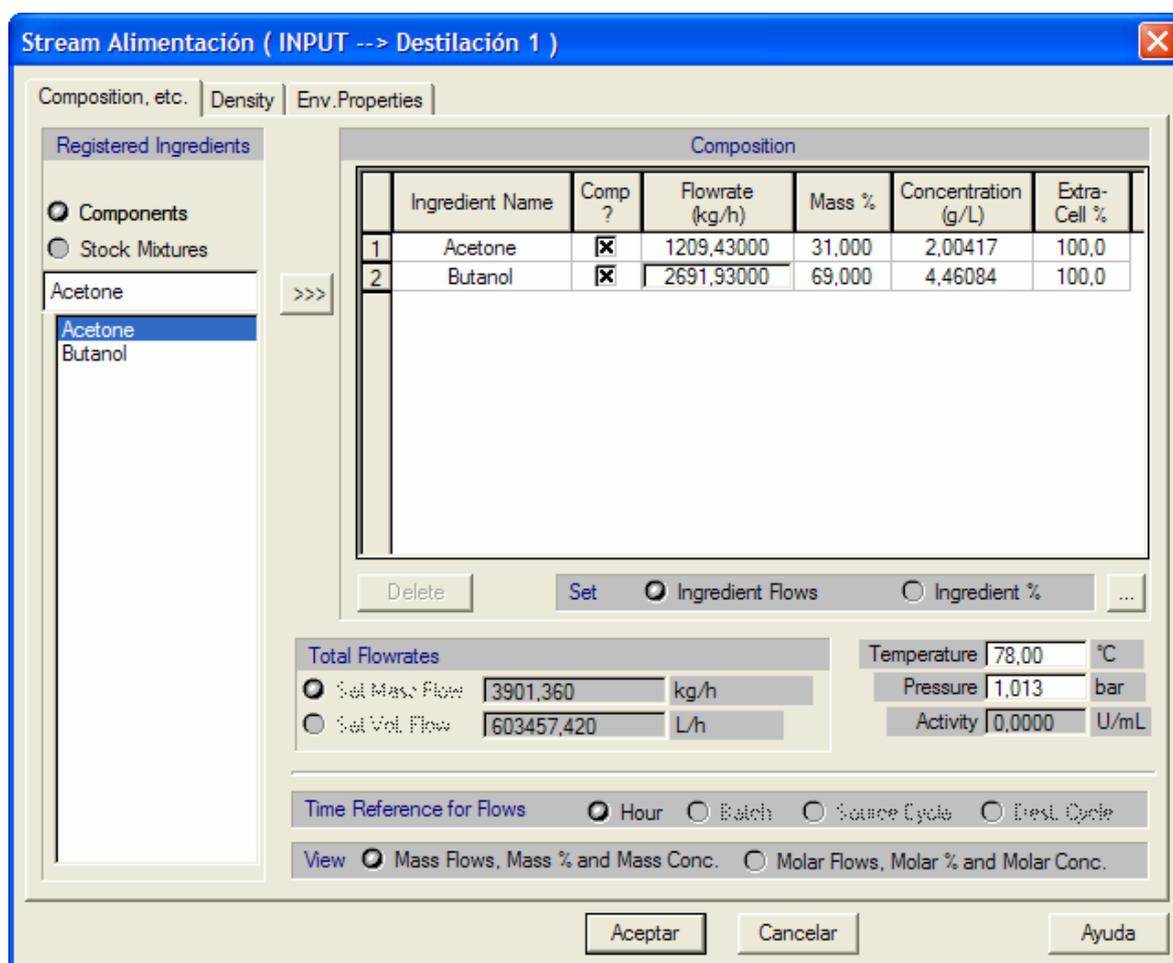


Figura A1.4. Pantalla correspondiente a las características de la alimentación de la columna de destilación nº 1.

The screenshot shows a software window titled "Destilación 1 (Distillation)" with a blue header bar and a close button in the top right corner. The window is divided into three tabs: "Equipment", "Oper.Cond's", and "Scheduling", with "Equipment" currently selected. The main area is split into two columns. The left column contains two sections: "Size" with radio buttons for "Calculate (Design Mode)" (selected) and "User-Defined (Rating Mode)"; and "Selection" with a radio button for "Select" (selected) and a dropdown menu showing "1", along with a "Request New" option and a "Name" input field. The right column is titled "Description" and contains several input fields: "Name" (1), "Type" (ShortCut Distillation), "Number of Units" (1), "Actual Stages" (30), "Max Diameter" (4,000 m), "Stage Height" (0,600 m), "Column Height" (18,000 m), "Column Diameter" (2,361 m), "Design Pressure" (1,500 bar), and a checked checkbox for "ASME Vessel?". At the bottom of the window are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Ayuda".

Figura A1.5. Pantalla correspondiente a las características de la columna de destilación n° 1.

Destilación 1 (Distillation)

Equipment | Oper.Cond's | Scheduling

Component Separation

Component	Relative Volatility	Percent (%) in Distillate
Acetone	7,23	99,99
Butanol	1,00	0,01

Heavy Key: Butanol | Light Key: Acetone

R / Rmin: 1,240
 Reflux Ratio: 0,546
 Feed Quality (q): 100,00 %
 Column Pressure: 1,030 bar
 Vapor Linear Velocity: 0,182 m/s
 Number of Theoretical Stages: 23,914
 Stage Efficiency: 80,00 %

Heating (Reboiler)

Reboiler Temp.: 100,00 °C

Agent: Name: Steam

In Temp.: 152,00 °C
 Out Temp.: 152,00 °C

Heating Duty: 981241,72 kcal/h

Cooling (Condenser)

Condenser Temp.: 90,00 °C

Agent: Name: Cooling Water

In Temp.: 25,00 °C
 Out Temp.: 30,00 °C

Cooling Duty: 642286,29 kcal/h

Aceptar | Cancelar | Ayuda

Figura A1.6. Pantalla correspondiente a las condiciones de operación de la columna de destilación nº 1.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 1	
Díámetro de la columna (m)	2,36
Altura de la columna (m)	18,00
Distancia entre platos (m)	0,60
Número mínimo de platos	23,914
Eficiencia de los platos (%)	80
Número de platos reales	30
Relación R/R _{min}	1,240
Presión de trabajo (bar)	1,030
Presión de diseño (bar)	1,500

A1.7.2.1.2. Cálculos para el diseño de los platos.

En el diseño de los platos hay que tener en cuenta muchas áreas, las cuales se detallan a continuación.

Primero está el área total del plato, A_t , y dentro de este encontramos distintas zonas:

- Por un lado el área ocupada por el vertedero, A_v , tanto de descenso del plato superior, como de salida del líquido al plato inferior.
- Se denomina área neta, A_n , al área total del plato menos lo ocupado por los vertederos.
- Además, el plato estará soportado por unas vigas, dos con el largo del vertedero y una con el diámetro de la torre, que ocuparán un área, A_{vig} .
- Se define el área activa o área de burbujeo, A_a , como el área neto menos el área de las vigas.
- Finalmente hay que considerar el área de cada perforación circular, A_o , relacionada con el diámetro de la perforación, d_o .

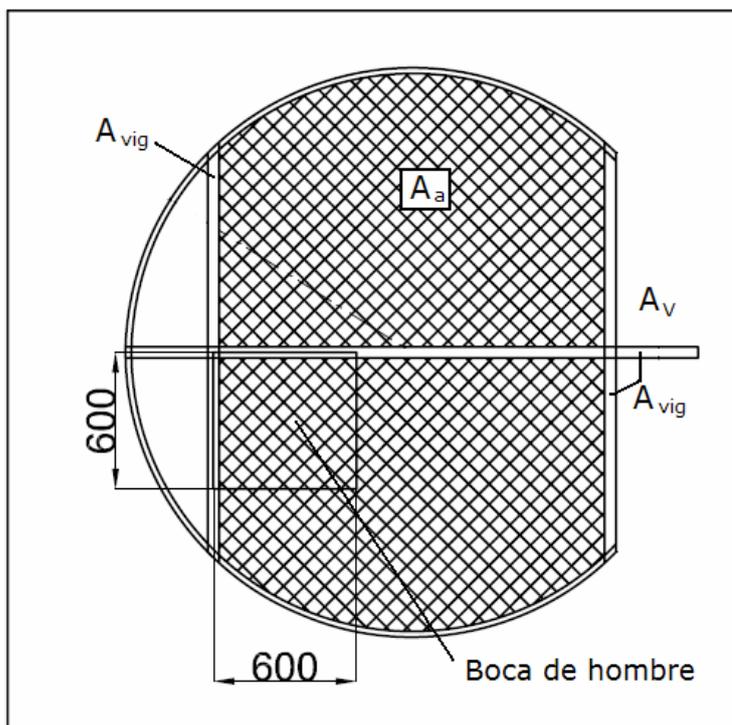


Figura A1.7. Zonas de un plato perforado para una columna de destilación.

Las relaciones matemáticas de estos parámetros y la secuencia de cálculo a seguir son las siguientes:

$$A_t = A_n + 2A_v = \pi \times R^2 = \pi \times 1,18^2 \text{ m} = 4,37 \text{ m}^2$$

$$A_a = A_n - A_{vig}$$

$$A_o = \sum \pi \frac{d_o^2}{4}$$

En función del diámetro de la columna, existen unas relaciones típicas entre el área activa y el área total como se muestra en la tabla siguiente:

Diámetro de la columna		A_a/A_t
m	ft	
1,00	3	0,65
1,25	4	0,70
2,00	6	0,74
2,50	8	0,76
3,00	10	0,78

Sabiendo que el diámetro de la columna es de 2,36 m, podemos conocer el valor de la relación A_a/A_t que es de 0,75. Y una vez conocido este valor de la relación citada, se puede calcular el valor del área activa, A_a .

$$\frac{A_a}{A_t} = 0,75 \rightarrow A_a = 0,75 \times A_t = 0,75 \times 4,37 \text{ m}^2 = 3,28 \text{ m}^2$$

Para el caso de derramaderos rectangulares rectos en platos de flujo transversal, se recomienda una longitud de vertedero, W , entre 0,6 y 0,8 veces el diámetro de la torre. En nuestro caso se utilizará 0,7 veces el diámetro de la torre, por lo que la relación A_v/A_t es igual a 0,0877. Así que se está en disposición de poder calcular A_v y W de la siguiente manera:

$$W = 0,7 \times D = 0,7 \times 2,36 \text{ m} = 1,65 \text{ m}$$

$$\frac{A_v}{A_t} = 0,0877 \rightarrow A_v = 0,0877 \times A_t = 0,0877 \times 4,37 \text{ m}^2 = 0,38 \text{ m}^2$$

Una vez que se conoce el área del vertedero, A_v , se puede calcular área neta, A_n , por medio de la siguiente expresión:

$$A_t = A_n + 2A_v \rightarrow A_n = A_t - 2A_v = 4,37 \text{ m}^2 - 2 \times 0,38 \text{ m}^2 = 3,61 \text{ m}^2$$

Y una vez que se conoce el área neta, A_n , se puede calcular el área que ocupan las vigas que soportan el plato, A_{vig} , con la expresión:

$$A_a = A_n - A_{vig} \rightarrow A_{vig} = A_n - A_a = 3,61 \text{ m}^2 - 3,28 \text{ m}^2 = 0,33 \text{ m}^2$$

Con respecto al diámetro de orificio en los platos, este valor suele oscilar entre 3 y 12 mm. Además las perforaciones se colocarán, en general, en los vértices de un triángulo equilátero a una distancia o *pitch*, " p' ", entre los centros de 2,5 a 5 veces el diámetro del orificio. Para estas disposiciones se debe cumplir la siguiente relación entre el área de la perforación, A_o , y el área activa, A_a , o área del plato ocupada por las perforaciones:

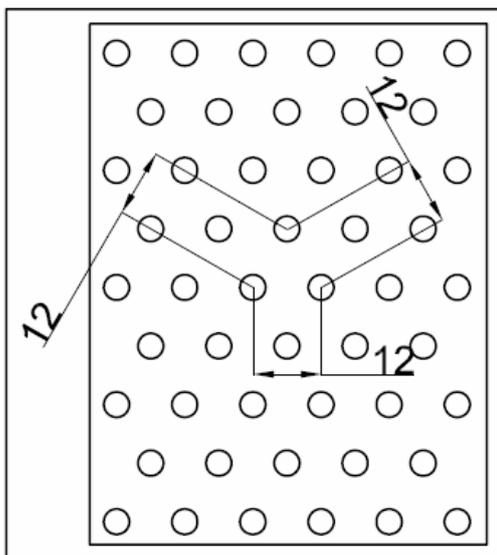


Figura A1.8. Esquema de colocación de las perforaciones de un plato en los vértices de un triángulo equilátero (pitch).

$$\frac{A_0}{A_a} = 0,907 \left(\frac{d_o}{p'} \right)^2$$

En nuestro caso el diámetro del orificio en los platos será de 4,5 mm y el pitch tomará el valor de 12 mm. Con estos valores y el valor del área activa calculado antes, se puede calcular el valor del área de las perforaciones, A_0 .

$$\frac{A_0}{A_a} = 0,907 \left(\frac{d_o}{p'} \right)^2 \rightarrow A_0 = 0,907 \left(\frac{d_o}{p'} \right)^2 \times A_a = 0,907 \left(\frac{0,0045 \text{ m}}{0,012 \text{ m}} \right)^2 \times 3,28 \text{ m}^2 = 0,42 \text{ m}^2$$

El número de perforaciones es A_0/a , donde a es el área de una perforación.

$$a = \pi \frac{d_o^2}{4} = \pi \frac{0,0045^2 \text{ m}}{4} = 1,5896 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$N^\circ \text{ perforaciones} = \frac{A_0}{a} = \frac{0,42 \text{ m}^2}{1,5896 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 26.421,3$$

Una vez fijado el diámetro del orificio, es posible determinar el espesor del plato, basándose en el material de construcción, tal y como se recoge en la siguiente tabla:

Diámetro de orificio		Espesor del plato/diámetro de orificio	
Mm	in	Acero inoxidable	Acero al carbono
3,0	1/8	0,65	-
4,5	3/16	0,43	-
6,0	¼	0,32	-
9,0	3/8	0,22	0,50
12,0	½	0,16	0,38
15,8	5/8	0,17	0,30
18,0	3/4	0,11	0,25

Sabiendo que el diámetro del orificio elegido para el diseño de los platos es de 4,5 mm y que los platos se fabricarán en acero inoxidable, con la tabla de arriba se obtiene que la relación espesor del plato/diámetro de orificio toma el valor de 0,43.

$$\frac{\text{Espesor plato}}{d_o} = 0,43 \rightarrow \text{Espesor plato} = 0,43 \times d_o = 0,43 \times 4,5 \text{ mm} = 1,94 \text{ mm}$$

El espaciado entre platos, t , suele ser función del diámetro de la columna. En la tabla siguiente se muestra los valores típicos que suele tomar:

Diámetro de la columna (m)	Espaciado entre platos (m)
Menos de 1	0,50
1-3	0,60
3-4	0,75
4-8	0,90

Como la columna tiene un diámetro de 2,36 metros, el espaciado entre platos debe ser de 0,6 metros.

La altura del derramadero se calcula con la siguiente expresión:

$$h_w = \frac{t}{10} = \frac{0,60 \text{ m}}{10} = 0,06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

A continuación se muestra una tabla resumen con todos los datos y resultados obtenidos en el diseño de los platos de la columna:

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO DE PLATOS COLUMNA N° 1	
Diámetro de la columna, D (m)	2,36
Área total del plato, A_t (m ²)	4,37
Área neta, A_n (m ²)	3,61
Área del vertedero, A_v (m ²)	0,38

Área de las vigas que soportan el plato, A_{vig} (m ²)	0,33
Área activa o de burbujeo, A_a (m ²)	3,28
Área de las perforaciones, A_o (m ²)	0,42
Área de una perforación, a (m ²)	$1,5896 \cdot 10^{-5}$
Diámetro de la perforación, d_o (mm)	4,5
Pitch (mm)	12,0
Número de perforaciones	26.311
Espaciado entre platos, t (m)	0,60
Longitud del vertedero, W (m)	1,65
Altura del derramadero, h_w (m)	0,06
Espesor del plato (mm)	1,94

A1.7.2.1.3. Diseño de la columna de destilación.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPESORES	
Temperatura de operación (°C)	100
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	120
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	46,575
Línea de tangencia (in)	19,003
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,050
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,108
Espesor fondo toriesférico (in)	0,034
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	4
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120

Efecto de altura, K_a	1,15
Presión básica del viento (kg/m^2)	0,685
Factor de forma, c	0,6
Coefficiente del esbeltez, K	1,1
Coefficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m^2)	0,520
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,227

A1.7.2.2. Diseño de la columna de destilación nº 2.

A1.7.2.2.1. Cálculos característicos de la columna.

Stream Alimentación (INPUT --> Destilación 2)

Composition, etc. | Density | Env.Properties

Registered Ingredients

Components
 Stock Mixtures

Acetone >>>
Acetone
Water

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/h)	Mass %	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	Acetone	<input checked="" type="checkbox"/>	592,30000	1,681	0,00974	100,0
2	Water	<input checked="" type="checkbox"/>	34650,00000	98,319	0,57002	100,0

Delete Set Ingredient Flows Ingredient % ...

Total Flowrates

Set Mass Flow 35242,300 kg/h
 Set Vol. Flow 60787610,663 L/h

Temperature 110,00 °C
Pressure 1,013 bar
Activity 0,0000 U/mL

Time Reference for Flows Hour Batch Source Cycle Dest. Cycle

View Mass Flows, Mass % and Mass Conc. Molar Flows, Molar % and Molar Conc.

Aceptar Cancelar Ayuda

Figura A1.9. Pantalla correspondiente a las características de la alimentación de la columna de destilación nº 2.

The screenshot shows a software window titled "Destilación 2 (Distillation)" with three tabs: "Equipment", "Oper.Cond's", and "Scheduling". The "Equipment" tab is active. It is divided into two main sections: "Size" and "Description".

Size Section:

- Radio button selected: Calculate (Design Mode)
- Radio button: User-Defined (Rating Mode)

Description Section:

- Name: Destilación 2
- Type: ShortCut Distillation
- Number of Units: 1
- Actual Stages: 28
- Max Diameter: 3,000 m
- Stage Height: 0,600 m
- Column Height: 16,800 m
- Column Diameter: 2,206 m
- Design Pressure: 1,500 bar
- ASME Vessel ?

Selection Section:

- Radio button selected: Select
- Dropdown menu: Destilación 2
- Radio button: Request New
- Name: [Empty text box]

At the bottom of the window are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Ayuda".

Figura A1.10. Pantalla correspondiente a las características de la columna de destilación n° 2.

Component	Relative Volatility	Percent (%) in Distillate
Acetone	3,68	99,80
Water	1,00	0,01

Heavy Key: Water
 Light Key: Acetone

R / Rmin: 1,250
 Reflux Ratio: 86,743
 Feed Quality (q): 100,00 %
 Column Pressure: 1,030 bar
 Vapor Linear Velocity: 1,965 m/s
 Number of Theoretical Stages: 22,371
 Stage Efficiency: 80,00 %

Heating (Reboiler)
 Reboiler Temp.: 100,00 °C
 Agent: Steam
 In Temp.: 152,00 °C
 Out Temp.: 152,00 °C
 Heating Duty: 9204726,02 kcal/h

Cooling (Condenser)
 Condenser Temp.: 90,00 °C
 Agent: Cooling Water
 In Temp.: 25,00 °C
 Out Temp.: 30,00 °C
 Cooling Duty: 6112216,70 kcal/h

Figura A1.11. Pantalla correspondiente a las condiciones de operación de la columna de destilación nº 2.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 2	
Diámetro de la columna (m)	2,20
Altura de la columna (m)	16,80
Distancia entre platos (m)	0,60
Número mínimo de platos	22,372
Eficiencia de los platos (%)	80
Número de platos reales	28
Relación R/R _{min}	1,250
Presión de trabajo (bar)	1,030
Presión de diseño (bar)	1,500

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO DE PLATOS COLUMNA N° 2	
Diámetro de la columna, D (m)	2,20
Área total del plato, A_t (m ²)	3,80
Área neta, A_n (m ²)	3,13
Área del vertedero, A_v (m ²)	0,33
Área de las vigas que soportan el plato, A_{vig} (m ²)	0,28
Área activa o de burbujeo, A_a (m ²)	2,85
Área de las perforaciones, A_o (m ²)	0,36
Área de una perforación, a (m ²)	$1,5896 \cdot 10^{-5}$
Diámetro de la perforación, d_o (mm)	4,5
Pitch (mm)	12,0
Número de perforaciones	22864
Espaciado entre platos, t (m)	0,60
Longitud del vertedero, W (m)	1,54
Altura del derramadero, h_w (m)	0,06
Espesor del plato (mm)	1,94

A1.7.2.2.2. Diseño de la columna de destilación.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPESORES	
Temperatura de operación (°C)	100
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	120
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	43,425
Línea de tangencia (in)	17,715
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,050
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,101
Espesor fondo toriesférico (in)	0,032

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	4
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K_a	1
Presión básica del viento (kg/m^2)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1,1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m^2)	0,452
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	0,995

A1.7.2.3. Diseño de la columna de destilación nº 3.

A1.7.2.3.1. Cálculos característicos de la columna.

The screenshot shows a software window titled "Stream Alimentación (Destilación 2 --> Destilación 3)". It has three tabs: "Composition, etc.", "Density", and "Env. Properties". The "Composition, etc." tab is active, displaying a table of "Composition Data".

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass %	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	Acetone	591,11540	99,4172	1,9487	100,00
2	Water	3,46500	0,5828	0,0114	100,00

Below the table, there are input fields for "Total Flowrates":

- Mass Flow: 594,580 kg/h
- Volumetric Flow: 303345,286 L/h
- Temperature: 90,00 °C
- Pressure: 1,01 bar
- Activity: 0,0000 U/mL

There are also radio buttons for "Time Reference for Flows" (Hour, Batch, Source Cycle, Dest. Cycle) and "View" (Mass Flows, Mass % and Mass Conc., Molar Flows, Molar % and Molar Conc.). At the bottom are buttons for "Aceptar", "Cancelar", and "Ayuda".

Figura A1.12. Pantalla correspondiente a las características de la alimentación de la columna de destilación nº 3.

The screenshot shows a software window titled "Destilación 3 (Distillation)" with a blue title bar and a close button. The window is divided into three tabs: "Equipment", "Oper.Cond's", and "Scheduling". The "Equipment" tab is active. It contains two main sections: "Size" and "Description".

Size Section:

- Radio button Calculate (Design Mode)
- Radio button User-Defined (Rating Mode)

Description Section:

- Name: C-102
- Type: ShortCut Distillation
- Number of Units: 1
- Actual Stages: 36
- Max Diameter: 4,000 m
- Stage Height: 0,600 m
- Column Height: 21,600 m
- Column Diameter: 2,803 m
- Design Pressure: 1,500 bar
- ASME Vessel ?

Selection Section:

- Radio button Select: C-102 (with a dropdown arrow)
- Radio button Request New:
Name: []

At the bottom of the window are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Ayuda".

Figura A1.13. Pantalla correspondiente a las características de la columna de destilación n° 3.

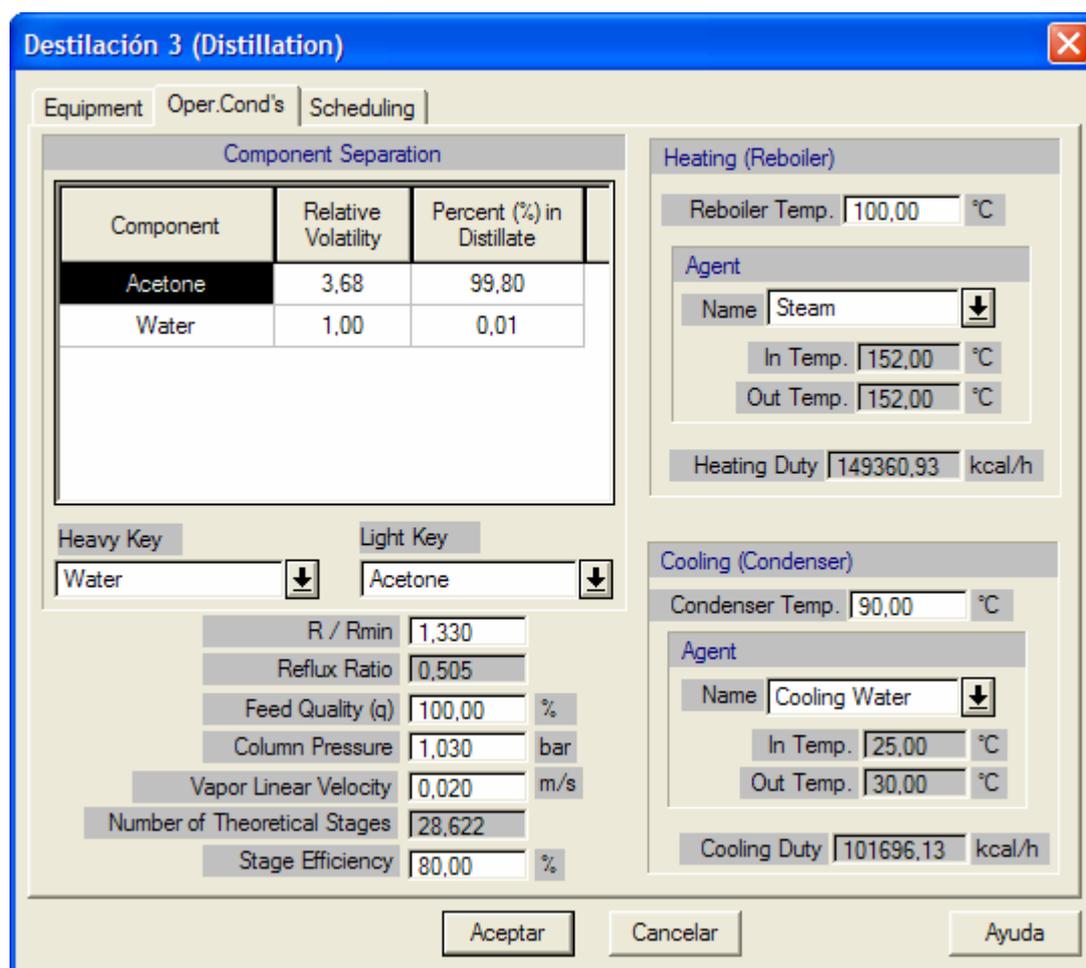


Figura A1.14. Pantalla correspondiente a las condiciones de operación de la columna de destilación nº 3.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 3	
Diámetro de la columna (m)	2,80
Altura de la columna (m)	21,6
Distancia entre platos (m)	0,60
Número mínimo de platos	28,623
Eficiencia de los platos (%)	80
Número de platos reales	36
Relación R/R _{min}	1,330
Presión de trabajo (bar)	1,030
Presión de diseño (bar)	1,50

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO DE PLATOS COLUMNA N° 3	
Diámetro de la columna, D (m)	2,80
Área total del plato, A_t (m ²)	6,16
Área neta, A_n (m ²)	5,08
Área del vertedero, A_v (m ²)	0,54
Área de las vigas que soportan el plato, A_{vig} (m ²)	0,34
Área activa o de burbujeo, A_a (m ²)	4,74
Área de las perforaciones, A_o (m ²)	0,60
Área de una perforación, a (m ²)	$1,5896 \cdot 10^{-5}$
Diámetro de la perforación, d_o (mm)	4,5
Pitch (mm)	12,0
Número de perforaciones	38.024
Espaciado entre platos, t (m)	0,60
Longitud del vertedero, W (m)	1,96
Altura del derramadero, h_w (m)	0,06
Espesor del plato (mm)	1,94

A1.7.2.3.2. Diseño de la columna de destilación.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPESORES	
Temperatura de operación (°C)	100
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	120
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	55,236
Línea de tangencia (in)	22,546
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,064
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,128
Espesor fondo toriesférico (in)	0,040

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K_a	1,15
Presión básica del viento (kg/m^2)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1,1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m^2)	0,520
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,456

A1.7.2.4. Diseño de la columna de destilación nº 4.

A1.7.2.4.1. Cálculos característicos de la columna.

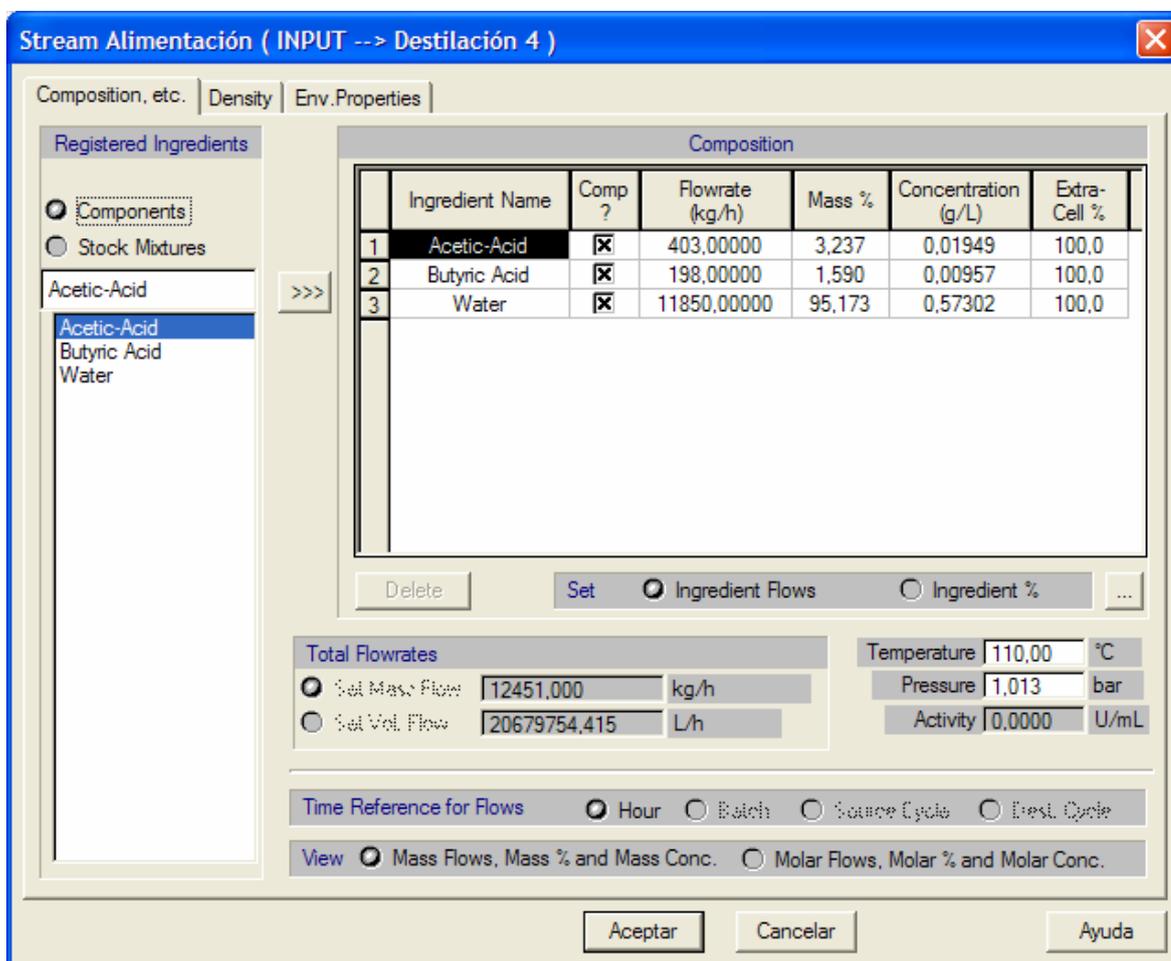


Figura A1.15. Pantalla correspondiente a las características de la alimentación de la columna de destilación nº 4.

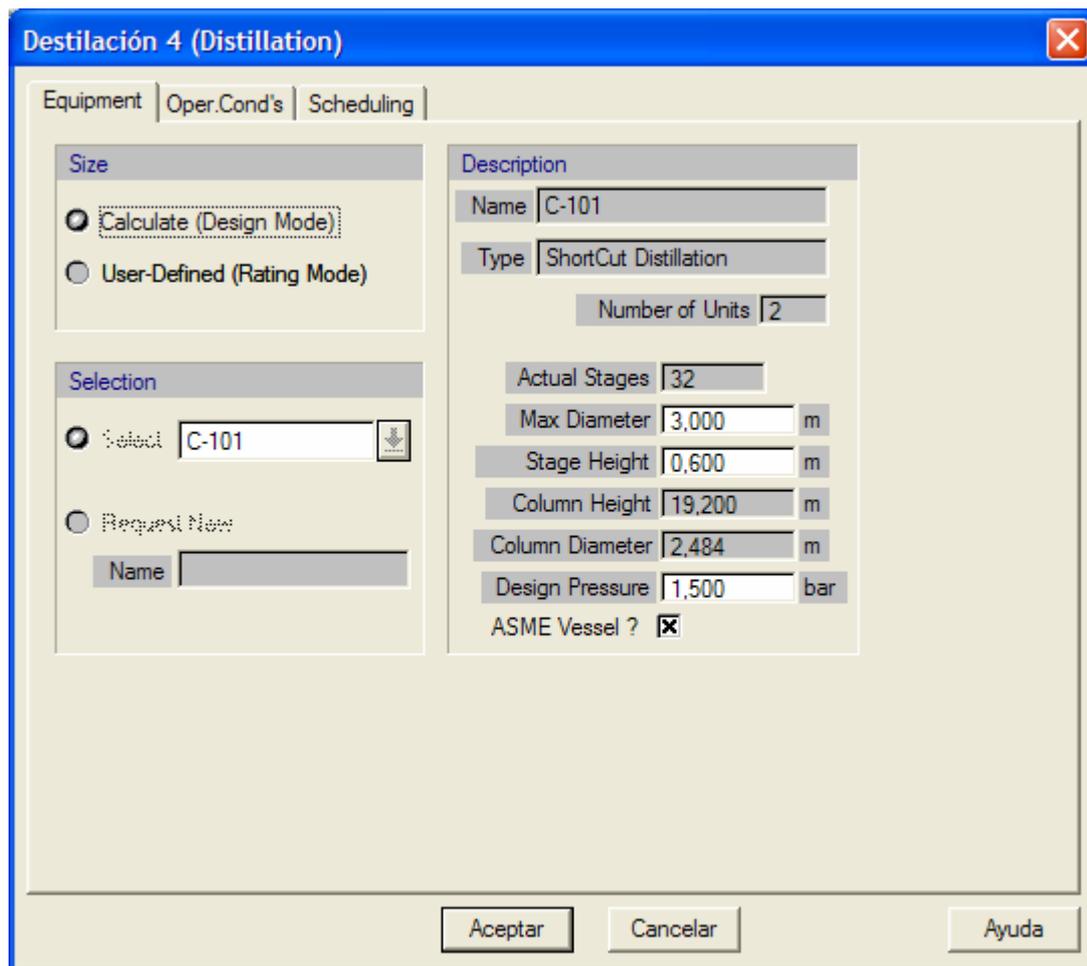


Figura A1.16. Pantalla correspondiente a las características de la columna de destilación n° 4.

Destilación 4 (Distillation)

Equipment | Oper.Cond's | Scheduling

Component Separation

Component	Relative Volatility	Percent (%) in Distillate
Acetic-Acid	6,01	0,01
Butyric Acid	1,00	0,01
Water	10,77	99,99

Heavy Key: Butyric Acid | Light Key: Water

R / Rmin: 1,210
 Reflux Ratio: 0,124
 Feed Quality (q): 100,00 %
 Column Pressure: 1,030 bar
 Vapor Linear Velocity: 0,629 m/s
 Number of Theoretical Stages: 25,538
 Stage Efficiency: 80,00 %

Heating (Reboiler)
 Reboiler Temp.: 100,00 °C
 Agent: Steam
 In Temp.: 152,00 °C
 Out Temp.: 152,00 °C
 Heating Duty: 8710323,71 kcal/h

Cooling (Condenser)
 Condenser Temp.: 90,00 °C
 Agent: Cooling Water
 In Temp.: 25,00 °C
 Out Temp.: 30,00 °C
 Cooling Duty: 7589110,96 kcal/h

Buttons: Aceptar, Cancelar, Ayuda

Figura A1.17. Pantalla correspondiente a las condiciones de operación de la columna de destilación nº 4.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 4	
Diámetro de la columna (m)	2,50
Altura de la columna (m)	19,2
Distancia entre platos (m)	0,60
Número mínimo de platos	25,528
Eficiencia de los platos (%)	80
Número de platos reales	32
Relación R/R _{min}	1,210
Presión de trabajo (bar)	1,030
Presión de diseño (bar)	1,50

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO DE PLATOS COLUMNA N° 4	
Diámetro de la columna, D (m)	2,50
Área total del plato, A _t (m ²)	4,91
Área neta, A _n (m ²)	4,05
Área del vertedero, A _v (m ²)	0,43
Área de las vigas que soportan el plato, A _{vig} (m ²)	0,32
Área activa o de burbujeo, A _a (m ²)	3,73
Área de las perforaciones, A _o (m ²)	0,48
Área de una perforación, a (m ²)	1,5896 · 10 ⁻⁵
Diámetro de la perforación, d _o (mm)	4,5
Pitch (mm)	12,0
Número de perforaciones	29.919
Espaciado entre platos, t (m)	0,60
Longitud del vertedero, W (m)	1,75
Altura del derramadero, h _w (m)	0,06
Espesor del plato (mm)	1,94

A1.7.2.4.2. Diseño de la columna de destilación.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPESORES	
Temperatura de operación (°C)	100
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	120
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	49,331
Línea de tangencia (in)	20,131
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,057
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,114
Espesor fondo toriesférico (in)	0,036

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K_a	1,15
Presión básica del viento (kg/m^2)	0,685
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1,1
Coeficiente de accesorios, r	1,5
Presión de diseño del viento (kg/m^2)	0,520
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,300

A1.7.2.5. Diseño de la columna de destilación nº 5.

A1.7.2.5.1. Cálculos característicos de la columna.

The screenshot shows a software window titled "Stream Alimentación (Destilación 4 --> Destilación 5)". It has three tabs: "Composition, etc.", "Density", and "Env. Properties". The "Composition, etc." tab is active, displaying a table of "Composition Data".

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass %	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	Acetic-Acid	402,95970	66,9229	680,7057	100,00
2	Butyric Acid	197,98020	32,8803	334,4410	100,00
3	Water	1,18500	0,1968	2,0018	100,00

Below the table, there are several input fields and controls:

- Total Flowrates:** Mass Flow (602,125 kg/h), Volumetric Flow (591,973 L/h).
- Temperature:** 100,00 °C
- Pressure:** 1,01 bar
- Activity:** 0,0000 U/mL
- Time Reference for Flows:** Radio buttons for Hour (selected), Batch, Source Cycle, and Dest. Cycle.
- View:** Radio buttons for Mass Flows, Mass % and Mass Conc. (selected) and Molar Flows, Molar % and Molar Conc.

At the bottom, there are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Ayuda".

Figura A1.18. Pantalla correspondiente a las características de la alimentación de la columna de destilación nº 5.

The screenshot shows a software window titled "Destilación 5 (Distillation)" with a blue header bar and a close button (X) in the top right corner. The window is divided into several sections:

- Equipment**: Contains tabs for "Equipment", "Oper.Cond's", and "Scheduling".
- Size**: Contains two radio buttons: "Calculate (Design Mode)" (selected) and "User-Defined (Rating Mode)".
- Description**: Contains a "Name" field with "C-102", a "Type" dropdown menu with "ShortCut Distillation", and a "Number of Units" field with "1".
- Selection**: Contains a "Select" dropdown menu with "C-102" and a "Request New" section with a "Name" field.
- Parameters**: A list of numerical fields with units:
 - Actual Stages: 28
 - Max Diameter: 3,000 m
 - Stage Height: 0,600 m
 - Column Height: 16,800 m
 - Column Diameter: 2,205 m
 - Design Pressure: 1,500 bar
 - ASME Vessel?:

At the bottom of the window, there are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Ayuda".

Figura A1.19. Pantalla correspondiente a las características de la columna de destilación n° 5.

Component Separation

Component	Relative Volatility	Percent (%) in Distillate
Acetic-Acid	6,01	99,99
Butyric Acid	1,00	0,01
Water	10,77	99,99

Heavy Key: Butyric Acid
Light Key: Water

R / Rmin: 1,210
 Reflux Ratio: 0,320
 Feed Quality (q): 100,00 %
 Column Pressure: 1,030 bar
 Vapor Linear Velocity: 0,019 m/s
 Number of Theoretical Stages: 22,366
 Stage Efficiency: 80,00 %

Heating (Reboiler)
 Reboiler Temp.: 100,00 °C
 Agent: Steam
 In Temp.: 152,00 °C
 Out Temp.: 152,00 °C
 Heating Duty: 160119,93 kcal/h

Cooling (Condenser)
 Condenser Temp.: 90,00 °C
 Agent: Cooling Water
 In Temp.: 25,00 °C
 Out Temp.: 30,00 °C
 Cooling Duty: 88773,23 kcal/h

Buttons: Aceptar, Cancelar, Ayuda

Figura A1.20. Pantalla correspondiente a las condiciones de operación de la columna de destilación nº 5.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN Nº 5	
Diámetro de la columna (m)	2,20
Altura de la columna (m)	16,8
Distancia entre platos (m)	0,60
Número mínimo de platos	22,355
Eficiencia de los platos (%)	80
Número de platos reales	28
Relación R/R _{min}	1,210
Presión de trabajo (bar)	1,030
Presión de diseño (bar)	1,500

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO DE PLATOS COLUMNA N° 5	
Diámetro de la columna, D (m)	2,20
Área total del plato, A _t (m ²)	3,80
Área neta, A _n (m ²)	3,13
Área del vertedero, A _v (m ²)	0,33
Área de las vigas que soportan el plato, A _{vig} (m ²)	0,28
Área activa o de burbujeo, A _a (m ²)	2,85
Área de las perforaciones, A _o (m ²)	0,36
Área de una perforación, a (m ²)	1,5896 · 10 ⁻⁵
Diámetro de la perforación, d _o (mm)	4,5
Pitch (mm)	12,0
Número de perforaciones	22.864
Espaciado entre platos, t (m)	0,60
Longitud del vertedero, W (m)	1,54
Altura del derramadero, h _w (m)	0,06
Espesor del plato (mm)	1,94

A1.7.2.5.2. Diseño de la columna de destilación.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPESORES	
Temperatura de operación (°C)	100
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	120
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	43,425
Línea de tangencia (in)	17,715
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,050
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,101
Espesor fondo toriesférico (in)	0,032

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	4
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K_a	1
Presión básica del viento (kg/m^2)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1,1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m^2)	0,452
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	0,995

A1.8. Diseño de las calderas.

En este apartado solamente se calculará el consumo de gas natural de las calderas para evaporar las cantidades de agua necesarias para comparar ese consumo de gas natural con el dado por el fabricante en las especificaciones de las calderas.

El poder calorífico del gas natural será de $9.500 \text{ kcal/N}\cdot\text{m}^3$ que es el dado por el fabricante de la caldera es las especificaciones técnicas de esta.

A1.8.1. Cálculos del consumo de gas natural para la caldera 1.

El calor que es necesario aportar para evaporar una cierta cantidad de agua viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = \dot{m} \times [C_p \times (T_{sal} - T_{ent}) + \lambda_v]$$

donde:

$Q \equiv$ Potencia calorífica, en kcal/h.

$m \equiv$ Caudal másico de agua, en kg/h.

$C_p \equiv$ Capacidad calorífica de la corriente, en kcal/kg·°C.

$T_{ent} \equiv$ Temperatura de entrada de la corriente, en °C.

$T_{sal} \equiv$ Temperatura de salida de la corriente, en °C.

$\lambda_v \equiv$ Calor latente de vaporización del agua, en kcal/kg.

En este caso, como el agua lleva una pequeña cantidad de acetona, se calculará también el gas natural necesario para evaporar esa cantidad de acetona, y se realizarán los cálculos igual que para el agua.

Como se conocen todos los datos de la expresión anterior, sustituyendo para el agua se obtiene:

$$Q = 20.000 \text{ kg/h} \times [1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (110^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}) + 543 \text{ kcal/kg}] = 10.860.000 \text{ kcal/h}$$

Si se divide este calor por el poder calorífico del gas natural se obtiene la cantidad de gas natural por hora necesaria para evaporar el caudal másico de agua impuesto.

$$\text{Caudal combustible} = \frac{Q}{PCI} = \frac{10.860.000 \text{ kcal/h}}{9.500 \text{ kcal/N}\cdot\text{m}^3} = 1.143,16 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{h}$$

Como la caldera trabaja un total de 1,73 horas para evaporar la cantidad de agua que se requiere evaporar el consumo de gas será de:

$$\text{Consumo gas natural} = \text{Caudal gas} \times \text{tiempo} = 1.143,16 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{h} \times 1,73 \text{ h} = 1.997,7 \text{ N}\cdot\text{m}^3$$

De forma análoga, para la pequeña cantidad de acetona que lleva el agua que se quiere evaporar, se tendrá:

$$Q = 342,8 \text{ kg/h} \times [0,601 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (110^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}) + 125,2 \text{ kcal/kg}] = 42.816 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Caudal combustible} = \frac{Q}{PCI} = \frac{42.816 \text{ kcal/h}}{9.500 \text{ kcal/N}\cdot\text{m}^3} = 4,51 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{h}$$

$$\text{Consumo gas natural} = \text{Caudal gas} \times \text{tiempo} = 4,51 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{h} \times 1,73 \text{ h} = 7,8 \text{ N}\cdot\text{m}^3$$

Por tanto, el consumo de gas natural será la suma de los dos consumos, aunque como se aprecia el consumo de gas natural para evaporar la acetona es prácticamente despreciable frente al consumo para evaporar el agua.

$$\text{Consumo gas natural} = 1.997,7 \text{ N}\cdot\text{m}^3 + 7,8 \text{ N}\cdot\text{m}^3 = 2.005,5 \text{ N}\cdot\text{m}^3 \approx 2.006 \text{ N}\cdot\text{m}^3$$

Teniendo en cuenta las especificaciones de la caldera, el consumo de gas natural es de 1.298 N·m³/h, por lo que si la caldera trabaja durante 1,73 horas, el consumo de gas natural será de 2.245,54 N·m³, resultado un poco mayor al obtenido haciendo el balance. Esto es debido a que la caldera no tiene un rendimiento del 100% sino que existen pérdidas.

A1.8.2. Cálculos del consumo de gas natural para la caldera 2.

El procedimiento es exactamente el mismo que antes, pero ahora solo evaporamos agua, no hay ningún compuesto en cantidades traza, por lo que sólo se hace el cálculo con el agua que se quiere evaporar.

$$Q = 20.000 \text{ kg/h} \times [1 \text{ kcal/kg}\cdot^\circ\text{C} \times (110^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}) + 543 \text{ kcal/kg}] = 10.860.000 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Caudal combustible} = \frac{Q}{PCI} = \frac{10.860.000 \text{ kcal/h}}{9.500 \text{ kcal/N}\cdot\text{m}^3} = 1.143,16 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{h}$$

$$\text{Consumo gas natural} = \text{Caudal gas} \times \text{tiempo} = 1.143,16 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{h} \times 15,0 \text{ h} = 17.147,4 \text{ N}\cdot\text{m}^3$$

Teniendo en cuenta las especificaciones de la caldera el consumo de gas natural es de 1.298 N·m³/h, por lo que si la caldera trabaja durante 15,0 horas, el consumo de gas natural será de 19.470,0 N·m³.

Este resultado es ligeramente superior al obtenido haciendo el balance, esto es debido a que la caldera no tiene un rendimiento del 100% sino que existen pérdidas.

A1.9. Diseño de los tanques de almacenamiento.

El diseño de todos los tanques de almacenamiento se hace de forma análoga al diseño de los fermentadores. Tanto los cálculos geométricos, los cálculos del espesor de las paredes, los cálculos de las patas de apoyo y los cálculos de efecto del viento sobre los tanques de almacenamiento se realizarán sin mostrar la metodología seguida. Se incluirá una tabla resumen con los datos obtenidos para cada tanque de almacenamiento, puesto que como se indicó previamente los cálculos se realizan igual que para los fermentadores (para ver detalladamente como se realizarían esos cálculos vease los apartados A1.5.1, A1.5.2, A1.5.3 y A1.5.4 respectivamente).

Todos los tanques de almacenamientos se construirán de acero inoxidable AISI 316L.

A1.9.1. Diseño del tanque de butanol.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	70,7
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	85,0
Diámetro del tanque (m)	3,40
Altura del tanque (m)	9,40
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPESORES	
Temperatura de operación (°C)	20
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	40
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	67,047
Línea de tangencia (in)	27,377
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,077
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,155
Espesor fondo toriesférico (in)	0,049
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,398

A1.9.2. Diseño del tanque de acetona.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	37,0
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	45,0
Diámetro del tanque (m)	2,80
Altura del tanque (m)	7,30
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPEORES	
Temperatura de operación (°C)	20
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	40
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	55,236
Línea de tangencia (in)	22,546
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,064
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,128
Espesor fondo toriesférico (in)	0,040
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coefficiente del esbeltez, K	1
Coefficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,151

A1.9.3. Diseño del tanque de ácido acético.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	5,0
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	7,0
Diámetro del tanque (m)	1,50
Altura del tanque (m)	4,00
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPEORES	
Temperatura de operación (°C)	20
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	40
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	29,646
Línea de tangencia (in)	12,079
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,034
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,069
Espesor fondo toriesférico (in)	0,022
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	4
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	0,617

A1.9.4. Diseño del tanque de ácido butírico.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	5,0
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	7,0
Diámetro del tanque (m)	1,50
Altura del tanque (m)	4,00
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPEORES	
Temperatura de operación (°C)	20
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	40
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	29,646
Línea de tangencia (in)	12,079
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,034
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,069
Espesor fondo toriesférico (in)	0,022
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	4
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coefficiente del esbeltez, K	1
Coefficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	0,617

A1.9.5. Diseño del tanque de agua destilada.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	87,0
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	105,0
Diámetro del tanque (m)	3,60
Altura del tanque (m)	10,30
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPEORES	
Temperatura de operación (°C)	20
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	40
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	70,984
Línea de tangencia (in)	28,987
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,082
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,164
Espesor fondo toriesférico (in)	0,052
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,480

A1.9.6. Diseño del tanque de biomasa procedente de la fermentación.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	24,5
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	30,0
Diámetro del tanque (m)	2,50
Altura del tanque (m)	6,10
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPEORES	
Temperatura de operación (°C)	20
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	40
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	49,331
Línea de tangencia (in)	20,131
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,057
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,114
Espesor fondo toriesférico (in)	0,036
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,028

A1.10. Diseño de los tanques pulmón.

El diseño de todos los tanques pulmón se hace de forma análoga al diseño de los fermentadores. Tanto los cálculos geométricos, los cálculos del espesor de las paredes, los cálculos de las patas de apoyo y los cálculos de efecto del viento sobre los tanques pulmón se realizarán sin mostrar la metodología seguida. Se incluirá una tabla resumen con los datos obtenidos para cada tanque pulmón, puesto que como se indicó previamente los cálculos se realizan igual que para los fermentadores (para ver detalladamente como se realizarían esos cálculos vease los apartados A1.5.1, A1.5.2, A1.5.3 y A1.5.4 respectivamente).

Todos los tanques pulmón se construirán de acero inoxidable AISI 316L.

A1.10.1. Diseño del tanque pulmón 1.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	73,2
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	90,0
Diámetro del tanque (m)	3,50
Altura del tanque (m)	8,96
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPEORES	
Temperatura de operación (°C)	78
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	98
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	69,016
Línea de tangencia (in)	28,182
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,080
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,160
Espesor fondo toriesférico (in)	0,050
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,439

A1.10.2. Diseño del tanque pulmón 2.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	210,0
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	250,0
Diámetro del tanque (m)	5,00
Altura del tanque (m)	12,80
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPEORES	
Temperatura de operación (°C)	78
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	98
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	98,543
Línea de tangencia (in)	40,260
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,114
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,228
Espesor fondo toriesférico (in)	0,072
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	8
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	2,056

A1.10.3. Diseño del tanque pulmón 3.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	103,7
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	125,6
Diámetro del tanque (m)	4,00
Altura del tanque (m)	9,40
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPEORES	
Temperatura de operación (°C)	100
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	120
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	78,858
Línea de tangencia (in)	32,208
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,091
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,183
Espesor fondo toriesférico (in)	0,057
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,644

A1.10.4. Diseño del tanque pulmón 4.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	70,8
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	85,0
Diámetro del tanque (m)	3,40
Altura del tanque (m)	9,40
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPESESORES	
Temperatura de operación (°C)	100
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	120
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	67,047
Línea de tangencia (in)	27,377
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,077
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,155
Espesor fondo toriesférico (in)	0,049
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,398

A1.11. Red de tuberías y equipos de bombeo.

La presencia de accesorios como pueden ser codos, tes, ensanchamientos, estrechamientos, bridas o válvulas, introducen pérdidas de carga adicionales a las que ya se producen por toda la red de tuberías en la instalación, por alterar o modificar la dirección del flujo o velocidad lineal del fluido.

La pérdida de carga debido al rozamiento del fluido con las paredes internas de las tuberías más la pérdida de carga debida a los accesorios instalados en la red de tuberías se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$H_f = f \times \frac{L + L_{eq}}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (m)$$

donde:

H_f \equiv Pérdida de carga, en metro de columna de líquido.

f \equiv coeficiente de fricción, adimensional.

L \equiv Longitud de tubería, en metros.

L_{eq} \equiv Longitud equivalente de tubería debida a los accesorios, en metros.

D \equiv Diámetro interno de la tubería, en metros.

V \equiv Velocidad del fluido, en m/s.

g \equiv aceleración de la gravedad, en m/s².

De la expresión anterior conocemos todos los términos excepto el factor de fricción y la longitud equivalente de tubería debida a los accesorios. La manera de calcular estos dos términos es como se explica a continuación.

Cálculo de la longitud equivalente de tubería debida a los accesorios.

Para calcular la longitud equivalente de tubería debida a los accesorios necesitamos un ábaco o una tabla donde se indique la longitud equivalente de tubería que corresponde a cada accesorio. Una vez se conoce cual es esa longitud equivalente de tubería de cada accesorio que hay en el tramo de la red de tubería que se quiere calcular, solo queda multiplicar esa longitud equivalente por el número de accesorios que corresponde a esa longitud equivalente que se encuentran en el tramo de red de tubería que se quiere calcular. Una vez se tienen esas longitudes equivalentes, solo queda hacer la suma de todos los valores de longitud equivalente correspondientes a cada tipo de accesorio instalado en la red de tuberías, cuya suma es la longitud equivalente total de tubería debida a los accesorios.

Cálculo del coeficiente de fricción.

Para calcular el coeficiente de fricción, lo primero que se debe hacer es calcular el Número de Reynolds, el cual se obtiene de la siguiente expresión:

$$\text{Re} = \frac{\rho \times D \times V}{\mu}$$

donde:

Re \equiv Número de Reynolds.

V \equiv Velocidad media de circulación del fluido, en m/s.

D \equiv Diámetro interior de la tubería, en metros.

ρ \equiv Densidad del fluido, en kg/m³.

μ \equiv Viscosidad absoluta o dinámica del fluido, en kg/m·s.

Una vez conocido el Número de Reynolds, hay que conocer la rugosidad relativa (ϵ/D), y para ello necesitamos el diámetro interior de la tubería que es el mismo que se utiliza para el Número de Reynolds y el material del que está

fabricada la tubería. Con esta información se mira en el gráfico correspondiente (véase anexo 11, red de tuberías y equipos de bombeo) y se obtiene la rugosidad relativa.

Una vez obtenida la rugosidad relativa, con el valor de esta y el calculado anteriormente del Número de Reynolds, se obtiene el factor de fricción que la ayuda de la gráfica de Moody (véase anexo 11, red de tuberías y equipos de bombeo).

Tramo tubería	F	D (m)	V (m/s)	L (m)	L _{eq} (m)	H _f (m)
Mezclador – Hidrólisis	0,025	0,160	0,580	17,0	23,8	0,109
Hidrólisis – Fermentadores 1-4	0,025	0,160	0,580	66,0	71,5	0,368
Hidrólisis – Fermentadores 5-8	0,025	0,160	0,580	75,0	76,8	0,407
Hidrólisis – Fermentadores 9-12	0,025	0,160	0,580	84,0	71,5	0,333
Fermentadores 1-4 – Centrífuga	0,017	0,160	2,000	60,0	62,1	2,645
Fermentadores 5-8 – Centrífuga	0,017	0,160	2,000	69,0	67,4	2,955
Fermentadores 9-12 – Centrífuga	0,017	0,160	2,000	78,0	72,1	3,251
Centrífuga – Pervaporación	0,017	0,160	2,000	20,0	13,4	0,723
Pervaporación – Tanque pulmón 1	0,022	0,076	0,890	22,0	22,8	0,524
Tanque pulmón 1 – Destilación 1	0,022	0,076	0,890	41,0	42,2	0,972
Destilación 1 – Tanque alma. acetona	0,028	0,076	0,280	23,0	37,5	0,089
Destilación 1 – Tanque alma. butanol	0,023	0,076	0,620	27,0	32,2	0,351
Pervaporación – Tanque pulmón 2	0,017	0,160	2,000	16,0	37,5	1,159
Tanque pulmón 2 – Caldera 1	0,017	0,160	2,000	37,0	22,8	1,295
Caldera 1 – Caldera 2	0,017	0,160	2,000	22,0	22,8	0,970
Caldera 1 – Tanque pulmón 3	0,019	0,076	2,100	98,0	27,5	0,193
Tanque pulmón 3 – Destilación 2	0,019	0,076	2,100	36,0	27,5	0,098
Destilación 2 – Tanque alma. agua dest.	0,019	0,076	2,100	122,0	27,5	0,223

Tramo tubería	f	D (m)	V (m/s)	L (m)	L _{eq} (m)	H _f (m)
Destilación 2 – Destilación 3	0,040	0,076	0,050	12,0	18,1	0,002
Destilación 3 – Tanque alma. acetona	0,040	0,76	0,050	18,0	18,1	0,002
Destilación 3 – Tanque de residuos	0,090	0,050	0,005	22,0	22,8	0,000
Caldera 2 – Intercambiador de calor	0,017	0,160	2,000	82,0	28,1	2,385
Caldera 2 – Mezclador	0,017	0,160	2,000	78,0	32,8	2,400
Intercambiador calor – Tanque alma. agua	0,017	0,160	2,000	138,0	37,5	3,802
Mezclador – Tanque alma. agua	0,017	0,160	2,000	103,0	42,2	3,145
Caldera 2 – Tanque pulmón 4	0,031	0,076	0,120	53,0	22,8	0,023
Tanque pulmón 4 – Destilación 4	0,022	0,076	0,772	14,0	22,8	0,324
Destilación 4 – Tanque alma. agua	0,022	0,076	0,730	77,0	32,2	0,852
Destilación 4 – Destilación 5	0,025	0,076	0,460	11,0	18,1	0,103
Destilación 5 – Tanque alma. acético	0,028	0,076	0,310	17,0	27,5	0,080
Destilación 5 – Tanque alma. Butírico	0,031	0,076	0,152	26,0	27,5	0,026
Tanque alma. acetona - Embotellar	0,026	0,076	0,306	42,0	22,8	0,106
Tanque alma. acético – Embotellar	0,026	0,076	0,306	32,0	22,8	0,089
Tanque almac. butírico – Embotellar	0,026	0,076	0,306	22,0	22,8	0,073

A1.11.1. Cálculos del espesor.

Lo primero antes de empezar a calcular el espesor de la red de tuberías es conocer algunos datos como son la presión de diseño, la temperatura de diseño, el sobreespesor de corrosión o la tensión máxima admisible del material utilizado a la presión y temperatura de diseño.

Presión de diseño, P.

La presión de diseño debe ser en todo caso mayor a la máxima presión de operación o servicio. En nuestro caso la presión de operación se calcula haciendo uso de la ecuación de Bernoulli:

$$h_b = \frac{P_f - P_o}{\rho \times g} + \frac{v_f^2 - v_o^2}{2 \times g} + H_f + (z_f - z_o) \quad (m)$$

donde:

h_b \equiv Altura que suministra la bomba, en metros.

P_f \equiv Presión en el punto final, en kg/m².

P_o \equiv Presión en el punto inicial, en kg/m².

v_f \equiv Velocidad en el punto final, en m/s.

v_o \equiv Velocidad en el punto inicial, en m/s.

z_f \equiv Altura en el punto final, en metros.

z_o \equiv Altura en el punto inicial, en metros.

H_f \equiv Pérdidas de carga debido al rozamiento, en metros.

ρ \equiv Densidad del fluido, en kg/m³.

g \equiv aceleración de la gravedad, en m/s².

Una vez calculada la presión de operación, según el código ASME Sección VIII, la presión mínima de diseño ha de ser el mayor de los siguientes tres valores:

- $P \geq 1,1 * \text{Presión máxima de operación (kg/cm}^2\text{)}$.
- $P \geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ kg/cm}^2$.
- $P \geq 3,5 \text{ kg/cm}^2$.

Temperatura de diseño, T_d .

La temperatura de diseño es la temperatura del metal correspondiente a las condiciones de presión y temperatura más severas durante la operación normal. En general, como temperatura del metal, se tomará la temperatura de diseño del fluido que circula por la tubería. Esta temperatura de diseño del fluido que circula por la tubería se calcula de la siguiente manera:

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

Tensión máxima admisible, S.

Las tensiones admisibles representan las fatigas máximas admisibles por el material para las distintas temperaturas y sus valores se encuentran tabulados en el Código ASME B31.1-2002.

El material que se utilizará para fabricar las tuberías será acero al carbono A 285 Gr. C, cuya tensión máxima admisible a la temperatura de diseño será de 17.700 psi.

Eficiencia de la soldadura, E.

El valor del factor de eficiencia de la soldadura en tuberías soldadas viene indicado para cada tipo de soldadura y para el grado examinado en la norma ASME B31.3 Apéndice A.

En nuestro caso las tuberías tendrán una soldadura a tope con un solo cordón, por lo que el coeficiente de eficiencia de la soldadura E será de 0,80.

Coeficiente Y.

El coeficiente Y depende del material de la tubería y de la temperatura de diseño. Los valores de dicho coeficiente vienen dados asimismo en la norma ASME B31.1.

En nuestro caso el coeficiente Y toma un valor de 0,4.

Sobreespesor de corrosión.

El sobreespesor de corrosión se estimará en función del tipo de acero del que se fabrica la tubería, que oscilará entre los siguientes valores:

- Acero al carbono: 1,5 – 3,0 mm.
- Acero aleado hasta un 9% Cr y 1% Mo: 1,5 – 3,0 mm.
- Acero inoxidable: 0,8 – 1,5 mm.

De los dos valores posibles que se indican para el sobreespesor de corrosión, el menor corresponde al caso usual de condiciones poco severas y el mayor corresponde al caso en que se está cerca de la velocidad de corrosión máxima admisible para el material.

En nuestro caso, como se utiliza acero al carbono A 285 Gr. C, el sobreespesor de corrosión será de 3,0 mm, o lo que es lo mismo de 0,118 in.

Para calcular el espesor mínimo de la tubería hay que hacer uso de la siguiente expresión:

$$t_m = \frac{P \times D_o}{2 \times (S \times E + Y \times P)} + C \quad (in)$$

donde:

t_m \equiv Espesor mínimo de la tubería, en in.

P ≡ Presión de diseño, en psi.

D_o ≡ Diámetro externo de la tubería, en in.

S ≡ Tensión máxima admisible del material, en psi.

E ≡ Factor de eficiencia de la soldadura.

Y ≡ Coeficiente que depende del material y la temperatura de diseño.

C ≡ Sobreepesor de corrosión, en in.

Una vez calculado el espesor mínimo de la tubería, hay que calcular el espesor nominal de la tubería teniendo en cuenta la tolerancia de fabricación M, que para tubos soldados es igual a la tolerancia de la chapa laminada, es decir, ±1%. Así que la expresión para calcular el espesor nominal queda:

$$t_n = \frac{t_{\min}}{1 - \frac{M}{100}} \quad (in)$$

donde:

t_n ≡ Espesor nominal, en in.

M ≡ Tolerancia de fabricación.

Tramo tubería	D (m)	P (psi)	T (°F)	SE (psi)	t_{min} (in)	t_n (in)	Sch
Mezclador – Hidrólisis	0.160	49,79	140,0	14.640	0.129	0.145	40
Hidrólisis – Fermentadores 1-4	0.160	49,79	140,0	14.640	0.129	0.145	40
Hidrólisis – Fermentadores 5-8	0.160	49,79	140,0	14.640	0.129	0.145	40
Hidrólisis – Fermentadores 9-12	0.160	49,79	140,0	14.640	0.129	0.145	40
Fermentadores 1-4 – Centrifuga	0.160	49,79	125,6	14.640	0.129	0.145	40
Fermentadores 5-8 – Centrifuga	0.160	49,79	125,6	14.640	0.129	0.145	40
Fermentadores 9-12 – Centrifuga	0.160	49,79	125,6	14.640	0.129	0.145	40
Centrifuga – Pervaporación	0.160	49,79	208,4	14.160	0.129	0.145	40
Pervaporación – Tanque pulmón 1	0.076	49,79	208,4	14.160	0,123	0,139	40
Tanque pulmón 1 – Destilación 1	0.076	49,79	208,4	14.160	0,123	0,139	40
Destilación 1 – Tanque alma. acetona	0.076	49,79	230,0	14.160	0,123	0,139	40
Destilación 1 – Tanque alma. butanol	0.076	49,79	248,0	14.160	0,123	0,139	40
Pervaporación – Tanque pulmón 2	0.160	49,79	208,4	14.160	0.129	0.145	40
Tanque pulmón 2 – Caldera 1	0.160	49,79	208,4	14.160	0.129	0.145	40
Caldera 1 – Caldera 2	0.160	49,79	266,0	14.160	0.129	0.145	40
Caldera 1 – Tanque pulmón 3	0.076	49,79	266,0	14.160	0.129	0.145	40
Tanque pulmón 3 – Destilación 2	0.076	49,79	266,0	14.160	0.129	0.145	40
Destilación 2 – Tanque alma. agua dest.	0.076	49,79	248,0	14.160	0.129	0.145	40

Tramo tubería	D (m)	P (psi)	T (°F)	SE (psi)	t _{min} (in)	t _n (in)	Sch
Destilación 2 – Destilación 3	0.076	49,79	248,0	14.160	0,123	0,139	40
Destilación 3 – Tanque alma. acetona	0.076	49,79	248,0	14.160	0,123	0,139	40
Destilación 3 – Tanque de residuos	0.050	49,79	230,0	14.160	0,122	0,137	40
Caldera 2 – Intercambiador de calor	0.160	49,79	266,0	14.160	0,129	0,145	40
Caldera 2 – Mezclador	0.160	49,79	266,0	14.160	0,129	0,145	40
Intercamb. calor – Tanque alma. agua	0.160	49,79	266,0	14.160	0,129	0,145	40
Mezclador – Tanque alma. agua	0.160	49,79	266,0	14.160	0,129	0,145	40
Caldera 2 – Tanque pulmón 4	0.076	49,79	266,0	14.160	0,123	0,139	40
Tanque pulmón 4 – Destilación 4	0.076	49,79	266,0	14.160	0,123	0,139	40
Destilación 4 – Tanque alma. agua	0.076	49,79	248,0	14.160	0,123	0,139	40
Destilación 4 – Destilación 5	0.076	49,79	230,0	14.160	0,123	0,139	40
Destilación 5 – Tanque alma. acético	0.076	49,79	248,0	14.160	0,123	0,139	40
Destilación 5 – Tanque alma. butírico	0.076	49,79	230,0	14.160	0,123	0,139	40
Tanque alma. acetona - Embotellar	0.076	49,79	104,0	14.640	0,123	0,139	40
Tanque alma. acético – Embotellar	0.076	49,79	104,0	14.640	0,123	0,139	40
Tanque almac. butírico – Embotellar	0.076	49,79	104,0	14.640	0,123	0,139	40

A1.11.2. Comprobación del espesor.

Según la norma ASME B31.3, todo sistema de tuberías será sometido a una prueba hidrostática, o neumática y la presión será, en general, no menor que 1,5 veces la presión de diseño, debiendo tener las siguientes precauciones:

- Si la temperatura de diseño es superior a 650 °F, la presión de prueba será no menor que la calculada por la siguiente fórmula:

$$P_T \geq 1,5 \times P \times \frac{S_T}{S} \quad (psi)$$

donde:

P_T ≡ Presión mínima de prueba, en psi.

P ≡ Presión de diseño, en psi.

S_T ≡ Valor de S a la temperatura de 650 °F, en psi.

S ≡ Valor de S a la temperatura de diseño, en psi.

- Si la temperatura de diseño es inferior a 650 °F, la presión de prueba será no menor que la calculada por la siguiente fórmula:

$$P_T \geq 1,5 \times P \quad (psi)$$

En nuestro caso la temperatura de diseño es inferior a 650 °F, por lo que se utilizará la segunda de las expresiones para calcular la presión mínima de prueba.

Si la prueba efectuada no es hidrostática sino neumática, la presión de prueba será igual al 110% de la presión de diseño.

A1.11.3. Cálculo y selección de las bombas.

A1.11.3.1. Cálculos de la potencia de la bomba.

Para calcular la altura total que debe suministrar la bomba hay que tener en cuenta las distintas alturas que debe de superar debido a diferentes factores. La suma de estas alturas será la altura total, de manera que la expresión para calcular dicha altura total será:

$$h_b = \frac{P_f - P_o}{\rho \times g} + \frac{v_f^2 - v_o^2}{2 \times g} + H_f + (z_f - z_o) \quad (m)$$

donde cada sumando representa una altura distinta que se explica a continuación:

- $\frac{P_f - P_o}{\rho \times g}$, altura debida a presiones: Altura debida a la diferencia de presiones que existen en el líquido, en otras palabras, que al principio y al final del tramo de tubería las presiones existentes son distintas.
- $\frac{v_f^2 - v_o^2}{2 \times g}$, altura debida a la velocidad: Es la equivalencia en altura necesaria para suministrar velocidad al líquido.
- H_f , altura por cargas de fricción: Es la energía que debe desarrollar la bomba de más para vencer los efectos de rozamiento del líquido por la tubería, esto es, las pérdidas de carga lineales que se producen en los tramos de las conducciones rectas y también las pérdidas de carga singulares que se producen en los accesorios que encuentra el fluido en su recorrido.
- $(z_f - z_o)$, altura geométrica: Es la altura medida verticalmente desde el nivel del líquido a elevar hasta el punto más alto de descarga.

Una vez calculada la altura total que debe suministrar la bomba, hay que calcular la potencia hidráulica de la bomba que es la potencia precisada por la bomba exclusivamente para bombear el líquido o la potencia que se le suministra al líquido. La potencia hidráulica se calcula con la siguiente expresión:

$$P_h = \frac{Q \times h_b \times \rho}{367} \quad (kW)$$

donde:

$P_h \equiv$ Potencia hidráulica, en kW.

$Q \equiv$ Caudal de líquido, en m³/h.

$h_b \equiv$ Altura total de la bomba, en metros.

$\rho \equiv$ Densidad del líquido, en kg/dm³.

Una vez conocida la potencia hidráulica de la bomba, conociendo el rendimiento de la bomba que incluye las pérdidas de potencia de esta, se puede calcular la potencia absorbida o potencia al eje consumida por la bomba con la siguiente expresión:

$$P_{ab} = \frac{P_h}{\eta} \quad (kW)$$

donde:

$P_{ab} \equiv$ Potencia consumida por la bomba, en kW.

$P_h \equiv$ Potencia hidráulica, en kW.

$\eta \equiv$ Rendimiento de la bomba, en porcentaje.

Tramo tubería donde está la bomba	ΔP (Pa)	ΔV^2 (m ² /s ²)	Δz (m)	H_f (m)	h_b (m)
Mezclador – Hidrólisis	0,0	0,334	4,5	0,109	4,626
Hidrólisis – Fermentadores 1-4	0,0	0,000	10,8	0,368	11,168
Hidrólisis – Fermentadores 5-8	0,0	0,000	10,8	0,407	11,207
Hidrólisis – Fermentadores 9-12	0,0	0,000	10,8	0,333	11,133
Fermentadores 1-4 – Centrífuga	0,0	4,000	1,0	2,645	3,849
Fermentadores 5-8 – Centrífuga	0,0	4,000	1,0	2,955	4,159
Fermentadores 9-12 – Centrífuga	0,0	4,000	1,0	3,251	4,455
Centrífuga – Pervaporación	0,0	0,000	4,0	0,723	4,723
Pervaporación – Tanque pulmón 1	100.658,0	0,792	10,0	0,524	20,374
Tanque pulmón 1 – Destilación 1	0,0	0,792	10,0	0,972	11,012
Destilación 1 – Tanque alma. acetona	0,0	0,000	7,8	0,089	7,889
Destilación 1 – Tanque alma. butanol	0,0	0,000	10,0	0,351	10,351
Pervaporación – Tanque pulmón 2	0,0	4,000	15,2	1,159	16,563
Tanque pulmón 2 – Caldera 1	0,0	4,000	1,0	1,295	2,499
Caldera 1 – Caldera 2	0,0	4,000	1,0	0,970	2,174
Caldera 1 – Tanque pulmón 3	0,0	0,230	10,8	0,193	10,885
Tanque pulmón 3 – Destilación 2	0,0	0,230	9,0	0,098	9,110
Destilación 2 – Tanque alma. agua dest.	0,0	0,000	10,5	0,223	10,723

Tramo tubería donde está la bomba	ΔP (Pa)	ΔV^2 (m ² /s ²)	Δz (m)	H_f (m)	h_b (m)
Destilación 2 – Destilación 3	0,0	0,000	11,0	0,002	11,002
Destilación 3 – Tanque alma. acetona	0,0	0,000	7,8	0,002	7,802
Destilación 3 – Tanque de residuos	0,0	0,000	8,5	0,000	8,500
Caldera 2 – Intercambiador de calor	0,0	4,000	0,5	2,385	3,089
Caldera 2 – Mezclador	0,0	4,000	6,0	2,400	8,604
Intercambiador calor – Tanque alma. agua	0,0	0,000	10,5	3,802	14,302
Mezclador – Tanque alma. agua	0,0	0,000	10,5	3,145	13,645
Caldera 2 – Tanque pulmón 4	0,0	0,014	9,2	0,023	9,274
Tanque pulmón 4 – Destilación 4	0,0	0,596	10,0	0,324	10,354
Destilación 4 – Tanque alma. agua	0,0	0,000	10,5	0,852	11,352
Destilación 4 – Destilación 5	0,0	0,000	9,0	0,103	9,103
Destilación 5 – Tanque alma. acético	0,0	0,000	4,5	0,080	4,580
Destilación 5 – Tanque alma. Butírico	0,0	0,000	4,5	0,026	4,526
Tanque alma. acetona - Embotellar	0,0	0,094	4,0	0,106	4,111
Tanque alma. acético – Embotellar	0,0	0,094	4,0	0,089	4,094
Tanque almac. butírico – Embotellar	0,0	0,094	4,0	0,073	4,078

Tramo tubería donde está la bomba	Q (m ³ /h)	h _b (m)	P _h (kW)	η	P _{ab} (kW)
Mezclador – Hidrólisis	41,76	4,626	0,526	0,60	0,877
Hidrólisis – Fermentadores 1-4	41,76	11,168	1,271	0,60	2,118
Hidrólisis – Fermentadores 5-8	41,76	11,207	1,275	0,60	2,125
Hidrólisis – Fermentadores 9-12	41,76	11,133	1,267	0,60	2,111
Fermentadores 1-4 – Centrífuga	144,00	3,849	1,510	0,60	2,517
Fermentadores 5-8 – Centrífuga	144,00	4,159	1,632	0,60	2,720
Fermentadores 9-12 – Centrífuga	144,00	4,455	1,748	0,60	2,913
Centrífuga – Pervaporación	144,00	4,723	1,853	0,60	3,089
Pervaporación – Tanque pulmón 1	14,53	20,374	0,807	0,60	1,344
Tanque pulmón 1 – Destilación 1	14,53	11,012	0,436	0,60	0,727
Destilación 1 – Tanque alma. acetona	4,57	7,889	0,098	0,60	0,164
Destilación 1 – Tanque alma. butanol	10,12	10,351	0,285	0,60	0,476
Pervaporación – Tanque pulmón 2	144,00	16,563	6,499	0,60	10,831
Tanque pulmón 2 – Caldera 1	144,00	2,499	0,981	0,60	1,634
Caldera 1 – Caldera 2	144,00	2,174	0,853	0,60	1,422
Caldera 1 – Tanque pulmón 3	34,56	10,885	1,025	0,60	1,708
Tanque pulmón 3 – Destilación 2	34,56	9,110	0,858	0,60	1,430
Destilación 2 – Tanque alma. agua dest.	34,56	10,723	1,010	0,60	1,683

Tramo tubería donde está la bomba	Q (m ³ /h)	h _b (m)	P _n (kW)	η	P _{ab} (kW)
Destilación 2 – Destilación 3	0,82	11,002	0,025	0,60	0,041
Destilación 3 – Tanque alma. acetona	0,82	7,802	0,017	0,60	0,029
Destilación 3 – Tanque de residuos	0,04	8,500	0,001	0,60	0,002
Caldera 2 – Intercambiador de calor	144,00	3,089	1,212	0,60	2,020
Caldera 2 – Mezclador	144,00	8,604	3,376	0,60	5,627
Intercambiador calor – Tanque alma. agua	144,00	14,302	5,612	0,60	9,353
Mezclador – Tanque alma. agua	144,00	13,645	5,354	0,60	8,923
Caldera 2 – Tanque pulmón 4	1,96	9,274	0,050	0,60	0,083
Tanque pulmón 4 – Destilación 4	12,60	10,354	0,355	0,60	0,592
Destilación 4 – Tanque alma. agua	11,92	11,352	0,369	0,60	0,615
Destilación 4 – Destilación 5	7,51	9,103	0,186	0,60	0,310
Destilación 5 – Tanque alma. acético	5,06	4,580	0,063	0,60	0,105
Destilación 5 – Tanque alma. Butírico	2,48	4,526	0,031	0,60	0,051
Tanque alma. acetona - Embotellar	4,99	4,111	0,056	0,60	0,093
Tanque alma. acético – Embotellar	4,99	4,094	0,056	0,60	0,093
Tanque almac. butírico – Embotellar	4,99	4,078	0,055	0,60	0,092

A1.11.3.2. Cavitación de la bomba.

Para que no exista cavitación y la bomba funcione correctamente ha de cumplirse que el NPSH disponible en la instalación sea igual o mayor que el NPSH requerido por la bomba.

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

Como medida de seguridad, y para cubrir condiciones transitorias, se recomienda añadir 0,5 metros al valor del NPSH requerido, quedando:

$$NPSH_d \geq NPSH_r + 0,5 \text{ m (aprox.)}$$

El valor NPSH disponible depende de la naturaleza del fluido que se está bombeando, la tubería de succión, la ubicación del depósito del fluido y la presión aplicada al fluido en el depósito. Esto puede expresarse de la siguiente manera:

$$NPSH_d = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

donde:

$h_{sp} \equiv$ carga de presión estática (absoluta) aplicada al fluido, expresada en metros de líquido.

$h_s \equiv$ diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito hacia la entrada de la bomba, expresada en metros.

- Si la bomba está debajo del depósito, h_s es positiva.
- Si la bomba está por encima del depósito, h_s es negativa.

$h_f \equiv$ pérdida de carga por fricción en la tubería de succión, en metros.

$h_{vp} \equiv$ presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, en metros.

Los valores de la presión de vapor del agua están tomados de tablas del libro Manual del ingeniero químico. Volumen I. Cuarta edición (en español). 2001. Perry, R. H. and Green, D. W., y se muestran en el Anexo 11. Red de tuberías y equipos de bombeo. Mientras que las presiones de vapor del butanol, acetona, ácido acético y ácido butírico, se han calculado mediante la siguiente expresión:

$$P^o = \exp \left[C_1 + \frac{C_2}{T} + C_3 \times \ln(T) + C_4 \times T^{C_5} \right] \quad (Pa)$$

donde:

P^o \equiv Presión de vapor, en Pa.

C_1, C_2, C_3, C_4 y C_5 \equiv Coeficientes tabulados en tablas.

T \equiv Temperatura, en Kelvin.

Los valores de los coeficientes C_1, C_2, C_3, C_4 y C_5 están tomados de tablas del libro Manual del ingeniero químico. Volumen I. Cuarta edición (en español). 2001. Perry, R. H. and Green, D. W., y se muestran en el Anexo 11. Red de tuberías y equipos de bombeo.

Tramo tubería donde está la bomba	h_{sp} (m)	h_s (m)	h_f (m)	h_{vp} (m)	NPSH _d (m)
Mezclador – Hidrólisis	10,329	0,700	0,023	0,752	10,095
Hidrólisis – Fermentadores 1-4	10,329	0,700	0,023	0,752	10,095
Hidrólisis – Fermentadores 5-8	10,329	0,700	0,023	0,752	10,095
Hidrólisis – Fermentadores 9-12	10,329	0,700	0,023	0,752	10,095
Fermentadores 1-4 – Centrífuga	10,329	0,700	0,182	0,521	10,325
Fermentadores 5-8 – Centrífuga	10,329	0,700	0,182	0,521	10,325
Fermentadores 9-12 – Centrífuga	10,329	0,700	0,182	0,521	10,325
Centrífuga – Pervaporación	10,329	0,700	0,182	4,563	6,284
Pervaporación – Tanque pulmón 1	10,329	0,700	0,098	7,813	3,033
Tanque pulmón 1 – Destilación 1	10,329	0,700	0,098	7,813	3,033
Destilación 1 – Tanque alma. acetona	10,329	0,700	0,012	8,292	2,555
Destilación 1 – Tanque alma. butanol	10,329	0,700	0,050	5,226	5,621
Pervaporación – Tanque pulmón 2	10,329	0,700	0,182	4,474	6,373
Tanque pulmón 2 – Caldera 1	10,329	0,700	0,182	4,474	6,373
Caldera 1 – Caldera 2	10,329	0,700	0,182	4,474	6,373
Caldera 1 – Tanque pulmón 3	10,329	0,700	0,013	10,666	0,181
Tanque pulmón 3 – Destilación 2	10,329	0,700	0,013	10,666	0,181
Destilación 2 – Tanque alma. agua dest.	10,329	0,700	0,013	10,329	0,518

Tramo tubería donde está la bomba	h_{sp} (m)	h_s (m)	h_f (m)	h_{vp} (m)	NPSH _d (m)
Destilación 2 – Destilación 3	10,329	0,700	0,001	10,194	0,653
Destilación 3 – Tanque alma. acetona	10,329	0,700	0,001	10,329	0,518
Destilación 3 – Tanque de residuos	10,329	0,700	0,000	10,329	0,518
Caldera 2 – Intercambiador de calor	10,329	0,700	0,182	10,329	0,518
Caldera 2 – Mezclador	10,329	0,700	0,182	10,329	0,518
Intercambiador calor – Tanque alma. agua	10,329	0,700	0,182	10,329	0,518
Mezclador – Tanque alma. agua	10,329	0,700	0,182	10,329	0,518
Caldera 2 – Tanque pulmón 4	10,329	0,700	0,003	10,352	0,494
Tanque pulmón 4 – Destilación 4	10,329	0,700	0,071	10,352	0,494
Destilación 4 – Tanque alma. agua	10,329	0,700	0,066	10,329	0,518
Destilación 4 – Destilación 5	10,329	0,700	0,030	4,157	6,689
Destilación 5 – Tanque alma. acético	10,329	0,700	0,015	5,736	5,111
Destilación 5 – Tanque alma. Butírico	10,329	0,700	0,004	1,481	9,366
Tanque alma. acetona - Embotellar	10,329	0,700	0,014	8,292	2,555
Tanque alma. acético – Embotellar	10,329	0,700	0,014	5,736	5,111
Tanque almac. butírico – Embotellar	10,329	0,700	0,014	1,481	9,366

A1.12. Sistema contra incendios.

Para calcular el nivel de riesgo intrínseco de cada sector o área de incendio se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_s = \frac{\sum_{i=1}^i G_i \times q_i \times C_i}{A} R_a \quad (MJ / m^2) \text{ o } (Mcal / m^2)$$

donde:

Q_s \equiv Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m² o Mcal/m².

G_i \equiv Masa, en kg, de cada uno de los combustibles i que existen en el sector o área de incendio (incluidos los materiales constructivos combustibles).

q_i \equiv Poder calorífico, en MJ/kg o Mcal/kg, de cada uno de los combustibles i que existen en el sector de incendio.

C_i \equiv Coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles i que existen en el sector de incendio. Los valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad, C_i , de cada combustible pueden deducirse de la tabla 1.1, del Catálogo CEA de productos y mercancías, o de tablas similares de reconocido prestigio cuyo uso debe justificarse.

R_a \equiv Coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc. Cuando existen varias actividades en el mismo sector, se tomará como factor de riesgo de activación el inherente a la actividad de mayor riesgo de activación, siempre que dicha actividad ocupe al menos el 10 por ciento de la superficie del sector o área de incendio.

A \equiv Superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m².

Para poder calcular el nivel de riesgo intrínseco se necesita saber los poderes caloríficos de los combustibles que existen en el sector de incendio, estos poderes caloríficos son los mostrados en la siguiente tabla:

Combustible	Poder calorífico (Mcal/kg)
Butanol	8
Acetona	7
Ácido acético	4
Ácido butírico	6

También se necesita conocer el coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles que existen en el sector de incendio. Estos coeficientes se muestran en la siguiente tabla:

VALORES DEL COEFICIENTE DE PELIGROSIDAD, C_i		
ALTA	MEDIA	BAJA
Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1 Líquidos clasificados como subclase B ₁ , en la ITC MIE-APQ1. Sólidos capaces de iniciar su combustión a una temperatura inferior a 100 °C. Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente. Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.	Líquidos clasificados como subclase B ₂ en la ITC MIE-APQ1. Líquidos clasificados como clase C en la ITC MIE-APQ1. Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100 °C y 200 °C. Sólidos que emiten gases inflamables.	Líquidos clasificados como clase D en la ITC MIE-APQ1. Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200 °C.
$C_i = 1,60$	$C_i = 1,30$	$C_i = 1,00$

Cálculo del nivel de riesgo intrínseco en el sector o zona de almacenamiento.

Para calcular el nivel de riesgo intrínseco se utiliza la expresión indicada anteriormente, y sustituyendo los valores se obtiene:

$$Q_s = \frac{(56.525 \times 8 \times 1,60) + (29.547 \times 7 \times 1,60) + (2.821 \times 4 \times 1,30) + (1.386 \times 6 \times 1,30)}{900} \times 2$$

$$Q_s = 2.400 \text{ Mcal} / m^2$$

Cálculo del nivel de riesgo intrínseco en el sector o zona de proceso.

Para calcular el nivel de riesgo intrínseco se utiliza la expresión indicada anteriormente, y sustituyendo los valores se obtiene:

$$Q_s = \frac{(48.468 \times 8 \times 1,60) + (25.326 \times 7 \times 1,60) + (2.418 \times 4 \times 1,30) + (1.188 \times 6 \times 1,30)}{3800} \times 2$$

$$Q_s = 487 \text{ Mcal} / m^2$$

A1.12.2. Diseño del tanque de agua contra incendios.

El diseño del tanque de agua contra incendios se hace de forma análoga al diseño de los fermentadores. Tanto los cálculos geométricos, los cálculos del espesor de las paredes, los cálculos de las patas de apoyo y los cálculos de efecto del viento sobre los tanques se realizarán sin mostrar la metodología seguida. Se incluirá una tabla resumen con los datos obtenidos para cada tanque pulmón, puesto que como se dijo antes los cálculos se realizan igual que para los fermentadores (para ver detalladamente como se realizarían esos cálculos vease los apartados A1.5.1, A1.5.2, A1.5.3 y A1.5.4 respectivamente).

A1.12.2.1. Diseño del tanque.

DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS GEOMÉTRICOS	
Volumen de trabajo (m ³)	24,5
Volumen real (20% seguridad) (m ³)	30,0
Diámetro del tanque (m)	2,50
Altura del tanque (m)	6,10
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ESPESESORES	
Temperatura de operación (°C)	20
Presión de operación (psi)	14,70
Temperatura de diseño (°C)	40
Presión de diseño (psi)	49,79
Tensión máxima admisible (psi)	25.333,33
Factor de eficacia de la soldadura	0,85
Corrosión admisible (in)	0,118
Radio interior con corrosión (in)	49,331
Línea de tangencia (in)	20,131
Espesor casco esfuerzo longitudinal (in)	0,057
Espesor casco esfuerzo circunferencial (in)	0,114
Espesor fondo toriesférico (in)	0,036
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS PATAS DE APOYO	
Número de patas de apoyo	6
Diámetro de los pernos (mm)	20
DATOS Y RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EFECTO DEL VIENTO	
Velocidad del viento (km/h)	120
Efecto de altura, K _a	1
Presión básica del viento (kg/m ²)	0,596
Factor de forma, c	0,6
Coeficiente del esbeltez, K	1
Coeficiente de accesorios, r	1,15
Presión de diseño del viento (kg/m ²)	0,411
Carga unitaria debida al viento por metro lineal (kg/m)	1,028

ANEXO 2

SISTEMA CONTRA INCENDIOS

A2.1. Introducción.

Debido a los compuestos producidos en la planta objeto del presente Proyecto Fin de Carrera es necesaria la instalación de un sistema contra incendios para controlar, en caso que fuera necesario, cualquier incidente ya sea una explosión, un incendio o un derrame de algunos de estos compuestos peligrosos.

Estos compuestos peligrosos a los que se hace referencia son el biobutanol (Clase B, subclase B1) que es inflamable y por encima de 29 °C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire; la acetona (Clase B, subclase B1) que es altamente inflamable y las mezclar vapor/aire son explosivas; el ácido acético (Clase B, subclase B2) que es inflamable y el calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido, además de que por encima de 39 °C pueden formarse mezclas explosivas de vapor/aire y el ácido butírico (Clase C) que es combustible y en caso de incendio se desprenden humos o gases tóxicos e irritantes, además de que por encima de 72 °C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.

A2.2. Cubetos de retención.

Los recipientes de superficie para almacenamiento de líquidos deberán alojarse en el interior de un cubeto de retención. Un grupo de recipientes dentro de un mismo cubeto de retención solo podrán contener líquidos de la misma clase o subclase. Esto se refleja en el presente Proyecto Fin de Carrera

de manera que tendremos un cubeto de retención para cada líquido peligroso, es decir, tendremos un cubeto de retención para todos recipientes que contienen butanol, otro para todos recipientes que contienen acetona, otro para todos recipientes que contienen ácido acético y otro para todos recipientes que contienen ácido butírico.

Las paredes de los cubetos de retención tendrán una altura tal que sean capaces de retener todo el líquido que se encuentra almacenado en los recipientes que se encuentran en el interior de dicho cubeto de retención. Las paredes de los cubetos de retención serán de hormigón recubiertas de una capa lisa de aglomerado asfáltico para evitar pérdidas importantes de líquidos por filtración en el caso de fuga.

Existirán al menos dos accesos normales al interior de cada cubeto de retención.

A2.3. Redes de drenaje.

Las redes de drenaje se construirán para proporcionar una adecuada evacuación de los fluidos residuales, aguas de lluvia, aguas de proceso, aguas de servicios contra incendios y otros similares.

Fundamentalmente existirán dos colectores generales. Uno para aguas limpias y otro para aguas contaminadas o susceptibles de serlo. El tamaño de dicho colectores generales será de 200 mm de diámetro. La profundidad del enterramiento, sin protección mecánica, a la que debe situarse las tuberías de drenaje debe ser de 600 mm medidos desde la generatriz superior de la tubería hasta el nivel del terreno.

La entrada de líquidos al colector de aguas contaminadas se realizará por una arqueta y a través de un cierre sifónico, de modo que no escapen gases del colector general por dicho injerto.

A2.4. Zonas de carga.

Las plataformas de las zonas de carga en la que se estacionan los vehículos durante la carga, tendrán una pendiente del 1% hacia los sumideros de evacuación, con el fin de que en caso de fugas durante la carga, el derrame de líquido se recoja por los sumideros de evacuación y no se disperse por alrededor de las zonas de carga, lo que sería bastante peligroso.

A2.5. Límites exteriores de las instalaciones.

Toda planta en la que se de un almacenamiento de superficie debe disponer de un cerramiento al exterior rodeando al conjunto de sus instalaciones. Dicho cerramiento consistirá en un vallado cuya altura será de dos metros.

Este cerramiento no debe obstaculizar la aireación y se realizará con malla metálica.

A2.6. Protección contra incendios.

Los sistemas de protección contra incendios se pueden dividir según el agente que se utilice para la extinción del incendio. En el presente Proyecto Fin de Carrera se va a considerar protección con agua y protección con espuma.

Para saber que tipo de protección y en que cantidad hay que instalarlos, hay que calcular antes el nivel de riesgo intrínseco de cada sector o área de incendio y saber de que tipo es nuestro establecimiento.

Nuestro establecimiento debido a la configuración de la planta es de tipo D o E.

En la planta objeto del presente Proyecto Fin de Carrera se consideran tres sectores o áreas de incendio que son: la zona de almacenamiento de los

productos obtenidos en el proceso, la zona de proceso, y la zona de oficinas, laboratorios y aparcamiento.

El nivel de riesgo intrínseco se relaciona con la densidad de carga de fuego ponderada y corregida mediante la siguiente tabla. Así que para saber cual es el nivel de riesgo intrínseco en cada sector o área de incendio antes hay que calcular cual es la densidad de carga de fuego ponderada y corregida en cada uno de estos sectores o áreas de incendio.

Nivel de riesgo intrínseco		Densidad de carga de fuego ponderada y corregida	
		Mcal/m ²	MJ/m ²
BAJO	1	$Q_s \leq 100$	$Q_s \leq 425$
	2	$100 < Q_s \leq 200$	$425 < Q_s \leq 850$
MEDIO	3	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1.275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1.275 < Q_s \leq 1.700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1.700 < Q_s \leq 3.400$
ALTO	6	$800 < Q_s \leq 1.600$	$3.400 < Q_s \leq 6.800$
	7	$1.600 < Q_s \leq 3.200$	$6.800 < Q_s \leq 13.600$
	8	$3.200 < Q_s$	$13.600 < Q_s$

Zona de almacenamiento.

En la zona de almacenamiento la densidad de carga de fuego ponderada y corregida calculada es de $Q_s = 2.400 \text{ Mcal/m}^2$, por lo que el nivel de riesgo intrínseco es alto, nivel 7.

Zona de proceso.

En la zona de almacenamiento la densidad de carga de fuego ponderada y corregida calculada es de $Q_s = 487 \text{ Mcal/m}^2$, por lo que el nivel de riesgo intrínseco es medio, nivel 5.

Zona de oficinas, laboratorios y aparcamientos.

En la zona de almacenamiento la densidad de carga de fuego ponderada y corregida calculada es prácticamente $Q_s = 0 \text{ Mcal/m}^2$, ya que en esta zona no hay ninguno de los productos obtenidos, excepto en el laboratorio para su análisis pero que debido a que son cantidades muy pequeñas no se aprecia la carga de fuego, por lo que el nivel de riesgo intrínseco es bajo, nivel 1.

A2.6.1. Protección con agua.

Los sistemas de protección contra incendios con agua tienen una red de agua específica para ellos por motivos de seguridad. Estos sistemas de protección contra incendios con agua son los siguientes:

➤ **Bocas de incendios equipadas (BIE).**

Las bocas de incendios equipadas (BIE) son instalaciones completamente equipadas para su uso inmediato frente al fuego. Se componen de un soporte rígido o armario, una manguera, una boquilla, una válvula de apertura y un manómetro para la comprobación de la presión de servicio. Las BIE se sitúan a una altura máxima de 1,5 metros, cerca de las puertas y salidas, con fácil accesibilidad y libre de obstáculos. Cualquier punto de la superficie a proteger debe tener una BIE a una distancia máxima de 25 metros. Cada BIE contendrá una manguera de 45 mm de diámetro y una longitud de 25 metros, que es la longitud estándar de la manguera de uso exclusivo contra incendio.

El caudal unitario será el correspondiente a aplicar a la presión dinámica disponible en la entrada de la BIE, cuando funcionen simultáneamente el número de BIE indicado, el factor "K" del conjunto, proporcionado por el fabricante del equipo. Los diámetros equivalentes mínimos serán 10 mm para BIE de 25 y 13 mm para las BIE de 45 mm.

Se deberá comprobar que la presión en la boquilla no sea inferior a dos bar ni superior a cinco bar, y, si fuera necesario, se dispondrán dispositivos reductores de presión.

Debido a que nuestro establecimiento es de tipo D o E y que la superficie ocupada es superior a 5.000 m² tenemos que instalar bocas de incendios equipadas en los sectores de incendio establecidos. En la zona de almacenamiento debemos de colocar tres, en la zona de proceso seis y en la zona de oficinas, laboratorios y aparcamientos otras dos. En total se necesita colocar 11. Las autonomías de estas BIE's serán de 90 minutos las tres de la zona de almacenamiento por tener esta un riesgo intrínseco alto y de 60 minutos para el resto por ser sectores de riesgo intrínseco bajo o medio.

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO	TIPO DE BIE	SIMULTANEIDAD	TIEMPO DE AUTONOMÍA
BAJO	DN 25 mm	2	60 min
MEDIO	DN 45 mm*	2	60 min
ALTO	DN 45 mm*	3	90 min

* Se admitirá BIE 25 mm como toma adicional del 45mm, y se considerará, a los efectos de cálculo hidráulico, como BIE de 45 mm.

➤ **Pulverizadores de agua.**

Los pulverizadores de agua son sistemas de protección con agua que se utilizan principalmente para enfriar los tanques de almacenamientos en caso de incendio y los adyacentes al tanque incendiado. Consisten en boquillas pulverizadoras fijas orientadas hacia el tanque, dispuestas a lo largo de una conducción situada en la parte superior del tanque que rodea toda la superficie exterior del mismo. La presión en el pulverizador situado en el punto más

desfavorable será de 3 kg/m², superior a la marcada por la ley, ya que al tratarse de tanques situados a la intemperie se debe tener en cuenta la dirección y fuerza con la que sopla el viento, que podría desviar el chorro de agua de su objetivo y no lograrse así los objetivos de refrigeración perseguidos.

Se instalarán pulverizadores de agua en todos los tanques de almacenamiento, así como en los tanques pulmón, ya que estos también se pueden considerar como tanques de almacenamiento a todos los efectos.

➤ **Sistema de hidrantes exteriores.**

Los hidrantes exteriores sirven como suministro de agua exclusivo para los vehículos del servicio de extinción de incendios. Deben proporcionar un elevado caudal de agua, aunque no tengan presión, ya que esta la proporciona el vehículo. También pueden emplearse para conexión de mangueras, pero en este caso necesitan tener suficiente presión para alcanzar las llamas.

Se instalará un sistema de hidrantes exteriores si concurren las circunstancias que se reflejan en la tabla siguiente:

Configuración de la zona de incendio	Superficie del sector o área de incendio (m ²)	Riesgo intrínseco		
		Bajo	Medio	Alto
A	≥ 300	NO	SI	SI
	≥ 1.000	SI	SI	SI
B	≥ 1.000	NO	NO	SI
	≥ 2.500	NO	SI	SI
	≥ 3.500	SI	SI	SI
C	≥ 2.000	NO	NO	SI
	≥ 3.500	NO	SI	SI
D o E	≥ 5.000	SI	SI	SI
	≥ 15.000	SI	SI	SI

El número de hidrantes exteriores que deben instalarse se determinará haciendo que se cumplan las condiciones siguientes:

- a) La zona protegida por cada uno de ellos es la cubierta por un radio de 40 m, medidos horizontalmente desde el emplazamiento del hidrante.
- b) Al menos uno de los hidrantes, situado, a ser posible, en la entrada, deberá tener una salida de 100 mm.
- c) La distancia entre el emplazamiento de cada hidrante y el límite exterior del edificio o zona protegidos, medida perpendicularmente a la fachada, debe ser de al menos 5 metros.

Según lo explicado anteriormente el número de hidrantes exteriores que deben instalarse será de cinco.

Las necesidades de agua para proteger cada una de las zonas, áreas o sectores de incendio, que requieren un sistema de hidrantes se calculará de acuerdo con los valores de la siguiente tabla:

	NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO					
	BAJO		MEDIO		ALTO	
TIPO	CAUDAL (L/min)	AUTON. (min)	CAUDAL (L/min)	AUTON. (min)	CAUDAL (L/min)	AUTON. (min)
A	500	30	1.000	60	-	-
B	500	30	1.000	60	1.000	90
C	500	30	1.500	60	2.000	90
D y E	1.000	30	2.000	60	3.000	90

NOTAS:

- 1) Cuando en un establecimiento industrial, constituido por configuraciones de tipo C, D o E, existan almacenamientos de

productos combustibles en el exterior, los caudales indicados en la tabla se incrementarán en 500 l/min.

2) La presión mínima en las bocas de salida de los hidrantes será de cinco bares cuando se estén descargando los caudales indicados.

3) Para establecimientos para los que por su ubicación esté justificada la no realización de una instalación específica, si existe red pública de hidrantes, deberá indicarse en el proyecto la situación del hidrante más próximo y la presión mínima garantizada.

Para el abastecimiento de todos los sistemas de protección contra incendios con agua se construirá una red de tuberías dispuesta en anillo, de uso exclusivo contra incendio. Los diámetros de tubería deberán garantizar los caudales requeridos con una presión manométrica mínima de 686 KPa. Las conducciones poseerán un diámetro nominal de 8 pulgadas. Las tuberías deberán protegerse contra cualquier tipo de daño mecánico o corrosión, para ello se enterrarán 1 m por debajo de la superficie del terreno.

La red dispondrá de válvulas de corte para aislar cualquier sección que se vea afectada por una rotura, manteniendo el resto de la red a la presión de trabajo. Las válvulas de seccionamiento serán de tipo husillo exterior adyacente y volante estacionario de forma que permita ver a simple vista si la válvula está abierta o cerrada.

Los suministros de agua para la red específica contra incendios procederán de un depósito vertical diseñado para tal finalidad con un volumen de 9 m³, trabajando normalmente al 90% de su capacidad.

La instalación estará dotada de un sistema de bombeo capaz de impulsar el caudal resultante de sumar el necesario para enfriar la zona de almacenamiento (0,9 m³/h por perímetro), más el requerido por el resto de los sistemas de protección contra incendios.

A2.6.2. Protección con espuma.

Los cubetos en los que se sitúan los tanques de almacenamiento de biobutanol, acetona, ácido acético y ácido butírico estarán dotados de un sistema fijo de extinción por espuma, tanto para los tanques como para los cubetos que los contienen. De esta forma se garantiza la protección de una zona de difícil acceso, como es la superficie del tanque, evita retrasos y cubre una gran superficie sin incrementar la necesidad de personal. El espumógeno será de tipo antialcohol o AFFF.

Para la protección de los depósitos se instalarán los correspondientes rociadores o *sprinklers*, dispuestos de forma que viertan la espuma sobre la totalidad de la superficie del líquido almacenado, proporcionando un caudal de espumante (mezcla agua-espumógeno) de 63,62 L/min en cada depósito. El tiempo mínimo de aplicación será de 55 minutos.

En el caso en que se produzcan derrames en el cubeto, la protección contra incendios se hará cubriendo el volumen total del cubeto. Para ello se instalará un generador de espuma con un caudal de 11,4 m³/h que actuará durante un tiempo de 20 minutos.

A2.7. Protecciones especiales.

A2.7.1. Extintores.

Para la situación de los extintores se tendrá en cuenta aquellos lugares donde exista un mayor riesgo de incendio, como son todas las zonas de almacenamiento, salas de bombas, válvulas de uso frecuente, como en la zona de carga y descarga, y en los accesos a los cubetos. En todas estas zonas se dispondrán de extintores de eficacia 144B, de acuerdo con la norma UNE 23.110. En las zonas de riesgo eléctrico, como en los cuadros eléctricos, se situarán extintores de dióxido de carbono (CO₂).

El emplazamiento de los extintores permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio, a ser posible próximos a las salidas de evacuación y preferentemente sobre soportes fijados a paramentos verticales, de modo que la parte superior del extintor quede, como máximo, a 1,70 metros sobre el suelo y que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor, no supere 15 m. De este modo, el número de extintores necesarios para cubrir las necesidades de la planta es de 15.

Se considerarán adecuados para cada una de las clases de fuego, según UNE 23.010, los agentes extintores utilizados en extintores que figuran en la Tabla I-1.

TABLA I-1. Agentes extintores y su adecuación a las distintas clases de fuego.

Agente extintor	Clases de fuego (UNE 23.010)			
	A (Sólidos)	B (Líquidos)	C (Gases)	D (Metales especiales)
Agua pulverizada	(2)XXX	X		
Agua a chorro	(2)XX			
Polvo BC (convencional)		XXX	XX	
Polvo ABC (polivalente)	XX	XX	XX	
Polvo específico Metales				XX
Espuma física	(2)XX	XX		
Anhídrido carbónico	(1)X	X		
Hidrocarburos halogenados	(1)X	XX		

Siendo:

XXX Muy adecuado.

XX Adecuado.

X Aceptable.

Notas:

(1) En fuegos poco profundos (profundidad inferior a 5 mm) puede asignarse XX.

(2) En presencia de tensión eléctrica no son aceptables como agentes extintores el agua a chorro ni la espuma; el resto de los agentes extintores podrán utilizarse en aquellos extintores que superen el ensayo dieléctrico normalizado en UNE 23.110.

Los extintores se revisarán periódicamente, de acuerdo con la legislación vigente y recomendaciones del fabricante. Cada tres meses se comprobará la accesibilidad al extintor, la carga del extintor (peso y presión), el estado de las partes mecánicas y el precinto, por personal propio de la empresa. En extintores de polvo, el precinto debe estar intactos ya que una vez abierto el polvo puede bloquear los conductos de salida, y entonces hay que vaciarlos completamente y rellenarlos para asegurar su funcionamiento. Cada año se verificará la carga y presión de los extintores, así como la revisión del estado de todas las partes del extintor como son manguera, boquilla o válvula entre otros, por parte del fabricante. Cada cinco años se realizará una prueba hidráulica o retimbrado a todos los extintores por parte del fabricante. Se mantendrá un libro de registro actualizado con las pruebas realizadas.

A2.7.2. Alarmas.

A2.7.2.1. Sistemas automáticos de detección de incendios.

Los sistemas automáticos de detección de incendios y sus características y especificaciones se ajustarán a la norma UNE 23.007.

Los detectores de incendios necesitarán, antes de su fabricación o importación, ser aprobados de acuerdo con lo indicado en el artículo 2 de este Reglamento, justificándose el cumplimiento de lo establecido en la norma UNE 23.007.

A2.7.2.2. Sistemas manuales de alarma de incendios.

Los sistemas manuales de alarma de incendios estarán constituidos por un conjunto de pulsadores que permitirán provocar voluntariamente y transmitir una señal a una central de control y señalización permanentemente vigilada, de tal forma que sea fácilmente identificable la zona en que ha sido activado el pulsador.

Las fuentes de alimentación del sistema manual de pulsadores de alarma, sus características y especificaciones deberán cumplir idénticos requisitos que las fuentes de alimentación de los sistemas automáticos de detección, pudiendo ser la fuente secundaria común a ambos sistemas.

Los pulsadores de alarma se situarán de modo que la distancia máxima a recorrer, desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador, no supere los 25 metros.

A2.7.2.3. Sistemas de comunicación de alarma.

El sistema de comunicación de la alarma permitirá transmitir una señal diferenciada, generada voluntariamente desde un puesto de control. La señal será, en todo caso, audible, debiendo ser, además, visible cuando el nivel de ruido donde deba ser percibida supere los 60 dB (A).

El nivel sonoro de la señal y el óptico, en su caso, permitirán que sea percibida en el ámbito de cada sector de incendio donde esté instalada.

El sistema de comunicación de la alarma dispondrá de dos fuentes de alimentación, con las mismas condiciones que las establecidas para los

sistemas manuales de alarma, pudiendo ser la fuente secundaria común con la del sistema automático de detección y del sistema manual de alarma o de ambos.

A2.7.3. Equipos auxiliares.

En la proximidad de los puestos de trabajo, como estaciones de carga y descarga, se colocarán los siguientes equipos de protección personal:

- Una máscara con filtro para cada operario del puesto.
- Una careta de respiración autónoma.
- Una manta ignífuga.
- Una estación de agua para la ducha y lavaojos.

En los lugares accesibles para uso en todo momento:

- Un equipo analizador de mezcla explosiva.
- Sesenta metros de manguera, con empalmes adaptables a la red de incendios, con boquilla para chorro de pulverización.

ANEXO 3

REQUISITOS MINIMOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL CONFORME AL TIPO DE SUSTANCIA QUIMICA UTILIZADA EN LA INSTALACION Y ZONIFICACIÓN DE LAS AREAS POR RIESGO DE INCENCIO Y EXPLOSIÓN

Se ha realizado un estudio de zonificación para evaluar los peligros de ciertas zonas de la planta como pueden ser las calderas o los tanques de almacenamiento de butanol, acetona y ácido acético por ser estos inflamables o altamente inflamables.

A4.1. Zonificación de áreas por riesgos de incendio y explosión.

Las zonas de riesgo de incendio y explosión, serán establecidas según las prescripciones particulares para instalaciones eléctricas ITC-BT-29.

La presente instrucción tiene por objeto especificar las reglas esenciales para el diseño, ejecución, explotación, mantenimiento y reparación de las instalaciones eléctricas en emplazamientos en los que existe riesgo de explosión o de incendio debido a la presencia de sustancias inflamables, para que dichas instalaciones y sus equipos no puedan ser, dentro de límites razonables, la causa de inflamación de dichas sustancias.

La clasificación de los emplazamientos, según dicha instrucción es la siguiente:

- Clase I: Comprende los emplazamientos en los que hay o puede haber gases, vapores o nieblas en cantidad suficiente para producir atmósferas explosivas o inflamables; se incluyen en esta clase los lugares en los que hay o puede haber líquidos inflamables.
- Clase II: Comprende los emplazamientos en los que hay o puede haber polvo inflamable.

Dentro de estas clases de emplazamientos se pueden distinguir las siguientes zonas:

Zonas de emplazamientos Clase I.

- Zona 0: Emplazamiento en el que la atmósfera explosiva constituida por una mezcla de aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor, o niebla, está presente de modo permanente, o por un espacio de tiempo prolongado, o frecuentemente.
- Zona 1: Emplazamiento en el que cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación ocasional de atmósfera explosiva constituida por una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.
- Zona 2: Emplazamiento en el que no cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación de atmósfera explosiva constituida por una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o, en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo subsiste por espacios de tiempo muy breves.

En la Norma UNE-EN 60079-10 se recogen reglas precisas para establecer zonas en emplazamientos de Clase I.

Zonas de emplazamiento Clase II.

- Zona 20: Emplazamiento en el que la atmósfera explosiva en forma de nube de polvo inflamable en el aire está presente de forma permanente, o por un espacio de tiempo prolongado, o frecuentemente.

Las capas en sí mismas no constituyen una zona 20. En general estas condiciones se dan en el interior de conducciones, recipientes, etc. Los emplazamientos en los que hay capas de polvo pero no hay nubes de forma continua o durante largos períodos de tiempo, no entran en este concepto.

- Zona 21: Emplazamientos en los que cabe contar con la formación ocasional, en condiciones normales de funcionamiento, de una atmósfera explosiva, en forma de nube de polvo inflamable en el aire.

Esta zona puede incluir entre otros, los emplazamientos en la inmediata vecindad de, por ejemplo, lugares de vaciado o llenado de polvo.

- Zona 22: Emplazamientos en los que no cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación de una atmósfera explosiva peligrosa en forma de nube de polvo inflamable en el aire o en la que, en caso de formarse dicha atmósfera explosiva, sólo subsiste por breve espacio de tiempo.

Esta zona puede incluir, entre otros, entornos próximos de sistemas conteniendo polvo de los que puede haber fugas y formar depósitos de polvo.

En la Norma CEI 61241-3 se recogen reglas para establecer zonas en emplazamientos de Clase II.

Con lo dispuesto anteriormente, podemos considerar que la instalación en estudio se encuadra en los emplazamientos de Clase I.

Un estudio aproximado de la instalación es el siguiente:

Tanque de almacenamiento de un líquido inflamable, situado en el exterior, con techo fijo.

Factores principales que influyen en el tipo y extensión de las zonas:

Ventilación

Tipo _____ Natural
Grado _____ Medio*
Disponibilidad _____ Muy buena

* Dentro del tanque y en el sumidero es bajo.

Fuente de escape

Grado de escape

Superficie del líquido _____ Continuo
Venteo y otras aberturas en el techo _____ Primario
Bridas, etc. dentro de la cubeta y sobrellenado del tanque _____ Secundario

Producto

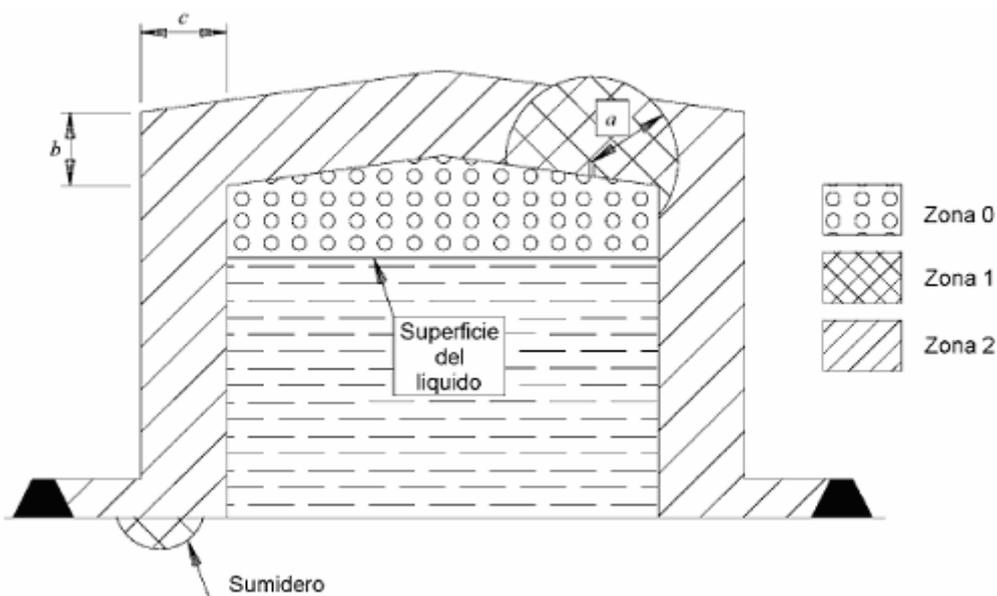
Punto de inflamación _____ Inferior a la temperatura de proceso y ambiente
Densidad del gas _____ Mayor que el aire

Tomando en consideración los parámetros relevantes, los valores típicos obtenidos para este ejemplo son:

$a = 3$ m desde los venteos.

$b = 3$ m encima del techo.

$c = 3$ m horizontalmente desde el tanque.



(El dibujo no está a escala)

Bridas, uniones y accesorios de tuberías.

Factores principales que influyen en el tipo y extensión de las zonas:

Ventilación

Tipo _____ Natural
Grado _____ Medio
Disponibilidad _____ Muy buena

Fuente de escape

Grado de escape

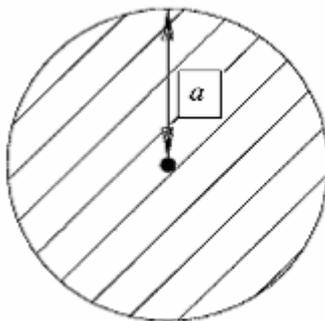
Bridas, uniones y accesorios _____ Secundario

Producto

Punto de inflamación _____ Inferior a la temperatura de proceso y ambiente
Densidad del gas _____ Mayor que el aire

Tomando en consideración los parámetros relevantes, los valores típicos obtenidos para este ejemplo son:

a = 1 metro en todas las direcciones.



(El dibujo no está a escala)

Quemador de la caldera.

Factores principales que influyen en el tipo y extensión de las zonas:

Ventilación

Tipo _____ Natural
Grado _____ Medio
Disponibilidad _____ Muy buena

Fuente de escape

Grado de escape

Difusor _____ Primario y secundario

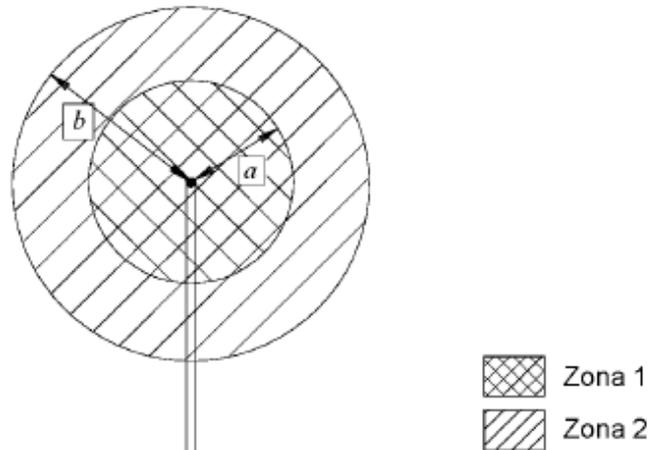
Producto

Punto de inflamación _____ Inferior a la temperatura de proceso y ambiente
Densidad del gas _____ Mayor que el aire

Tomando en consideración los parámetros relevantes, los valores típicos obtenidos para este ejemplo son:

$a = 3$ m en todas las direcciones desde la fuente de escape.

$b = 5$ m en todas las direcciones desde la fuente de escape.



(El dibujo no está a escala)

Cargadero de camiones cisterna (durante el llenado) situado en el exterior para llenado de biobutanol por la parte superior.

Factores principales que influyen en el tipo y extensión de las zonas:

Ventilación

Tipo _____ Natural
Grado _____ Medio
Disponibilidad _____ Muy buena

Fuente de escape

Grado de escape

Aberturas en el techo de la cisterna _____ Primario
Derrame en el suelo _____ Secundario
Sobrellenado de la cisterna _____ Secundario

Producto

Punto de inflamación _____ Inferior a la temperatura de proceso y ambiente
Densidad del gas _____ Mayor que el aire

Tomando en consideración los parámetros relevantes, los valores típicos obtenidos para este ejemplo son:

$a = 1,5$ m horizontalmente desde la fuente de escape.

$b = 1,5$ m horizontalmente desde acoplamiento flexible.

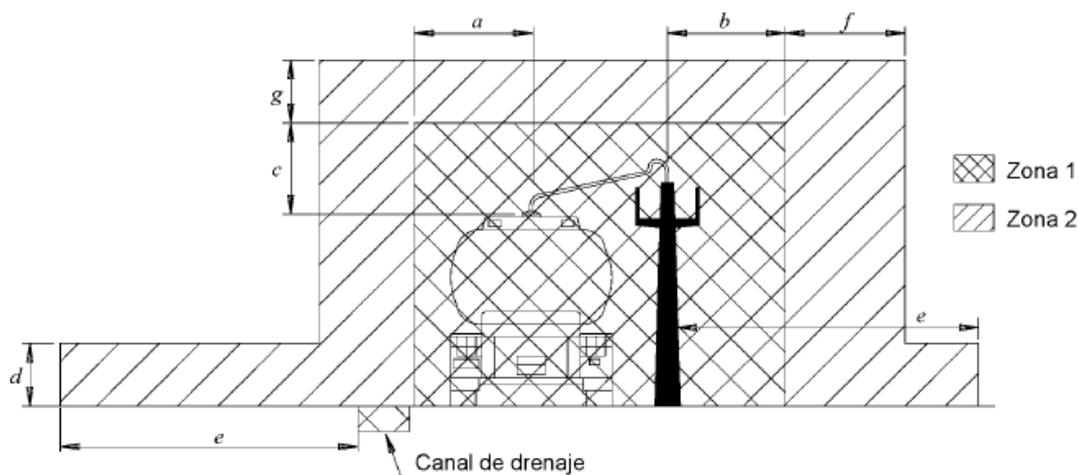
$c = 1,5$ m por encima de la fuente de escape.

$d = 1$ m sobre el nivel del suelo.

$e = 4,5$ m horizontalmente desde el canal de drenaje.

$f = 1,5$ m horizontalmente desde la zona 1.

$g = 1,0$ m por encima de la zona 1.



(El dibujo no está a escala)

NOTA 1: Si el sistema es cerrado con recuperación de vapor, las distancias pueden reducirse, de tal forma que la zona 1 puede ser despreciable y la extensión de la zona 2 significativamente reducida.

NOTA 2: Los derrames debidos a sobrellenos son improbables con un sistema de recuperación de vapores.

ANEXO 4

DISEÑO DE SILOS

Tabla 9.2
Coeficientes de empuje activo

Angulo de rozamiento interno del terreno φ	Angulo de rozamiento de terreno y muro δ	Angulo del talud del terreno β	Coeficiente λ/H de empuje activo horizontal siendo la inclinación del muro: $b:h = \cot \alpha =$						Coeficiente λ/V de empuje activo vertical siendo la inclinación del muro: $b:h = \cot \alpha =$					
			0,8	0,6	0,4	0,2	0	-0,2	0,8	0,6	0,4	0,2	0	-0,2
20°	0°	0°	0,71	0,67	0,62	0,56	0,49	0,42	0,57	0,40	0,25	0,11	0,00	-0,08
		5°	0,78	0,73	0,67	0,60	0,52	0,44	0,62	0,44	0,27	0,12	0,00	-0,09
		10°	0,88	0,81	0,74	0,65	0,57	0,48	0,70	0,49	0,29	0,13	0,00	-0,10
		15°	1,01	0,92	0,83	0,74	0,64	0,54	0,81	0,55	0,33	0,15	0,00	-0,11
		20°	1,47	1,31	1,16	1,02	0,88	0,76	1,18	0,79	0,46	0,20	0,00	-0,15
	$\frac{\varphi}{3}$	0°	0,63	0,60	0,56	0,51	0,45	0,39	0,64	0,46	0,28	0,16	0,05	-0,03
		5°	0,70	0,66	0,62	0,56	0,48	0,42	0,71	0,51	0,31	0,18	0,06	-0,03
		10°	0,80	0,75	0,68	0,61	0,54	0,46	0,81	0,58	0,34	0,20	0,06	-0,04
		15°	0,95	0,87	0,79	0,70	0,61	0,52	0,96	0,67	0,39	0,23	0,07	-0,04
		20°	1,47	1,21	1,16	1,02	0,88	0,76	1,49	1,01	0,58	0,33	0,10	-0,06
	6° 40'	0°	0,56	0,54	0,52	0,48	0,42	0,37	0,72	0,53	0,36	0,22	0,10	0,01
		5°	0,63	0,61	0,57	0,52	0,46	0,40	0,81	0,60	0,40	0,24	0,11	0,01
		10°	0,73	0,69	0,64	0,58	0,51	0,44	0,93	0,67	0,45	0,27	0,12	0,02
		15°	0,88	0,82	0,75	0,67	0,59	0,50	1,13	0,81	0,53	0,31	0,14	0,02
		20°	1,47	1,31	1,16	1,02	0,88	0,76	1,88	1,28	0,82	0,47	0,21	0,03
13° 20'	0°	0,49	0,49	0,47	0,44	0,40	0,35	0,80	0,60	0,42	0,27	0,15	0,05	
	5°	0,56	0,55	0,53	0,48	0,44	0,38	0,92	0,69	0,47	0,29	0,16	0,06	
	10°	0,66	0,64	0,60	0,55	0,49	0,42	1,08	0,78	0,54	0,33	0,18	0,06	
	15°	0,82	0,77	0,71	0,64	0,57	0,48	1,35	1,01	0,69	0,39	0,21	0,07	
	20°	1,47	1,31	1,16	1,02	0,88	0,76	2,42	1,62	1,04	0,60	0,32	0,12	
25°	0°	0°	0,65	0,60	0,55	0,48	0,41	0,33	0,52	0,36	0,22	0,10	0,00	-0,07
		5°	0,79	0,72	0,64	0,55	0,46	0,37	0,63	0,43	0,26	0,11	0,00	-0,07
		15°	0,89	0,80	0,70	0,60	0,50	0,41	0,71	0,48	0,28	0,12	0,00	-0,08
		20°	1,03	0,92	0,80	0,69	0,57	0,46	0,82	0,55	0,32	0,14	0,00	-0,09
		25°	1,55	1,35	1,16	0,98	0,82	0,68	1,24	0,81	0,46	0,20	0,00	-0,14
	$\frac{\varphi}{3}$	0°	0,56	0,53	0,49	0,44	0,37	0,30	0,60	0,43	0,28	0,16	0,05	-0,02
		10°	0,70	0,65	0,58	0,51	0,43	0,34	0,75	0,53	0,34	0,18	0,06	-0,02
		15°	0,80	0,73	0,65	0,56	0,47	0,38	0,86	0,60	0,38	0,20	0,07	-0,02
		20°	0,96	0,86	0,76	0,65	0,55	0,44	1,03	0,70	0,44	0,23	0,08	-0,02
		25°	1,55	1,35	1,16	0,98	0,82	0,68	1,66	1,10	0,67	0,35	0,12	-0,03
	8° 20'	0°	0,48	0,47	0,44	0,40	0,35	0,29	0,69	0,51	0,35	0,21	0,10	0,03
		10°	0,61	0,58	0,53	0,47	0,40	0,33	0,88	0,64	0,42	0,25	0,12	0,03
		15°	0,72	0,67	0,60	0,53	0,45	0,37	1,04	0,73	0,48	0,28	0,14	0,03
		20°	0,88	0,80	0,71	0,62	0,52	0,42	1,27	0,88	0,56	0,33	0,16	0,04
		25°	1,55	1,35	1,16	0,98	0,82	0,68	2,24	1,47	0,92	0,52	0,25	0,06
$\varphi = 25^\circ$	0°	0,40	0,41	0,39	0,37	0,32	0,27	0,81	0,60	0,42	0,27	0,15	0,07	
	10°	0,53	0,52	0,48	0,44	0,38	0,31	1,07	0,77	0,51	0,32	0,18	0,07	
	15°	0,63	0,60	0,56	0,50	0,43	0,35	1,27	0,89	0,60	0,37	0,20	0,08	
	20°	0,79	0,74	0,67	0,59	0,50	0,41	1,60	1,10	0,71	0,43	0,23	0,10	
	25°	1,55	1,35	1,16	0,98	0,82	0,68	3,13	1,99	1,23	0,72	0,38	0,17	
30°	0°	0°	0,60	0,54	0,48	0,41	0,33	0,26	0,48	0,33	0,19	0,08	0,00	-0,05
		10°	0,71	0,64	0,55	0,46	0,37	0,28	0,57	0,38	0,22	0,09	0,00	-0,06
		20°	0,89	0,78	0,67	0,55	0,44	0,33	0,71	0,47	0,27	0,11	0,00	-0,07
		25°	1,04	0,90	0,77	0,63	0,50	0,38	0,83	0,54	0,31	0,13	0,00	-0,08
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,75	0,59	1,28	0,82	0,45	0,19	0,00	-0,12
	$\frac{\varphi}{3}$	0°	0,50	0,47	0,42	0,37	0,30	0,24	0,57	0,41	0,26	0,14	0,05	-0,01
		10°	0,61	0,56	0,50	0,42	0,34	0,27	0,69	0,49	0,31	0,16	0,06	-0,01
		20°	0,79	0,71	0,61	0,51	0,41	0,32	0,90	0,62	0,38	0,20	0,07	-0,01
		25°	0,95	0,84	0,72	0,60	0,48	0,37	1,08	0,73	0,45	0,23	0,08	-0,01
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,75	0,59	2,63	1,82	1,18	0,71	0,36	0,13
	10°	0°	0,41	0,40	0,37	0,33	0,28	0,22	0,68	0,49	0,33	0,20	0,10	0,03
		10°	0,52	0,49	0,44	0,39	0,32	0,25	0,85	0,60	0,39	0,24	0,12	0,04
		20°	0,69	0,63	0,56	0,48	0,39	0,30	1,13	0,78	0,50	0,29	0,14	0,05
		25°	0,86	0,77	0,67	0,57	0,46	0,35	1,41	0,96	0,60	0,35	0,17	0,05
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,75	0,59	2,63	1,68	1,02	0,57	0,27	0,09
$\varphi = 30^\circ$	0°	0,32	0,33	0,33	0,30	0,26	0,21	0,82	0,60	0,41	0,26	0,15	0,07	
	10°	0,42	0,42	0,39	0,35	0,30	0,24	1,07	0,76	0,50	0,31	0,17	0,08	
	20°	0,58	0,56	0,51	0,44	0,37	0,29	1,48	1,01	0,65	0,39	0,21	0,10	
	25°	0,75	0,70	0,62	0,53	0,44	0,34	1,92	1,26	0,79	0,47	0,25	0,12	
	30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,75	0,59	4,10	2,45	1,44	0,82	0,43	0,20	

Tabla 9.2 (Continuación)
Coeficientes de empuje activo

Angulo de rozamiento interno del terreno ϕ	Angulo de rozamiento de terreno y muro δ	Angulo de talud del terreno β	Coeficiente λ_H de empuje activo horizontal siendo la inclinación del muro: $D : h = \cot \alpha =$					Coeficiente λ_V de empuje activo vertical siendo la inclinación del muro: $b : h = \cot \alpha =$						
			0,8	0,6	0,4	0,2	0	0,2	0,8	0,6	0,4	0,2	0	0,2
			35°	0°	0°	0,54	0,49	0,42	0,35	0,27	0,20	0,43	0,29	0,17
15°	0,70	0,61			0,51	0,42	0,32	0,23	0,56	0,37	0,20	0,08	0,00	-0,05
25°	0,88	0,75			0,62	0,50	0,38	0,27	0,70	0,45	0,25	0,10	0,00	-0,05
30°	1,04	0,88			0,72	0,57	0,44	0,31	0,83	0,53	0,29	0,11	0,00	-0,06
35°	1,63	1,35			1,10	0,87	0,67	0,50	1,31	0,81	0,44	0,17	0,00	-0,10
$\frac{\phi}{3} =$	0°	0,44		0,41	0,37	0,31	0,25	0,18	0,53	0,38	0,24	0,13	0,05	0,00
	15°	0,60		0,53	0,46	0,38	0,29	0,21	0,72	0,49	0,30	0,16	0,06	0,00
	25°	0,77		0,67	0,57	0,46	0,35	0,25	0,93	0,62	0,38	0,19	0,07	0,00
	30°	0,94		0,81	0,67	0,54	0,41	0,30	1,13	0,75	0,44	0,23	0,08	0,00
	35°	1,63		1,35	1,10	0,87	0,67	0,50	1,96	1,24	0,73	0,37	0,14	0,00
11° 40'	0°	0,35		0,34	0,32	0,28	0,22	0,17	0,81	0,47	0,32	0,19	0,10	0,04
	15°	0,49		0,46	0,41	0,34	0,27	0,20	0,92	0,64	0,41	0,23	0,12	0,04
	25°	0,66		0,60	0,52	0,43	0,33	0,24	1,24	0,83	0,52	0,30	0,14	0,05
	30°	0,83		0,73	0,62	0,51	0,39	0,29	1,56	1,02	0,62	0,35	0,17	0,06
	35°	1,63		1,35	1,10	0,87	0,67	0,50	3,07	1,88	1,10	0,60	0,29	0,11
$\frac{2\phi}{3} =$	0°	0,25	0,27	0,27	0,24	0,21	0,16	0,85	0,60	0,41	0,26	0,14	0,07	
	15°	0,36	0,37	0,35	0,31	0,25	0,19	1,23	0,83	0,53	0,30	0,17	0,08	
	25°	0,52	0,51	0,46	0,39	0,31	0,23	1,77	1,14	0,70	0,37	0,22	0,10	
	30°	0,69	0,64	0,57	0,48	0,37	0,27	2,35	1,43	0,87	0,46	0,26	0,12	
	35°	1,63	1,35	1,10	0,87	0,67	0,50	5,57	3,03	1,68	0,91	0,47	0,22	
35°	0°	0,25	0,27	0,27	0,24	0,21	0,16	0,85	0,60	0,41	0,26	0,14	0,07	
	15°	0,36	0,37	0,35	0,31	0,25	0,19	1,23	0,83	0,53	0,30	0,17	0,08	
	25°	0,52	0,51	0,46	0,39	0,31	0,23	1,77	1,14	0,70	0,37	0,22	0,10	
	30°	0,69	0,64	0,57	0,48	0,37	0,27	2,35	1,43	0,87	0,46	0,26	0,12	
	35°	1,63	1,35	1,10	0,87	0,67	0,50	5,57	3,03	1,68	0,91	0,47	0,22	
40°	0°	0°	0,49	0,44	0,37	0,29	0,22	0,15	0,39	0,26	0,15	0,06	0,00	-0,03
		15°	0,63	0,53	0,44	0,34	0,25	0,17	0,50	0,32	0,18	0,07	0,00	-0,03
		25°	0,76	0,64	0,52	0,40	0,29	0,19	0,61	0,38	0,21	0,08	0,00	-0,04
		35°	1,02	0,84	0,67	0,51	0,37	0,24	0,82	0,50	0,27	0,10	0,00	-0,05
		40°	1,64	1,32	1,05	0,80	0,59	0,41	1,31	0,79	0,42	0,16	0,00	-0,06
	$\frac{\phi}{3} =$	0°	0,40	0,36	0,31	0,26	0,20	0,14	0,51	0,35	0,22	0,12	0,05	0,00
		15°	0,52	0,46	0,39	0,31	0,23	0,16	0,66	0,45	0,27	0,14	0,05	0,01
		25°	0,65	0,56	0,46	0,36	0,27	0,18	0,83	0,55	0,32	0,16	0,06	0,01
		35°	0,92	0,77	0,62	0,48	0,35	0,23	1,18	0,76	0,44	0,22	0,08	0,01
		40°	1,64	1,32	1,05	0,80	0,59	0,41	2,10	1,30	0,74	0,37	0,14	0,01
	13° 20'	0°	0,30	0,29	0,27	0,23	0,18	0,13	0,65	0,46	0,30	0,18	0,09	0,04
		15°	0,41	0,38	0,33	0,28	0,21	0,15	0,89	0,60	0,37	0,22	0,10	0,04
		25°	0,52	0,48	0,41	0,33	0,25	0,17	1,13	0,76	0,46	0,26	0,12	0,05
		35°	0,79	0,69	0,58	0,45	0,33	0,22	1,72	1,09	0,65	0,35	0,17	0,06
		40°	1,64	1,32	1,05	0,80	0,59	0,41	3,57	2,08	1,19	0,62	0,30	0,11
$\frac{2\phi}{3} =$	0°	0,18	0,21	0,22	0,20	0,16	0,12	0,89	0,61	0,40	0,25	0,14	0,07	
	15°	0,26	0,29	0,28	0,24	0,19	0,14	1,30	0,84	0,52	0,30	0,16	0,08	
	25°	0,35	0,37	0,35	0,29	0,23	0,16	1,74	1,07	0,65	0,36	0,19	0,09	
	35°	0,59	0,58	0,51	0,42	0,31	0,21	2,94	1,68	0,95	0,52	0,26	0,11	
	40°	1,64	1,32	1,05	0,80	0,59	0,41	8,17	3,83	1,95	1,00	0,49	0,22	
40°	0°	0,18	0,21	0,22	0,20	0,16	0,12	0,89	0,61	0,40	0,25	0,14	0,07	
	15°	0,26	0,29	0,28	0,24	0,19	0,14	1,30	0,84	0,52	0,30	0,16	0,08	
	25°	0,35	0,37	0,35	0,29	0,23	0,16	1,74	1,07	0,65	0,36	0,19	0,09	
	35°	0,59	0,58	0,51	0,42	0,31	0,21	2,94	1,68	0,95	0,52	0,26	0,11	
	40°	1,64	1,32	1,05	0,80	0,59	0,41	8,17	3,83	1,95	1,00	0,49	0,22	
45°	0°	0°	0,45	0,38	0,32	0,24	0,17	0,11	0,36	0,23	0,13	0,05	0,00	-0,02
		15°	0,56	0,47	0,37	0,28	0,19	0,12	0,45	0,28	0,15	0,06	0,00	-0,02
		30°	0,73	0,60	0,47	0,34	0,23	0,14	0,58	0,36	0,19	0,07	0,00	-0,03
		40°	0,99	0,79	0,61	0,45	0,30	0,18	0,79	0,47	0,24	0,09	0,00	-0,04
		45°	1,62	1,28	0,98	0,72	0,50	0,32	1,30	0,77	0,39	0,14	0,00	-0,06
	$\frac{\phi}{3} =$	0°	0,35	0,32	0,27	0,21	0,14	0,10	0,48	0,33	0,20	0,10	0,04	0,01
		15°	0,45	0,39	0,32	0,25	0,18	0,11	0,61	0,40	0,24	0,12	0,05	0,01
		30°	0,55	0,52	0,42	0,31	0,22	0,13	0,75	0,54	0,31	0,15	0,06	0,01
		40°	0,88	0,72	0,57	0,42	0,29	0,17	1,20	0,74	0,43	0,21	0,08	0,01
		45°	1,62	1,28	0,98	0,72	0,50	0,32	2,20	1,32	0,73	0,36	0,13	0,02
	15°	0°	0,25	0,25	0,22	0,19	0,14	0,09	0,64	0,44	0,28	0,16	0,08	0,03
		15°	0,33	0,31	0,27	0,22	0,16	0,10	0,84	0,56	0,34	0,19	0,09	0,03
		30°	0,48	0,43	0,36	0,28	0,20	0,13	1,23	0,77	0,46	0,25	0,11	0,04
		40°	0,74	0,64	0,52	0,39	0,27	0,17	1,89	1,15	0,66	0,34	0,16	0,06
		45°	1,62	1,28	0,98	0,72	0,50	0,32	4,15	2,31	1,25	0,63	0,29	0,11
$\frac{2\phi}{3} =$	0°	0,11	0,16	0,17	0,16	0,13	0,09	0,97	0,63	0,40	0,24	0,13	0,06	
	15°	0,16	0,21	0,22	0,19	0,15	0,10	1,44	0,84	0,51	0,28	0,15	0,07	
	30°	0,25	0,31	0,30	0,25	0,18	0,12	2,25	1,24	0,70	0,37	0,18	0,08	
	40°	0,45	0,50	0,45	0,35	0,25	0,16	4,05	2,00	1,05	0,52	0,25	0,11	
	45°	1,62	1,28	0,98	0,72	0,50	0,32	14,60	5,12	2,29	1,08	0,50	0,21	
45°	0°	0,11	0,16	0,17	0,16	0,13	0,09	0,97	0,63	0,40	0,24	0,13	0,06	
	15°	0,16	0,21	0,22	0,19	0,15	0,10	1,44	0,84	0,51	0,28	0,15	0,07	
	30°	0,25	0,31	0,30	0,25	0,18	0,12	2,25	1,24	0,70	0,37	0,18	0,08	
	40°	0,45	0,50	0,45	0,35	0,25	0,16	4,05	2,00	1,05	0,52	0,25	0,11	
	45°	1,62	1,28	0,98	0,72	0,50	0,32	14,60	5,12	2,29	1,08	0,50	0,21	

Norma Básica de la Edificación "NBE-AE/88. Acciones en la edificación".

Tabla 9.3
Función de presión en silos

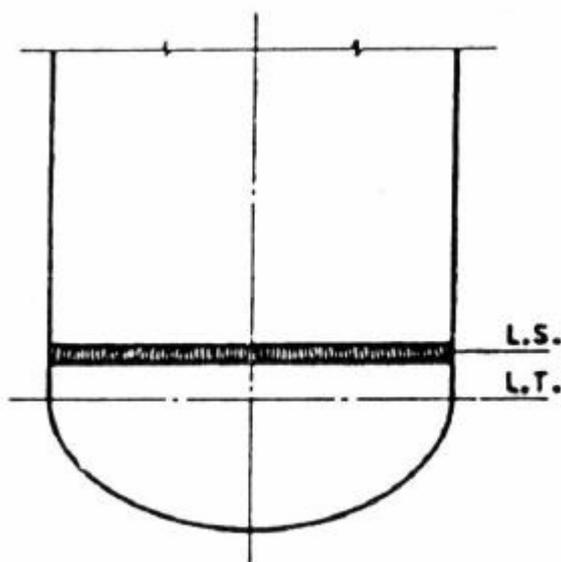
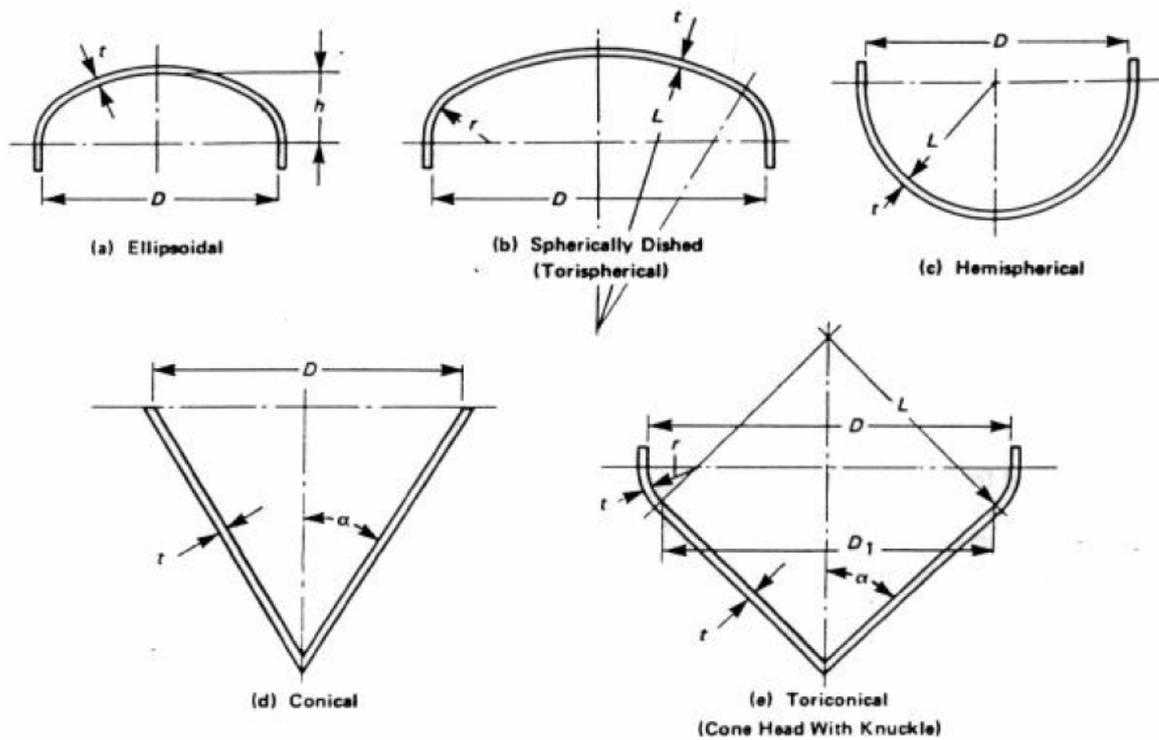
$z:z_0$	$1 - e^{-z/z_0}$	$z:z_0$	$1 - e^{-z/z_0}$	$z:z_0$	$1 - e^{-z/z_0}$
0,00	0,000	1,00	0,632	2,00	0,865
0,05	0,049	1,05	0,650	2,05	0,871
0,10	0,095	1,10	0,667	2,10	0,877
0,15	0,139	1,15	0,683	2,15	0,883
0,20	0,181	1,20	0,699	2,20	0,889
0,25	0,221	1,25	0,713	2,25	0,895
0,30	0,259	1,30	0,727	2,30	0,900
0,35	0,295	1,35	0,741	2,35	0,905
0,40	0,330	1,40	0,754	2,40	0,909
0,45	0,362	1,45	0,766	2,45	0,914
0,50	0,393	1,50	0,777	2,50	0,918
0,55	0,423	1,55	0,788	2,55	0,922
0,60	0,451	1,60	0,798	2,60	0,926
0,65	0,478	1,65	0,808	2,65	0,929
0,70	0,503	1,70	0,817	2,70	0,933
0,75	0,528	1,75	0,826	2,75	0,936
0,80	0,551	1,80	0,835	2,80	0,939
0,85	0,573	1,85	0,843	2,85	0,942
0,90	0,593	1,90	0,850	2,90	0,945
0,95	0,613	1,95	0,858	3,00	0,950

Norma Básica de la Edificación “NBE-AE/88. Acciones en la edificación”.

ANEXO 5

DISEÑO DE TANQUES

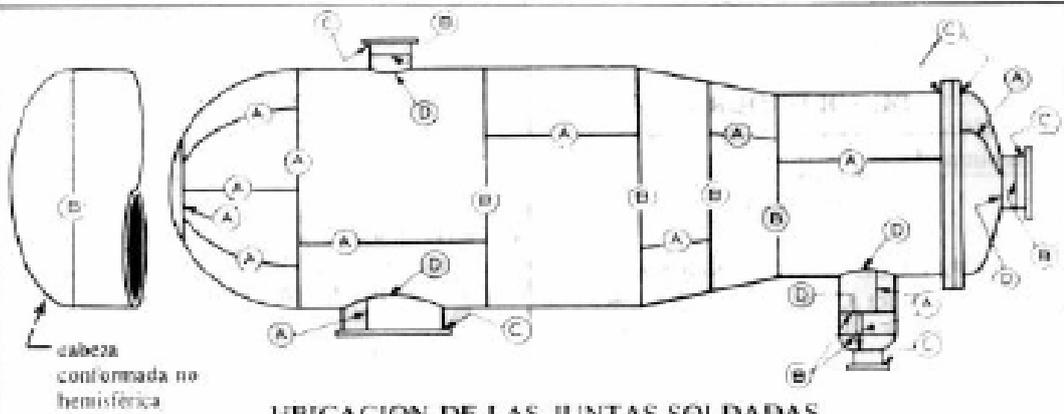
Todas las figuras de este anexo se han tomado de la Norma ANSI.



Unión fondo-carcasa

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS				
TIPOS NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es:		
		a. Radiografiada total- mente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada
1	 <p>Junta a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
2	 <p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar</p> <p>En juntas circunferenciales únicamente</p>	0.90	0.80	0.65
3	 <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60
4	 <p>Junta a traslape de doble filete completo</p>	—	—	0.55
5	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	—	—	0.50
6	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	—	—	0.45

DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS



UBICACION DE LAS JUNTAS SOLDADAS

Las juntas designadas por las mismas letras están sujetas a las mismas condiciones y tienen los mismos requisitos.

Tales requisitos, relacionados con el servicio, material, espesor y otras condiciones de diseño se indican a continuación.

CONDICION DE DISEÑO	TIPO DE SOLDADURA	EXAMEN RADIOGRAFICO	EFICIENCIA DE JUNTA	TRATAMIENTO TERMICO DESPUES DE LA SOLDADURA
1. El diseño del recipiente a presión se basa en una eficiencia de junta de 1.0 Norma UW-11 (a) (5)	<p>Juntas A y D</p> <p>Las juntas A y B (roblando transversal únicamente) deben ser del tipo No. (1) ó (2)</p> <p>Las juntas B y C deben ser a tope UW-11 (a) (5) (b)</p> <p>Las juntas a tope B y C en boquilla y pasos a cámaras menores de 10 pulg de diámetro nominal y espesor de pared menor de 1 1/8 de pulg no requieren de examen radiográfico, excepto para el acero ferrítico cuyas propiedades a la tensión mejoran con tratamiento térmico UHT-57</p>	<p>Completo</p> <p>Completo por zonas</p> <p>No</p> <p>Parcial</p> <p>(la totalidad de la soldadura es aceptable por el examen radiográfico parcial UW-51(c)(1))</p>	<p>1.0</p> <p>Tipo (1) (Tipo (2)</p> <p>1.0 0.90</p> <p>0.85 0.80</p> <p>0.70 0.65</p> <p>0.85 Tipo (1);</p> <p>0.80 Tipo (2);</p>	<p>Por la norma UCS-56</p>
2. Recipientes a presión en los que el examen radiográfico completo no es obligatorio UW-11(b)	<p>Todas las juntas a tope deben ser del tipo No. (1) o No. (2) UW-11(b)</p>	<p>Juntas a tope examinadas por zonas UW-12(b)</p> <p>Las secciones de recipientes sin costura y las cabezas con juntas B, C o D, deben diseñarse para esfuerzo circunferencial con un valor de esfuerzo del material del 85%</p>	<p>0.85 Tipo No. (1)</p> <p>0.80 Tipo No. (2)</p>	<p>Por la norma UCS-56</p>

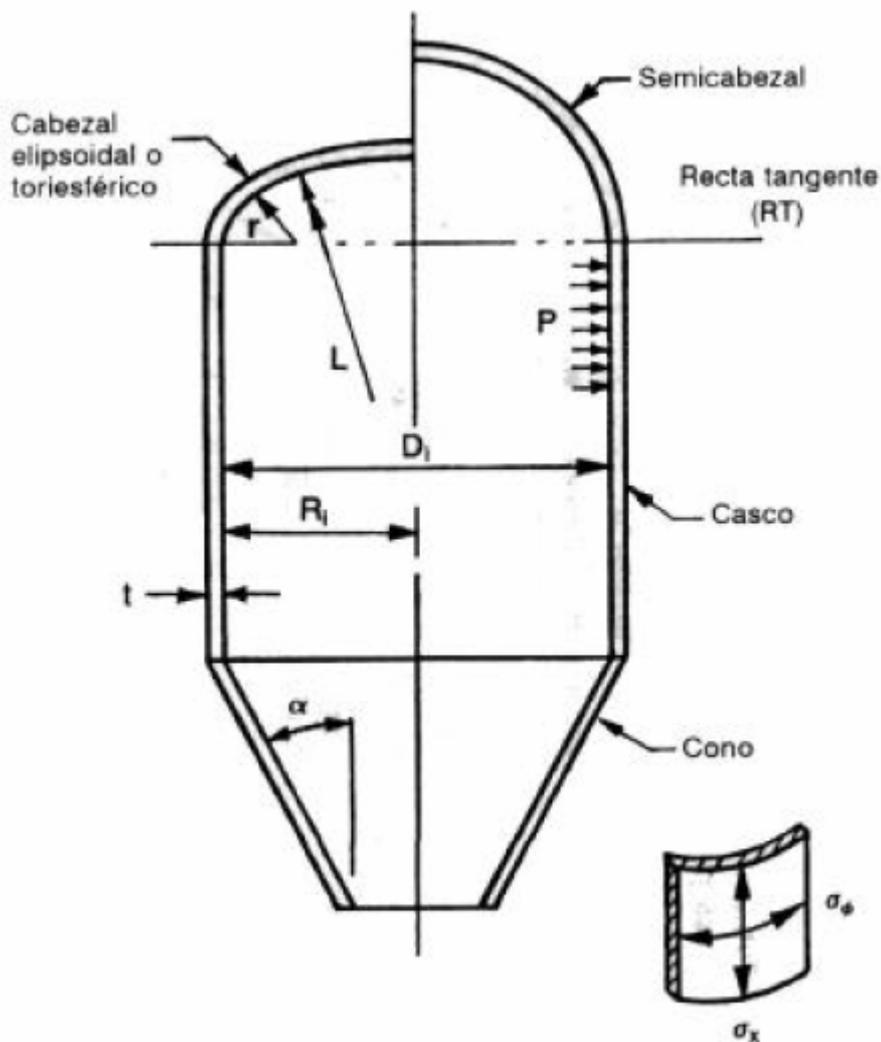
DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS (CONT.)				
CONDICIÓN DE DISEÑO	TIPO DE SOLDADURA	EXAMEN RADIOGRÁFICO	EFICIENCIA DE JUNTA	TRATAMIENTO TÉRMICO DESPUÉS DE LA SOLDADURA
3. El recipiente se diseña para presión externa únicamente o el diseño está basado en UW-12(c) (ver tabla).	Cualquier junta soldada UW-11(c).	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).
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 ²	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 cabezas 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).

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

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
Casco							
Longitudinal [Sección UG-27(c)(2)]*	$\sigma_s = \frac{PR_m}{2t}$	$\frac{PR}{2SE + 1.4P}$	$\frac{PR_o}{2SE + 1.4P}$	$\frac{2SEt}{R_i - .4t}$	$\frac{2SEt}{R_o - 1.4t}$	$\frac{P(R_i - .4t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - 1.4t)}{2Et}$
Circunferencial [Sección UG-27(e)(1); Sección 1-1 (a)(1)]*	$\sigma_s = \frac{PR_m}{t}$	$\frac{PR}{SE - .6P}$	$\frac{PR_o}{SE + .4P}$	$\frac{SEt}{R_i + .6t}$	$\frac{SEt}{R_o - .4t}$	$\frac{P(R_i + .6t)}{Et}$	$\frac{P(R_o - .4t)}{Et}$
Cabezales							
Semisférico [Sección 1-1(a)(2); Sección UG-27(d)]*	$\sigma_s = \sigma_r = \frac{PR_m}{2t}$	$\frac{PR}{2SE - .2P}$	$\frac{PR_o}{2SE + .8P}$	$\frac{2SEt}{R_i + .2t}$	$\frac{2SEt}{R_o - .8t}$	$\frac{P(R_i + .2t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - .8t)}{2Et}$
Elipsoidal [Sección 1-4(c)]*	Véase PROCEDIMIENTO 2	$\frac{PD,K}{2SE - .2P}$	$\frac{PD_o,K}{2SE + 2P(K - .1)}$	$\frac{2SEt}{KD_o - 2t(K - .1)}$		Véase PROCEDIMIENTO 2	
2:1 SE [Sección UG-32(d)]*	*	$\frac{PD_i}{2SE - .2P}$	$\frac{PD_o}{2SE + 1.8P}$	$\frac{2SEt}{D_i + .2t}$	$\frac{2SEt}{D_o - 1.8t}$	*	*
100% - 6% Torisférica [Sección UG-32(e)]*	*	$\frac{.885PL_i}{SE - .1P}$	$\frac{.885PL_o}{SE + .8P}$	$\frac{SEt}{.885L_i + .1t}$	$\frac{SEt}{.885L_o - .8t}$	*	*
Torisférica $L_i < 16.66$ [Sección 1-4(d)]*	*	$\frac{PL_i,M}{2SE - .2P}$	$\frac{PL_o,M}{2SE + P(M - .2)}$	$\frac{2SEt}{L_i,M + .2t}$	$\frac{2SEt}{L_o,M - t(M - .2)}$	*	*
Cono							
Longitudinal	$\sigma_s = \frac{PR_m}{2t \cos \alpha}$	$\frac{PD_i}{4 \cos \alpha (SE + .4P)}$	$\frac{PD_o}{4 \cos \alpha (SE + 1.4P)}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_i - .8t \cos \alpha}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_o - 2.8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i - .8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - 2.8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$
Circunferencial [Sección 1-4(e); Sección UG-32(g)]*	$\sigma_s = \frac{PR_m}{t \cos \alpha}$	$\frac{PD_i}{2 \cos \alpha (SE - .6P)}$	$\frac{PD_o}{2 \cos \alpha (SE + .4P)}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_i + 1.2t \cos \alpha}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_o - .8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i + 1.2t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - .8t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$

* ASME Boiler and Pressure Vessel Code, sección VIII, división 1, edición de 1983, American Society of Mechanical Engineers.



Configuración general y datos dimensionales para cascos y cabezas de recipientes.

**TABLE UW-12
MAXIMUM ALLOWABLE JOINT EFFICIENCIES^{1,5} FOR ARC AND GAS WELDED JOINTS**

Type No.	Joint Description	Limitations	Joint Category	Degree of Radiographic Examination		
				(a) Full ²	(b) Spot ³	(c) None
(1)	Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips which remain in place are excluded.	None	A, B, C, & D	1.00	0.65	0.70
(2)	Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)	(a) None except as in (b) below (b) Circumferential butt joints with one plate offset; see UW-13(b)(4) and Fig. UW-13.1, sketch (k)	A, B, C, & D A, B, & C	0.90 0.90	0.60 0.60	0.65 0.65
(3)	Single-welded butt joint without use of backing strip	Circumferential butt joints only, not over 3/4 in. (16 mm) thick and not over 24 in. (610 mm) outside diameter	A, B, & C	NA	NA	0.60
(4)	Double full fillet lap joint	(a) Longitudinal joints not over 3/4 in. (16 mm) thick (b) Circumferential joints not over 3/4 in. (16 mm) thick	A B & C ⁶	NA NA	NA NA	0.55 0.55
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	(a) Circumferential joints* for attachment of heads not over 24 in. (610 mm) outside diameter to shells not over 1/2 in. (13 mm) thick (b) Circumferential joints for the attachment to shells of jackets not over 3/4 in. (16 mm) in nominal thickness where the distance from the center of the plug weld to the edge of the plate is not less than 1 1/2 times the diameter of the hole for the plug.	B C	NA NA	NA NA	0.50 0.50

(continued)

**TABLE UW-12
MAXIMUM ALLOWABLE JOINT EFFICIENCIES^{1,5} FOR ARC AND GAS WELDED JOINTS (CONT'D)**

Type No.	Joint Description	Limitations	Joint Category	Degree of Radiographic Examination		
				(a) Full ²	(b) Spot ³	(c) None
(6)	Single full fillet lap joints without plug welds	(a) For the attachment of heads convex to pressure to shells not over 3/4 in. (16 mm) required thickness, only with use of fillet weld on inside of shell; or (b) for attachment of heads having pressure on either side, to shells not over 24 in. (610 mm) inside diameter and not over 3/4 in. (16 mm) required thickness with fillet weld on outside of head flange only	A & B A & B	NA NA	NA NA	0.45 0.45
(7)	Corner joints, full penetration, partial penetration, and/or fillet welded	As limited by Fig. UW-13.2 and Fig UW-16.1	C ⁷ & D ⁷	NA	NA	NA
(8)	Angle joints	Design per U-2(g) for Category B and C joints	B, C, & D	NA	NA	NA

NOTES:

- (1) The single factor shown for each combination of joint category and degree of radiographic examination replaces both the stress reduction factor and the joint efficiency factor considerations previously used in this Division.
- (2) See UW-12(a) and UW-5.1.
- (3) See UW-12(b) and UW-5.2.
- (4) Joints attaching hemispherical heads to shells are excluded.
- (5) $E = 1.0$ for butt joints in compression.
- (6) For Type No. 4 Category C joint, limitation not applicable for bolted flange connections.
- (7) There is no joint efficiency E in the design formulas of this Division for Category C and D corner joints. When needed, a value of E not greater than 1.00 may be used.

ANEXO 6

DISEÑO DE LA CENTRÍFUGA

Decanter Centrífugos INGOR

La Decanter Centrífuga INGOR ha sido diseñada y fabricada bajo la más moderna tecnología europea con una experiencia acumulada de más de 30 años.

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

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



Sistema de Control

INGOR dispone de una amplia gama de decaners centrífugos con dos posibles sistemas de control de la velocidad diferencial:

Control Eléctrico:

Este sistema de control se realiza mediante la instalación de dos motores independientes para el accionamiento del tambor y el accionamiento del tornillo sinfín. Ambos motores están gobernados con dos variadores de frecuencia.

Esta configuración permite ajustar la velocidad con total precisión, optimizar el esfuerzo de torsión a la salida y adaptar el funcionamiento a los requerimientos de cada proceso y de cada producto.

Control Mixto:

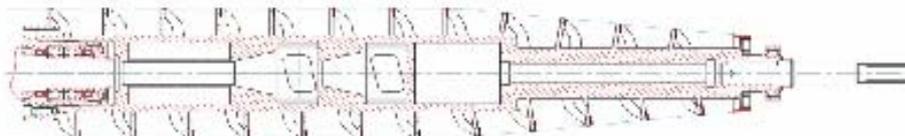
Este sistema adopta la instalación de un motor para el accionamiento del tambor y de la instalación de una central hidráulica para el control de la velocidad diferencial del tornillo sinfín.

El control incluye, además, un sistema de protección mediante alarma que limita la velocidad a un valor máximo con reajuste automático y un sistema de parada automática de emergencia. La velocidad diferencial de origen se sitúa en un rango entre 5-25 rpm. Durante la puesta en marcha de la unidad, este valor se ajusta a los requerimientos de la planta y del producto a tratar. La velocidad diferencial del equipo se ajusta automáticamente en función del retorno.

Diseño

La Decanter Centrifuga cuenta con un diseño entre lo que destaca:

- La relación entre la longitud del tambor y su diámetro (L/D) es de entorno a 4.3, lo que permite trabajar a una alta velocidad de rotación y una baja velocidad diferencial. La excepcional longitud del tambor unido al cociente entre L/D permite aumentar el tiempo de residencia de la mezcla dentro del equipo, prolongar la separación entre las dos fases y obtener una mejor y mayor separación.



- La velocidad diferencial entre el tambor y el tornillo se sitúa entre 5-25 rpm.
- Todas las piezas en contacto con el producto se realizan en acero inoxidable AISI 304L o 316L. Las principales partes mecánicas de la unidad (tambor, tornillo, lámina del tornillo) llevan aplicada una capa de W2C (65%) con un espesor de entre 2 y 3 mm. Esta protección mejora la resistencia mecánica y prolonga la vida útil.
- Control independiente de la velocidad del tambor y del tornillo mediante la instalación de dos motores o de un motor para accionar el motor y una central hidráulica para el control de la velocidad diferencial del tornillo sinfín.
- En función de las necesidades de cada planta, los parámetros de operación como velocidad, velocidad diferencial, número de pasos y la apertura del tornillo pueden ser ajustados y corregidos fácilmente.



Total Automatización

La Decanter Centrífuga es una unidad de operación automática y trabajo continuo en la que se puede programar su funcionamiento y evitar la intervención de personal en el arranque, el proceso de lavado de la unidad y su parada total a final del día.

Bajo la fuerza centrífuga, el lodo es introducido en la cámara de alimentación a través de tornillo y es expulsado del cuerpo una vez ya separado. Mientras esto sucede, el lodo es alimentado de forma totalmente continua, circulando a través de todo el tambor gracias a la acción del tornillo para ser expulsado al final del recorrido.

Modelo	Capacidad de tratamiento (m ³ /h)	Máx. capacidad descarga lodos (Tn/h)	Peso (kg)	Longitud del tambor (mm)	Diámetro del tambor (mm)	L/D	Velocidad (rpm)	Potencia (kw)	Medidas (LaxAnxAI)
DC1-220	2-6	0.4	900	930	220	4.2	4.800	11	1.790X1.080X640
DC1-300	4-11	0.8	1.400	1.300	300	4.3	4.200	110-015	2.470X1.230X850
DC1-350	6-17	1.2	1.800	1.550	350	4.4	3.700	15 - 22	2.790X1.300X880
DC1-400	9-28	2.0	2.200	1.750	400	4.4	3.200	18.5 - 30	2.950X1.400X850
DC1-450	12-35	2.5	2.600	1.940	450	4.3	2.800	22 - 37	3.300X1.500X920
DC1-530	13-70	5.0	4.000	2.800	650	4.3	2.500	30 - 45	3.730X1.600X1.100
DC1-650	37-90	8.0	6.500	2.800	650	4.3	2.200	37 - 55	4.300X1.900X1.350
DC1-760	47-110	10.0	8.500	3.040	760	4.0	2.000	55 - 90	5.000X2.500X1.500
DC1-900	70-150	15.0	12.000	3.600	900	4.0	1.800	75 - 135	6.000X2.700X1.500

ANEXO 7

DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

Valores aproximados del coeficiente global de transmisión de calor

Tipo de intercambiador de calor	U , W/m ² K
Gas a gas	10-30
Agua a gas (es decir, enfriador de gas, caldera de gas)	10-50
Vapor en condensación-aire (es decir, radiador de vapor, calentador de aire)	5-50
Vapor a aceite combustible pesado	50-180
Agua a agua	800-2500
Agua a otros líquidos	200-1000
Agua a aceite lubricante	100-350
Compuestos orgánicos ligeros a compuestos orgánicos ligeros	200-450
Compuestos orgánicos pesados a compuestos orgánicos pesados	50-200
Condensadores enfriados por aire	50-200
Condensadores de vapor enfriados por agua	1000-4000
Condensadores de amoníaco enfriados por agua	800-1400
Condensadores de vapor orgánico enfriados por agua	300-1000
Calderas de vapor	10-40 + radiación
Evaporadores de refrigerador	300-1000
Evaporadores de vapor-agua	1500-6000
Tanques agitados con chaqueta	150-1000
Serpentín de calefacción en un recipiente, agua a agua	
Sin agitar	50-250
Agitada	500-2000

Fuente: Mills, A. F. "Transferencia de calor". 1995. Editorial McGraw Hill.

ANEXO 8

DISEÑO DE LA PERVAPORACIÓN

Fuente de las dos tablas: Qureshi, N., Blaschek, H. P. (1999). Butanol recovery from model solution/fermentation broth by pervaporation: evaluation of membrane performance. *Biomass and Bioenergy*, 17: 175-184.

Table 1
Butanol recovery from model acetone-butanol-ethanol solution/fermentation broth by pervaporation. Details of membranes, total flux, selectivity, pervaporation conditions and membrane suppliers are presented. TNL—The Netherlands; C_{bf} , C_{sf} Butanol, total solvent concentration in feed, respectively, $g\ l^{-1}$; T_r Feed tank recovery temperature

Ref.	Type of membrane	Membrane thickness (mm)	Total flux ($g\ m^{-2}\ h^{-1}$)	Selectivity [-]	Conditions C_{bf} or C_{sf} , vacuum or sweep gas, T_r , Condensation temperature	Supplier
<i>Butanol recovery from model butanol solution</i>						
7	Poly(dimethyl siloxane) (PDMS)	0.025	282–1000	15–35	$C_{bf}=5-7\ g\ l^{-1}$, 1 mmHg vacuum, $T_r=50^\circ C$, $-198^\circ C$	General Electric Corp.
	Poly(methoxy siloxane) (PMS)	–	150–400	10–15	$C_{bf}=10-70\ g\ l^{-1}$, 1 mmHg vacuum, $T_r=50^\circ C$, $-198^\circ C$	GFT Corp. Germany
8	Polytetrafluoroethylene (PTFE)	0.025–0.040	35–2100	2.7–4.8	$C_{bf}=3-30\ g\ l^{-1}$, 60–250 mmHg vacuum, $T_r=30-55^\circ C$, dry ice/EtoH bath;	Biorecovery Inc. Hoboken NJ, USA
9	Poly(dimethyl siloxane) (PDMS)	0.050	70	37	$C_{bf}=10\ g\ l^{-1}$, $-T_r$, $50^\circ C$, $-198^\circ C$	–
	Polyether block amide (PEBA)	0.050	60–800	20	$C_{bf}=10-52.5\ g\ l^{-1}$, $-T_r$, $50^\circ C$, $-198^\circ C$	–
	Polyurethane (Polyether based) (PUR)	0.050	88	9	$C_{bf}=10\ g\ l^{-1}$, $-T_r$, $50^\circ C$, $-198^\circ C$	–
10	Poly(dimethyl siloxane) PDMS	0.08–0.15	260–850	30	$C_{bf}=10-60\ g\ l^{-1}$, 1.5 mmHg vacuum, $T_r=40^\circ C$, $-198^\circ C$	GFT, Germany
	Zeolite filled PDMS	–	–	45	$C_{bf}=10\ g\ l^{-1}$, 1.5 mmHg vacuum, $T_r=40^\circ C$, $-198^\circ C$	Prepared in laboratory
11	Poly(dimethyl siloxane) PDMS	0.19	300	26.8	$C_{bf}=10-50\ g\ l^{-1}$, 1 m bar vacuum, $T_r=40^\circ C$, Cold Trap	GFT Germany
	Zeolite filled PDMS	0.21	100–230	36.3	$C_{bf}=10-50\ g\ l^{-1}$, 1 m bar vacuum, $T_r=40^\circ C$, Cold Trap	GFT Germany
<i>Butanol recovery from model solution & ABE fermentation broth</i>						
12	Silicone	0.40	12.9–19.5	45–57	$C_{bf}=4.3-17\ g\ l^{-1}$, Sweep gas 2 l.min $^{-1}$, $-60^\circ C$	Rubber N.V.Hilversum TNL
	Silicone ^a	0.25	–	20–50	$C_{bf}=5.5\ g\ l^{-1}$, Sweep gas 8 l.min $^{-1}$, $T_r=37^\circ C$, $-60^\circ C$	Above
13	Silicone ^a	0.25	–	13–30	$C_{bf}=4.0-4.5\ g\ l^{-1}$, Sweep gas 14 l.min $^{-1}$, $T_r=37^\circ C$, $-60^\circ C$	Above
14	Silicone	1.0	4.42–11.05	46–58	$C_{bf}=14-17.5\ g\ l^{-1}$, Sweep gas 120 l.h $^{-1}$, $T_r=37^\circ C$, $-30^\circ C$	–
	Silicone ^a	1.0	–	–	$C_{bf}=1-12\ g\ l^{-1}$, Sweep gas 120 l.h $^{-1}$, $T_r=37^\circ C$, $-30^\circ C$	–

Table 1 (continued)

Ref.	Type of membrane	Membrane thickness (mm)	Total flux ($\text{gm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	Selectivity [-]	Conditions C_{bf} or C_{sf} , vacuum or sweep gas, T_r , Condensation temperature	Supplier
15	Silicone	0.18	38–270	–	$C_{\text{bf}}=5\text{--}60\text{ gl}^{-1}$, Vacuum, T_r 30°C, -20 to -100°C	Fuji Polymer Ind., Japan
	Liquid membrane ^e	0.025	25–450	180	$C_{\text{bf}}=2.5\text{--}37.5\text{ gl}^{-1}$, Vacuum, T_r 30°C, -20 to -100°C	Celanes Plastic, NC, USA
16	Liquid membrane ^{a,c}	0.025	13.2 ^b	66	$C_{\text{bf}}=4.5\text{--}5.5\text{ gl}^{-1}$, Vacuum, T_r 30°C, -80°C	Celanes Plastic, NC, USA
17	Silicone ^a	0.24	0.5–12	–	$C_{\text{bf}}=1\text{--}16\text{ gl}^{-1}$, Sweep gas $5\text{--}8\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, T_r 32°C, $-$	Scientific Products, IL, USA
18	Polypropylene ^a	0.4	3–10 ^d	4–5	$C_{\text{sf}}=2\text{--}6\text{ gl}^{-1}$, Sweep gas $30\text{--}75\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, T_r 35°C, $0.2\text{--}0.5^\circ\text{C}$	Enka, Wuppertal, Germany
19	Polypropylene ^a	0.4	3–10 ^d	3–6	$C_{\text{sf}}=0.5\text{--}6.5\text{ gl}^{-1}$, Sweep gas $10\text{--}20\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, T_r 35°C, $0.2\text{--}0.5^\circ\text{C}$	Enka, Wuppertal, Germany
20	Polypropylene ^a	–	1400–1600	6.3	$C_{\text{sf}}=3.5\text{--}14\text{ gl}^{-1}$, 3 kPa vacuum, T_r 35.9°C, 5°C	Enka, Wuppertal, Germany
21	Silicalite filled PDMS	0.306	90–237	55–105	$C_{\text{bf}}=7\text{--}78\text{ gl}^{-1}$, $2\text{--}5\text{ mmHg}$ vacuum, T_r 78°C, -198°C	Prepared in laboratory
	Silicalite filled PDMS ^a	0.306	90	105–209	$C_{\text{sf}}=0.37\text{--}19.2\text{ gl}^{-1}$, $2\text{--}5\text{ mmHg}$ vacuum, T_r 78°C, -198°C	Prepared in laboratory

^a Recovery from fermentation broth.

^b Calculated value.

^c Prepared with polypropylene flat sheet and oleyl alcohol. For details refer to the above reference.

^d Total solvent flux.

ANEXO 9

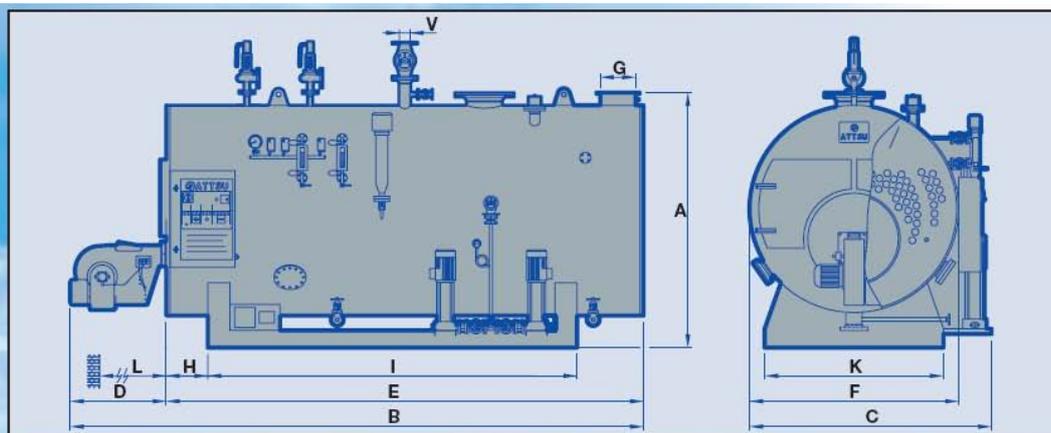
DISEÑO DE LAS CALDERAS



Seguridad, calidad, innovación, economía
Safety, quality, innovation, economy
Sécurité, qualité, innovation, économie
Segurança, qualidade, inovação, economia



Modelo HH



El fabricante se reserva la facultad de introducir modificaciones sin previo aviso.
 The right to modify without notification it's reserved by the manufacturer.
 La possibilité d'effectuer les modifications sans préavis est réservée par le fabricant.
 O fabricante reserva-se a facultade de introduzir modificações se prévio aviso.

Presiones de trabajo estándar hasta 16 bar / 232 psi
Standard working pressures up to 16 bar / 232 psi
Pressões de trabalho standards jusqu'à 16 bar / 232 psi
Pressões de trabalho padrão até 16 bar / 232 psi

Caldera modelo Steam boiler model Chaudière modèle Caldeira modelo	HH	2.000	2.500	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000	
Producción de vapor Steam production Production de vapeur Produção de vapor	Kg/h	2.000	2.500	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000	
Potencia térmica útil Useable thermal power Puissance thermique utile Potência térmica útil	BHP	154	192	230	307	384	461	538	615	769	923	1.077	1.231	1.385	1.539	
	kW	1.516	1.895	2.274	3.034	3.793	4.551	5.307	6.065	7.584	9.101	10.614	12.136	13.652	15.167	
Consumo de combustible ^a Fuel consumption ^a Consummation de combustible ^a Consumo de combustível ^a	Gasóleo - Light Oil lts/h (8.900 kcal/kg) (0,25 kW/kg)	141	176	211	281	351	421	491	561	700	840	980	1.120	1.260	1.400	
	Fuelóleo - Heavy Oil Kg/h (9.600 kcal/kg) (1,16 kW/kg)	130	163	195	260	325	390	455	520	649	780	910	1.040	1.170	1.300	
Consumo de combustible ^b Consumo de combustível ^b	Gas natural Nm ³ /h (8.900 kcal/Nm ³) (1,04 kWh/Nm ³)	130	163	195	260	325	390	455	519	649	779	909	1.038	1.168	1.298	
	Propano - LPG Kg/h (11.300 kcal/kg) (0,34 kW/kg)	104	130	156	208	259	311	363	415	518	622	726	829	933	1.036	
Peso de transporte Transport weight Poids de transport Peso de transporte	Tm (Caldera de 8 bar)	9	10	11	14	16	18	22	26	30	36	40	44	48	54	
Sobrepresión hogar Superpressure furnace Surpression foyer Sobrepresão for	mbar	4	5	6	8	9	11	10	12	13	13	14	16	19	22	
	mm.c.d.a. kPa	40 0,4	50 0,5	60 0,6	80 0,8	90 0,9	110 1,1	100 1,0	120 1,2	130 1,3	130 1,3	140 1,4	160 1,6	190 1,9	220 2,2	
Dimensiones Dimensions Dimensions Dimensões	A	mm.	2.650	2.650	2.650	3.000	3.000	3.000	3.250	3.250	3.500	3.700	3.850	3.950	4.000	4.000
	B**	mm.	4.550	5.100	5.700	5.700	6.750	7.900	7.800	8.750	9.200	9.100	10.450	11.100	11.100	11.600
	C	mm.	2.575	2.575	2.575	2.900	2.900	2.900	3.000	3.000	3.400	3.550	3.650	3.800	4.000	4.000
	D**	mm.	900	900	1.000	1.000	1.000	1.100	1.200	1.400	1.400	1.400	2.000	2.000	2.000	2.000
	E	mm.	3.650	4.200	4.700	4.700	5.750	6.800	6.600	7.350	7.800	7.700	8.450	9.100	9.100	9.600
	F	mm.	2.100	2.100	2.100	2.450	2.450	2.450	2.650	2.650	2.900	3.100	3.200	3.350	3.500	3.500
	G	mm.	400	400	450	500	550	600	650	700	800	850	900	950	1.000	1.050
	H	mm.	300	300	300	500	500	500	500	500	650	650	650	650	650	650
	I	mm.	1.950	2.450	2.950	2.750	3.750	4.750	4.250	4.950	5.150	4.950	5.650	6.250	6.250	6.750
	K	mm.	1.550	1.550	1.550	1.850	1.850	1.850	2.050	2.050	2.300	2.350	2.450	2.650	2.650	2.650
L	mm.	2.700	3.200	3.700	3.600	4.600	5.600	5.300	6.000	6.300	6.100	6.800	7.400	7.400	7.900	
V _{para for} P= 8 bar	DN 65	DN 65	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 200	DN 200	DN 200	DN 200	
10 bar	DN 65	DN 65	DN 65	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 200	DN 200	DN 200	
12 bar	DN 50	DN 65	DN 65	DN 80	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 150	DN 200	
14 bar	DN 50	DN 50	DN 65	DN 65	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 150	DN 150	
16 bar	DN 50	DN 50	DN 50	DN 65	DN 65	DN 80	DN 80	DN 100	DN 100	DN 100	DN 125	DN 125	DN 150	DN 150	DN 150	



^a8 bar, alimentación 103 °C / ^{**}Varía según longitud de quemador
^a8 bar, feeding 103°C (217,4 °F) / ^{**}Varies according to length of the burner
^a8 bars, alimentation 103°C / ^{**}Varie selon la longueur du brûleur
^a8 bar, alimentação 103 °C / ^{**}Vária segundo o comprimento de queimador

 Nuevo generador de vapor **ATTSU** modelo **HH**, rediseñado después de diez años en servicio, conserva las principales características de fiabilidad y alto rendimiento que le han dado prestigio y se le han introducido innovaciones que han mejorado sus características técnicas:

- Monobloque, horizontal, piro-tubular, tres pasos de humos y cámara de humos totalmente refrigerada por el agua de la caldera (cámara húmeda)
- Gran volumen y altura de la cámara de vapor.
- Puertas delanteras y traseras de acceso a la cámara de humos de abertura sencilla y rápida.
- Bocas de registro, inspección y limpieza en el circuito de agua.
- Alto rendimiento térmico.
- Diseñadas según **TRD, ISO 9001** con marcado **CE**.
- Certificadas según Directiva **CE-97/23**.

 The new **ATTSU HH** model steam generator, redesigned after ten years in service, is still having the main features of reliability and high throughput which have afforded it its prestige, while innovations have been introduced which have improved its technical features:

- Fire tubes, monobloc, horizontal, triple smoke circuit and smoke box completely cooled by the boiler water (wet chamber).
- Large volume and height of the steam chamber.
- Quick and easy opening front and rear access doors to the smoke box.
- Manhole, inspection hatch and cleaning hatch in the water circuit.
- High thermal performance.
- Designed according to **TRD, ISO 9001** with **CE** marking.
- Certificated according to Directive **CE-97/23**.

 Le nouveau générateur de vapeur **ATTSU** modèle **HH**, redessiné après dix ans de service, conserve ses principales caractéristiques de fiabilité et haute performance qui lui ont apporté du prestige et incorpore des nouveautés qui améliorent ses caractéristiques techniques :

- Piro-tubulaire, monobloc, horizontal, triple parcours de fumée et cuve à fumée totalement refroidie par l'eau de la chaudière (chambre humide)
- Volume et hauteur importants de la chambre de vapeur.
- Portes avants et arrières d'accès à la chambre à fumée à ouverture facile et rapide.
- Ouverture de vérification, d'inspection et de nettoyage du circuit d'eau.
- Haut rendement thermique.
- Conçues selon **TRD, ISO 9001** avec le marquage **CE**.
- Certifiées en accord avec la Directive **CE-97/23**.

 O novo gerador de vapor **ATTSU** modelo **HH**, renovado após dez anos em serviço, conserva as principais características de fiabilidade e alto rendimento que lhe deram prestígio e foram-lhe introduzidas inovações que melhoraram as suas características técnicas:

- Monobloco, horizontal, piro-tubular, três passagens de fumos e câmara de fumos totalmente refrigerada pela água da caldeira (câmara húmida)
- Grande volume e altura da câmara de vapor.
- Portas dianteiras e traseiras de acesso à câmara de fumos de abertura simples e rápida.
- Bocas de registo, inspeção e limpeza no circuito de água.
- Alto rendimento térmico.
- Concebidas segundo **TRD, ISO 9001** com marcação **CE**.
- Certificadas segundo Directiva **CE-97/23**.



ANEXO 10

MÁQUINA EMBOTELLADORA

LLENADORA MODELO MLV/PVC Y TITANIO

Máquina envasadora lineal, modular compuesta por llenadora con dos, cuatro, seis, ocho, diez hasta doce dosificadores, taponadora a presión, a rosca y etiquetadora.

Máquina multiformato para envasar desde 0,25l. hasta 5l. Para productos corrosivos.

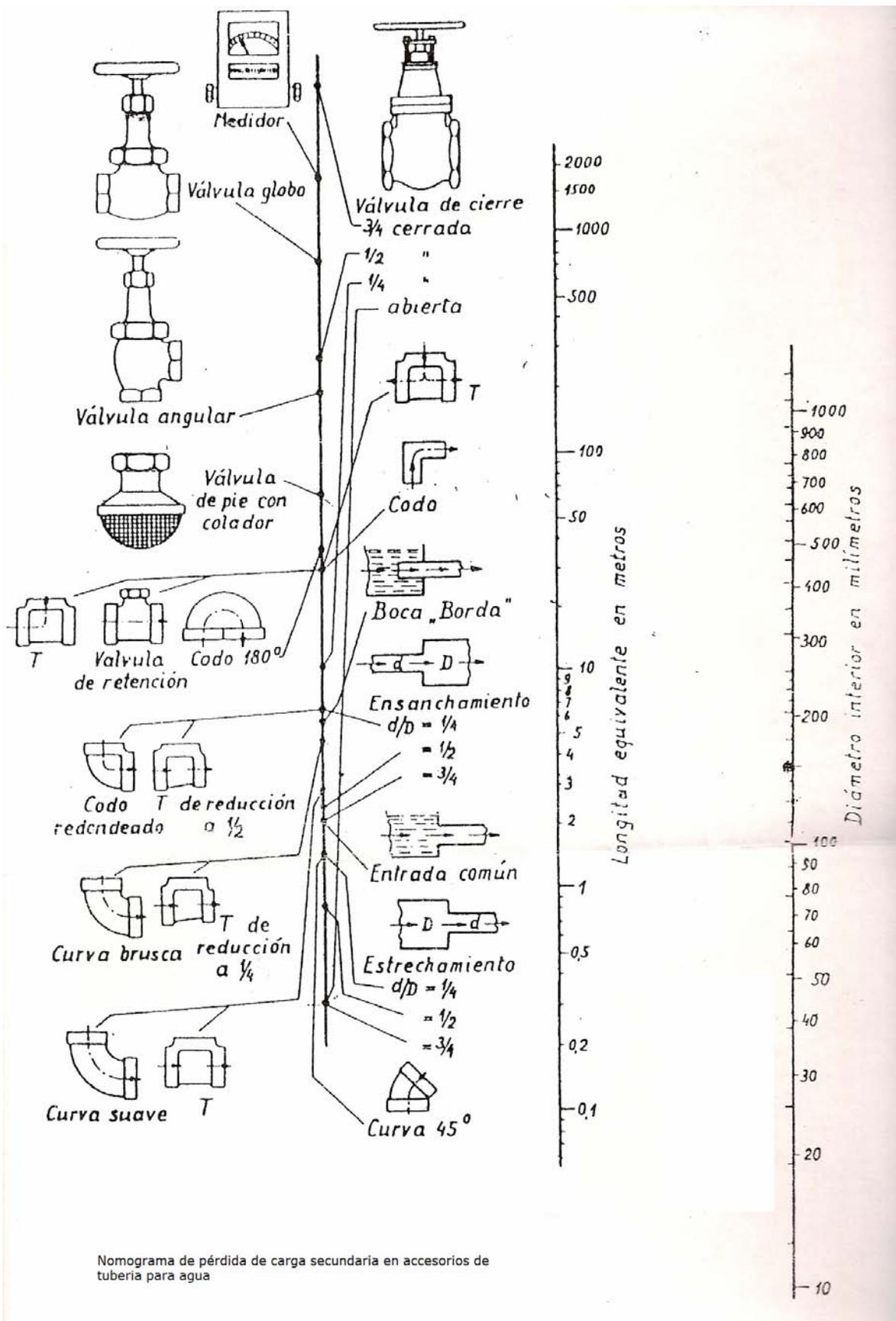
» de 20 ml. hasta 5 l.

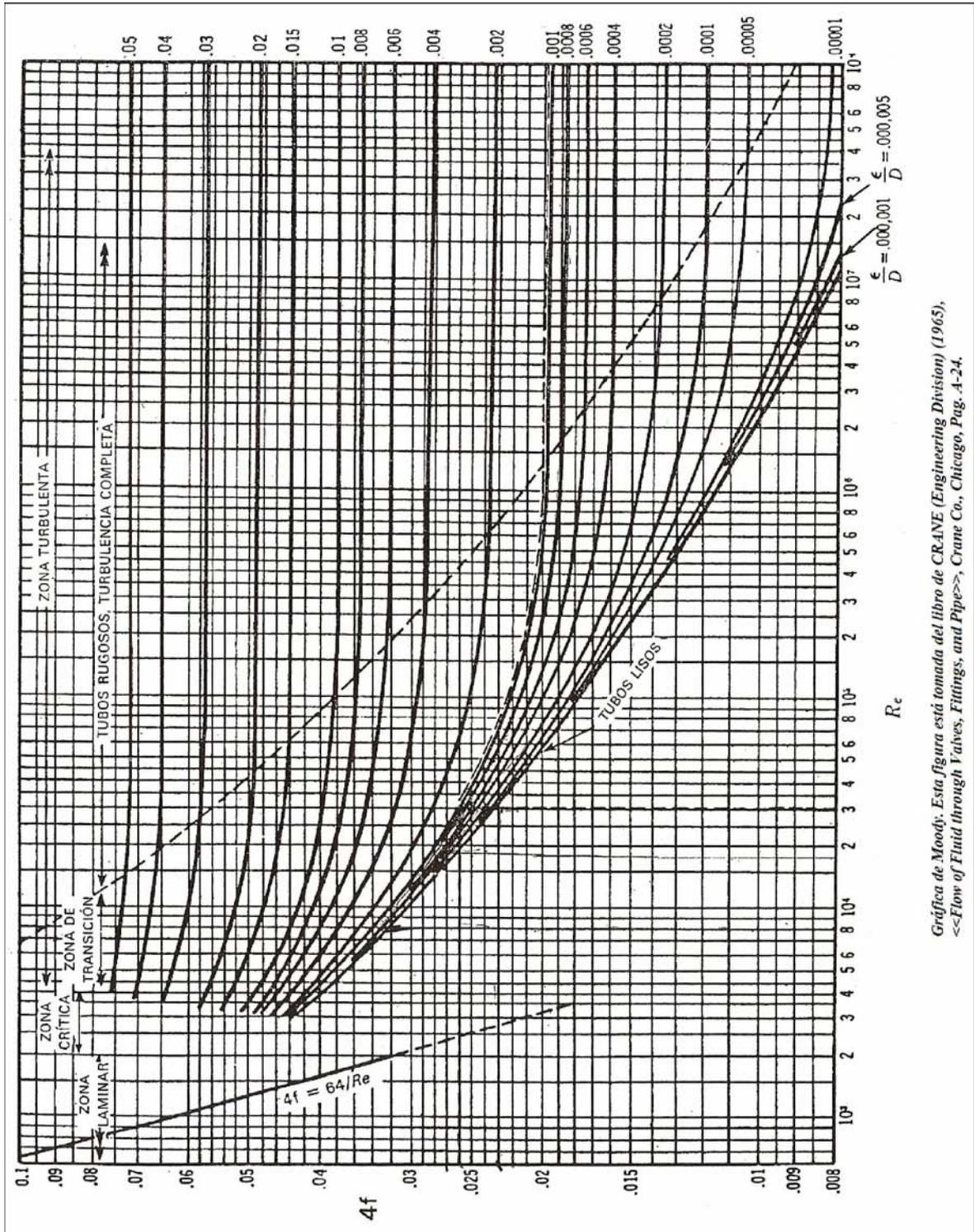
» de 10 l. hasta 25 l.



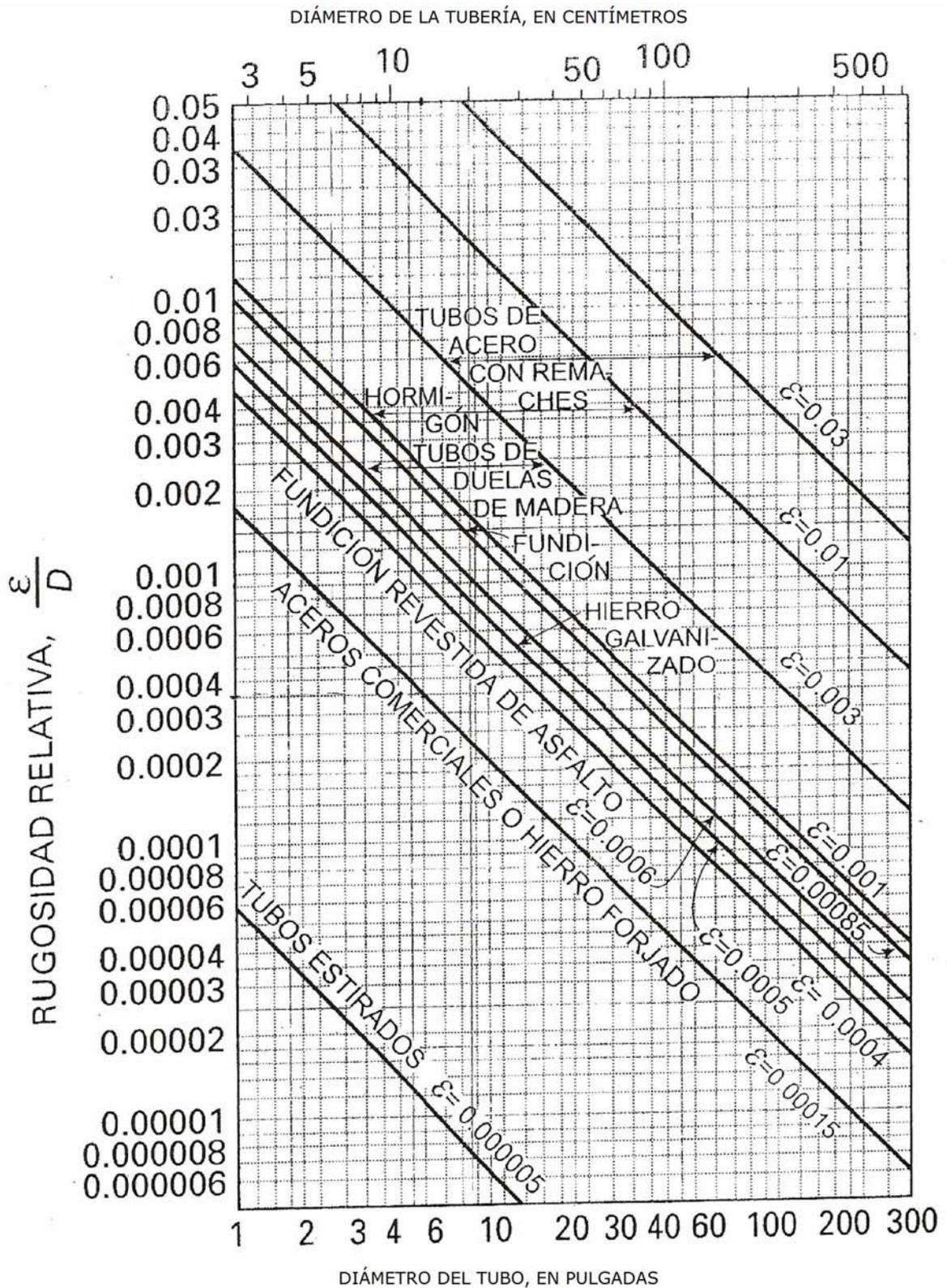
ANEXO 11

RED DE TUBERIAS Y EQUIPOS DE BOMBEO





Gráfica de Moody. Esta figura está tomada del libro de CRANE (Engineering Division) (1965), <<Flow of Fluid through Valves, Fittings, and Pipes>>, Crane Co., Chicago, Pag. A-24.



Fuente: Ranald, V. Giles, Jack B. Evett, Cheng Liu. “Mecánica de fluidos e hidráulica”. 1994. Editorial McGraw Hill

Dimensiones de accesorios bridados* (Todas las dimensiones en pulgadas)

Tamaño nominal de tubería	ANSI B16.5, clase 150 ANSI B16.1, clase 125						ANSI B16.5, clase 300 ANSI B16.1, clase 250						ANSI B16.5, clase 400						ANSI B16.5, clase 600					
	AA	BB	CC	EE	FF	GG	AA	BB	CC	EE	FF	GG	AA	CC	EE	FF	GG	AA	CC	EE	FF	GG		
1/2																								
3/4																								
1	3.50	5.00	1.75	5.75	1.75	4.50	4.00	5.00	2.25	6.50	2.00	4.50												
1 1/4	3.75	5.50	2.00	6.25	1.75	4.50	4.25	5.50	2.50	7.25	2.25	4.50												
1 1/2	4.00	6.00	2.25	7.00	2.00	4.50	4.50	6.00	2.75	8.50	2.50	4.50												
2	4.50	6.50	2.50	8.00	2.50	5.00	5.00	6.50	3.00	9.00	2.50	5.00												
2 1/2	5.00	7.00	3.00	9.50	2.50	5.50	5.50	7.00	3.50	10.50	2.50	5.50												
3	5.50	7.75	3.00	10.00	3.00	6.00	6.00	7.75	3.50	11.00	3.00	6.00												
3 1/2	6.00	8.50	3.50	11.50	3.00	6.50	6.50	8.50	4.00	12.50	3.00	6.50												
4	6.50	9.00	4.00	12.00	3.00	7.00	7.00	9.00	4.50	13.50	3.00	7.00												
5	7.50	10.25	4.50	13.50	3.50	8.00	8.00	10.25	5.00	15.00	3.50	8.00												
6	8.00	11.50	5.00	14.50	3.50	9.00	8.50	11.50	5.50	17.50	4.00	9.00												
8	9.00	14.00	5.50	17.50	4.50	11.00	10.00	14.00	6.00	20.50	5.00	11.00												
10	11.00	16.50	6.50	20.50	5.00	12.00	11.50	16.50	7.00	24.00	5.50	12.00												
12	12.00	19.00	7.50	24.50	5.50	14.00	13.00	19.00	8.00	27.50	6.00	14.00												
14	14.00	21.50	7.50	27.00	6.00	16.00	15.00	21.50	8.50	31.00	6.50	16.00												
16	15.00	24.00	8.00	30.00	6.50	18.00	16.50	24.00	9.50	34.50	7.50	18.00												
18	16.50	26.50	8.50	32.00	7.00	19.00	18.00	26.50	10.00	37.50	8.00	19.00												
20	18.00	29.00	9.50	35.00	8.00	20.00	19.50	29.00	10.50	40.50	8.50	20.00												
24	22.00	34.00	11.00	40.50	9.00	24.00	23.50	34.00	12.00	47.50	10.00	24.00												

* Para estos tamaños, utilícese las dimensiones correspondientes a la clase 600

Fuente: Ranald, V. Giles, Jack B. Evett, Cheng Liu. "Mecánica de fluidos e hidráulica". 1994. Editorial McGraw Hill

Velocidades típicas de líquidos en tuberías de acero (m/s)

	$D \leq 2''$	$3'' < D < 10''$	$10'' < D < 20''$
Agua			
Succión bomba	0,3-0,6	0,6-1,2	1 -2
Descarga bomba	0,5-1	1 -1,5	1,2-2
Alimentación caldera	1,2-3	1,5-3,5	2,5-4,2
Desagües	1 -1,2	1 -1,5	—
Hidrocarburos líquidos (viscosidad normal)			
Succión bomba	0,5-0,75	0,6-1,2	1 -2
Desagües	1 -1,2	1 -1,5	—
Aceites viscosos			
Succión bomba:			
— Viscosidad media	—	0,5-1	0,75-1,5
— Alquitrán y fuel-oil	—	0,1-0,2	0,15-0,30
Descarga	—	1 -1,5	1,2-1,8
Desagües	0,3	0,5-1	—

Velocidades típicas de gases y vapores por tuberías (m/s)

Diámetro nominal (pulgadas)	Vapor saturado (baja presión)	Vapor sobrecalentado, o gas (media presión)	Vapor sobrecalentado, o gas (alta presión)
≤ 2	13-30	12-24	9-18
3-4	15-33	13-27	10-20
6	18-36	15-36	13-27
8-10	20-38	24-48	20-38
12-14	21-39	30-57	24-43
16-18	23-40	33-63	27-48
20	24-42	26-66	30-50

TABLA 1-1 Tamaños de tubo y espesores de pared nominales generalmente disponibles

Tamaño nominal del tubo	Diámetro exterior (in)	Unidades convencionales								
		Cédula o designación								
		5S	10S	Std	40	XS	80	120	160	XXS
$\frac{1}{8}$	0.405	0.035	0.049	0.068	0.068	0.095	0.095			
$\frac{1}{4}$	0.540	0.049	0.065	0.088	0.088	0.119	0.119			
$\frac{3}{8}$	0.675	0.065	0.065	0.091	0.091	0.126	0.126			
$\frac{1}{2}$	0.840	0.065	0.083	0.109	0.109	0.147	0.147			
$\frac{3}{4}$	1.050	0.065	0.083	0.113	0.113	0.154	0.154		0.187	0.294
1	1.315	0.065	0.109	0.133	0.133	0.179	0.179		0.218	0.308
1 1/4	1.660	0.065	0.109	0.140	0.140	0.191	0.191		0.250	0.358
1 1/2	1.900	0.065	0.109	0.145	0.145	0.200	0.200		0.281	0.400
2	2.375	0.065	0.109	0.154	0.154	0.218	0.218		0.344	0.436
2 1/2	2.875	0.083	0.120	0.203	0.203	0.276	0.276		0.375	0.552
3	3.500	0.083	0.120	0.216	0.216	0.300	0.300		0.438	0.600
3 1/2	4.000	0.083	0.120	0.226	0.226	0.318	0.318			0.636
4	4.500	0.083	0.120	0.237	0.237	0.337	0.337	0.438	0.531	0.674
5	5.563	0.109	0.134	0.258	0.258	0.375	0.375	0.500	0.625	0.750
6	6.625	0.109	0.134	0.280	0.280	0.432	0.432	0.562	0.719	0.864
8	8.625	0.109	0.148	0.322	0.322	0.500	0.500	0.594	0.906	0.875
10	10.75	0.134	0.165	0.365	0.365	0.500	0.594	0.719	1.125	1.000
12	12.75	0.156	0.165	0.375	0.406	0.500	0.688	0.844	1.312	1.000
14	14.00	0.156	0.250	0.375	0.438	0.500	0.750	1.094	1.406	
16	16.00	0.165	0.250	0.375	0.500	0.500	0.844	1.219	1.594	
18	18.00	0.165	0.188	0.375	0.562	0.500	0.938	1.375	1.781	
20	20.00	0.188	0.250	0.375	0.594	0.500	1.219	1.500	1.969	
24	24.00	0.218	0.250	0.375	0.688	0.500	1.219	1.812	2.344	
>24				0.375		0.500				

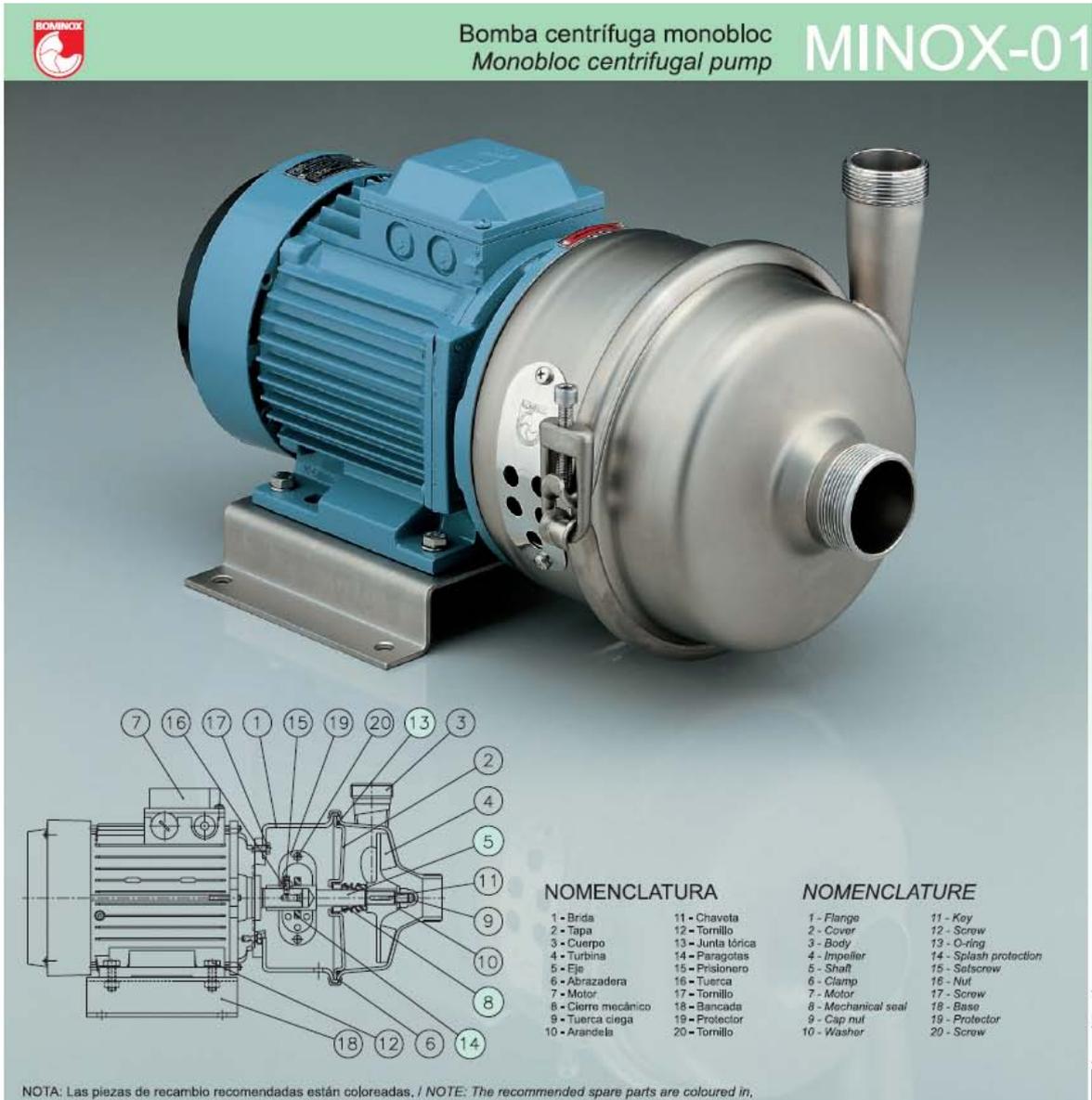
Levenspiel, O. "Flujo de fluidos e intercambio de calor". 1998. Editorial Reverté S. A.

TABLE 2-5 Vapor Pressure of Liquid Water from 0 to 100°C*
mmHg

t, °C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	4.579	4.613	4.647	4.681	4.715	4.750	4.785	4.820	4.855	4.890
1	4.926	4.962	4.998	5.034	5.070	5.107	5.144	5.181	5.219	5.256
2	5.294	5.332	5.370	5.408	5.447	5.486	5.525	5.565	5.605	5.645
3	5.685	5.725	5.766	5.807	5.848	5.889	5.931	5.973	6.015	6.058
4	6.101	6.144	6.187	6.230	6.274	6.318	6.363	6.408	6.453	6.498
5	6.543	6.589	6.635	6.681	6.728	6.775	6.822	6.869	6.917	6.965
6	7.013	7.062	7.111	7.160	7.209	7.259	7.309	7.360	7.411	7.462
7	7.513	7.565	7.617	7.669	7.722	7.775	7.828	7.882	7.936	7.990
8	8.045	8.100	8.155	8.211	8.267	8.323	8.380	8.437	8.494	8.551
9	8.609	8.668	8.727	8.786	8.845	8.905	8.965	9.025	9.086	9.147
10	9.209	9.271	9.333	9.395	9.458	9.521	9.585	9.649	9.714	9.779
11	9.844	9.910	9.976	10.042	10.109	10.176	10.244	10.312	10.380	10.449
12	10.518	10.588	10.658	10.728	10.799	10.870	10.941	11.013	11.085	11.158
13	11.231	11.305	11.379	11.453	11.528	11.604	11.680	11.756	11.833	11.910
14	11.987	12.065	12.144	12.223	12.302	12.382	12.462	12.543	12.624	12.706
15	12.788	12.870	12.953	13.037	13.121	13.205	13.290	13.375	13.461	13.547
16	13.634	13.721	13.809	13.898	13.987	14.076	14.166	14.256	14.347	14.438
17	14.530	14.622	14.715	14.809	14.903	14.997	15.092	15.188	15.284	15.380
18	15.477	15.575	15.673	15.772	15.871	15.971	16.071	16.171	16.272	16.374
19	16.477	16.581	16.685	16.789	16.894	16.999	17.105	17.212	17.319	17.427
20	17.535	17.644	17.753	17.863	17.974	18.085	18.197	18.309	18.422	18.536
21	18.650	18.765	18.880	18.996	19.113	19.231	19.349	19.468	19.587	19.707
22	19.827	19.948	20.070	20.193	20.316	20.440	20.565	20.690	20.815	20.941
23	21.068	21.196	21.324	21.453	21.583	21.714	21.845	21.977	22.110	22.243
24	22.377	22.512	22.648	22.785	22.922	23.060	23.198	23.337	23.476	23.616
25	23.756	23.897	24.039	24.182	24.326	24.471	24.617	24.764	24.912	25.060
26	25.209	25.359	25.509	25.660	25.812	25.964	26.117	26.271	26.426	26.582
27	26.739	26.897	27.055	27.214	27.374	27.535	27.696	27.858	28.021	28.185
28	28.349	28.514	28.680	28.847	29.015	29.184	29.354	29.525	29.697	29.870
29	30.043	30.217	30.392	30.568	30.745	30.923	31.102	31.281	31.461	31.642
30	31.824	32.007	32.191	32.376	32.561	32.747	32.934	33.122	33.312	33.503
31	33.695	33.888	34.082	34.276	34.471	34.667	34.864	35.062	35.261	35.462
32	35.663	35.865	36.068	36.272	36.477	36.683	36.891	37.099	37.308	37.518
33	37.729	37.942	38.155	38.369	38.584	38.801	39.018	39.237	39.457	39.677
34	39.898	40.121	40.344	40.569	40.796	41.023	41.251	41.480	41.710	41.942
35	42.175	42.409	42.644	42.880	43.117	43.355	43.595	43.836	44.078	44.320
36	44.563	44.808	45.054	45.301	45.549	45.799	46.050	46.302	46.556	46.811
37	47.067	47.324	47.582	47.841	48.102	48.364	48.627	48.891	49.157	49.424
38	49.692	49.961	50.231	50.502	50.774	51.048	51.323	51.600	51.879	52.160
39	52.442	52.725	53.009	53.294	53.580	53.867	54.156	54.446	54.737	55.030
40	55.324	55.61	55.91	56.21	56.51	56.81	57.11	57.41	57.72	58.03
41	58.34	58.65	58.96	59.27	59.58	59.90	60.22	60.54	60.86	61.18
42	61.50	61.82	62.14	62.47	62.80	63.13	63.46	63.79	64.12	64.46
43	64.80	65.14	65.48	65.82	66.16	66.51	66.86	67.21	67.56	67.91
44	68.26	68.61	68.97	69.33	69.69	70.05	70.41	70.77	71.14	71.51
45	71.88	72.25	72.62	72.99	73.36	73.74	74.12	74.50	74.88	75.26
46	75.65	76.04	76.43	76.82	77.21	77.60	78.00	78.40	78.80	79.20
47	79.60	80.00	80.41	80.82	81.23	81.64	82.05	82.46	82.87	83.29
48	83.71	84.13	84.56	84.99	85.42	85.85	86.28	86.71	87.14	87.58
49	88.02	88.46	88.90	89.34	89.79	90.24	90.69	91.14	91.59	92.05

t, °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	92.51	97.20	102.09	107.20	112.51	118.04	123.80	129.82	136.08	142.60
60	149.38	156.43	163.77	171.38	179.31	187.54	196.09	204.96	214.17	223.73
70	233.7	243.9	254.6	265.7	277.2	289.1	301.4	314.1	327.3	341.0
80	355.1	369.7	384.9	400.6	416.8	433.6	450.9	468.7	487.1	506.1
90	525.76	527.76	529.77	531.78	533.80	535.82	537.86	539.90	541.95	544.00
91	546.05	548.11	550.18	552.26	554.35	556.44	558.53	560.64	562.75	564.87
92	566.99	569.12	571.26	573.40	575.55	577.71	579.87	582.04	584.22	586.41
93	588.60	590.80	593.00	595.21	597.43	599.66	601.89	604.13	606.38	608.64
94	610.90	613.17	615.44	617.72	620.01	622.31	624.61	626.92	629.24	631.57
95	633.90	636.24	638.59	640.94	643.30	645.67	648.05	650.43	652.82	655.22
96	657.62	660.03	662.45	664.88	667.31	669.75	672.20	674.66	677.12	679.69
97	682.07	684.55	687.04	689.54	692.05	694.57	697.10	699.63	702.17	704.71
98	707.27	709.83	712.40	714.98	717.56	720.15	722.75	725.36	727.98	730.61
99	733.24	735.88	738.53	741.18	743.85	746.52	749.20	751.89	754.58	757.29
100	760.00	762.72	765.45	768.19	770.93	773.68	776.44	779.22	782.00	784.78
101	787.57	790.37	793.18	796.00	798.82	801.66	804.50	807.35	810.21	813.06

Perry, R. H. and Green, D. W. *“Manual del ingeniero químico”*. Cuarta edición
(en español). 2001. Editorial McGraw Hill.



NOTA: Las piezas de recambio recomendadas están coloreadas. / NOTE: The recommended spare parts are coloured in.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal..... Q = 1 a 150 m³/h
 Altura manométrica..... H = 5 a 100 mca
 Motores..... P = 0,5 a 30 hp
 (0,37 a 22 kW)
 Temperatura..... T = 100°C
 (cierre esp.130°C)
 Material..... AISI-316L

DESCRIPCIÓN

Bomba centrífuga monobloc para líquidos en carga.

PATENTADA (Modelo Utilidad N° 286465). La bomba MINOX-01 es el resultado de la investigación y desarrollo de BOMINOX durante 25 años en el campo de las bombas estampadas. Esta patente recoge el principio de la separación de la bomba en tres piezas estampadas: Cuerpo, Tapa y Brida, y su posterior unión mediante una abrazadera u otro sistema alternativo, lo que facilita el montaje, desmontaje y mantenimiento.

La bomba MINOX-01 es la bomba centrífuga monobloc más dimensionada, con una gama más amplia, mayores posibilidades de utilización, múltiples aplicaciones específicas y mayor facilidad de mantenimiento.

-Cuerpo orientable de acero inoxidable,

embutido en frío, espesor de 3 a 8 mm, según modelo, pulido mate.

-Tapa desmontable, embutida en frío, espesor 3 a 8 mm, según modelo.

-Brida de acero inoxidable embutida en frío, espesor 3 a 8 mm según modelo, pulida mate.

-Turbina semiabierta, obtenida mediante proceso de microfundición. Posible turbina cerrada para aumentar rendimiento y disminuir NPSH. Posible turbina de tubos.

-Eje intercambiable, independiente del motor.

-Cierre mecánico simple interior Burgmann. Posible otros tipos. Opcional doble refrigerado Contrapresión o Tandem para líquidos sucios, abrasivos, pegajosos, muy calientes o para trabajar con vacío.

-Bancada estampada de inoxidable.

-Abrazadera de desmontaje rápido, con tornillo de seguridad. Posible Aros seguridad atornillados (estándar en M-411/421).

-Protector seguridad brida CE inoxidable.

-Motor IEC IP-55 (posible EEX).

Equipada con roscas GAS O DIN-11851 (posible SMS, FIL, CLAMP, ENOLÓGICA, BRIDAS, etc).

APLICACIONES

Aguas, cervezas, vinos, zumos, jarabes, sueros, etc.
 Ácidos, sales, disolventes, etc.

NOMENCLATURA

- 1 - Brida
- 2 - Tapa
- 3 - Cuerpo
- 4 - Turbina
- 5 - Eje
- 6 - Abrazadera
- 7 - Motor
- 8 - Cierre mecánico
- 9 - Tuerca ciega
- 10 - Arandelas
- 11 - Chaveta
- 12 - Tornillo
- 13 - Junta lórica
- 14 - Paragotas
- 15 - Prisionero
- 16 - Tuerca
- 17 - Tornillo
- 18 - Bancada
- 19 - Protector
- 20 - Tornillo

NOMENCLATURE

- 1 - Flange
- 2 - Cover
- 3 - Body
- 4 - Impeller
- 5 - Shaft
- 6 - Clamp
- 7 - Motor
- 8 - Mechanical seal
- 9 - Cap nut
- 10 - Washer
- 11 - Key
- 12 - Screw
- 13 - O-ring
- 14 - Splash protection
- 15 - Salscrew
- 16 - Nut
- 17 - Screw
- 18 - Base
- 19 - Protector
- 20 - Screw

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Flow rate..... Q = 1 to 150 m³/h
 Total head..... H = 5 to 100 mvc
 Motors..... P = 0,5 to 30 hp
 (0,37 to 22 kW)
 Temperature..... T = 100°C
 (special seal 130°C)
 Material..... AISI-316L

DESCRIPTION

Monobloc centrifugal pump for transferring liquids.

PATENTED (Utility Model No 286465): The MINOX-01 pump is the result of 25 years of BOMINOX research and development into the field of pressed pumps. This patent covers the principle of separating the pump into three pressed parts: body, cover and flange, with posterior joining by means of a clamp or other alternative system, which makes for easy assembly, removal and maintenance.

The MINOX-01 is the pump with the largest size, the widest range, greatest usage possibilities, for multiple specific applications and ease of maintenance.

-Adjustable, cold pressed stainless steel body, 3 to 8 mm thickness according to model, matt finish.
 -Removable, cold pressed cover, 3 to 8 mm

thickness according to model.
 -Cold pressed stainless steel flange, 3 to 8 mm thickness according to model, matt finish.

-Semi-open impeller, obtained through a micro-fusion process. Optional closed impeller to increase performance and reduce NPSH. Optional tube impeller.
 -Replaceable shaft, independent of the motor.

-Single internal mechanical seal, Burgmann type. Other types possible. Optional Counter-pressure or Tandem cooling for dirty, abrasive, sticky or very hot liquids or when working with vacuums.

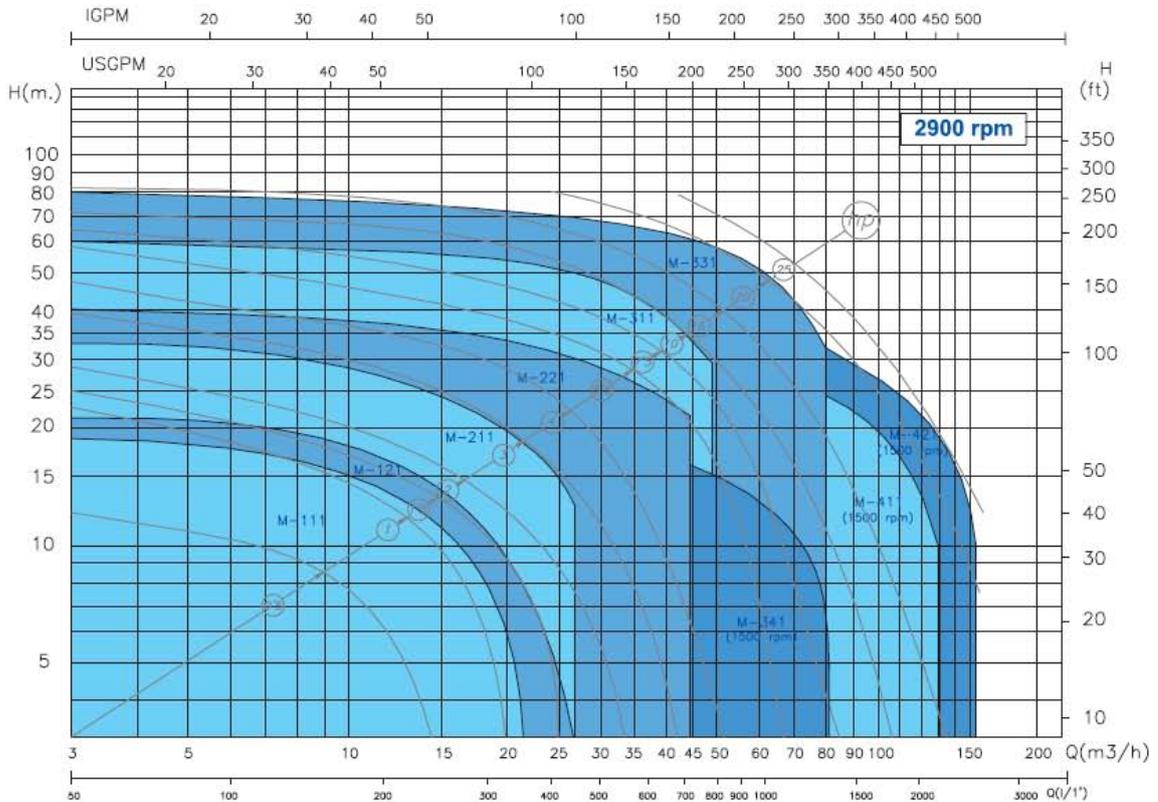
-Pressed stainless steel base.
 -Quick-release clamp, with safety screw. Screwed safety rings possible (standard in M-411/421).

-Stainless steel CE flange safety protector.
 -Motor IEC IP-55 (possible EEX).

APPLICATIONS

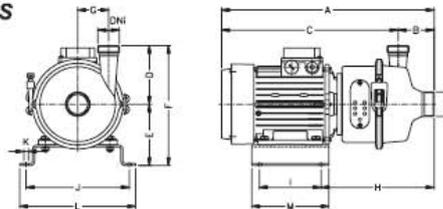
Water, beer, wine, juices, syrups and whey etc.
 Acids, salts and solvents etc.

■ CURVAS CARACTERÍSTICAS / CHARACTERISTIC CURVES



NOTA: Estas curvas se entienden para líquido no viscoso de densidad 1 cST. / NOTE: The curves are understood to be for non-viscous liquids with a density of 1 cST.

■ DIMENSIONES / DIMENSIONS



TIPO / TYPE	MOTOR / MOTOR				DIMENSIONES / DIMENSIONS (mm)														PESO / WEIGHT (kg)	
	TAMAÑO / SIZE	hp	kW	rpm	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	DNa		DNI
M-0	71	0.5-0.75	0.37-0.55	3000	327	44	283	90	71	161	40	164	90	112	7	135	112	GAS 1 1/4" NW-32	GAS 1" NW-25	7.5-8.5
M-111	71	0.5-0.75	0.37-0.55	3000	387	70	317	115	111	226	60	222	95	180	9	205	125	GAS 1 1/2" NW-40	GAS 1 1/4" NW-32	12-13
	80	1-1.5	0.75-1.1		413	343	120	235	219	120		200	225	150		15-16				
M-121	80	1-1.5	0.75-1.1	3000	408	65	343	140	120	260	60	214	120	200	9	225	150	GAS 2" NW-50	GAS 1 1/2" NW-40	15-16
	90	2-3	1.5-2.2		444	379	130	270	225	135		225	11	255		170	21-23			
M-211	90	2-3	1.5-2.2	3000	482	75	407	155	130	285	85	263	135	225	11	255	170	GAS 2" NW-50	GAS 1 1/2" NW-40	26-28
M-221	100	4	3	498	62	436	170	140	310	257		150	260	295		185	13	320	200	GAS 2 1/2" NW-65
	112	5.5	4	500	438	162	332	257	165	285	320	200	75.5-85							
M-311	112	5.5	4	3000	571	95	476	190	162	352	118	328	165	285	13	320	200	GAS 2 1/2" NW-65	GAS 2" NW-50	58
	132S	7.5-10	5.5-7.5		637	542	182	372	348	200		335	370	250		15-16				
M-331	160M	15-20	11-15	3000	788	90	698	205	210	415	118	405	250	400	13	434	340	NW-80	NW-65	131-134
	160L	25	18.5		829	739	210	415	405	250		400	434	340		146				
M-341	180M	30	22	1500	865	775	736	250	230	435	160	404	290	445	13	490	380	NW-100	NW-65	175
	100	3-4	2.2-3		559	474	140	345	318	150		260	295	185		51-54				
M-411	112	5.5	4	1500	561	85	476	250	162	367	160	318	165	285	13	320	200	NW-100	NW-65	61
	132S/M	7.5-10	5.5-7.5		627	542	182	387	338	200		335	370	250		73-82				
M-421	160M	15	11	1500	669	100	569	250	182	432	160	380	200	335	13	370	250	NW-100	NW-80	103-113
	160L	20	15		795	736	210	460	412	250		400	434	340		134				
M-421	180M/L	25-30	18.5-22	1500	872	80	695	250	230	480	160	411	290	445	15	490	380	NW-125	NW-100	198-223
	160L	20	15		816	736	210	460	392	250		400	434	340		137				
	180M/L	25-30	18.5-22	852	772	230	480	391	290	445	15	490	380	201-216						



For Steam, Air and Non-Corrosive Gas Service

The GD-45 is a compact, high-performance, direct-acting valve. Inexpensive to buy and use, it is ideal for those moderate flow applications that do not justify the higher cost of pilot-controlled valves.

The GD-45 is well-suited for laundry and dry-cleaning equipment, hospital equipment, tire molds, humidifiers, small heaters, and applications in food processing. It provides tight, quick, easy installation.

Quick, easy installation

- Lightweight and compact
- Piping supports the valve of ductile iron for greater durability and higher inlet pressure
- Screwed connections
- No external sensing lines or parts needed
- Maximum turndown ratio 10:1
- ANSI Class IV

Simple selection

- 1/2", 3/4" and 1"
- Match pipe size normally
- Three pressure range springs (for best control when ranges overlap, use smaller range spring)

Long life/easy maintenance

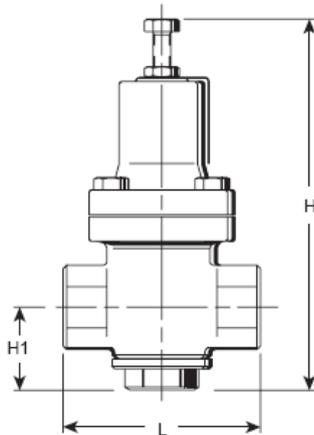
- Highly resilient phosphor-bronze bellows
- Hardened stainless-steel working parts
- Integral strainer (removable for cleaning) for protection from wear or dirt
- Teflon gaskets used at all joints for improved leakage prevention

For a fully detailed certified drawing, refer to CDY #1090.

GD-45 Specifications							
Service	Inlet Pressure psig (bar)	Reduced Pressure psig (bar)	Minimum Differential psig (bar)	Maximum Temperature °F (°C)	Materials		
					Body	Valve/Seat	Bellows
Steam, Air Non-Corrosive Gases	15 - 300 (1 - 20)	3 - 15 (.21 - 1.0) Yellow	7 (.48)	450 (232)	ASTM A536 Ductile Iron	Hardened Stainless Steel AISI 420	Phosphor Bronze ASTM B103
		7 - 80 (.48 - 5.5) Blue					
		50 - 140 (3.4 - 9.6) Green					

GD-45 Dimensions and Weights						
Symbol	Connection Size					
	in	mm	in	mm	in	mm
L	4-3/8	111	4-3/8	111	4-3/8	111
H ₁	1-7/8	47	1-7/8	47	1-7/8	47
H	8-1/2	216	8-1/2	216	8-1/2	216
Wt, lb (kg)	7 (3.2)		7 (3.2)		7 (3.2)	
C _v	1.3		1.5		2.5	

NOTE: GD-45 capacities cannot be determined with a formula—consult capacity tables. Reference note under formula key on page PTC-8.



All dimensions and weights are approximate. Use certified print for exact dimensions. Design and materials are subject to change without notice.

GD-45



GD-45 Capacities — Steam									
		lb/hr					kg/hr		
Inlet	Outlet	Connection Size			Inlet	Outlet	Connection Size		
		in					mm		
psig		1/2	3/4	1	bar		15	20	25
15	7	49	56	92	1.0	.5	22	25	42
20	13	53	61	105	1.4	.9	24	28	48
	7	42	55	63		.5	19	25	35
30	23	62	71	112	2.0	1.6	28	32	51
	15	53	60	101		1.0	24	27	46
40	3	33	40	60	2.8	.2	15	18	27
	32	99	121	187		2.2	45	55	85
	20	79	97	159		1.4	36	44	72
50	4	40	55	77	3.4	.3	18	25	35
	40	130	143	242		2.8	59	65	110
60	20	99	115	187	4.0	1.4	45	52	85
	5	48	62	88		.3	22	28	40
	48	137	154	265		3.3	62	70	120
80	40	150	165	289	5.5	2.8	68	75	131
	18	90	104	170		1.2	41	47	77
	6	55	73	99		.4	25	33	45
	64	176	205	342		4.4	80	93	155
100	54	187	225	353	6.9	3.7	85	102	160
	23	121	137	220		1.6	55	62	100
	8	60	77	108		.5	27	35	49
	80	203	242	397		5.5	92	110	180
120	66	225	262	437	8.3	4.5	102	119	198
	40	198	231	375		2.8	90	105	170
	10	68	79	132		.7	31	36	60
	96	231	276	452		6.6	105	125	205
150	70	276	311	518	10.3	4.8	125	141	235
	45	240	267	450		3.1	109	121	204
	12	110	121	198		.8	50	55	90
	120	287	333	551		8.3	130	151	250
180	85	364	421	705	12.4	5.9	165	191	320
	55	298	353	595		3.8	135	160	270
	15	132	165	254		1.0	60	75	115
	140	408	485	794		9.7	185	220	360
200	115	430	507	860	13.8	8.0	195	230	390
	70	386	430	739		4.8	175	195	335
	18	165	187	309		1.2	75	85	140
	140	461	518	871		9.7	209	235	395
225	115	474	540	904	15.5	8.0	215	245	410
	80	430	496	827		5.5	195	225	375
	20	209	242	386		1.4	95	110	175
	140	485	573	948		9.7	220	260	430
250	115	496	584	961	17.2	8.0	225	265	436
	85	463	540	904		5.9	210	245	410
	23	254	298	496		1.6	115	135	225
	140	525	606	1,014		9.7	238	275	460
300	120	551	584	1,038	20	8.3	250	265	471
	70	463	529	893		4.8	210	240	405
	25	276	320	529		1.7	125	145	240
	140	528	616	1,023		9.7	240	280	465
300	120	551	627	1,038	20	8.3	250	285	477
	70	484	550	913		4.8	220	250	415
	30	319	352	583		2.0	145	160	265

NOTE: For air capacities scfm, multiply steam capacities (lb/hr) by 0.36. For air capacities m³/hr, multiply steam capacities (kg/hr) by 1.35. Maximum pressure reduction ratio 10:1.

ANEXO 12

SISTEMA DE CONTROL

Oxygen measurement sensors

InPro 6000 Sensor Series

Typical applications	InPro 6950 (I)	InPro 6900	InPro 6800/6850 I	InPro 6880 I
Biotechnology/Pharma				
Fermentation	–	–	•	•
Brewery				
Yeast propagation	–	–	•	–
CO ₂ recovery	• (after recovery)	–	• (before recovery)	–
CO ₂ conditioning	•	•	–	–
Wort aeration	–	–	•	–
Filtration	•	•	–	–
Filling	•	•	–	–
Mineral water and Soft drinks				
Spring water conditioning	–	–	•	–
Filling	•	•	–	–
Fruit juices and concentrates				
Processing	–	–	•	–
Storage	–	–	•	–
Environmental processes				
Wastewater treatment	–	–	–	–

Specifications	InPro 6950 (I)	InPro 6900	InPro 6800/6850 I	InPro 6880 I
Measurement principle	amperometric/polarographic (In accordance with ISO 5814 and EN 25 814)			optical
Working conditions				
Permissible pressure range during measuring (abs.)	0.2...9 bar 2.9...130 psi	0.2...6 bar 2.9...87 psi using standard membrane 0.2...9 bar 2.9...130 psi using reinforced membrane	0.2...6 bar 2.9...87 psi	0.2...6 bar 2.9...87 psi
Mech. pressure resistance (absolute)	max. 12 bar max. 174 psi	max. 12 bar max. 174 psi	max. 12 bar max. 174 psi	max. 6 bar max. 87 psi
Permissible temperature range during measuring	0...80°C 32...176°F	0...80°C 32...176°F	0...80°C 32...176°F	5...60°C 41...158°F
Mechanical temperature resistance	–5...121°C 23...250°F steam-sterilizable	–5...121°C 23...250°F steam-sterilizable	–5...140°C 23...284°F steam-sterilizable, autoclavable	–20...130°C –4...266°F steam-steriliz., autoclavable
Sensor performance				
Detection limit				
– In aqueous media	0.1 µg/l [0.1 ppb]	1 µg/l [1 ppb]	6 µg/l [6 ppb]	8 µg/l [8 ppb]
– In liquids containing CO ₂	0.25 µg/l [0.25 ppb]	3 µg/l [3 ppb]	3 µg/l [3 ppb]	8 µg/l [8 ppb]
Accuracy				
– In aqueous media	≤± [1% + 0.1 ppb]	≤± [1% + 1 ppb]	≤± [1% + 6 ppb]	≤± [1% + 8 ppb]
– In liquids containing CO ₂	≤± [1% + 0.25 ppb]	≤± [1% + 3 ppb]	≤± [1% + 3 ppb]	≤± [1% + 8 ppb]

Oxygen measurement sensors

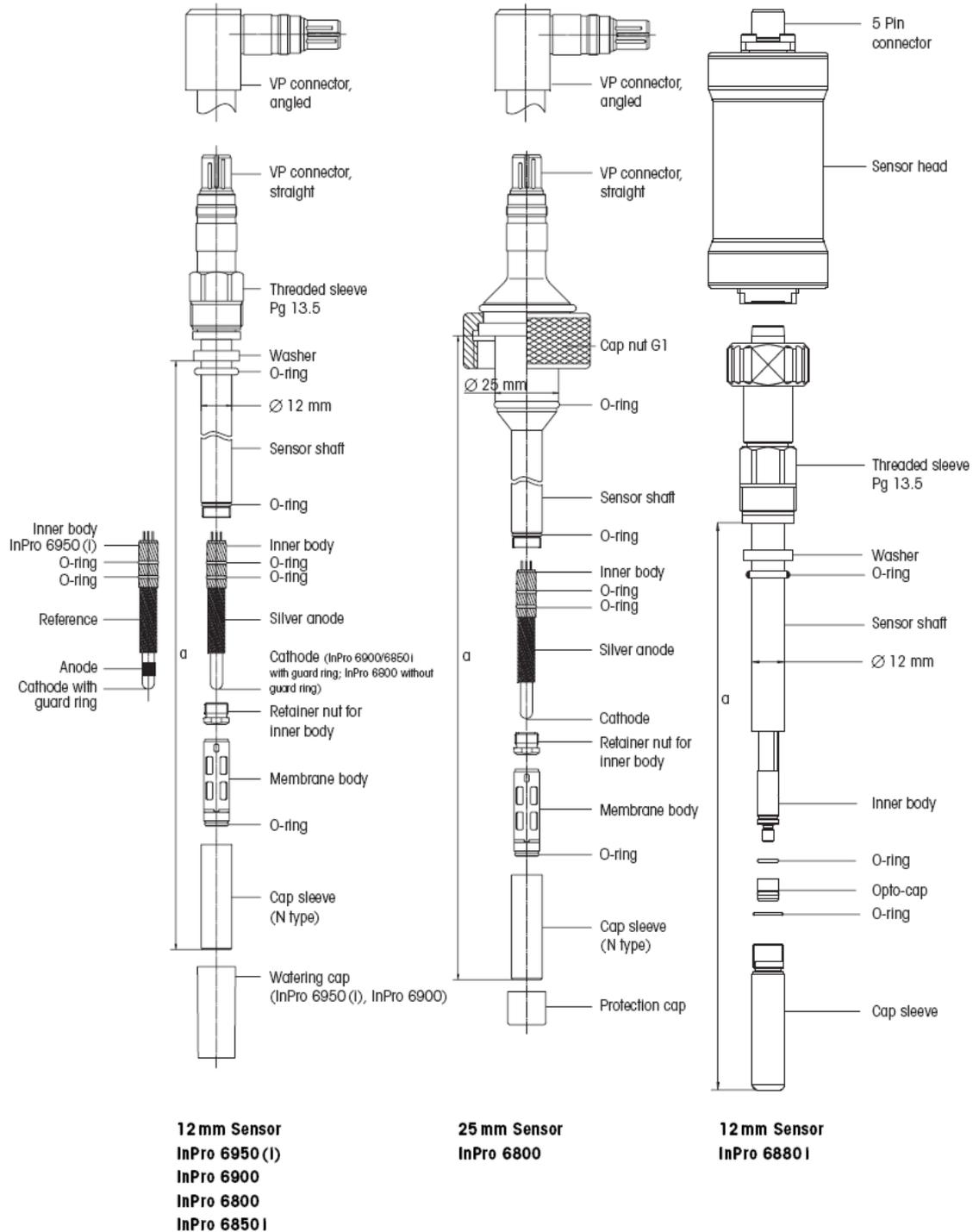
InPro 6000 Sensor Series

Specifications	InPro 6950(I)	InPro 6900	InPro 6800/6850I	InPro 6880I
Response time at 25 °C (77 °F) [air → N ₂]	t _{98%} < 90 s	t _{98%} < 90 s	t _{98%} < 90 s	t _{98%} < 45 s
Sensor signal in ambient air at 25 °C (77 °F)	2500 ... 6000 nA	290 ... 500 nA	50 ... 110 nA	–
Residual signal in N ₂ at 25 °C (77 °F) in % of signal in ambient air	≤ ± 0.025 %	0.03 %	0.1 %	–
Design features				
Temperature compensation	automatic with built-in RTD			
Cable connection				
– analog	VarioPin (IP68)	VarioPin or T-82	VarioPin (IP68)	–
– digital	K8S (IP68)	–	K8S (IP68)	Data cable 5 pin
Wetted O-rings	Silicone FDA & USP Class VI approved (other materials on request)			EPDM, FDA approved
O ₂ selective membrane material	Teflon/Silicone reinforced with steel mesh	Teflon/Silicone reinforced with steel mesh	Teflon/Silicone reinforced with steel mesh	Silicone
Wetted sensor parts	S/steel 1.4404, [AISI 316L] with material certificate 3.1 (other materials on request)			
Surface roughness of wetted stainless steel parts (EN 1320: 1996)	R _a < 0.4 μm / < 16 μin			
Inner body	traces with guard ring and reference (exchangeable)	low ppb with guard ring (exchangeable)	InPro 6800: standard (exchangeable) InPro 6850I: standard with guard ring (exchangeable)	–
Cathode	Pt	Pt	Pt	–
Anode	Pt	Ag/AgCl	Ag/AgCl	–
Reference	Ag/AgCl	–	–	–
Guard	Pt	Pt	InPro 6800: – InPro 6850I: Pt	–
ATEX compatibility	pending	II 1/2 EEX Ia IIC T6/T5/T4	II 1/2 EEX Ia IIC T6/T5/T4	–
FM compatibility	pending	IS CL I, Div 1, GR ABCD	IS CL I, Div 1, GR ABCD	–
Certificates (MaxCert™)				
Quality Certificate (final inspection)	•	•	•	•
EHEDG	•	•	•	–
FDA	•	•	•	•
USP Class VI	•	•	•	–
Material Certificate 3.1	•	•	•	•
Surface Finish Certificate 2.1	•	•	•	•
ATEX/FM	• (pending)	•	•	–

Oxygen measurement sensors

InPro 6000 Sensor Series

Drawings



Oxygen measurement sensors

InPro 6000 Sensor Series

Ordering Information

InPro 6950, 12 mm ∅	Order no.	Order no.	Order no.	Order no.
	VP connector			
Immersion length (a)	straight	angled		
70 mm (2.8")	52 206 097	52 206 101		
120 mm (4.7")	52 206 098	52 206 102		
220 mm (8.7")	52 206 099	52 206 103		
Version with Varivent flange				
InPro 6950/12/060 V80	52 206 110	-		
InPro 6900, 12 mm ∅				
Immersion length (a)				
70 mm (2.8")	52 200 944	52 200 947		
120 mm (4.7")	52 200 945	52 200 948		
220 mm (8.7")	52 200 946	52 200 949		
Version with Varivent flange				
InPro 6900/12/060 V80	52 200 951	-		
InPro 6800, 12 mm ∅				
	VP connector		T-82 connector	
Immersion length (a)	straight	angled	straight	angled
70 mm (2.8")	52 200 964	52 200 969	-	-
80 mm (3.2")	-	-	-	-
120 mm (4.7")	52 200 965	52 200 970	52 201 012	52 201 016
220 mm (8.7")	52 200 966	52 200 971	52 201 013	52 201 017
320 mm (12.6")	52 200 967	52 200 972	52 201 014	52 201 018
420 mm (16.5")	52 200 968	52 200 973	52 201 015	52 201 019
InPro 6800, 25 mm ∅				
	VP connector		T-82 connector	
Immersion length (a)	straight	angled	straight	angled
80 mm (3.2")	52 200 974	52 200 978	52 201 020	52 201 023
160 mm (6.3")	52 200 975	52 200 979	52 201 021	52 201 024
260 mm (10.2")	52 200 976	52 200 980	52 201 022	52 201 025
360 mm (14.2")	52 200 977	52 200 981	-	-
InPro 6880I, 12 mm ∅				
Immersion length (a)				
120 mm (4.7")	52 206 242			
220 mm (8.7")	52 206 243			
320 mm (12.6")	52 206 244			
420 mm (16.5")	52 206 245			

Oxygen measurement sensors

InPro 6000 Sensor Series

Compatibility with METTLER TOLEDO transmitters

Please ask your local METTLER TOLEDO sales representative.

	InPro 6950	InPro 6900	InPro 6800	InPro 6880 I
M 700	• (4700l traces)	• (4700l ppb)	• (4700l)	–
4100/2H (X)	–	•	•	–
4100 PA, FF	–	• ¹	•	–
4100 ppb	–	•	•	–
4100 e	–	–	•	–
M300	–	–	•	–
O ₂ 4300D	–	–	–	•

¹ Limited functions

Compatibility with METTLER TOLEDO housings

Please ask your local METTLER TOLEDO sales representative.

Static housings	12 mm Ø	25 mm Ø	InPro 6880 I
INGOLD "safety weld-in socket"	–	•	–
InFit 761 series	•	–	• ²
Retractable housing			
InTrac 777e	•	–	• ²
InTrac 797e	•	–	• ²
Immersion housing			
InDip 550	•	–	–
Conversion kit			
Retrofit kit optical	–	–	•

² In combination with retrofit kit optical

Accessories

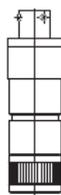


O₂ sensor master InPro 6950/6900/6800

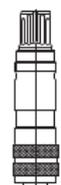
The sensor master serves to polarize the connected sensor in air as well as to check functioning of the sensor. Perfect operation of the sensor master can also be verified through a self-check procedure.

O₂ sensor simulator

The sensor simulator is used to perform a function check of transmitter and cable. It simulates the behavior of the sensor in air and in an oxygen-free medium. This device can be used to simulate all amperometric analog O₂ sensors.



Adapter T-82 bushing /VP connector, order no. 52 200 939



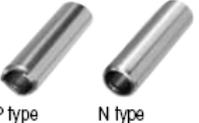
Adapter VP bushing /T-82 connector, order no. 52 200 940

Sensor	Order no.
O ₂ sensor master InPro 6950	52 206 113
O ₂ sensor master InPro 6900	52 200 893
O ₂ sensor master InPro 6800	52 200 892
O ₂ sensor simulator	52 200 891
Zeroing gel for zero-point control	34 100 1032
Adapter T-82 bushing /VP connector	52 200 939
Adapter VP bushing /T-82 connector	52 200 940
Retrofit kit optical	52 403 811
VP cable	Order no.
Temperature range –30... 80 °C / –22... 176 °F	Temperature range –30... 130 °C / –22... 266 °F
VP6-ST/1 m	52 300 107
VP6-ST/3 m	52 300 108
VP6-ST/5 m	52 300 109
VP6-ST/10 m	52 300 110
VP6-ST/15 m	52 300 144
VP6-ST/35 m	52 300 184
VP6-HT/1 m	52 300 111
VP6-HT/3 m	52 300 112
VP6-HT/5 m	52 300 113
VP6-HT/10 m	52 300 114
VP6-HT/15 m	52 300 237
InPro 6880 I cable	Order no.
Temperature range –30... 80 °C / –22... 176 °F	
2 m	52 300 379
5 m	52 300 380
10 m	52 300 381

Oxygen measurement sensors

InPro 6000 Sensor Series

Spare parts

		InPro 6950	Order no.
Inner body  InPro 6950 InPro 6800		Membrane body InPro 6950 (single unit)	52 206 105
		Membrane kit InPro 6950 (4 membrane bodies, 1 O-ring set, 2 × 5 ml electrolyte)	52 206 106
		Electrolyte InPro 6950 (5 ml)	52 206 111
		Inner body InPro 6950 (exchangeable)	52 206 112
InPro 6900			
Membrane body  T-6900R T-96		Membrane body T-6900 (single unit)	52 201 049
		Membrane kit T-6900 (4 membrane bodies, 1 O-ring set, 2 × 5 ml electrolyte)	52 201 003
		Reinforced membrane body T-6900R (single unit)	52 201 108
		Reinforced membrane kit T-6900R (4 reinforced membrane bodies, 1 O-ring set, 2 × 5 ml electrolyte)	52 201 109
		Electrolyte InPro 6900 (5 ml)	52 201 005
		Inner body InPro 6900 (exchangeable)	52 200 943
		Conversion kit InPro 6800 to InPro 6900 (Inner body, membrane body, manual)	52 201 004
InPro 6950/6900/6800			
Cap sleeve  P type N type		Cap sleeve N type, stainless steel 1.4404 (AISI 316L)	52 200 037
		Cap sleeve N type, stainless steel 1.4435 (AISI 316L)	52 201 153
		Cap sleeve P type, stainless steel 1.4404 (AISI 316L)	52 200 038
		Cap sleeve P type, stainless steel 1.4435 (AISI 316L)	52 201 154
InPro 6800			
Opto-cap 		Membrane body T-96 (single unit)	52 200 071
		Membrane kit T-96 (4 membrane bodies, 1 O-ring set, 25 ml electrolyte)	52 200 024
		Membrane body S-96 (single unit)	52 200 072
		Membrane kit S-96 (4 membrane bodies, 1 O-ring set, 25 ml electrolyte)	52 200 025
		Electrolyte 25 ml	34 100 2016
	Inner body InPro 6800 (exchangeable)	52 200 899	
InPro 68801			
	Opto-cap BT 01	52 206 225	
	O-ring set	52 206 252	
	Cap sleeve, stainless steel 1.4404 (AISI 316L)	52 206 232	
	Maintenance cap	52 206 251	

 <p>ZERT Zertifiziertes GWS-System DIN EN ISO 9001 Reg. Nr. 10524</p>	<p>Transductor de Presión, de Servicio Pesado, con Precisión Piezoresistivo</p>		<p>Medir - Monitorear - Analizar</p>
--	--	---	--



- Presión manométrica
- Diafragma interno
- Rango de Medición:
-1...0 a 0...16 bar
- Temperatura (Medio):
máx. 70°C
- Precisión:
±0.05 o 0.1% (f.s.d.)
- Material:
Acero inoxidable
- Accesorios: 1/2 G 1/2" macho
- Opcional:
Interfaz RS232

Presión manométrica, diafragma interno, categoría 0.05 o 0.1



Descripción:

Los sensores resistentes industriales de presión con precisión son ideales entre los transductores de presión. Estos sensores de presión tienen un grado de exactitud de 0,1% como estándar siendo 0,05% una opción. Son particularmente adecuados para el uso en Ingeniería de Prueba y Calibración. Debido a la compensación de temperatura controlada por el programa, el error de medición relacionado con la temperatura en el rango +10 a 40 °C es prácticamente cero. La estabilidad a largo plazo, la buena resistencia de corrosión, el alto grado protección (IP 67) y la resistencia a la carga mecánica también hace a estos sensores ideales para mediciones exigentes en ambientes industriales hostiles.

Dimensiones



Aplicaciones:

- Pruebas de Ingeniería
- Ingeniería de Calibración
- Mediciones de precisión en desarrollo y producción

Datos Técnicos:

Tecnología : Diafragma interno
 Presión: presión manométrica
 Cuerpo: Acero inoxidable 1.4301
 Conectores: G 1/2" macho
 Partes húmedas: Acero inoxidable 1.4571 y 1.4542
 Elemento de medición: piezo - resistivo
 Temperatura Máx: Almacén: -20...+70°C
 Medio: -20...+70°C
 Ambiente: 0...+70°C
 Limitación de Presión: 3 x rango
 Precisión: 0.05 ó 0.1 (f.s.d.)
 Repetibilidad: ≤ ± 0.03% (f.s.d.)
 Estabilidad por año: ≤ ± 0.1% (f.s.d.) bajo condiciones de referencia
 Conector eléctrico: cuello PG-Cable con 1.5 m de cable via RS 232 con 25 pines
 Alimentación: 10...30 VDC
 Opcional: Interfaz RS 232
 Salida: 4-20 mA, 0-20 mA
 Carga (Ω): ≤ (UB-10V)/0,02 A (for 0/4-20 mA)
 Respuesta temporal: Salida analógica ≤ 100 ms (dentro 10-90% del fondo de escala)
 RS 232 ≤ 300 ms
 Ajustabilidad: por programación RS 232 a través de salida analógica
 Puesta a servicio
 Rango de temperatura: 0...+70°C
 Deriva de temperatura: Cero y Span
 0...10°C : ≤ 0.1% / 10 K
 10...40°C : sin deriva
 40...70°C : ≤ 0.1% / 10 K
 Protección: IP 67

Datos de pedido (Ejemplo: SEN-3284 C315)

Rango de Medición	Item no. presión manométrica clase 0.1 4-20 mA	Item no. presión manométrica clase 0.1 0-20 mA	Item no. presión manométrica clase 0.05 0-20 mA
-1 a 0 bar	SEN-3284 C315	SEN-3284/1 C315	SEN-3289 C315
-0.5 a 0 bar	SEN-3284 C305	SEN-3284/1 C305	SEN-3289 C305
-0.4 a 0 bar	SEN-3284 C436	SEN-3284/1 C436	SEN-3289 C436
-0.25 a 0 bar	SEN-3284 C426	SEN-3284/1 C426	SEN-3289 C426
0 a 0.25 bar	SEN-3284 B146	SEN-3284/1 B146	SEN-3289 F146
0 a 0.4 bar	SEN-3284 B156	SEN-3284/1 B156	SEN-3289 F156
0 a 0.6 bar	SEN-3284 B015	SEN-3284/1 B015	SEN-3289 F015
0 a 1 bar	SEN-3284 B025	SEN-3284/1 B025	SEN-3289 F025
0 a 1.6 bar	SEN-3284 B035	SEN-3284/1 B035	SEN-3289 F035
0 a 2.5 bar	SEN-3284 B045	SEN-3284/1 B045	SEN-3289 F045
0 a 4 bar	SEN-3284 B055	SEN-3284/1 B055	SEN-3289 F055
0 a 6 bar	SEN-3284 B065	SEN-3284/1 B065	SEN-3289 F065
0 a 10 bar	SEN-3284 B075	SEN-3284/1 B075	SEN-3289 F075
0 a 16 bar	SEN-3284 B085	SEN-3284/1 B085	SEN-3289 F085

 <p>Zertifiziertes QM-System ISO 9001:2001 DIN EN ISO 14001:2007</p>	<h3>Conmutador Electrónico de Temperatura</h3>		<p>medir • monitorear • analizar</p>
---	--	---	--



TOD-1
TOD-3

TOD-2
TOD-4

TOD-5
TOD-7

- Rango de medición/conmutación: -50 hasta +125 °C
- Presión: máx. 80 bar
- Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (para -10 hasta +85 °C)
- Material de la cubierta: Ac. Inoxidable
- Conexión: G 1/2, G 3/4, 1/2 NPT, 3/4 NPT o M25x1.5



Commutador Electrónico de Temperatura con Indicador LED de 3 dígitos para Líquidos



Descripción

Los conmutadores de temperatura KOBOLD modelo TDD se usan para la medida y monitoreo económicos de la temperatura. Son adecuados para aplicaciones donde la temperatura se controla con un alto grado de precisión de conmutación. Un semiconductor, tiene como salida una señal digital hacia el sistema electrónico de evaluación en pasos de 0.5°C, sirve como elemento sensor. El valor actual medido es visualizado en un indicador LED de 3 dígitos. El punto de conmutación y la histéresis son ajustables dentro del rango de medición.

Aplicaciones

- Compresores
- Ingeniería mecánica
- Ingeniería de planta
- Bombas

Accesorios: Conexión eléctrica

Descripción	Modelo
M12x1 caja con terminal	ZUB-KAB-12D900
M12x1 caja con cable de 2 m	ZUB-KAB-12K002
M12x1 caja con enchufe Quickon	ZUB-KAB-12Q000

Detalles técnicos

- Cubierta del cuerpo: Ac. Inox. 1.4305
- Cuerpo: Ac. Inox. 1.4404 (ver. compacta)
Ac. Inox.1.4305 (ver. separada)
- Versión de conexión compacta: G 1/2 o rosca macho G 3/4d
Ac. Inoxidable 1.4404
Opcional: 1/2 NPT o 3/4 NPT
- Versión de conexión separada:
- Sensor: 100 mm, 8 mm
- Cable: 2.5 m PTFE con enchufe M12x1
- Cuerpo: M25x1,5 con contador nut
- Principio de medición: Semiconductor
- Indicador: LED de 3 dígitos, alto del dígito: 7 mm
- Resolución: 0.5°C hasta 99.9°C
1°C (100°C en adelante)
- Máx. temperatura del medio medido: -20...+120°C (versión compacta)
-50...+125°C (versión separada)
- Máx. temp. ambiente: -20...+50°C
- Máx. presión: 80 bar
- Alimentación: 24 V_{DC} ± 20%
- Corriente intake: aprox. 40 mA
(sin salida de conmutación)
- Conexión eléctrica: Enchufe M12x1 o cable PVC (cable t_{max}: 90°C)
- Salida de conmutación: Semiconductor; PNP o NPN (configurado en fabrica), máx. 300 mA, a prueba de corto circuito
- Función de contacto: N/O / N/C, ventana, ajustable
- Ajuste punto de conmut.: ajustable via 2 teclas
- Indicador estado de conmut.: 1 LED
- Histéresis: ajustable via 2 teclas
- Ciclo de medición: 0.5 seg.
- Precisión (sensor): ±0.5°C (entre -10...+85°C)
±2°C (entre +85...125°C)
±2°C (entre -50...-10°C)
- Cat. de protección: IP 65

Códigos de pedido (Ejemplo: TDD-163 R4H2 60) Por favor especifique longitud del cable con pedido!

Conexión eléctrica	Modelo				Version	Long. de sensor
	Salida de conmut. 1x PNP	Salida de conmut. 1x NPN	Salida de conmut. 2x NPN	Salida de conmut. 2x NPN		
Plug M12x1	TDD-153	TDD-353	TDD-553	TDD-753	R4H2 - G 1/2; -20...+120°C R5H2 - G 3/4; -20...+120°C	60 - corto
cable 1 m PVC	TDD-150	TDD-350	--	--	R4H2 - 1/2 NPT; -20...+120°C R5H2 - 3/4 NPT; -20...+120°C	10 - 100 mm
Long. especial del cable	TDD-159	TDD-359	--	--	D5H3 - versión separada; sensor 80; -50...+125°C	20 - 200 mm

Versión separada edo con sensor de 100 mm, máx. longitud en roscas NPT es de 154 mm en vez de 200 mm

Conmutador Electrónico de Temperatura con matriz LED para líquidos



Descripción

Los conmutadores de temperatura KOBOLD modelo TOD se usan para la medida y monitoreo económicos de la temperatura. Son adecuados para aplicaciones donde la temperatura se controla con un alto grado de exactitud de conmutación. Un semiconductor, tiene como salida una señal digital hacia el sistema electrónico de evaluación en pasos de 0.5°C, sirve como elemento sensor. El valor actual medido es visualizado en un indicador LED de 3 dígito, en pasos de 5°C. El punto de conmutación y la histéresis son ajustables dentro del rango de medición.

Aplicaciones

- Compresores
- Ingeniería mecánica
- Ingeniería de planta
- Bombas

Accesorios: Conexión eléctrica

Descripción	Modelo
M12x1 con caja terminal	ZUB-KAB-120600
M12x1 Dose con cable de 2m	ZUB-KAB-12K002
M12x1 caja con enchufe Quickon	ZUB-KAB-120000

Detalles Técnicos

- Cubierta del cuerpo: Ac. Inox. 1.4305
- Cuerpo: Ac. inox. 1.4404 (ver. compacta)
Ac. Inox. 1.4305 (ver. separada)
- Conexión de versión compacta:
G 1/2 o macho roscado G 3/4
Ac. Inoxidable 1.4404
Opcional: 1/2 NPT o 3/4 NPT
- Conexión de versión separada:
Sensor: 100 mm, 6 mm, Ac. inox. 1.4404
Cable: 2.5 m PTFE con enchufe M12x1
Cuerpo: M25x1 con contador nut
- Principio de medición: Semiconductor
- Indicador: matriz de LED de 8-dígitos
- Resolución: 5°C
- Máx. temperatura del valor medido: -20...+120°C (versión compacta)
-50...+125°C (versión separada)
- Máx. temp. ambiente: -20...+50°C
- Máx. presión: 80 bar
- Alimentación: 24 V_{DC} ±20%
- Corriente intake: aprox. 40 mA (sin salida de conmutación)
- Conexión eléctrica: Enchufe M12x1 o PVC cable (cable t_{max} 90°C)
- Salida de conmutación: Semiconductor; PNP o NPN (configurado en fábrica), máx. 300 mA, a prueba de corto circuito
- Función de contacto: N/O / N/C, ventana, ajustable
- Ajuste punto de conmut.: ajustable via 2 teclas
- Indicador de conmut.: ajustable
- Ind. de estado conmut.: parpadeo de LED en matriz LED
- Histéresis: ajustable via 2 teclas
- Ciclo de medición: 0.5 seg.
- Precisión (sensor): ±0.5°C (entre -10...+85°C)
±2°C (entre -50...-10°C)
±2°C (entre +85...125°C)
- Cat. de protección: IP 65

Códigos de pedido (Ejemplo: TDD-253 R4 00 00) Por favor especifique longitud del cable con pedido!

Electrical Con. eléctrica	Modelo		Versión	Rango medición*	Long del sensor**
	Salida conmut. PNP	Salida conmut. NPN			
Enchufe M12x1	TDD-253	TDD-453	R4 = G 1/2 R5 = G 3/4 R6 = 1/2 NPT R8 = 3/4 NPT D6 = versión separada; versión libre	00 = -35...0°C	00 = corto
1 m cable PVC	TDD-250	TDD-450		20 = -15...+20°C	10 = 100 mm
Long. especial de cable	TDD-259	TDD-459		40 = 5...40°C 50 = 25...60°C 60 = 45...80°C 1H = 65...100°C H2 = 85...120°C	20 = 200 mm

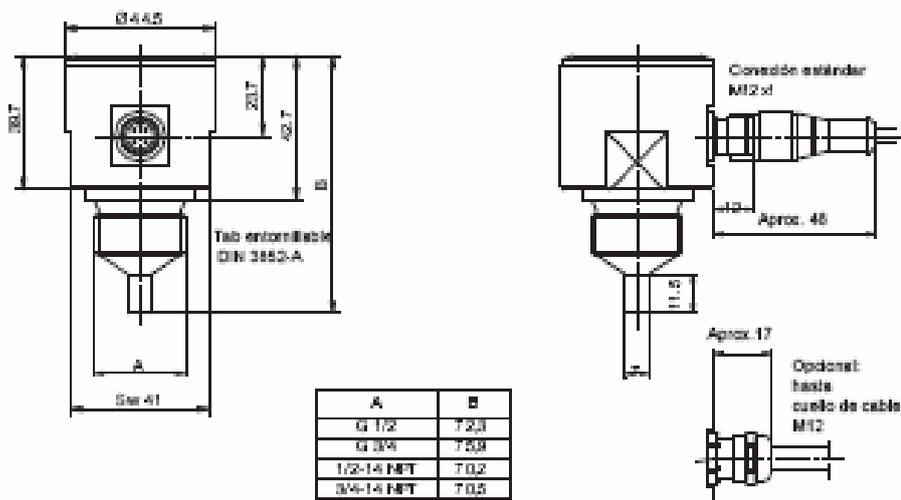
* Rango de medición -35...0°C solo para versión separada

** Versión separada solo con sensor de 100 mm; la máxima longitud con rosca NPT es 104 mm en vez de 200 mm.

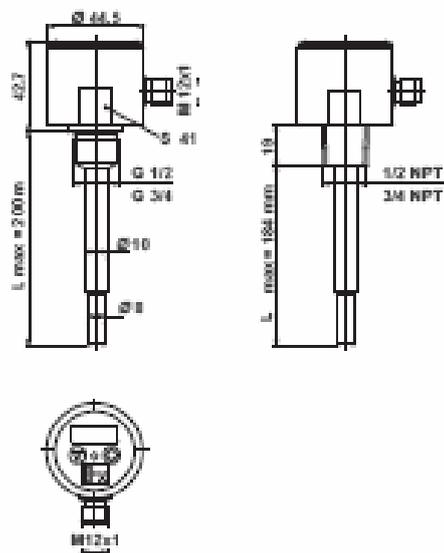


Dimensiones

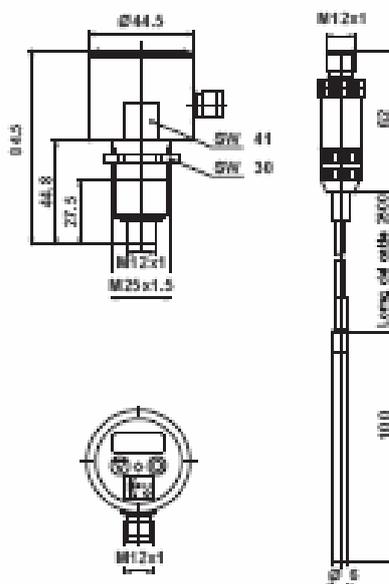
Versión corta separada



Versión larga compacta



Versión separada



 <p>ZERT Zertifiziertes QM-System DIN EN ISO 9001 Regio, 19086</p>	<p>KOBO-pH Electrodo combinado de Ph, relleno de gel Modelo APS-Z</p>		<p>Medir - Monitorear - Analizar</p>
---	--	---	--

LÍNEA-COMPACTA



- Rango de medición de pH 0...12
- Relleno con gel KCl (0% de iones de plata)
- Destilador de sal para mayor tiempo de vida
- Diafragma cerámico
ó
Diafragma de anillo PTFE (para medios muy sucios o aceitosos)
- Pt 100 integrado opcionalmente
- Rango de presión arriba de 10 bar
- Rango de temperatura :
-5°C ... +80°C
- Sistema de desecho de Ag/AgCl en cartucho

KOBO-pH Electrodo combinado de Ph, relleno de gel, Modelo APS-Z



Descripción

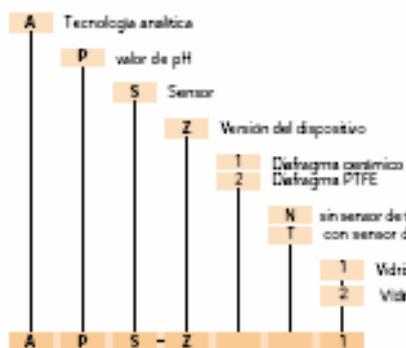
El electrodo estándar combinado para medidas generales del pH se llena del gel de KCl (0% iones de plata) y contiene un destilado de sal, que garantiza tiempos más largos de la estabilidad. El sistema de descarga Ag/AgCl se ha diseñado como cartucho. La versión combinada del electrodo con el diafragma de anillo PTFE es especialmente conveniente para condiciones duras de servicio, por ejemplo, servicio en plantas de la clarificación o en medios aceitosos y muy usados. Se puede integrar un sensor de temperatura Pt-100 (versión 13.5 de rosca del conducto principal atomillada). El electrodo puede resistir presiones de hasta 10 bar. Sus dimensiones son 120 x 12 mm (DIN 19263).



Datos técnicos

Material:	vidrio de propósito general
Diafragma:	cerámica, diámetro 1 mm PTFE, anular
Valores de pH:	pH 0...12
Rango de Temperatura :	-5...+80 °C
Rango de presión:	encima de 10 bar
Longitud de vástago:	120 mm
Diámetro:	12 mm
Cabezal enchufable roscado:	conductor roscado 13.5
Conductividad mínima:	100 µS/cm

Codificación (electrodos combinados)



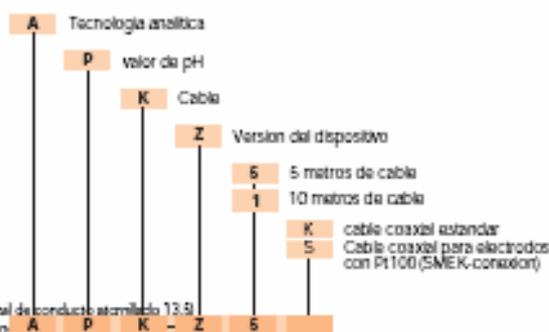
Cables de conexión para electrodos de pH modelo APS-Z

- Para mediciones de pH con un electrodo sin sensor de temperatura, tipo APK-Z...K
Cable coaxial de bajo ruido
Diámetro: 5 mm en negro
Termoestabilidad: -25 ... +70 °C
Longitud: 5 metros



- Para mediciones de pH con un electrodo con sensor de temperatura, tipo APK-Z...S
Cable coaxial de bajo ruido con cabeza conectora SMEK (3 cables trenzados y revestimiento)
Diámetro: 5.5 mm en negro
Termoestabilidad: -25 ... +80 °C
Longitud: 5 metros

Codificación (cable)



 <p>M-Zert Zertifiziertes GM-System ISO 9001 Zertifiziert</p>	<h3>Medidor/Transmisor de Caudal tipo Fuelle-paleta para Líquidos</h3>		<p>medición • monitoreo • análisis</p>
--	--	---	--



The image shows a KOBOLD DWD flow meter. It has a square, orange and black housing with a digital display showing '±1234'. There are two black ports on the left side and a stainless steel pipe connection at the bottom. The KOBOLD logo is visible on the top left of the housing, and 'DWD' is printed on the bottom right.

- Rangos de caudal:
1- 10 L/min a
360- 3600 m³/h agua
- Precisión de medición:
±1.5 f.s.
- Conexión:
G 3/8 a G 2,
3/8 NPT a 2 NPT
brida: DN 10 a DN 50
ANSI 3/8" a 2"
- Parte soldable diámetros
nominales de tubería:
DN 40 a DN 500
- Material:
latón, PVC o
acero inoxidable
- p_{máx}: PN 25, t_{máx}: 120°C
- Montaje universal

Medidor/Transmisor de Caudal tipo Fuella-paleta para Líquidos Modelo DWD



Descripción

El nuevo instrumento de medición KOBOLD tipo DWD es un transmisor de caudal con indicación digital del caudal instantáneo, salida analógica y dos relés, a todo o nada, ajustables indicando el punto de conmutación, para monitorizar valores límite.

Una interfase serial RS232C está disponible como opción. La combinación de la probada técnica de medición desplazamiento-deflexión con el nuevo sistema patentado de péndulo y el analizador electrónico con EEPROM programable producen un transmisor de caudal confiable y económico. Debido a su moderna tecnología y funciones, éste dispositivo es también ideal para aplicaciones donde métodos mucho más costosos de medición se han utilizado hasta el momento.

El transmisor de caudal tipo DWD utiliza la confiable técnica de desplazamiento-deflexión junto con una nueva tecnología patentada. El medio fluyente presiona contra una placa sujeta a un péndulo - causando así el desplazamiento. El péndulo, que es retenido por un sistema de resorte progresivo, cambia su posición sin fricción y dependiendo del caudal. La posición de un imán acoplado al péndulo es detectada por un sensor de Efecto-Hall fijado fuera del medio. Esta señal es procesada y evaluada por una electrónica basada en microchip con memoria EEPROM.

Los instrumentos son calibrados y suministrados según sus especificaciones. No se requiere ajustes costosos y programación. El DWD está listo para operación inmediata. Los instrumentos pueden reprogramarse si es necesario. La carcasa puede adaptarse también fácilmente para la posición de montaje deseada. Numerosas conexiones y materiales permitan una amplia gama de aplicaciones. Grandes diámetros pueden ser también medidos confiable y económicamente.

Resumen de ventajas

- Listo para operación inmediata
- Sin cojinetes, sin fricción
- Solo una pieza levemente móvil
- Sensibilidad insignificante a la suciedad
- Rango más amplio de caudal
- Baja caída de presión
- Programable para cualquier rango de medición
- Señal lineal

Áreas de aplicación

- Industria de equipo pesado
- Molinos giratorios y trenes de molino
- Industria química y farmacéutica
- Industria de alimentos y bebidas
- Ingeniería mecánica general y equipamiento capital
- Medición y monitoreo de producto, circuitos de refrigeración y lubricación

Detalles Técnicos

Parte del Instrum.	Combinación de material		
	5	6	7
Cub. del péndulo	latón	acero inoxidable	acero inoxidable
Sistema de péndulo	acero inoxidable	acero inoxidable	acero inoxidable
Placa T	latón	acero inoxidable	PVC
Sellos	FPM	FPM	FPM
Rosca de conexión	latón	acero inoxidable	PVC
Brida de conexión	acero zinc-plat.	acero inoxidable	PVC
Parte soldable	acero	acero inoxidable	Abrazadera tubular de PVC
Cubierta de la electrónica	recubierta de aluminio PA 66	recubierta de aluminio PA 66	recubierta de aluminio PA 66
Imán*	120 °C	120 °C	20 °C (60 °C)
pn máx.*	25 bar	25 bar	16 bar (2 bar)

* Superiores bajo pedido

Rango de caudal:	ratio de caudal 1:10 estándar (por ejemplo 10-100 L/min) máx. 1:25 bajo pedido
Precisión:	±1.5% f.s.
Temperatura del medio:	-20 °C a +120 °C (otros rangos bajo pedido)
Presión máxima:	25 bar (valores más altos bajo pedido)
Dirección del flujo:	cualquiera
Salida analógica:	0-10 V o 4-20 mA (conmutable)
Contactos de conmutación:	2 x 230 V, 1 A máx., ajustable con indicación en indicador
Indicador:	LCD módulo DOT-módulo, 2 x 8 posiciones
Fuente de alimentación:	24 V _{DC} ±10%
Tipo de protección:	IP 65
Opcional:	Interfase serial RS232C

Posición de montaje

Al instalar, note la dirección de caudal marcada con una flecha en el dispositivo. De lo contrario puede utilizar cualquier posición de montaje dado que la cubierta del indicador/transmisor y el indicador de panel frontal pueden ser rotados en pasos de 90°. Así, el dispositivo puede (aún si ya está ajustado) ser adaptado a diversas posiciones de montaje en la tubería, de ésta manera una operación y lectura convenientes son siempre posibles.

Ejemplo de rango de medición:

Para conexión DN 25, mín. 6 L/min, máx. 60 L/min o cualquier otro valor hasta máx. 150 L/min con ratio de 1:10.

Medidor/Transmisor de Caudal tipo Fuella-paleta para Líquidos Modelo DWD



Datos de pedido (Ejemplo: DWD-15 R10 3 R T Q)

Requerir los siguientes detalles así como el número de pedido: medio, viscosidad, temperatura de servicio, presión de operación, rango de caudal dentro de los valores detallados abajo con un ratio mín./máx. de 1:10

Transmisor de caudal modelo DWD-1.. con conexión roscada

Rango de caudal [L/min]		Combinación de material (sistema de péndulo / pieza T)			Conexión	Alimentación	Dirección del caudal	Ubicación del indicador	Opción
mín. Agua	máx. Agua	Ac. Inox./latón	Ac. Inox./ac. Inox.	Ac. Inox./PVC					
1	25	DWD-15..	DWD-16..	DWD-17..	R10 = G 1/2" N10 = 1/2 NPT	5=24 Vcc	R = de der. a izq. L = de izq. a der.	T = sobre la ref.	Q = sh T = insertar RES3DC
1	55	DWD-15..	DWD-16..	DWD-17..	R15 = G 3/4" N15 = 3/4 NPT		T = de arriba a abajo B = de abajo a arriba	R = der. de la ref. L = izq. de la ref.	
5	100	DWD-15..	DWD-16..	DWD-17..	R20 = G 1" N20 = 1 NPT				
5	150	DWD-15..	DWD-16..	DWD-17..	R25 = G 1 1/4" N25 = 1 1/4 NPT				
10	250	DWD-15..	DWD-16..	DWD-17..	R32 = G 1 1/2" N32 = 1 1/2 NPT				
20	400	DWD-15..	DWD-16..	DWD-17..	R40 = G 1 3/4" N40 = 1 3/4 NPT				
50	600	DWD-15..	DWD-16..	DWD-17..	R50 = G 2" N50 = 2 NPT				

*Modelo DWD-15.. roca hembra hasta R40, superior roca externa; Modelo DWD-16.. / DWD-17.. roca hembra hasta R40, superior roca externa

Transmisor de caudal modelo DWD-2.. conexión brida

Rango de caudal [L/min]		Combinación de material (sistema de péndulo / pieza T)			Conexión brida	Alimentación	Dirección del caudal	Ubicación del indicador	Opción
mín. Agua	máx. Agua	Ac. Inox./latón	Ac. Inox./ac. Inox.	Ac. Inox./PVC					
1	25	DWD-25..	DWD-26..	-	F10 = DN 10 A10 = 1/4" ANSI	5=24 Vcc	R = de der. a izq. L = de izq. a der.	T = sobre la ref.	Q = sh T = insertar RES3DC
1	55	DWD-25..	DWD-26..	-	F15 = DN 15 A15 = 1/4" ANSI		T = de arriba a abajo B = de abajo a arriba	R = der. de la ref. L = izq. de la ref.	
5	100	DWD-25..	DWD-26..	-	F20 = DN 20 A20 = 1/2" ANSI				
5	150	DWD-25..	DWD-26..	DWD-27..	F25 = DN 25 A25 = 1" ANSI				
10	250	DWD-25..	DWD-26..	DWD-27..	F32 = DN 32 A32 = 1 1/4" ANSI				
20	400	DWD-25..	DWD-26..	DWD-27..	F40 = DN 40 A40 = 1 1/2" ANSI				
50	600	DWD-25..	DWD-26..	DWD-27..	F50 = DN 50 A50 = 2" ANSI				

Transmisor de caudal DWD-35../DWD-36.. con parte soldable, DWD-37.. con abrazadera tubular

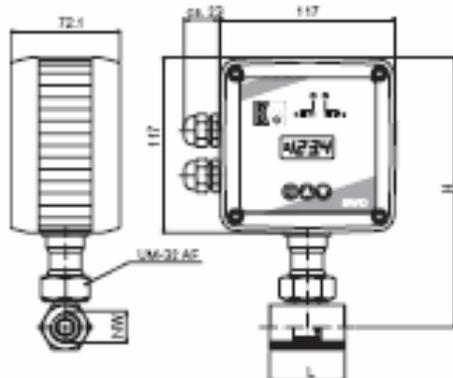
Rango de caudal [m³/h]		Combinación de material (sistema de péndulo/pieza con.)			para diámetro de tubería	Alimentación	Dirección del caudal	Ubicación del indicador	Opción
mín. Agua	máx. Agua	Ac. Inox./latón	Ac. Inox./ac. Inox.	Ac. Inox./PVC					
1.2	24	DWD-35..	DWD-36..	DWD-37..	W 40 = DN 40	5=24 Vcc	R = de der. a izq. L = de izq. a der.	T = sobre la ref.	Q = sh T = insertar RES3DC
3.0	36	DWD-35..	DWD-36..	DWD-37..	W 50 = DN 50		T = de arriba a abajo B = de abajo a arriba	R = der. de la ref. L = izq. de la ref.	
4.8	60	DWD-35..	DWD-36..	DWD-37..	W 65 = DN 65				
7.2	60	DWD-35..	DWD-36..	DWD-37..	W 80 = DN 80				
12	144	DWD-35..	DWD-36..	DWD-37..	W 1 H = DN 100				
18	225	DWD-35..	DWD-36..	DWD-37..	W 1 Z = DN 125				
24	330	DWD-35..	DWD-36..	DWD-37..	W 1 F = DN 150				
42	600	DWD-35..	DWD-36..	DWD-37..	W 2 H = DN 200				
72	900	DWD-35..	DWD-36..	-	W 2 F = DN 250				
102	1200	DWD-35..	DWD-36..	-	W 3 H = DN 300				
150	1800	DWD-35..	DWD-36..	-	W 3 F = DN 350				
180	2400	DWD-35..	DWD-36..	-	W 4 H = DN 400				
300	3600	DWD-35..	DWD-36..	-	W 5 H = DN 500				

Medidor/Transmisor de Caudal tipo Fuella-paleta para Líquidos Modelo DWD



Dimensiones

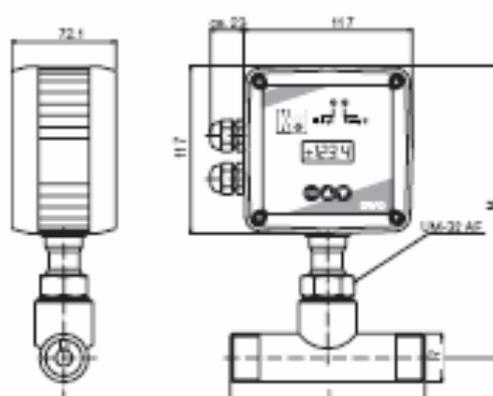
DWD-15.. hasta 1 1/2" con rosca hembra
DWD-16.. y DWD-17.. to 3/4" con rosca hembra



Valores en () válido para DWD-16..
Valores para DWD-17.. bajo pedido

NW	L [mm]	H [mm]
3/4"	50	100
1"	50	100
1 1/4"	50	100
1 1/2"	50	105 (201)
1 3/4"	50	190 (201)
2"	50	194 (201)

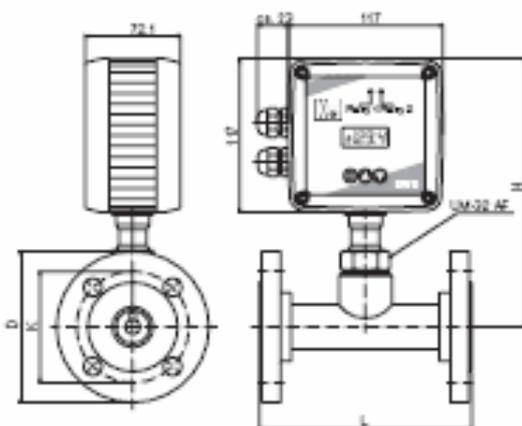
DWD-15.. desde 2" con rosca macho
DWD-16.. y DWD-17.. desde 1" con rosca macho



Valores en () válido para DWD-16..
Valores para DWD-17.. bajo pedido

NW	L [mm]	H [mm]
1"	105	105 (201)
1 1/4"	170	160 (201)
1 1/2"	170	164 (201)
2"	170	202 (211)

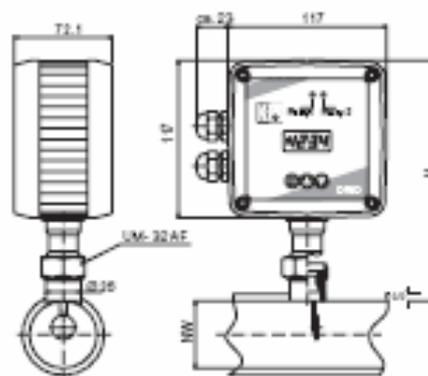
DWD-2.. con brida



Valores en () válido para DWD-26..
Valores para DWD-27.. bajo pedido

DN	D [mm]	K [mm]	L [mm]	H [mm]
10	60	60	155	100
15	65	65	155	100
20	105	75	160	100
25	115	85	160	105 (201)
32	140	100	160	190 (201)
40	150	110	160	194 (201)
50	165	125	160	202 (211)

DWD-3.. con parte soldable



Valores en () válido para DWD-35 y 36
Valores para DWD-37.. bajo pedido

NW	H [mm]
desde DN 40	100

 <p>M-Zert Zertifizierung QMS-System nach ISO 9001 DIN EN ISO 14001</p>	<p>Válvulas de Aislamiento Tipo Mariposa con Actuador Eléctrico</p>		<p>Medir • Controlar • Analizar</p>
--	---	---	---



- p_{max} . PN 16
- t_{max} . +160°C
- Bidas DN 40 hasta DN 80
- 24 V_{CC}, 230 V_{CA}
- Cuerpo: GGG-40, aluminio

- Disco tpo mariposa:
acero inoxidable, Acero
- Sellos: EPDM, FKM



Válvulas de Aislamiento Tipo Mariposa con Actuador Eléctrico, cuerpo metálico, modelo KLE-TA



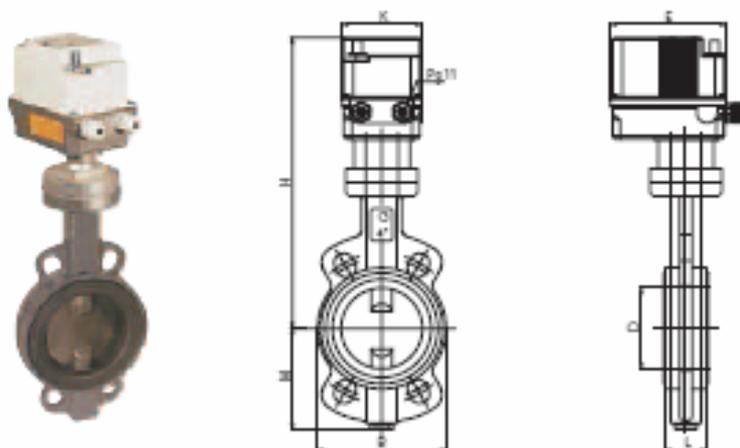
Diseño

Construcción en una pieza. Para montaje entre dos bridas.
 Operación directamente controlado por un motor eléctrico, con unidad de reducción para engrane entre el motor y la válvula de ensamblaje.
 Rango de voltaje 230 V_{ca} 50 Hz ±10% o 24 V_{cc}
 Posición de montaje cualquiera; preferiblemente con motor eléctrico en posición vertical.
 Tipo de protección IP 65 (según DIN 40 050)
 Conexión de cable PG 11
 Equipo estándar dos conmutadores de límite adicionales, indicador de posición óptica, operación manual de emergencia

Detalles técnicos, válvula

Conexiones bridas DN 40 hasta DN 80
 overall length as per DIN 3202KI
 Rango de temp. EPDM: -35°C hasta +120°C
 FKM: -20°C hasta +160°C
 Presión de oper. entre 2 bridas: máx. 16 bar, máx 10bar(cuerpo Alu)
 Dead end service: 6 bar
Materiales
 Cuerpo grafito esferoidal hierro fundido GGG-40, stainless steel 1.4408, aluminum alloy
 Disco 1.4408, acero C22 (solo KLE-TAH)
 Sello de eje NBR
 Eje acero inoxidable 1.4016, 1.4571
 Cojinete bronce
 Manga EPDM, FKM

KLE-TA



Dimensiones

Brida DN	D mm	B mm	L mm	H mm	M mm	K mm	E mm	Tiempo de operaci ⁿ seg/90°	Consumo de potencia VA	Peso kg
40	49	84	33	318	75	100	145	15	15	4.4
50	55	102	43	326	81	100	145	15	15	5.3
65	68	116	46	336	89	124	160	15	15	7.0
80	81	133	46	346	110	124	160	15	15	7.5

Detalles del pedido (ejemplo: KLE-TA 2 E F40 0)

Pedido no.	Cuerpo	Sello	Tam de conexi ⁿ	Voltaje
KLE-TA	7 = aluminio H = GGG-40	E = EPDM F = FKM	F40 = DN 40 F50 = DN 50 F65 = DN 65 F80 = DN 80	0 = 230 V _{ca} 3 = 24 V _{cc}



Capacitive Filling Level Probe - KFS

Series: **PER LEVEL**

3 Limit value switching points

- For connection to the capacitive amplifier KFA-5-3-...
- Housing material: GFK, 16 mm Ø
- Connection head and process connection aluminium die cast
- Process connection 1"
- Probe length max. 2000 mm

Certificate:



Technical data

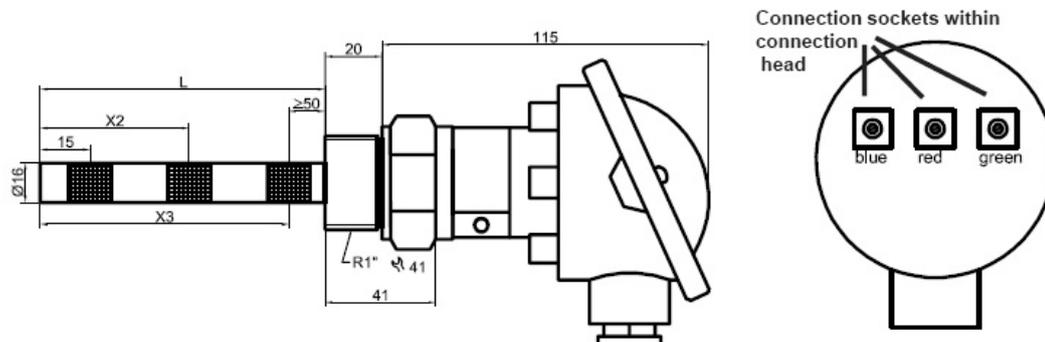
Active Zone [mm]	10... 25, related to probe tip + 2 x type specific X2/X3
Type	KFS-5-3-"L"-15/X2/X3-AL-1"
Connection diagram	see below
Permitted ambient temperature	-25...+100°C
Permitted ambient temperature (for active zone)	-25...+150°C
Degree of protection IEC 529 (Housing)	IP 67
Degree of protection IEC 529 (screwing*cable connection)	IP 54
Connection to the evaluation unit KFA-5-3-...	SMB-Sockets within the connection head
Housing material	AL
Active zone	GFK
Pressure	6 bar

Connection cable (with Y75/Y75 SMB connector) is not delivered with the probe
Order specifications: see page 50

* The degree of protection may be increased by means of special measures at mounting (e. g. injection of silicone mixture).

Other housing materials for the active zone (probe), like PE, PVDF or PEEK on request.

Please determine the position of the second and third switching point "X2/X3" when ordering.



ANEXO 13

FICHAS DE SEGURIDAD

A13.1. Ficha de seguridad de la sacarosa.

Fichas Internacionales de Seguridad Química			
SACAROSA			ICSC: 1507
		$C_{12}H_{22}O_{11}$ Masa molecular: 342,30	
N° ICSC 1507 N° CAS 57-50-1 N° RTECS WN6500000			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar las llamas.	Polvo, espuma resistente al alcohol, pulverización con agua, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.	Evitar el depósito del polvo: sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión del polvo.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION			
• INHALACION	Tos.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
• PIEL	Enrojecimiento. Aspereza.	Guantes protectores.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
• INGESTION			
DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Barrear la sustancia derramada e introducirla en un recipiente ; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión.	Separado de oxidantes fuertes.	NU: No clasificado. CE: No clasificado.	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 1507		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2003	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

SACAROSA

ICSC: 1507

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO: ASPECTO: Sólido blanco, en diversas formas.	VIAS DE EXPOSICION: La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS: Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION: Puede causar irritación mecánica.
	PELIGROS QUIMICOS: Reacciona con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio.	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA: La sustancia puede afectar a los dientes, dando lugar a caries dental. El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
	LIMITES DE EXPOSICION: TLV: 10 mg/m ³ como TWA, A4; (ACGIH 2003). MAK no establecido.	
PROPIEDADES FISICAS	Punto de fusión (se descompone): 186°C Densidad: 1.6 g/cm ³	Solubilidad en agua, g/100 ml a 25°C: 200 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -3.67
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
INFORMACION ADICIONAL		
Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm		Última revisión IPCS: 2003 Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003
ICSC: 1507	© CE, IPCS, 2003	SACAROSA
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	

A13.2. Ficha de seguridad de la glucosa.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

GLUCOSA ICSC: 0865

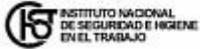





GLUCOSA
Dextrosa
Azúcar de uva
 $C_6H_{12}O_6$
Masa molecular: 180.16



MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ASUNTOS SOCIALES
ESPAÑA



N° CAS 50-99-7
N° RTECS LZ6600000
N° ICSC 0865

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.		Pelvos, pulverización con agua, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION			
EXPOSICION			
• INHALACION	Tos.	Ventilación.	Aire limpio, reposo.
• PIEL			
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION			Enjuagar la boca.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, eliminar el residuo con agua abundante.		Mantener en lugar seco.	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0865		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

GLUCOSA

ICSC: 0865

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Polvo blanco, con sabor dulce.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia puede irritar los ojos.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido. MAK no establecido.	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA
PROPIEDADES FISICAS	Punto de fusión: 146°C Densidad relativa (agua = 1): 1.56	Solubilidad en agua: Soluble
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Dextrosol, Glucolin son nombres comerciales.		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 1-118 GLUCOSA		
ICSC: 0865	© CCE, IPCS, 1994	GLUCOSA
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).	

A13.3. Ficha de seguridad del butanol.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

BUTAN-1-OL ICSC: 0111








MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA



BUTAN-1-OL
 Alcohol n-butílico
 Alcohol butírico
 $C_4H_{10}O$ / $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$
 Masa molecular: 74.1

Nº CAS 71-36-3
 Nº RTECS EO1400000
 Nº ICSC 0111
 Nº NU 1120
 Nº CE 603-004-00-6



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Infamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Espuma, espuma resistente al alcohol, polvo, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Por encima de 29°C: pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 29°C: sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO!	
• INHALACION	Tos, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Piel seca, aspereza	Gautes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Visión borrosa, sensación de quemazón. Lacrimación y fotofobia, posible daño corneal.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Dolor abdominal, somnolencia, vómitos (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. Eliminar el residuo con agua abundante. (Protección personal adicional: filtro respiratorio para vapores orgánicos).	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, aluminio.	símbolo Xn R: 10-22-37/38-41-67 S: (2-)7/9-13-26-37/39-46 Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: III	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0111	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994		



Fichas Internacionales de Seguridad Química

BUTAN-1-OL

ICSC: 0111

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS Reacciona con el aluminio formando gas inflamable de hidrógeno (ver FISQ. 4-130). Reacciona con oxidantes fuertes, tal como el trióxido de cromo, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al plástico y al caucho.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como valor techo): 50 ppm; 152 mg/m³ (piel) (ACGIH 1995-1996). MAK: 100 ppm; 300 mg/m³ (1996).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION El vapor de esta sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. La exposición a altas concentraciones podría causar disminución de la consciencia.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La exposición puede aumentar la pérdida de capacidad auditiva debida al ruido.</p>
	<p>PROPIEDADES FISICAS</p> <p>Punto de ebullición: 117°C Punto de fusión: -90°C Densidad relativa (agua = 1): 0.8 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 7.7 Presión de vapor, kPa a 20°C: 0.6 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.6</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.01 Punto de inflamación: 29°C (c.c.) Temperatura de autoignición: 345°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.4-11.3 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.9</p>
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-583 Código NFPA: H 1; F 3; R 0.</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
<p>FISQ. 4-041 BUTAN-1-OL</p>		
<p>ICSC: 0111</p>		<p>BUTAN-1-OL</p>
<p>© CCE, IPCS, 1994</p>		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	<p>Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).</p>	

A13.4. Ficha de seguridad de la acetona.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACETONA ICSC: 0087

MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA

ACETONA
 Propanona
 Propan-2-ona
 Dimetil cetona
C3H6O/CH3-CO-CH3
 Masa molecular: 58,1

Nº CAS 67-64-1
 Nº RTECS AL3150000
 Nº ICSC 0087
 Nº NU 1090
 Nº CE 606-001-00-8

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION			
• INHALACION	Salivación, confusión mental, tos, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, dolor de garganta, pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Piel seca, enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas y aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa. Posible daño en la córnea.	Gafas de protección de seguridad o pantalla facial. No llevar lentes de contacto.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto, si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Náuseas, vómitos (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo al alcantarillado. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.	símbolo F símbolo Xi R: 11-36-66-67 S: (2)-9-16-26 Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II CE:
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0087		<small>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el ICPS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, ICPS, 1994.</small>	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACETONA

ICSC: 0087

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación y a través de la piel.
	PELIGROS FISICOS El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.	RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C, se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire alcanzándose mucho antes, si se dispersa.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia puede formar peróxidos explosivos en contacto con oxidantes fuertes tales como ácido acético, ácido nítrico y peróxido de hidrógeno. Reacciona con cloroformo y bromoformo en condiciones básicas, originando peligro de incendio y explosión. Ataca a los plásticos.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION El vapor de la sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, el hígado, el riñón y el tracto gastrointestinal.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 750 ppm; 1780 mg/m ³ (ACGIH 1993-1994).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar a la sangre y a la médula ósea.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 56°C Punto de fusión: -95°C Densidad relativa (agua = 1): 0.8 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 24 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.0	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.2 Punto de inflamación: -18°C c. c. Temperatura de autoignición: 465°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.2-13 Coeficiente de reparto octanol/agua como log P _{ow} : -0.24
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Antes de la destilación comprobar si existen peróxidos; en caso positivo, eliminarlos. Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30 Código NFPA: H 1; F 3; R 0; .		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 3-004 ACETONA		
ICSC: 0087		ACETONA
© CCE, IPCS, 1984		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).	

A13.5. Ficha de seguridad del ácido acético.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO ACETICO ICSC: 0363






ACIDO ACETICO
Acido etanoico
CH3COOH/C2H4O2
Masa molecular: 60.1




Nº CAS 64-19-7
Nº RTECS AF1340000
Nº ICSC 0363
Nº NU 2789
Nº CE 607-002-00-6(>90%)

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.	Pulverización con agua, espuma resistente al alcohol, dióxido de carbono. Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración.
EXPLOSION	Por encima de 39°C: pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 39°C: sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Dolor de garganta, tos, jadeo, dificultad respiratoria. (síntomas de efectos no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semincorporado y someter a atención médica.
• PIEL	Enrojecimiento, dolor, graves quemaduras cutáneas.	Guantes protectores, traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.
• OJOS	Dolor, enrojecimiento, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION	Dolor de garganta, sensación de quemazón del tracto digestivo, dolor abdominal, vómitos, diarrea.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito y someter a atención médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Recoger el líquido procedente de una fuga en recipientes herméticos, neutralizar con precaución el líquido derramado con carbonato sódico, sólo bajo la responsabilidad de un experto o eliminar el residuo con agua abundante (protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Separado de oxidantes, bases. Mantener en lugar frío, mantener en una habitación bien ventilada. Separado de alimentos y piensos.	NO transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 10-35 S: 2-23-26 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II EC:	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0363		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el ICPS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, ICPS, 1994	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO ACETICO

ICSC: 0363

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, con olor acre.	VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION En la evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia es moderadamente ácida. Reacciona violentamente con oxidantes tales como trióxido de cromo y permanganato potásico. Reacciona violentamente con bases fuertes. Ataca muchos metales formando gas combustible (Hidrógeno).	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar (véanse Notas). Corrosivo por ingestión.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV: 10 ppm; 25 mg/m ³ (como TWA); 15 ppm; 37 mg/m ³ (como STEL) (ACGIH 1990-1991)	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 118°C Punto de fusión: 16°C Densidad relativa (agua = 1): 1.05 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 1.6	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.07 Punto de inflamación: 39°C Temperatura de autoignición: 427°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 4.0-17 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.31 - 0.17
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un spray adecuado por un médico o persona por él autorizada. Tarjeta de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-614		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 1-011 ACIDO ACETICO		
ICSC: 0363		ACIDO ACETICO
© CCE, IPCS, 1994		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).	

A13.6. Ficha de seguridad del ácido butírico.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ICSC: 1334






Ácido n-butanoico
 Ácido etilacético
 Ácido 1-propanocarboxílico
 Ácido butánico
 $C_4H_8O_2 / CH_3CH_2CH_2COOH$
 Masa molecular: 88.1

Nº CAS 107-92-6
 Nº RTECS ES5425000
 Nº ICSC 1334
 Nº NU 2820
 Nº CE 607-135-00-X



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes	Evitar las llamas.	Pólv. espuma resistente al alcohol, agua pulverizada, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Por encima de 72°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 72°C, sistema cerrado, ventilación.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Sensación de quemazón. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Dolor de garganta. Síntomas no inmediatos (véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Dolor. Ampollas.	Guantes protectores. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento. Dolor. Pérdida de visión. 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), después proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar cuidadosamente el residuo con cal sodada. Eliminarlo a continuación con agua abundante. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de oxidantes fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos.	NU (transporte): Ver pictograma en cabecera No transportar con alimentos y piensos. Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: III CE: símbolo C R: 34 S: 1/2-26-36-45	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 1334	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2003		



Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO BUTIRICO

ICSC: 1334

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido aceitoso incoloro, de olor característico.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia es moderadamente ácida. Reacciona con bases y oxidantes fuertes. Ataca muchos metales.	RIESGO DE INHALACION No puede indicarse la velocidad a la que se alcanza una concentración nociva en el aire por evaporación de esta sustancia a 20°C.
	LIMITE DE EXPOSICION TLV no establecida. MAK no establecido.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosivo para los ojos , la piel y el tracto respiratorio.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 164°C Punto de fusión: -7.9°C Densidad relativa (agua = 1): 0.96 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, Pa a 20°C: 57	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3 Punto de inflamación: 72°C c.c. Temperatura de autoignición: 452°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2-10 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.79
DATOS AMBIENTALES	La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.	
NOTAS		
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80G20C Código NFPA: H 3; F 2; R 0;		
INFORMACION ADICIONAL		
Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm		Última revisión IPCS: 1998 Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003 FISQ: 6-009
ICSC: 1334		ACIDO BUTIRICO
© CE, IPCS, 2003		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	

ANEXO 14

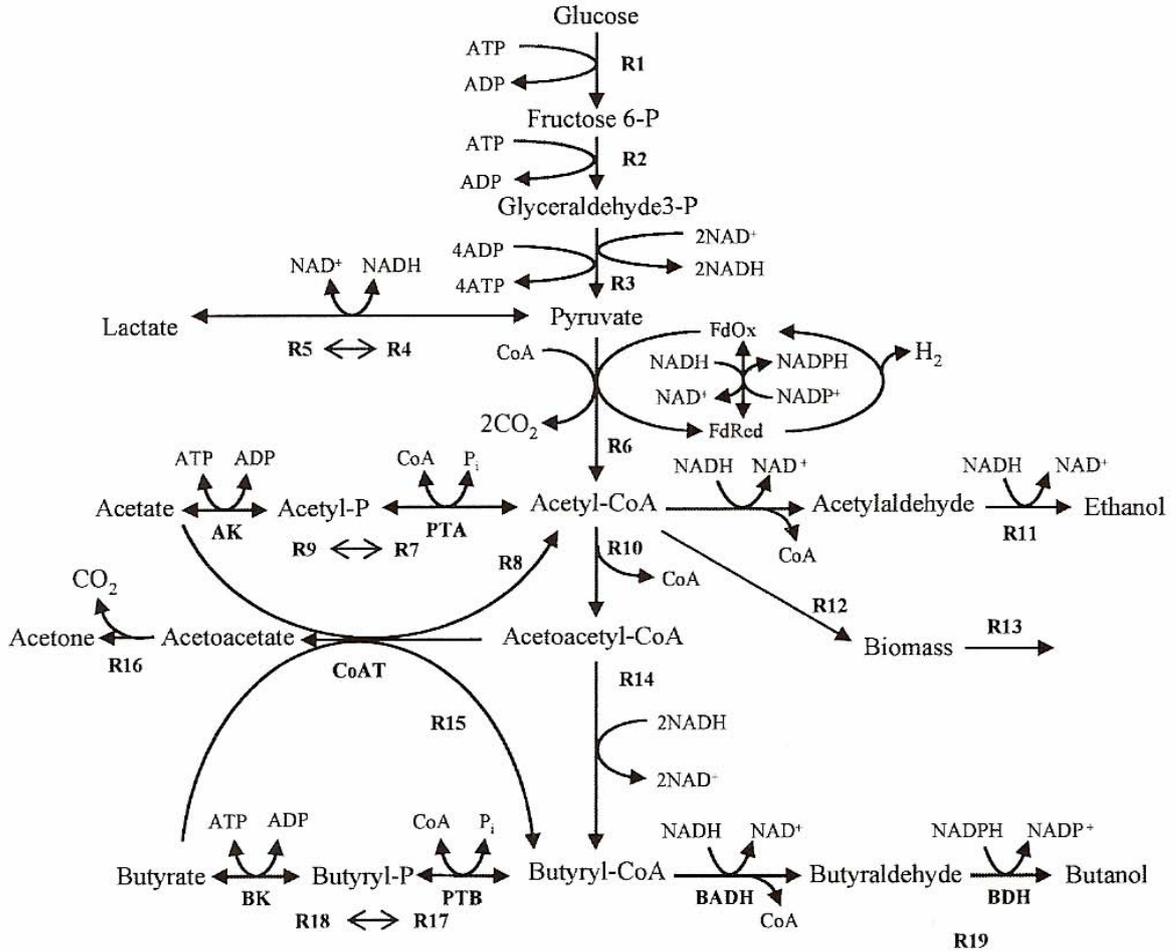
MODELO CINÉTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE ACETONA-BUTANOL-ETANOL

En este anexo se expone el mecanismo de reacción que tiene lugar para la fermentación ABE, así como las expresiones de velocidad correspondientes a cada reacción. Para ello, se ha realizado previamente una lista con la nomenclatura utilizada para saber en todo momento a que compuesto nos referimos en las expresiones de velocidad.

NOMENCLATURA UTILIZADA EN LA EXPRESIONES DE VELOCIDAD	
Nomenclatura	Descripción
[AACoA]	Concentración de acetoacetil-CoA (mM)
[Acetate]	Concentración de acetato (mM)
[Acetoacetate]	Concentración de acetoacetato (mM)
[Acetone]	Concentración de acetona (mM)
[ACoA]	Concentración de Acetil-CoA (mM)
[BCoA]	Concentración de butiril-CoA (mM)
[Biomass]	Concentración de biomasa (mM)
[Butanol]	Concentración de butanol (mM)
[Butyrate]	Concentración de butirato (mM)
[CO ₂]	Concentración de dióxido de carbono (mM)
[Ethanol]	Concentración de etanol (mM)
F	Factor de activación y desactivación del mecanismo
[F6P]	Concentración de fructosa 6-fosfato (mM)
[Glucose]	Concentración de glucosa (mM)
[G3P]	Concentración de gluciraldehido 3-fosfato (mM)
[Lactate]	Concentración de lactato (mM)
[Pyruvate]	Concentración de piruvato (mM)
k_j	Constante de velocidad de reacción (h^{-1}) donde j es el numero correspondiente a la reacción
K_{aj}	Constante de activación por activador (mM) donde j es el número correspondiente a la reacción
K_{ijj}	Constante de inhibición por inhibidor (mM) donde j es el número correspondiente a la reacción
K_{isj}	Constante de inhibición por sustrato (mM) donde j es el

	número correspondiente a la reacción
K_{mj}	Concentración de metabolito donde la velocidad es igual a la mitad de V_{max} (mM) donde j es el número correspondiente a la reacción
r_j	Ecuación de velocidad del metabolito de reacción donde j es el número correspondiente a la reacción
R_j	Metabolito de reacción donde j es el número correspondiente a la reacción
V_{maxj}	Velocidad máxima de reacción (h^{-1}) donde j es el número correspondiente a la reacción

A continuación se muestra el mecanismo de reacción de la fermentación acetobutílica llevado a cabo por *Clostridium acetobutylicum*. En el presente Proyecto Fin de Carrera no se utiliza este microorganismo sino que se utiliza *Clostridium saccharoperbutylacetonicum*, que tiene exactamente el mismo mecanismo de reacción exceptuando la reacción 11 de producción de etanol, la cual no se produce cuando se emplea dicho microorganismo.



Metabolic pathways in *C. acetobutylicum* ATCC824. Enzymes are indicated in bold and abbreviated as follows: PTA, phosphotransacetylase; AK, acetate kinase; CoAT, CoA transferase; PTB, phosphotransbutyrylase; BK, butyrate kinase; BADH, butyraldehyde dehydrogenase; BDH, butanol dehydrogenase.

Figura 6.4. Representación del esquema de la ruta de reacción de la fermentación acetobutílica llevada a cabo por el microorganismo *Clostridium acetobutylicum*.

Fuente: Kinetic modeling and sensitivity analysis of acetone-butanol-ethanol production. *Journal of Biotechnology*, (2007), 131: 45-56.

Las ecuaciones de velocidad de reacción de cada metabolito del esquema de reacción representado en la figura 6.4 pueden ser representadas como sigue:

$$r_1 = \frac{V_{\max 1} [Glucose] [Biomass]}{K_{m1} + [Glucose]} \times F \quad (1)$$

$$r_2 = \frac{V_{\max 2} [F6P][Biomass]}{K_{m2} + [F6P]} \times F \quad (2)$$

$$r_3 = \frac{V_{\max 3} [G3P][Biomass]}{K_{m3} + [G3P]} \times F \quad (3)$$

$$r_4 = \frac{V_{\max 4} [Lactate][Biomass]}{K_{m4} + [Lactate]} \times F \quad (4)$$

$$r_5 = \frac{V_{\max 5} [Pyruvate][Biomass]}{K_{m5} + [Pyruvate]} \times F \quad (5)$$

$$r_6 = \frac{V_{\max 6} [Pyruvate][Biomass]}{K_{m6} + [Pyruvate]} \times F \quad (6)$$

$$r_7 = \frac{V_{\max 7} [Acetate][Biomass]}{K_{m7} + [Acetate]} \times F \quad (7)$$

$$r_8 = V_{\max 8} \left(\frac{1}{1 + (K_{m8A}/[Acetate])} \right) \times \left(\frac{1}{1 + (K_{m8B}/[AACO A])} \right) [Biomass] \quad (8)$$

$$r_9 = \frac{V_{\max 9} [ACO A][Biomass]}{K_{m9} + [ACO A]} \times F \quad (9)$$

$$r_{10} = \frac{V_{\max 10} [ACO A][Biomass]}{K_{m10} + [ACO A]} \times F \quad (10)$$

$$r_{11} = \frac{V_{\max 11} [ACO A][Biomass]}{K_{m11} + [ACO A]} \times F \quad (11)$$

$$r_{12} = \frac{V_{\max 12} [ACoA][Biomass]}{K_{m12} (1 + [Butanol]/K_{ii2}) + [ACoA] (1 + [Butanol]/K_{ii2})} \quad (12)$$

$$r_{13} = k_{13} [Biomass] \quad (13)$$

$$r_{14} = \frac{V_{\max 14} [AACoA][Biomass]}{K_{m14} + [AACoA]} \times F \quad (14)$$

$$r_{15} = V_{\max 15} \left(\frac{1}{1 + (K_{m15A}/[Butyrate])} \right) \times \left(\frac{1}{1 + (K_{m15B}/[AACoA])} \right) [Biomass] \quad (15)$$

$$r_{16} = \frac{V_{\max 16} [Acetoacetate][Biomass]}{K_{m16} + [Acetoacetate]} \times F \quad (16)$$

$$r_{17} = \frac{V_{\max 17} [Butyrate][Biomass]}{K_{m17} + [Butyrate]} \times F \quad (17)$$

$$r_{18} = \frac{V_{\max 18} [BCoA][Biomass]}{K_{m18} + [BCoA]} \times F \quad (18)$$

$$r_{19} = \frac{V_{\max 19} [BCoA][Biomass]}{K_{m19} + [BCoA]} \times F \quad (19)$$

El balance de reacción de los metabolitos puede ser representado como sigue:

$$\frac{d[Glucose]}{dt} = -r_1 \quad (20)$$

$$\frac{d[F6P]}{dt} = r_1 - r_2 \quad (21)$$

$$\frac{d[G3P]}{dt} = r_2 - r_3 \quad (22)$$

$$\frac{d[Pyruvate]}{dt} = r_3 + r_4 - r_5 - r_6 \quad (23)$$

$$\frac{d[Lactate]}{dt} = r_5 - r_4 \quad (24)$$

$$\frac{d[ACoA]}{dt} = r_6 + r_7 + r_8 - r_9 - r_{10} - r_{11} - r_{12} \quad (25)$$

$$\frac{d[Biomass]}{dt} = r_{12} - r_{13} \quad (26)$$

$$\frac{d[Acetate]}{dt} = r_9 - r_7 - r_8 \quad (27)$$

$$\frac{d[Ethanol]}{dt} = r_{11} \quad (28)$$

$$\frac{d[AACoA]}{dt} = r_{10} - r_8 - r_{14} - r_{15} \quad (29)$$

$$\frac{d[Acetoacetate]}{dt} = r_8 + r_{15} - r_{16} \quad (30)$$

$$\frac{d[BCoA]}{dt} = r_{14} + r_{15} + r_{17} - r_{18} - r_{19} \quad (31)$$

$$\frac{d[Butyrate]}{dt} = r_{18} - r_{15} - r_{17} \quad (32)$$

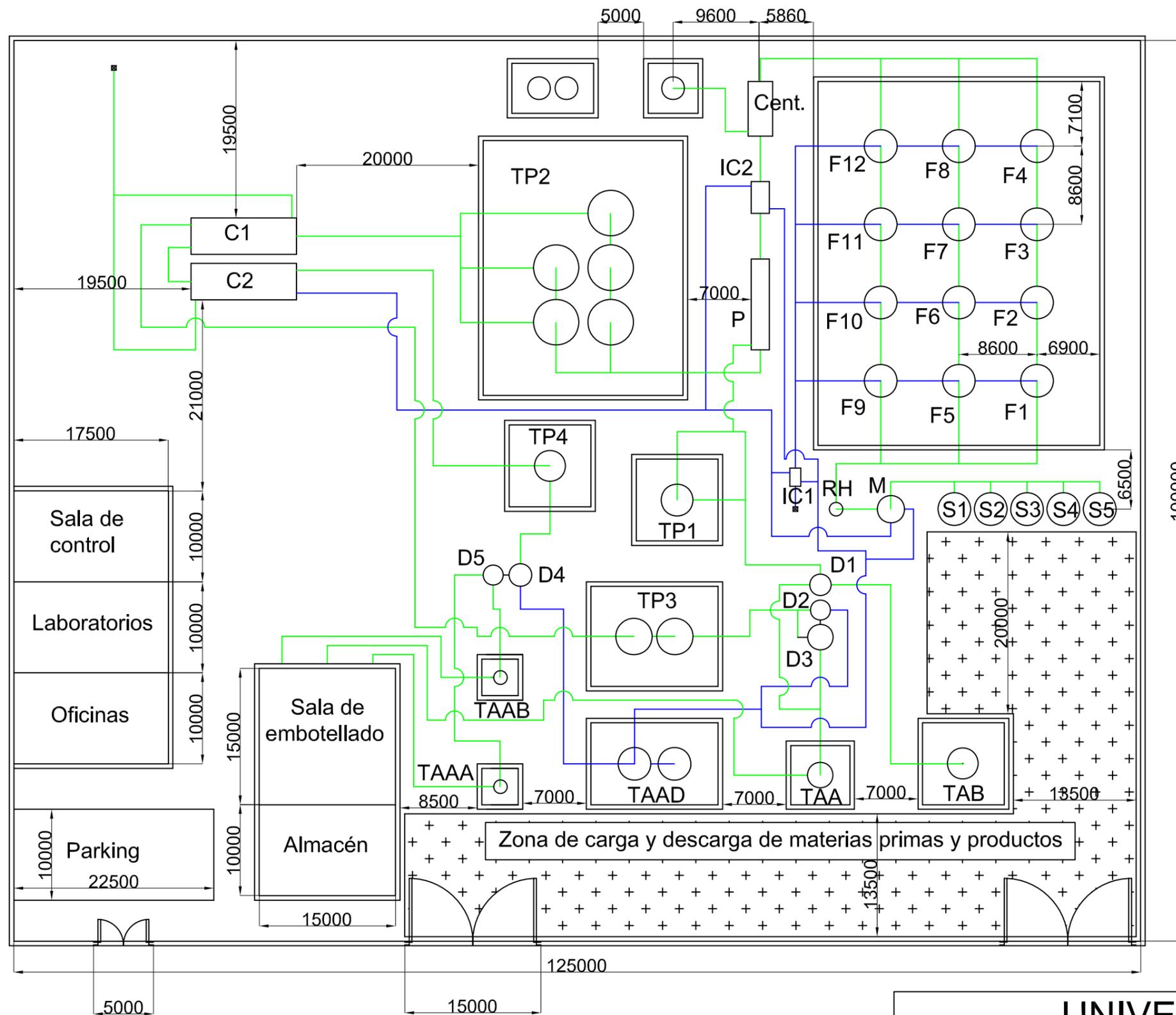
$$\frac{d[Acetone]}{dt} = r_{16} \quad (33)$$

$$\frac{d[CO_2]}{dt} = r_6 + r_{16} \quad (34)$$

$$\frac{d[Butanol]}{dt} = r_{19} \quad (35)$$

DOCUMENTO N° 3:

PLANOS

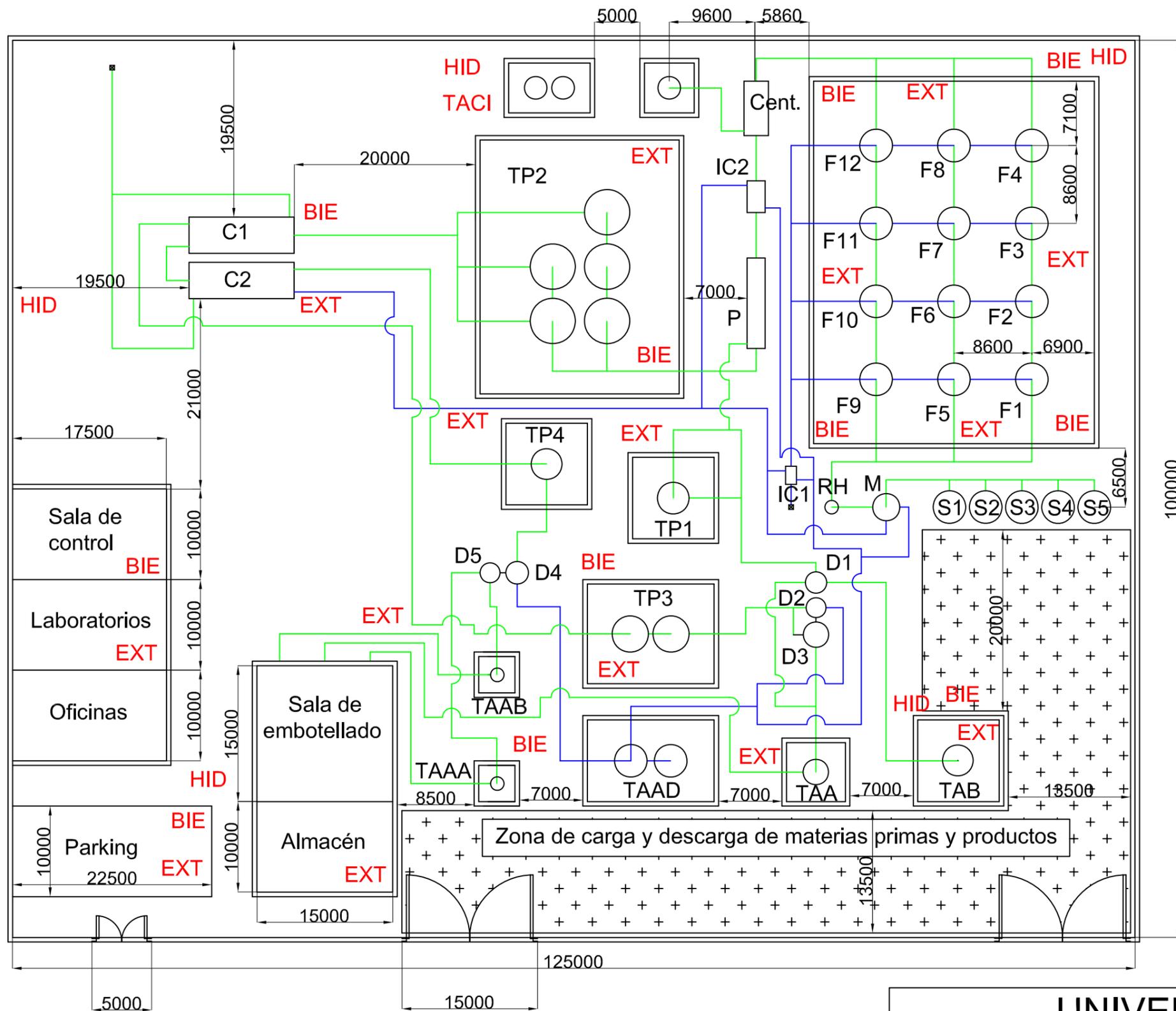


S1-5	Silos de almacenamiento
M	Mezclador
RH	Reactor de hidrólisis
F1-12	Fermentadores
IC1-2	Intercambiadores de calor
P	Pervaporación
Cent.	Centrífuga
C1-2	Calderas
D1-5	Destilación
TP1-4	Tanques pulmón
TAB	T. almacenamiento butanol
TAA	T. almacenamiento acetona
TAAA	T. almacenamiento ac. acético
TAAB	T. almacenamiento ac. butírico
TAAD	T. almacenamiento agua dest.
Corrientes de proceso	
Corriente de agua o vapor	

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº:	UCA-00-0001	Vista general de la planta	
Escala:	1:500	Fecha:	Junio - 2008
Ingeniero:	Francisco José Vela Aragón		
			Firma:

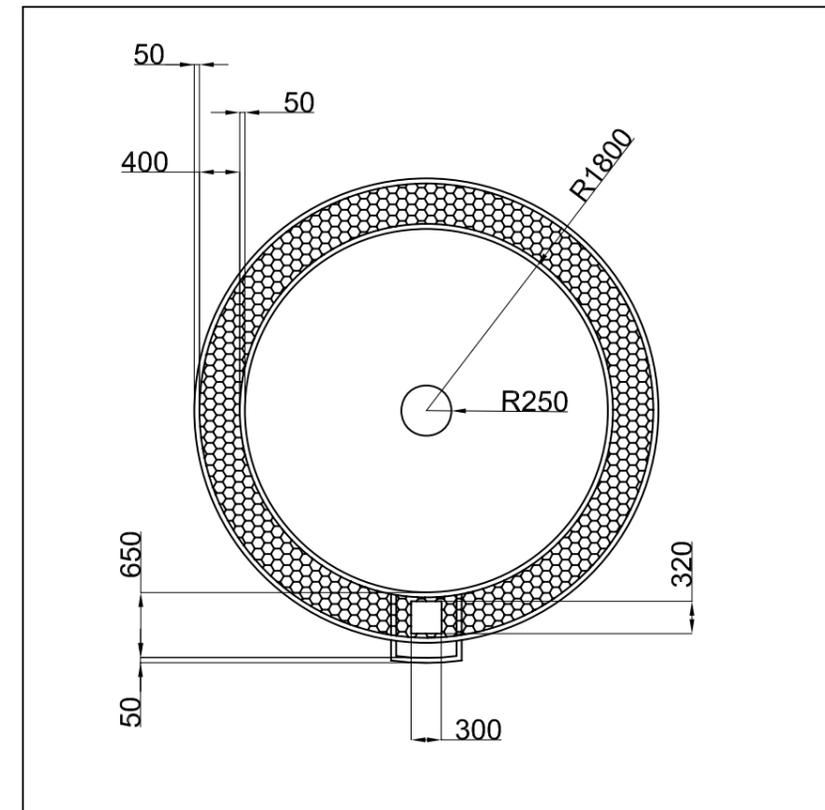
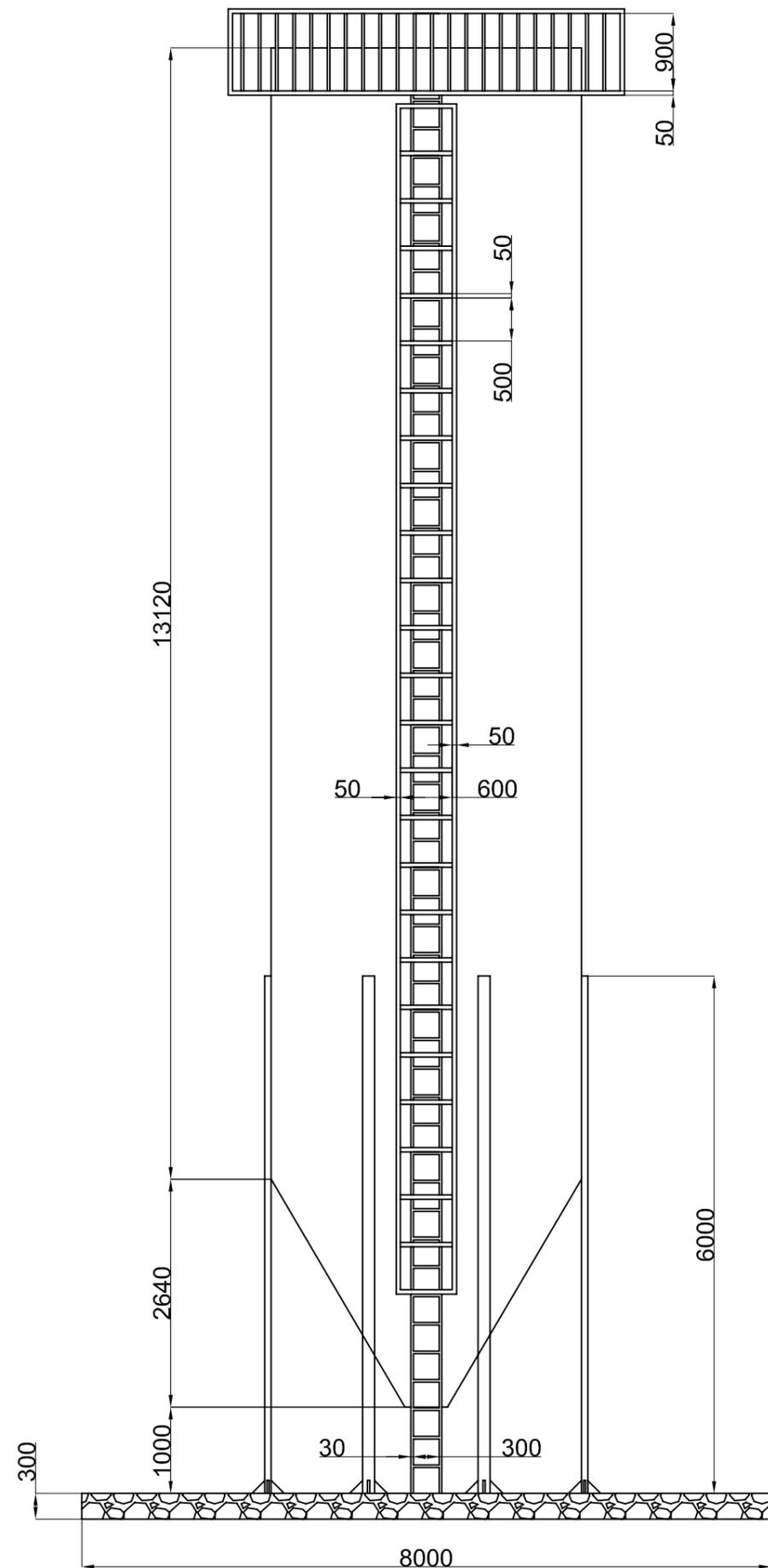


S1-5	Silos de almacenamiento
M	Mezclador
RH	Reactor de hidrólisis
F1-12	Fermentadores
IC1-2	Intercambiadores de calor
P	Pervaporación
Cent.	Centrífuga
C1-2	Calderas
D1-5	Destilación
TP1-4	Tanques pulmón
TA	Tanques de almacenamiento
— (green)	Corrientes de proceso
— (blue)	Corriente de agua o vapor
TACI	Tanque agua contra incendio
EXT	Extintores
BIE	Boca de incendio equipada
HID	Hidrantes

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº: UCA-00-0002	Vista general de la planta. Sistema contra incendios	
Escala: 1:500	Fecha: Junio - 2008	Firma:
Ingeniero: Francisco José Vela Aragón		



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

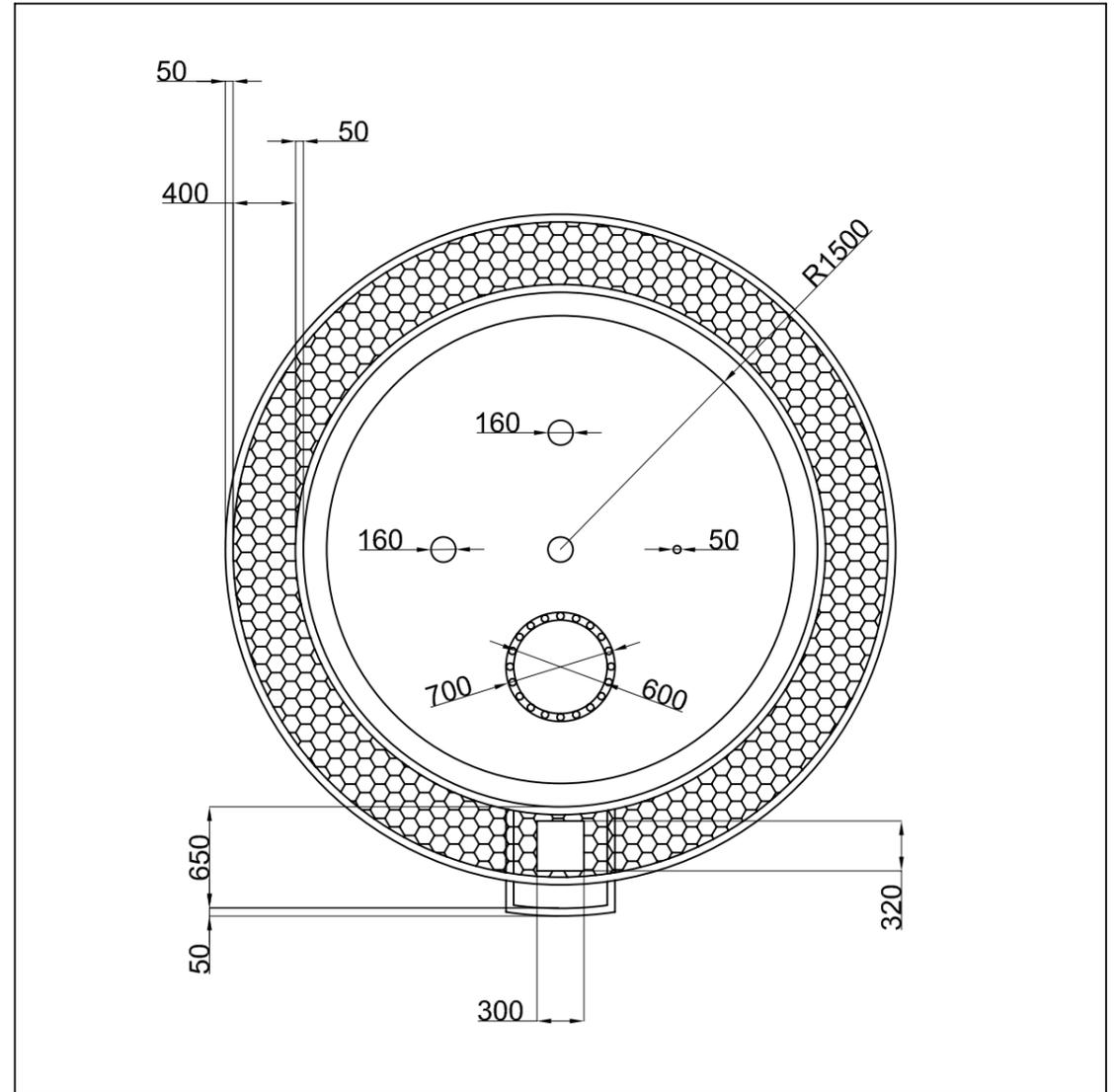
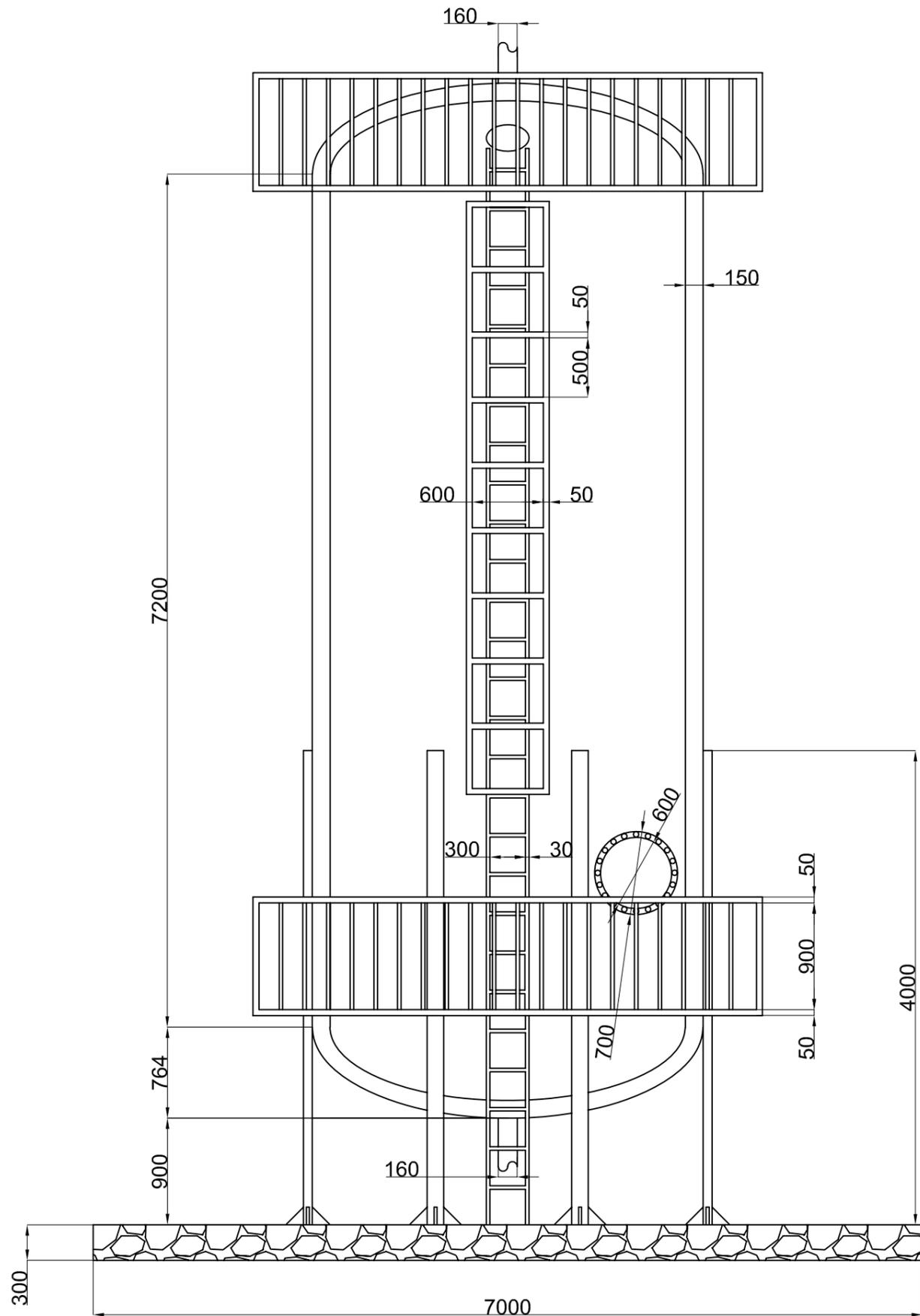
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº: UCA-01-0001 Silo de almacenamiento de azúcar bruta

Escala: 1:70 Fecha: Junio - 2008

Firma:

Ingeniero: Francisco José Vela Aragón



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº: UCA-03-0001

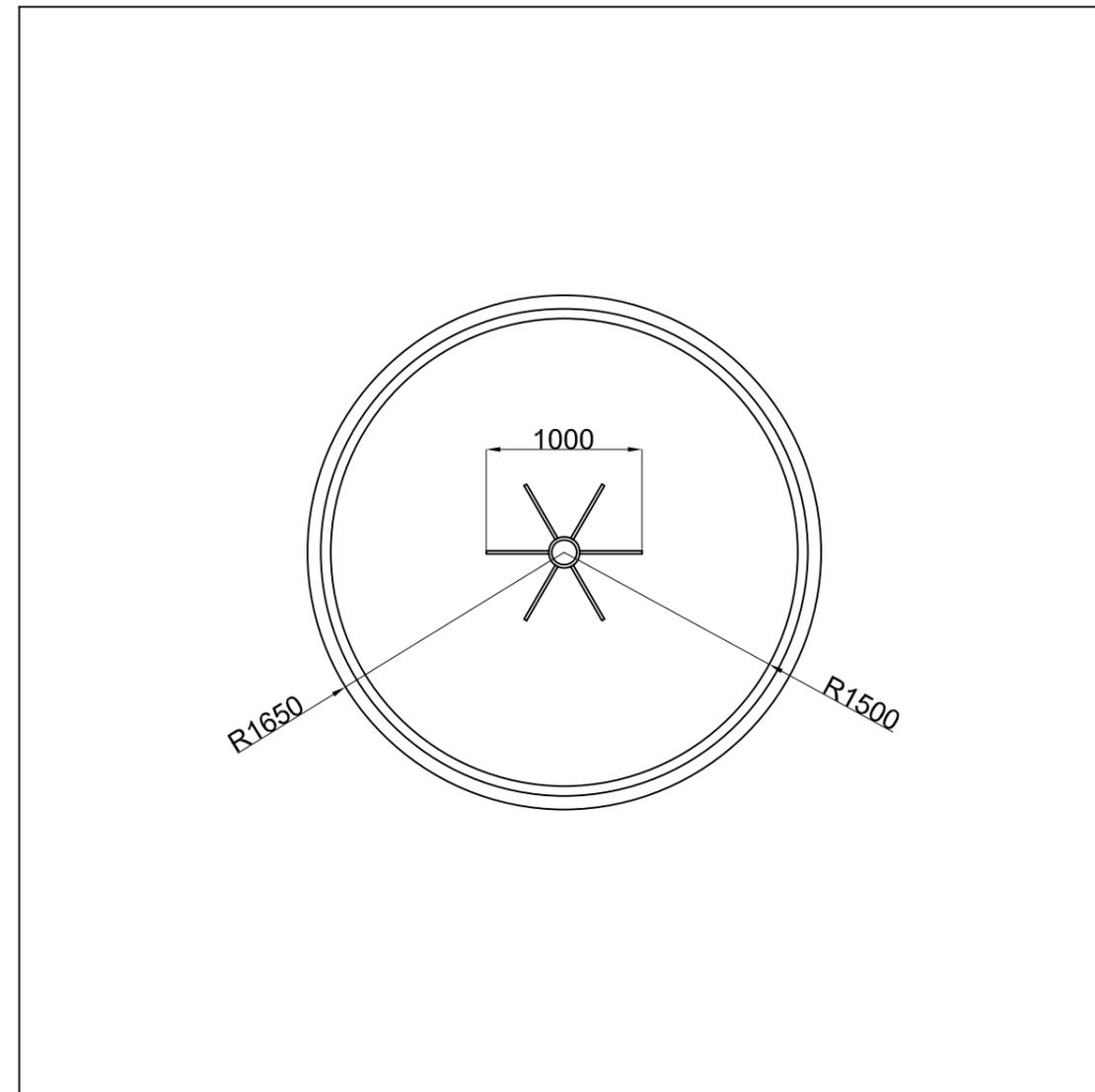
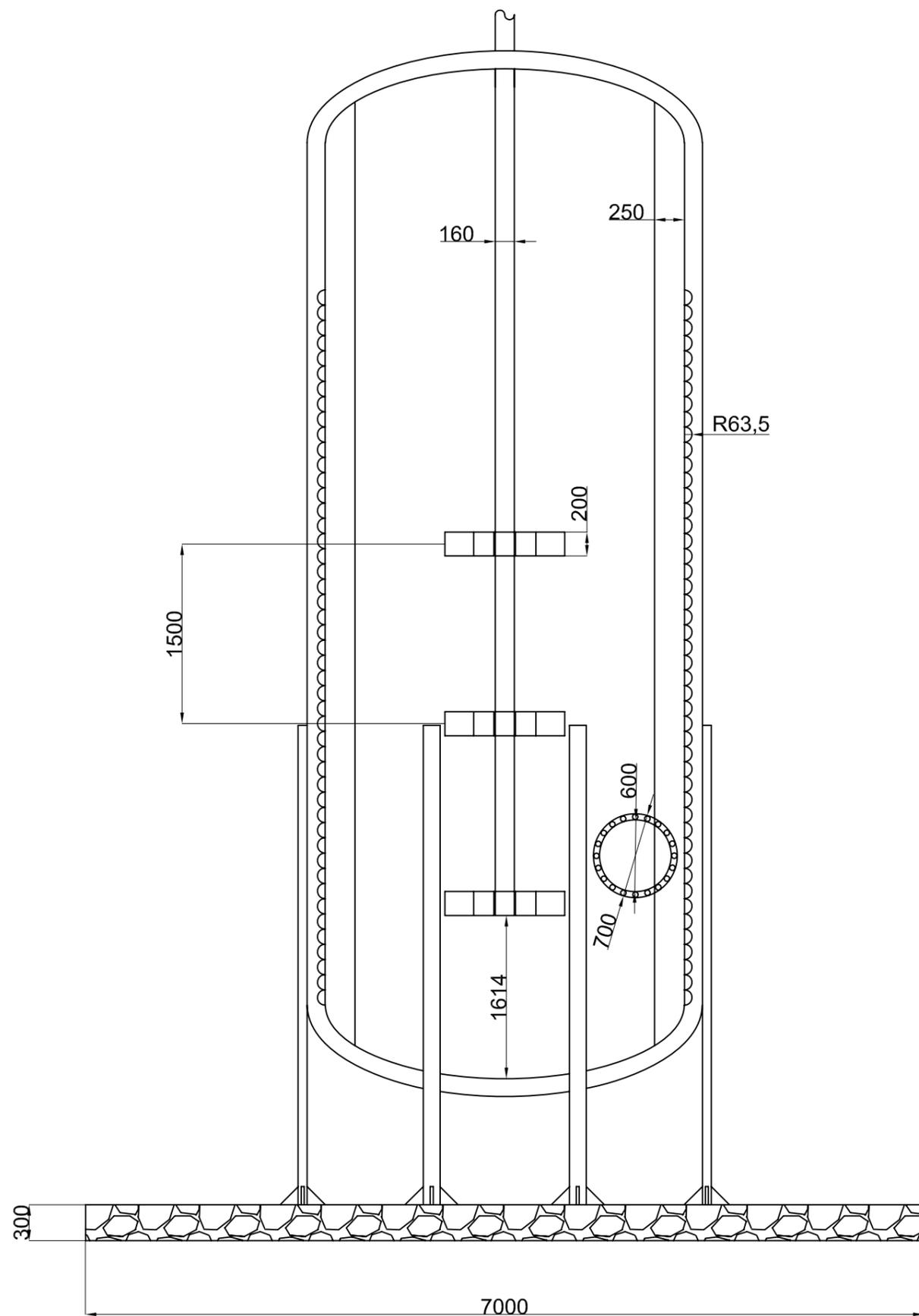
Mezclador

Escala: 1:45

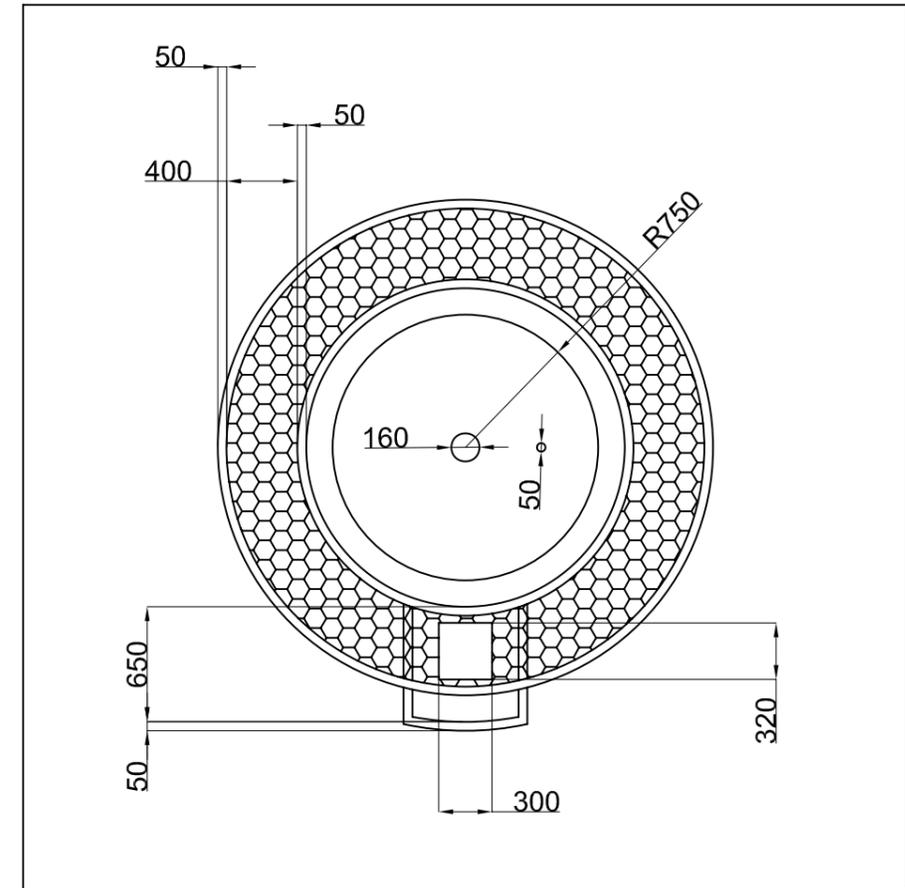
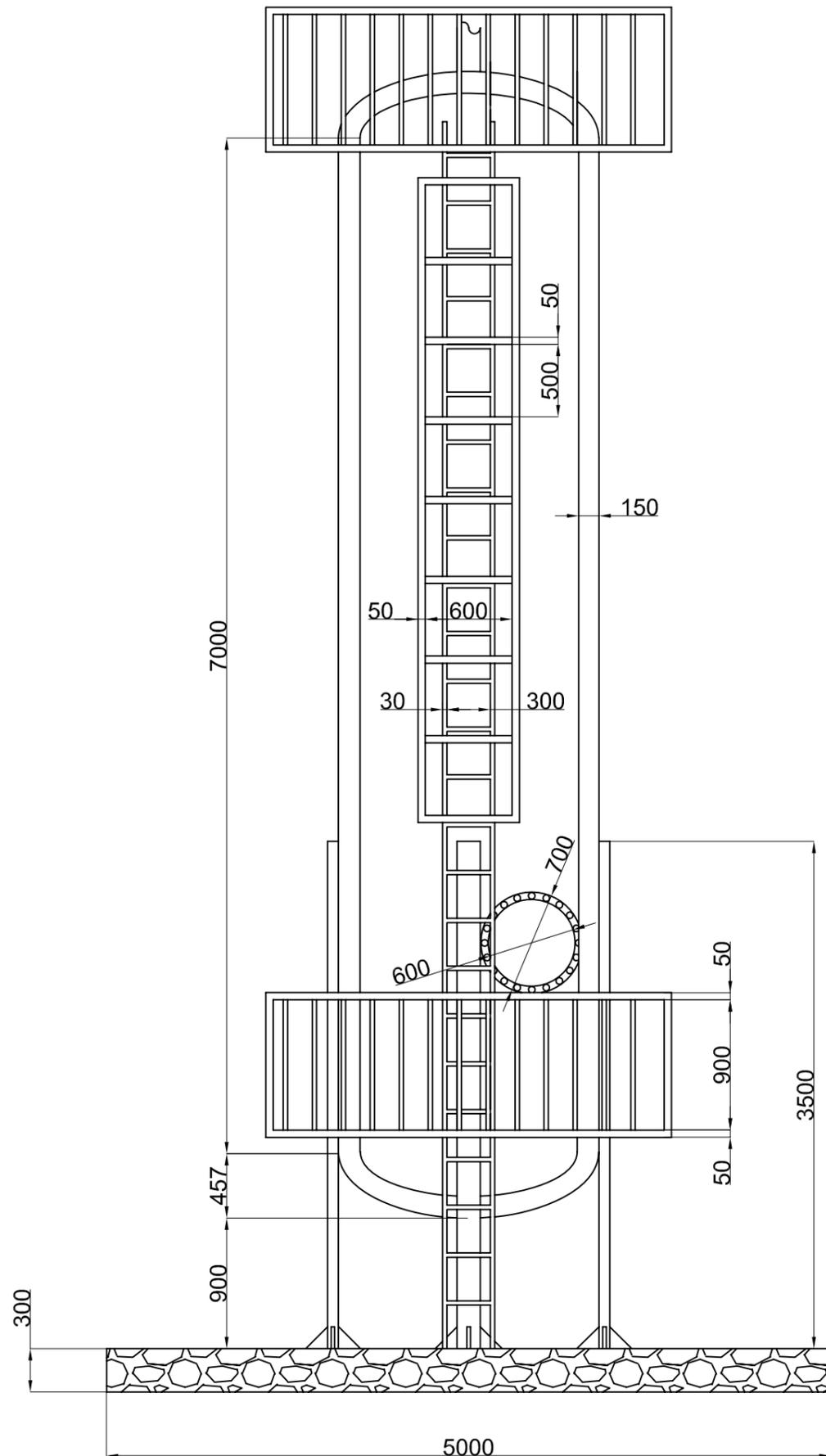
Fecha: Junio - 2008

Firma:

Ingeniero: Francisco José Vela Aragón



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta		
Plano nº: UCA-03-0002	Sistema de agitación y calefacción del mezclador	
Escala: 1:45	Fecha: Junio - 2008	Firma:
Ingeniero:	Francisco José Vela Aragón	



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº: UCA-06-0001

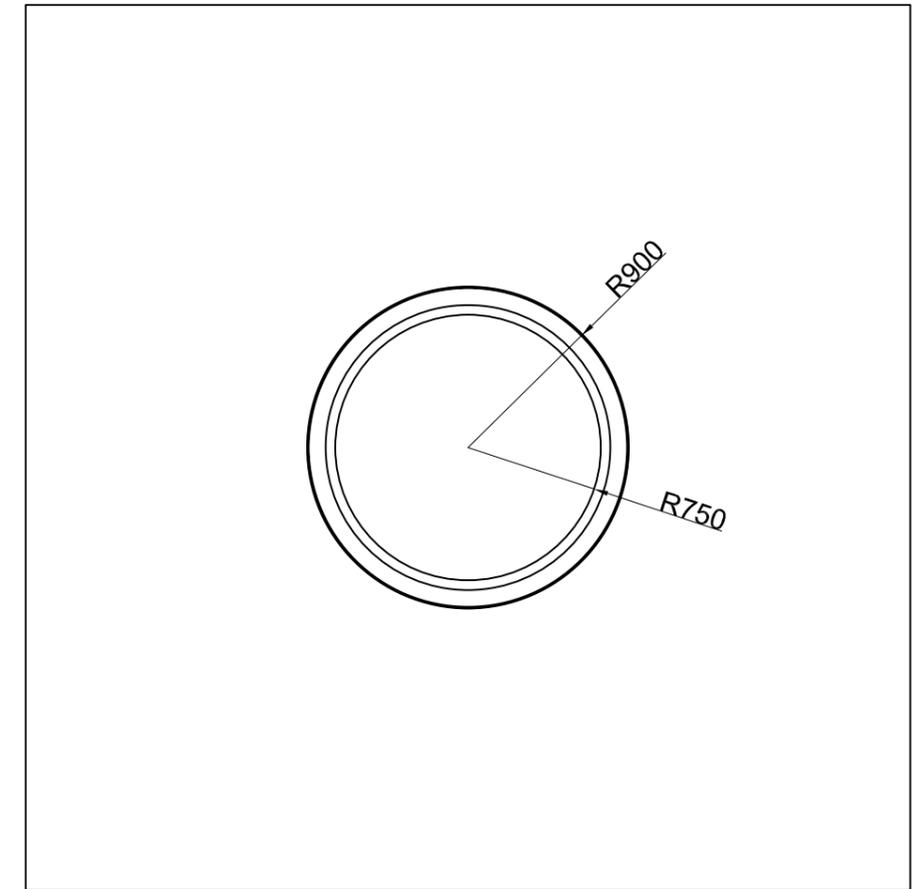
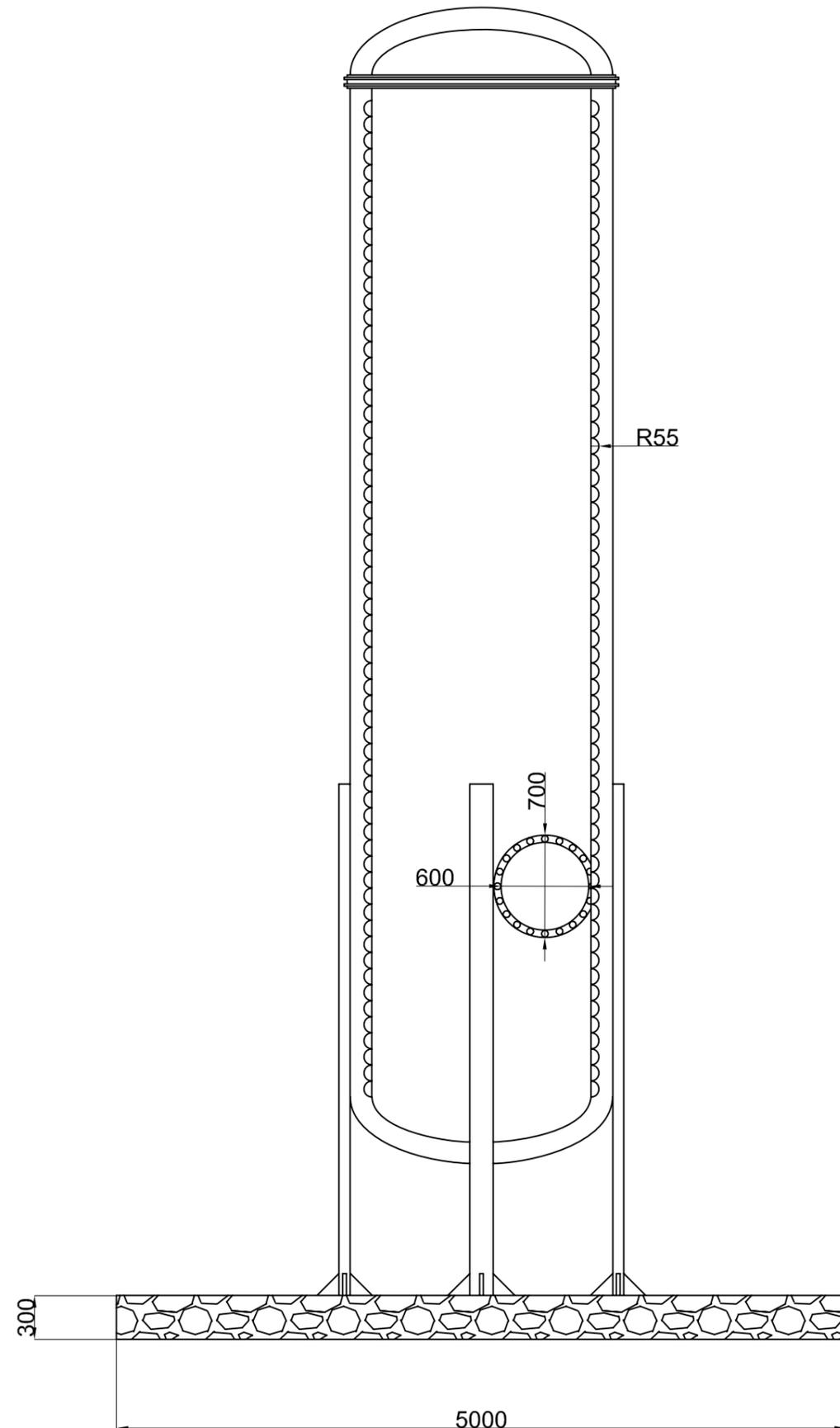
Reactor de hidrólisis

Escala: 1:40

Fecha: Junio - 2008

Firma:

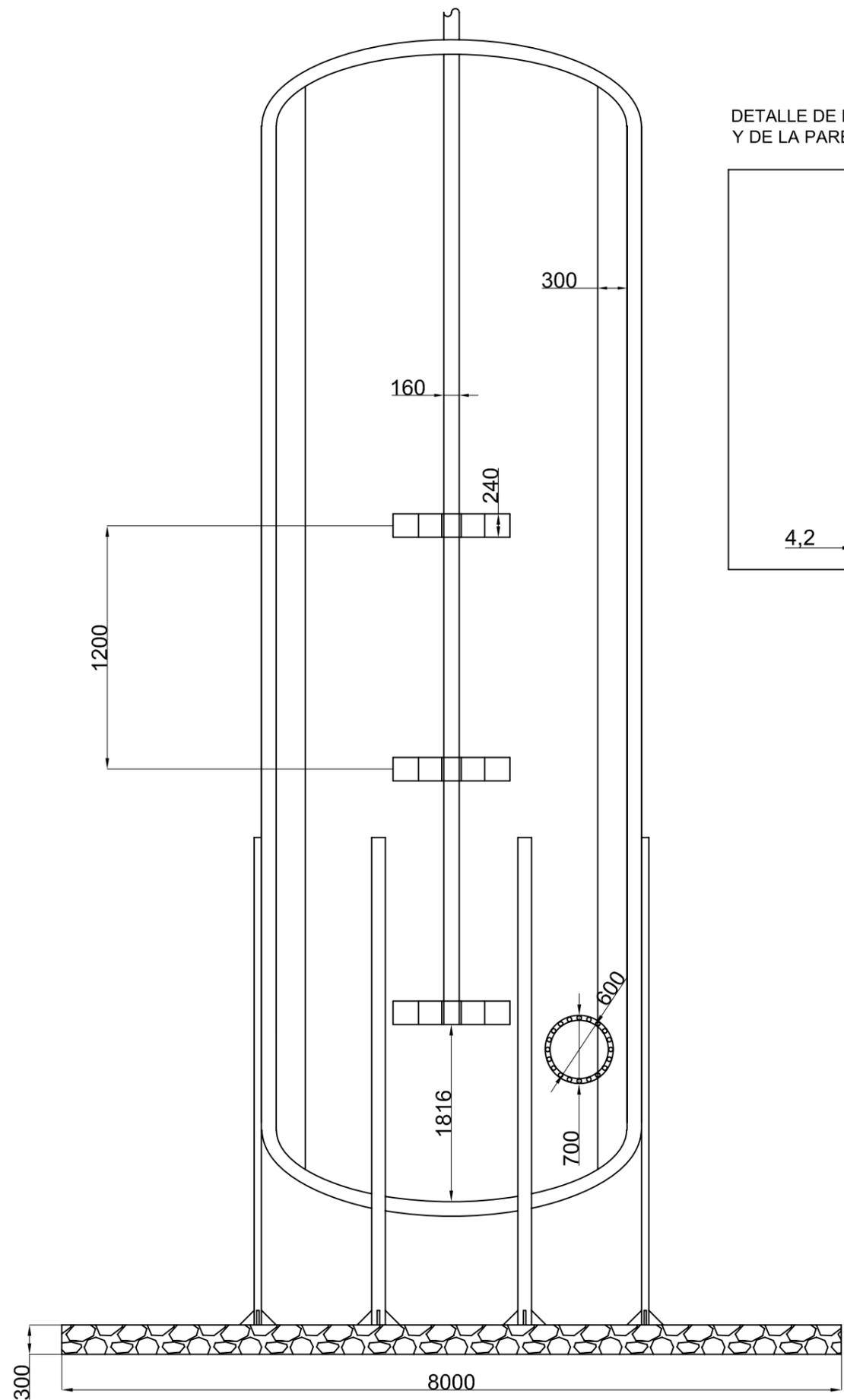
Ingeniero: Francisco José Vela Aragón



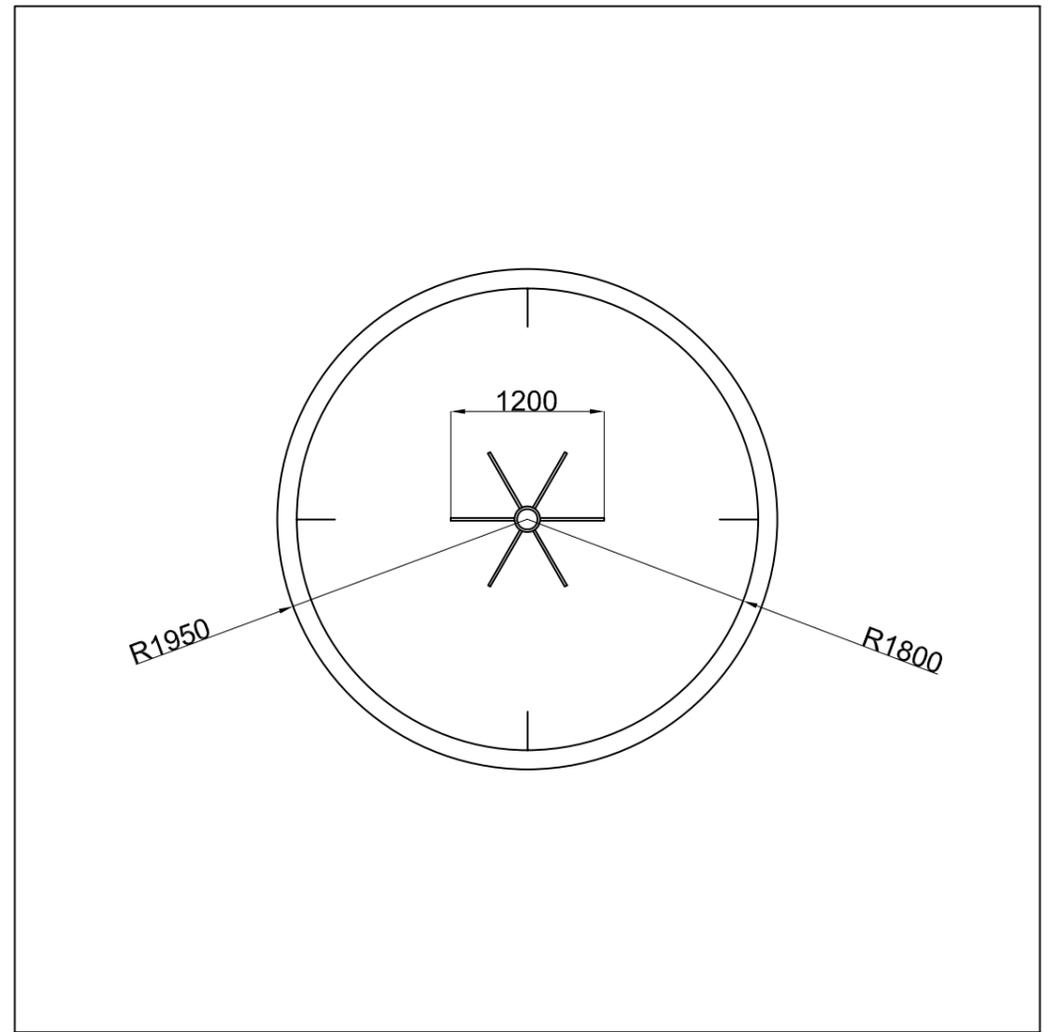
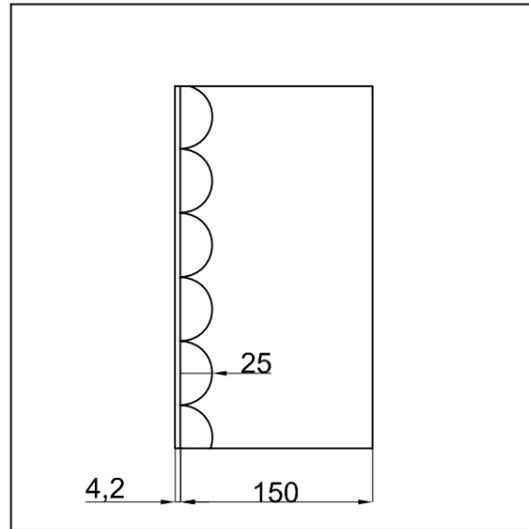
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

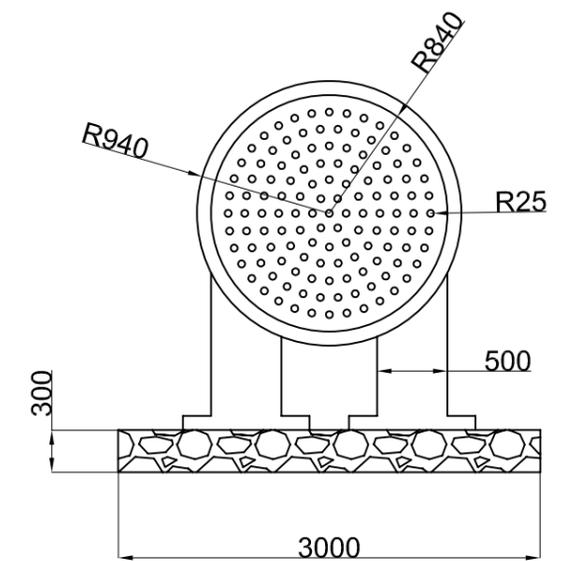
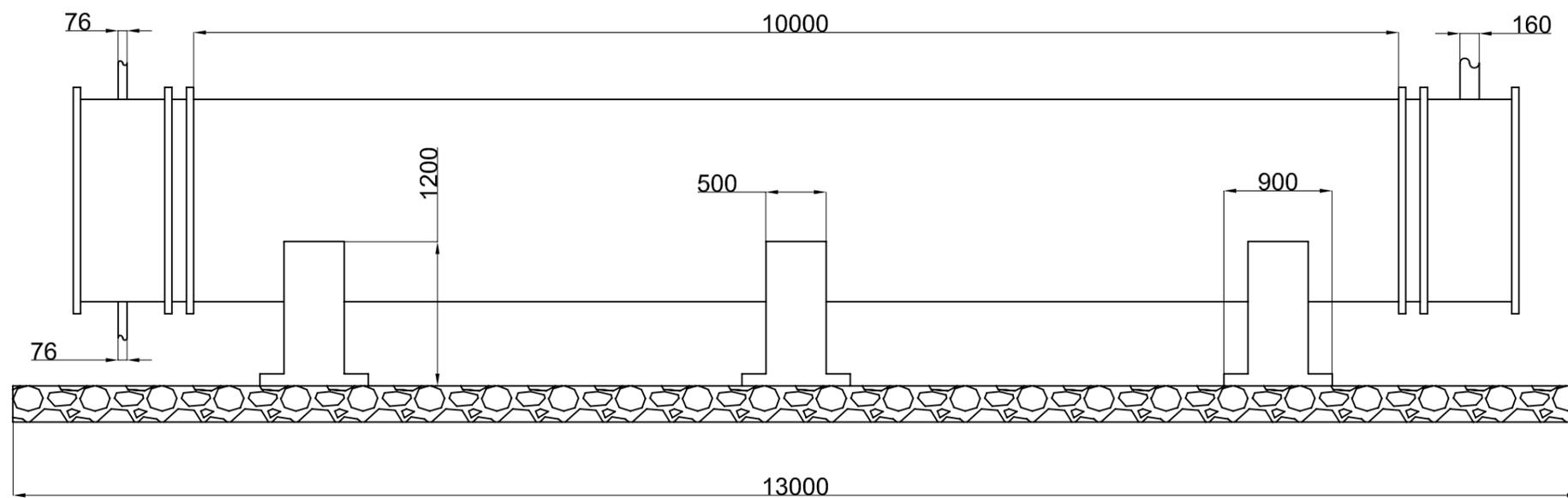
Plano nº: UCA-06-0002	Sistema de refrigeración del reactor de hidrólisis	
Escala: 1:40	Fecha: Junio - 2008	Firma:
Ingeniero: Francisco José Vela Aragón		



DETALLE DE LOS TUBOS DE REFRIGERACIÓN Y DE LA PARED DEL REACTOR



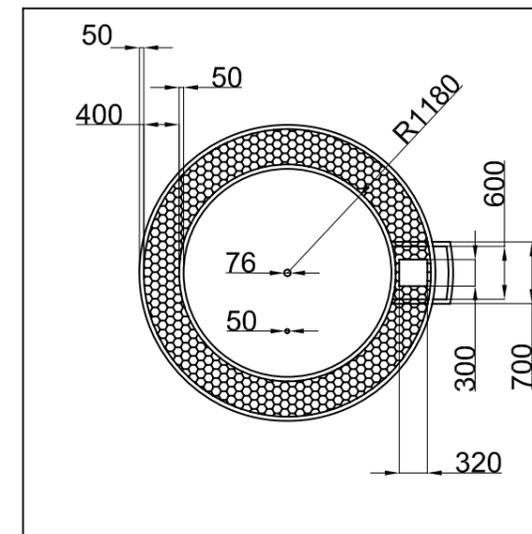
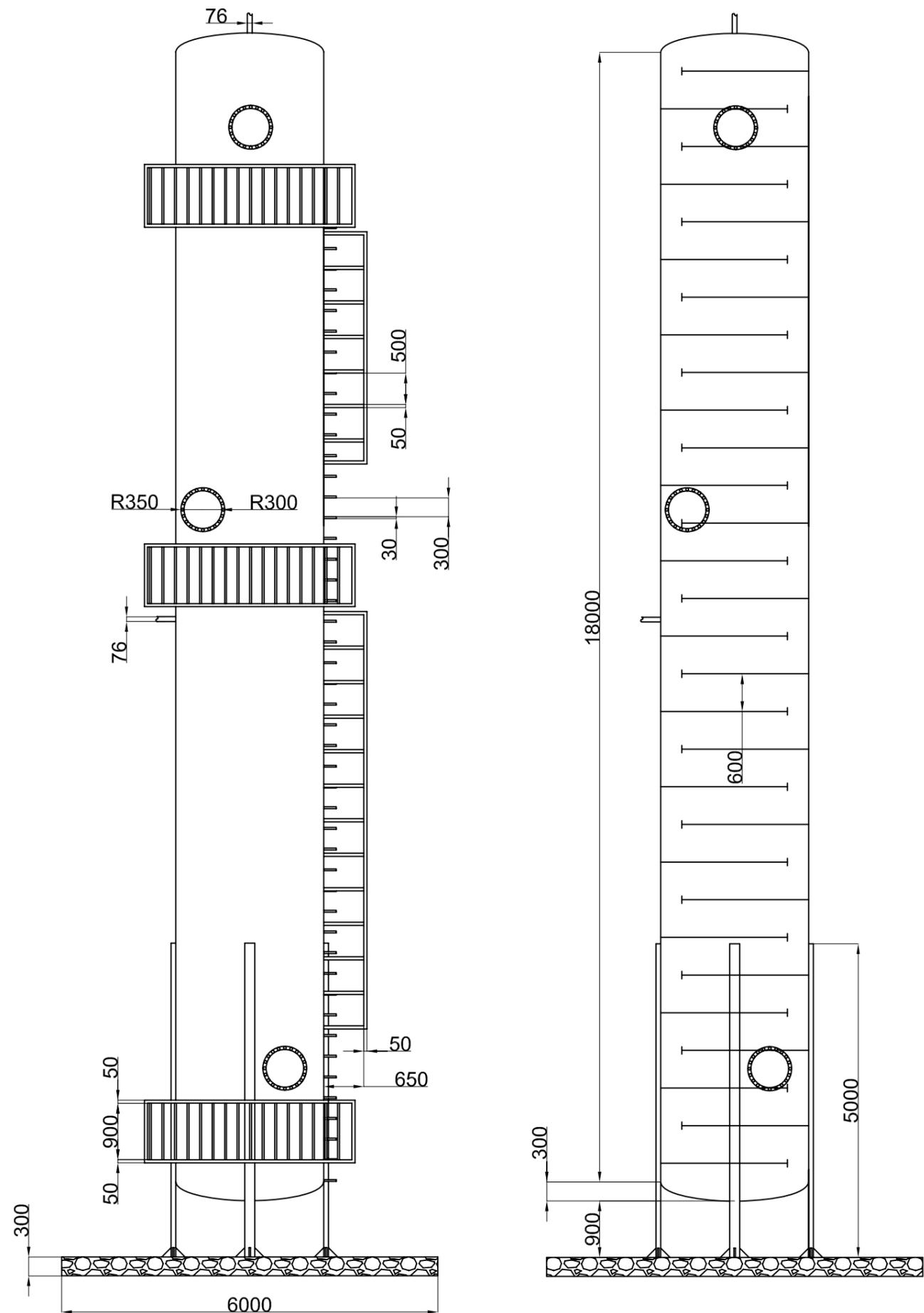
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta		
Plano nº: UCA-10-0002	Sistema de agitación y detalle del sistema de refrigeración del fermentador	
Escala: 1:55	Fecha: Junio - 2008	Firma:
Ingeniero: Francisco José Vela Aragón		



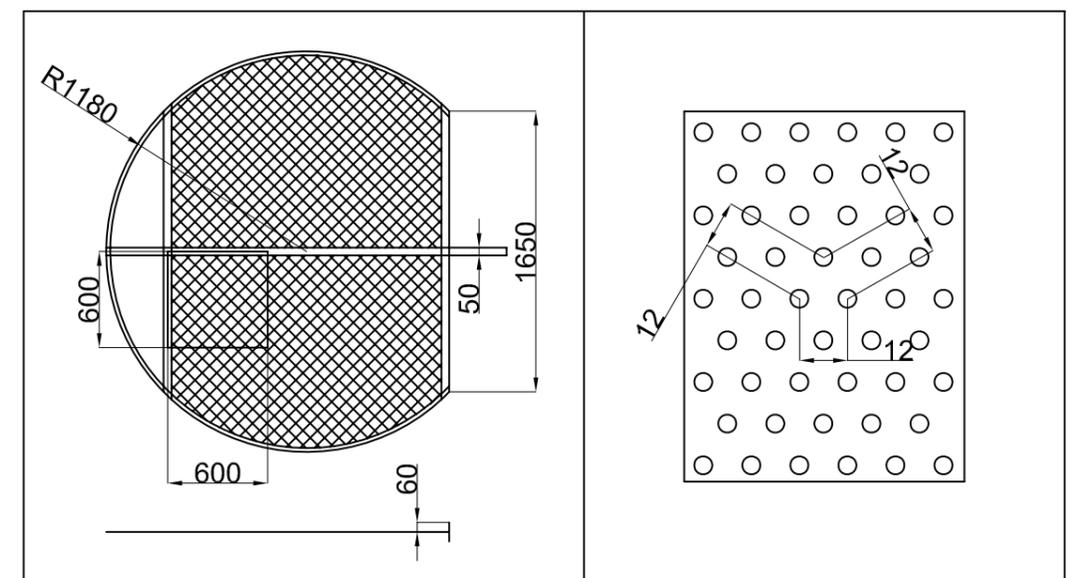
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº:	UCA-11-0001		Sistema de pervaporación	
Escala:	1:50	Fecha:	Junio - 2008	Firma:
Ingeniero:	Francisco José Vela Aragón			



DETALLE DE UN PLATO Y DE LA DISPOSICIÓN DE LAS PERFORACIONES



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

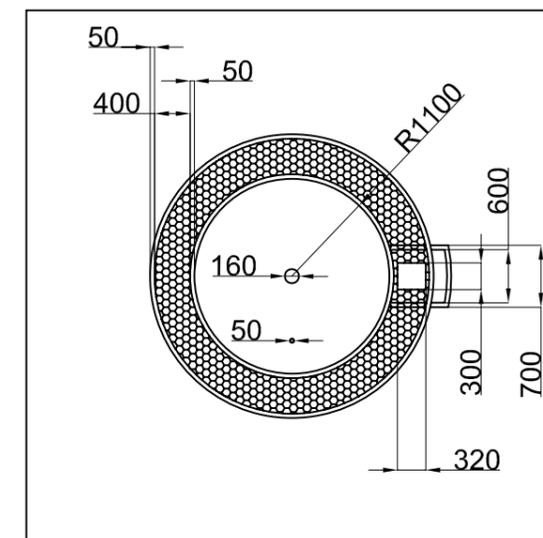
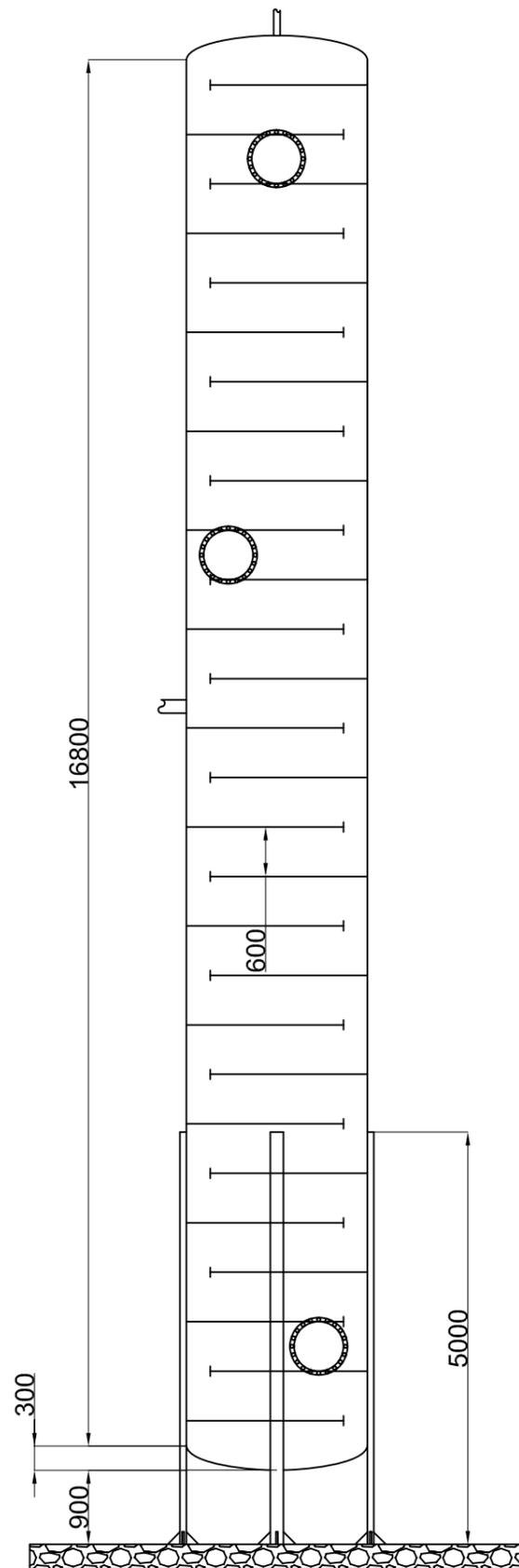
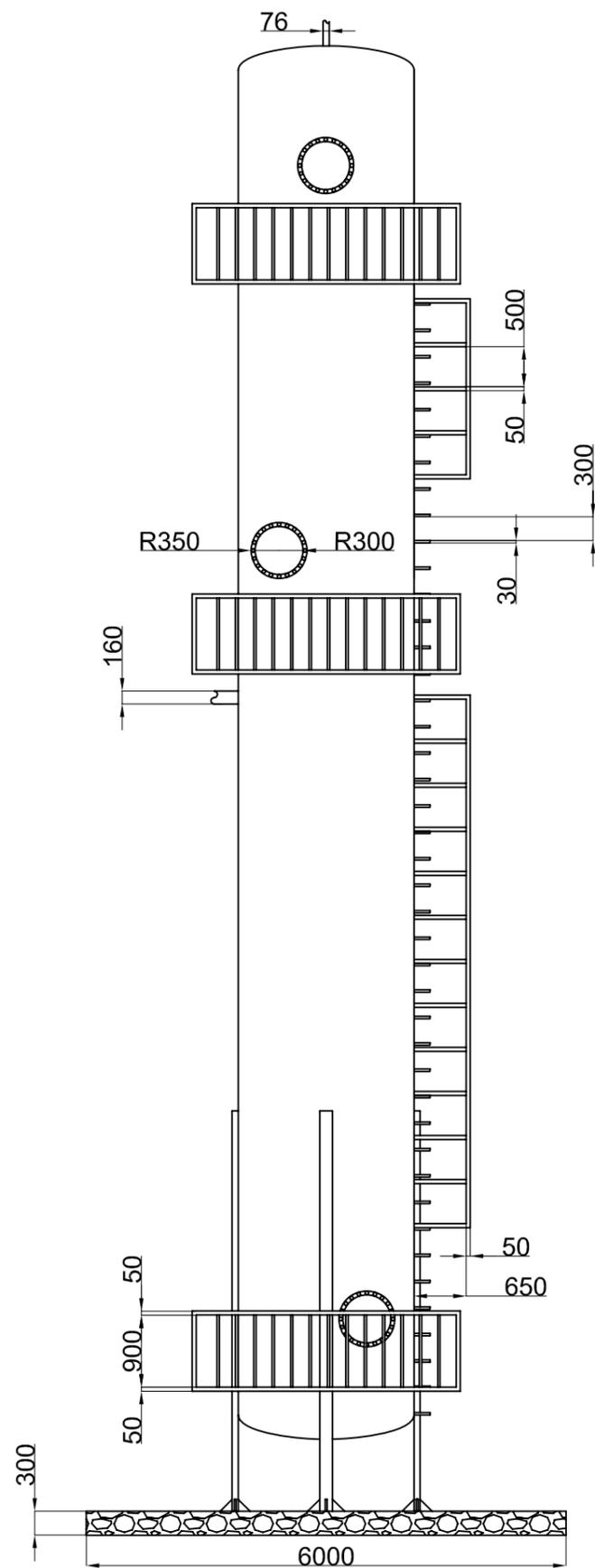
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano n°: UCA-20-0001 Columna de destilación n° 1 y detalle de un plato

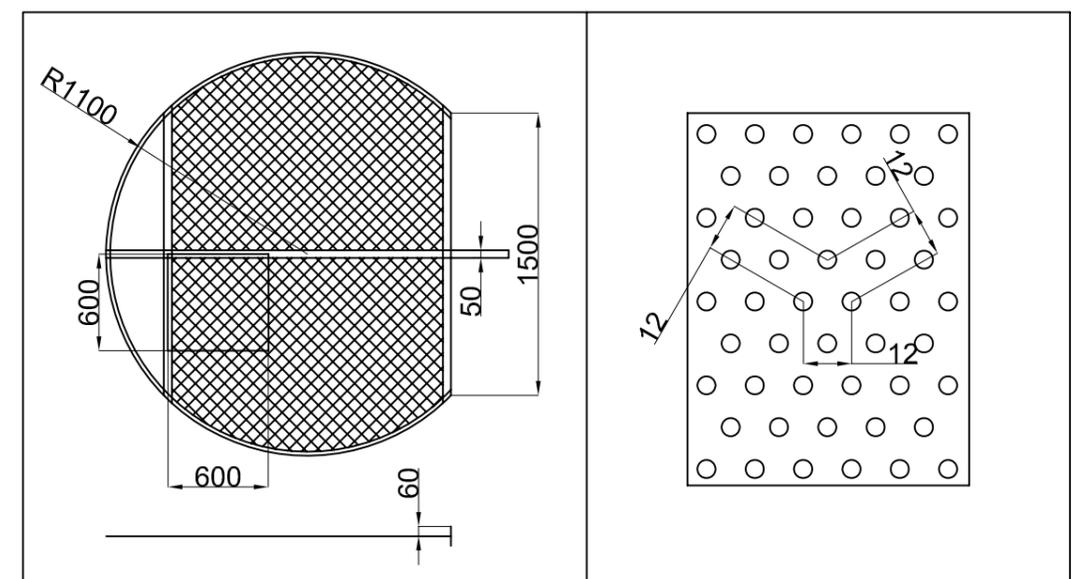
Escala: 1:80 Fecha: Junio - 2008

Firma:

Ingeniero: Francisco José Vela Aragón



DETALLE DE UN PLATO Y DE LA DISPOSICIÓN DE LAS PERFORACIONES



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

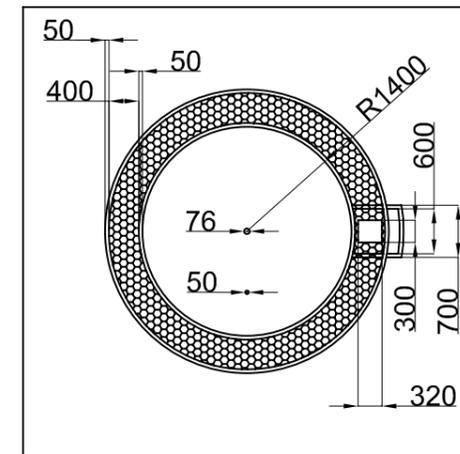
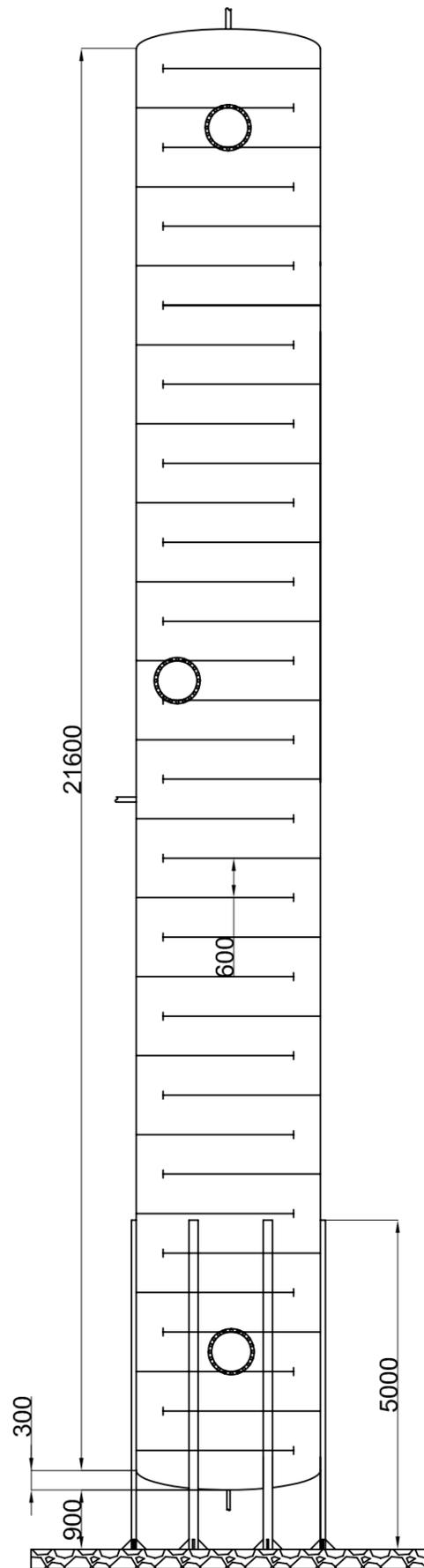
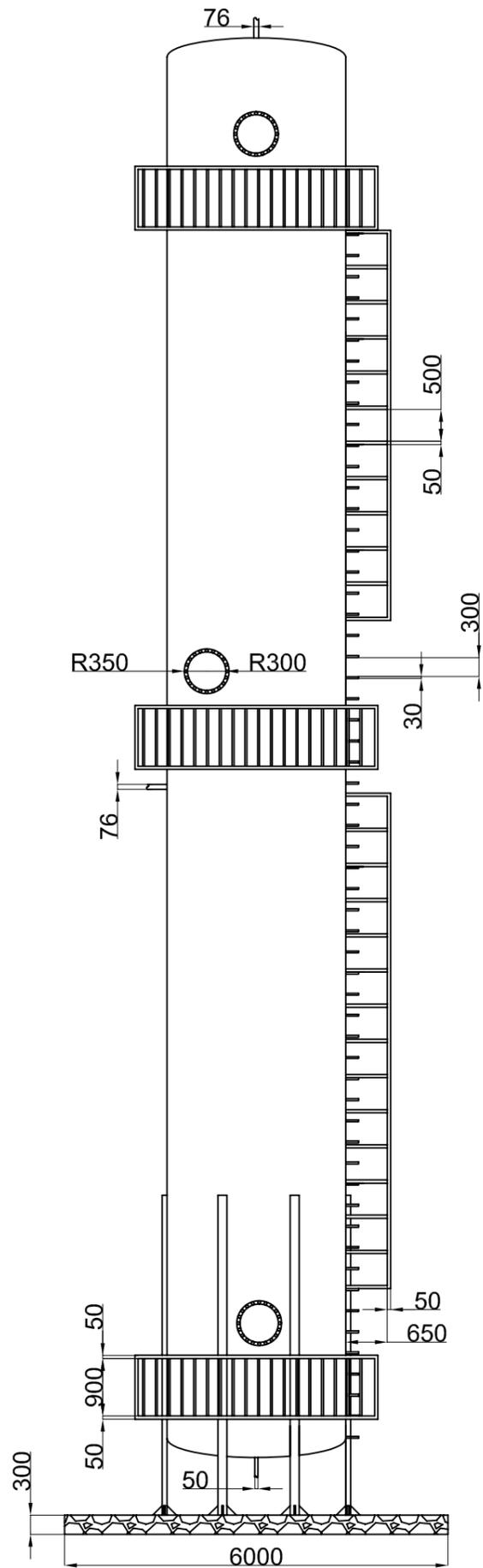
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº: UCA-20-0002 Columna de destilación nº 2 y detalle de un plato

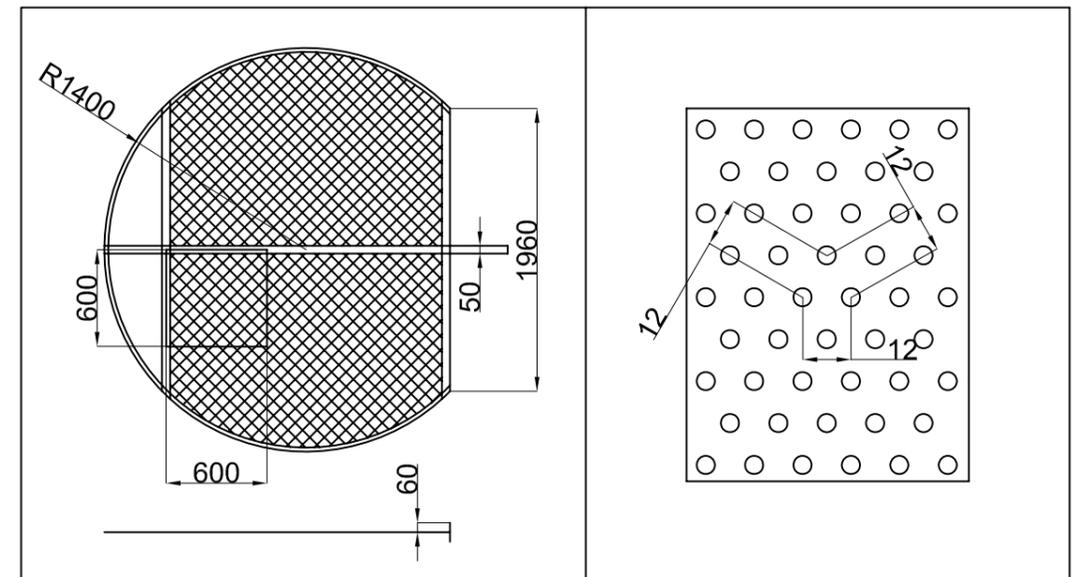
Escala: 1:80 Fecha: Junio - 2008

Firma:

Ingeniero: Francisco José Vela Aragón



DETALLE DE UN PLATO Y DE LA DISPOSICIÓN DE LAS PERFORACIONES



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

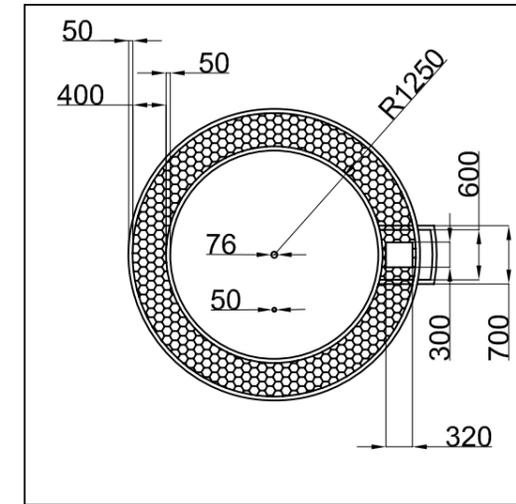
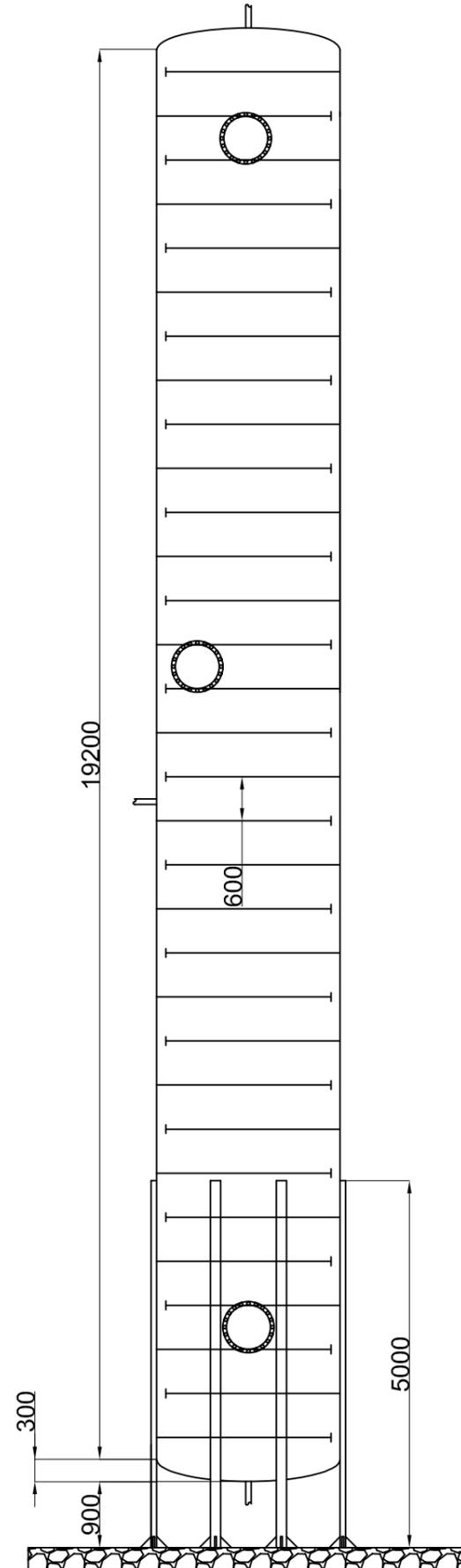
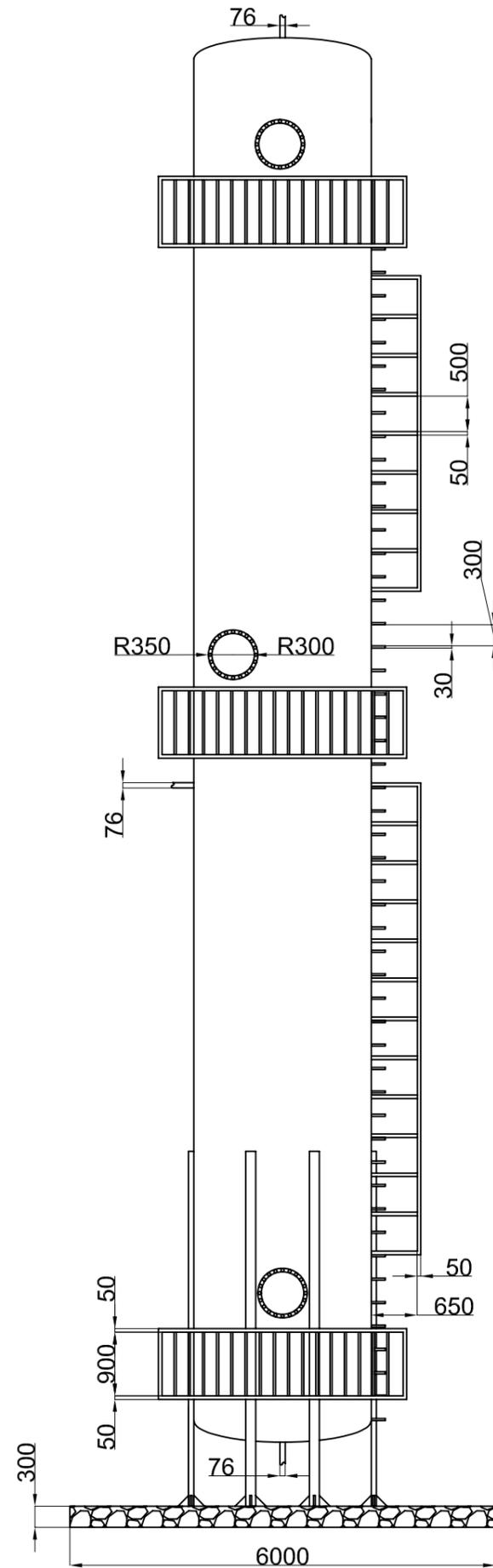
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº: UCA-20-0003 Columna de destilación nº 3 y detalle de un plato

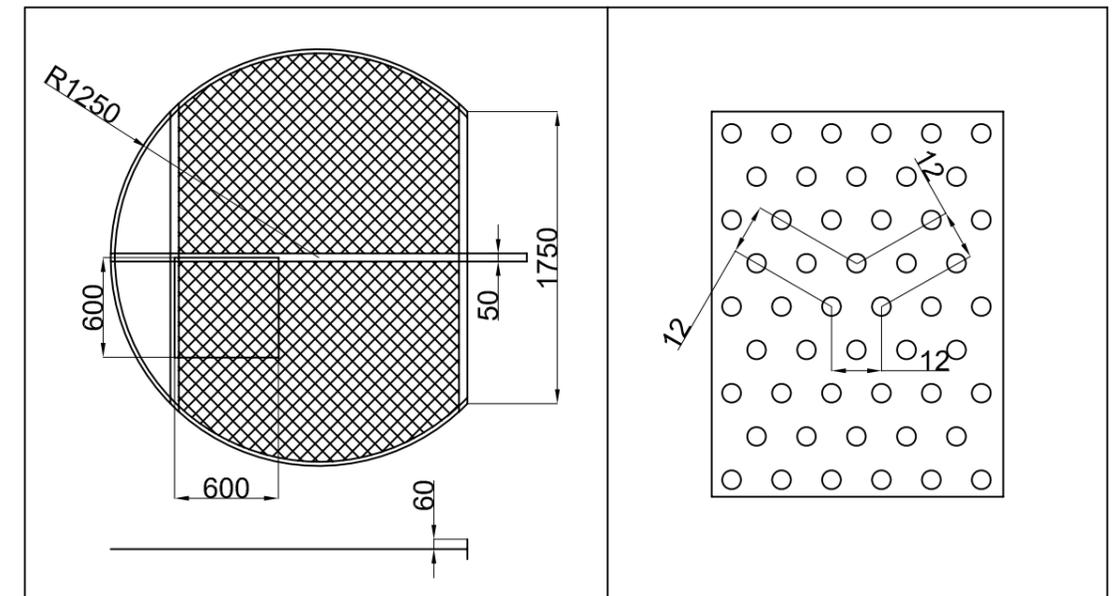
Escala: 1:95 Fecha: Junio - 2008

Firma:

Ingeniero: Francisco José Vela Aragón



DETALLE DE UN PLATO Y DE LA DISPOSICIÓN DE LAS PERFORACIONES



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

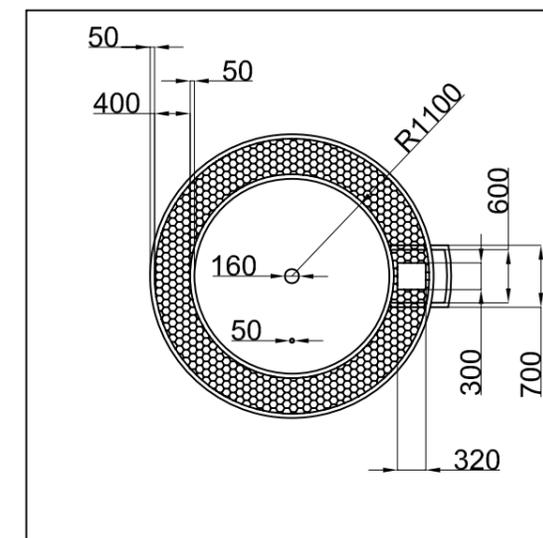
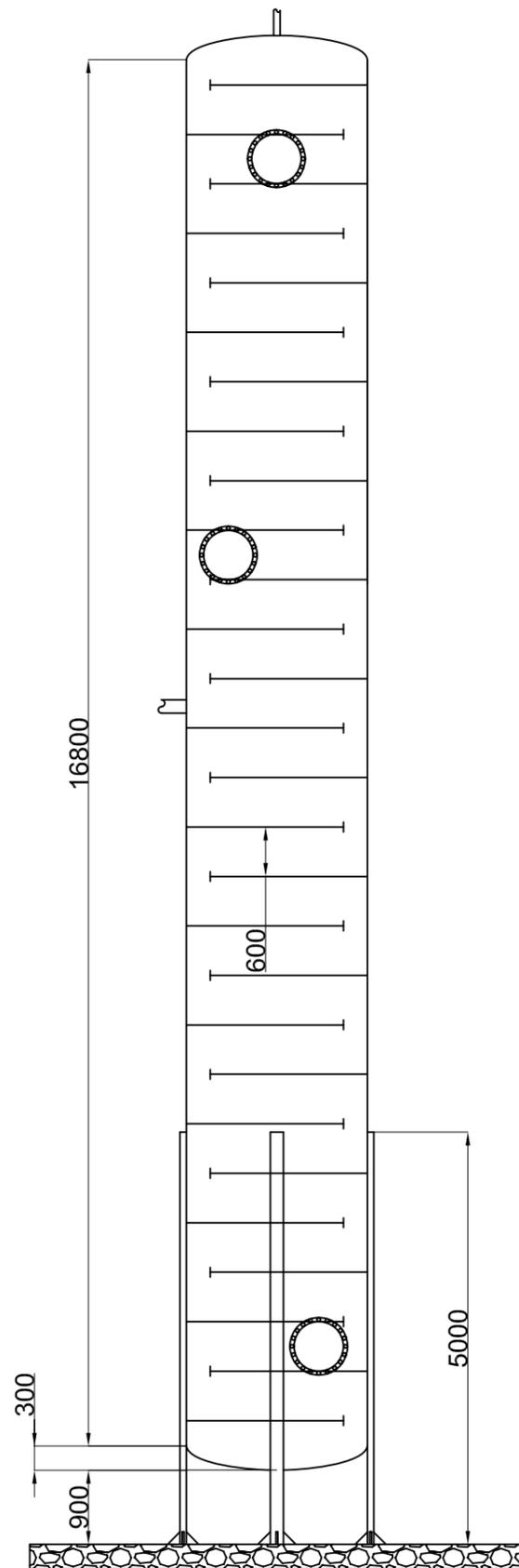
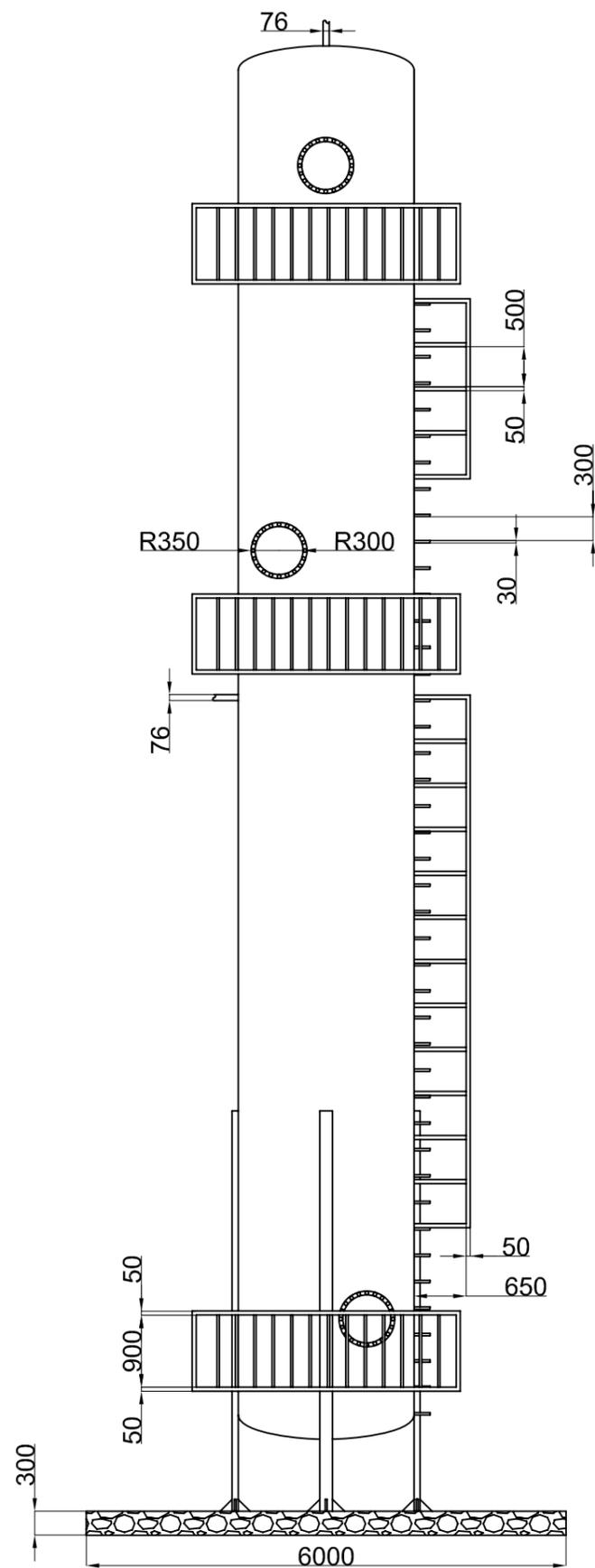
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº: UCA-20-0004 Columna de destilación nº 4 y detalle de un plato

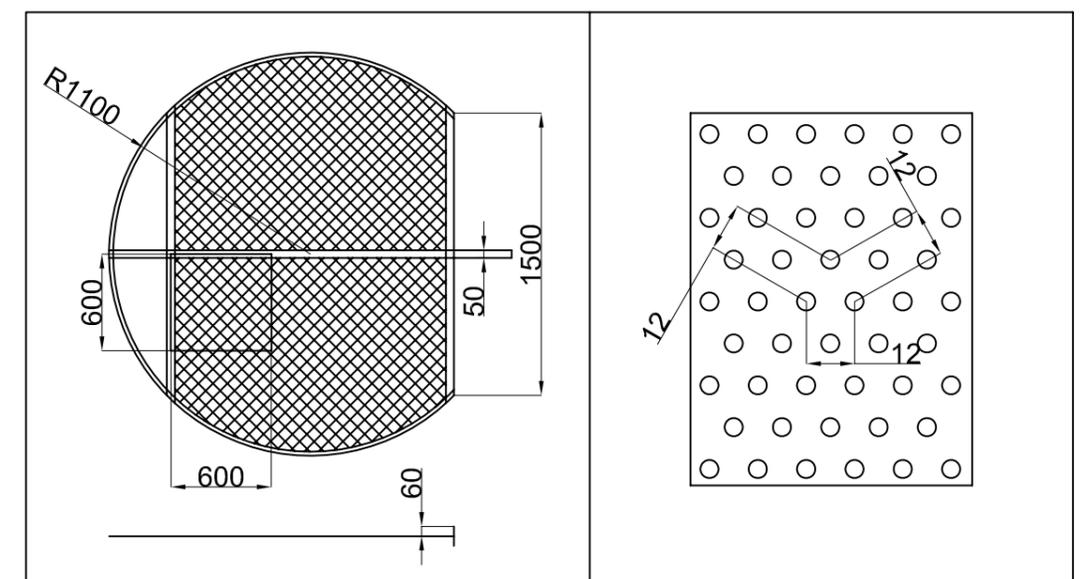
Escala: 1:85 Fecha: Junio - 2008

Firma:

Ingeniero: Francisco José Vela Aragón



DETALLE DE UN PLATO Y DE LA DISPOSICIÓN DE LAS PERFORACIONES



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

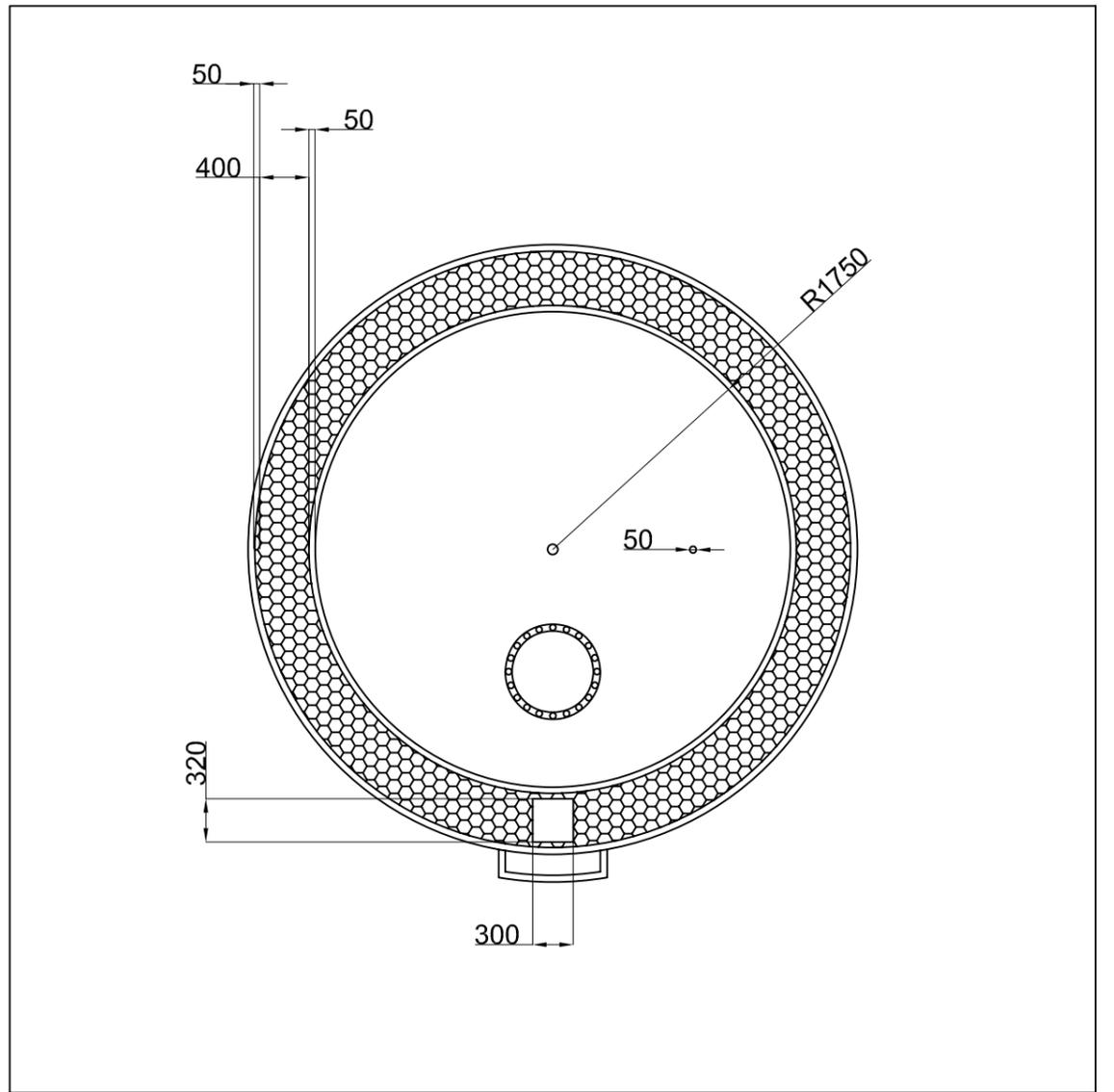
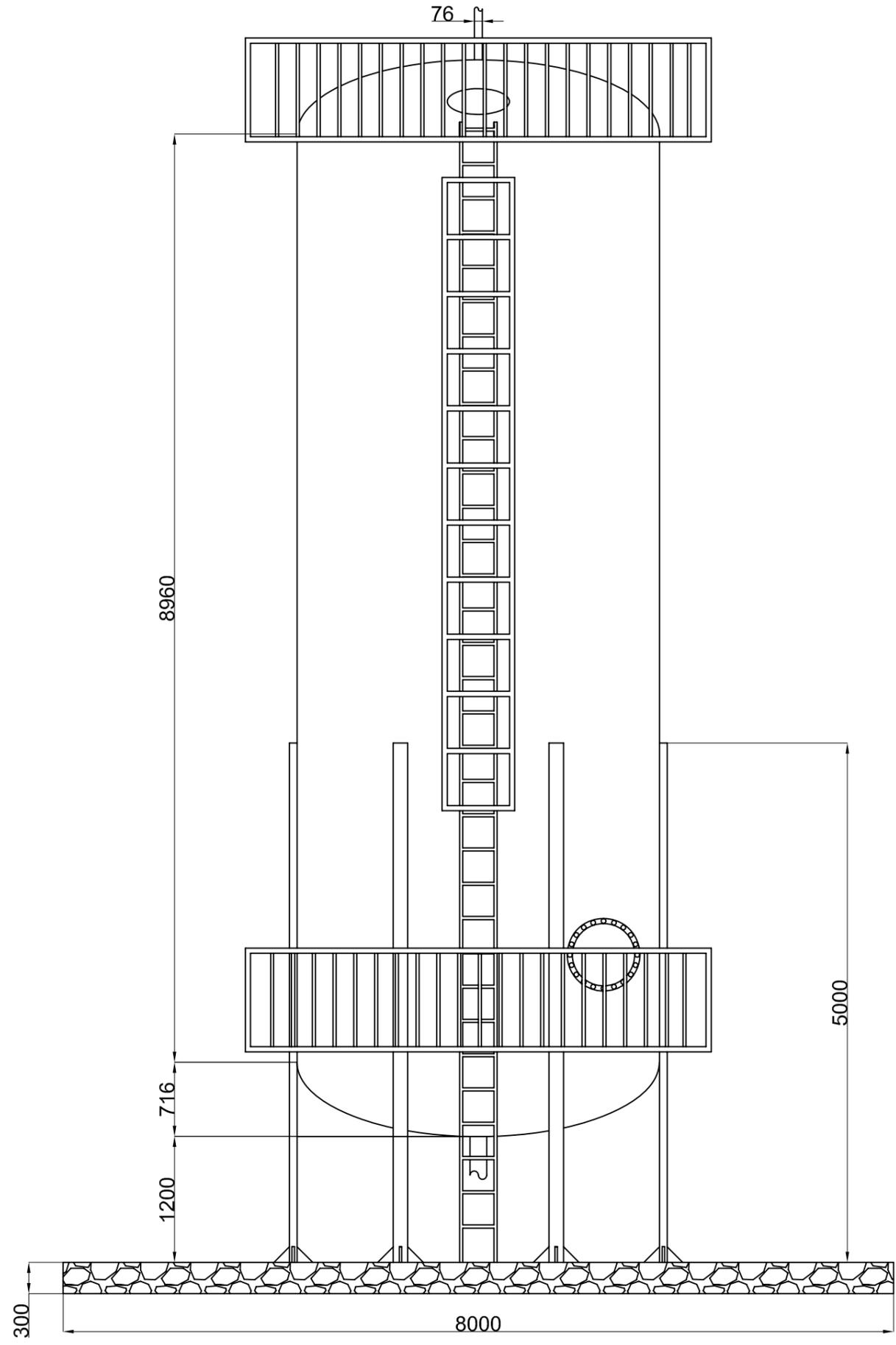
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº: UCA-20-0005 Columna de destilación nº 5 y detalle de un plato

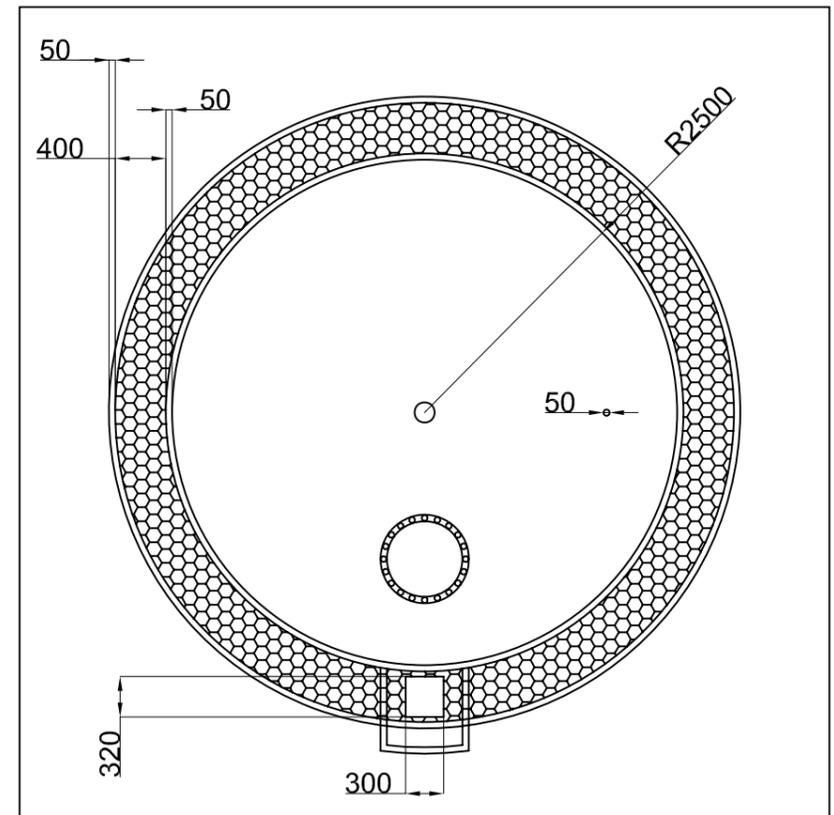
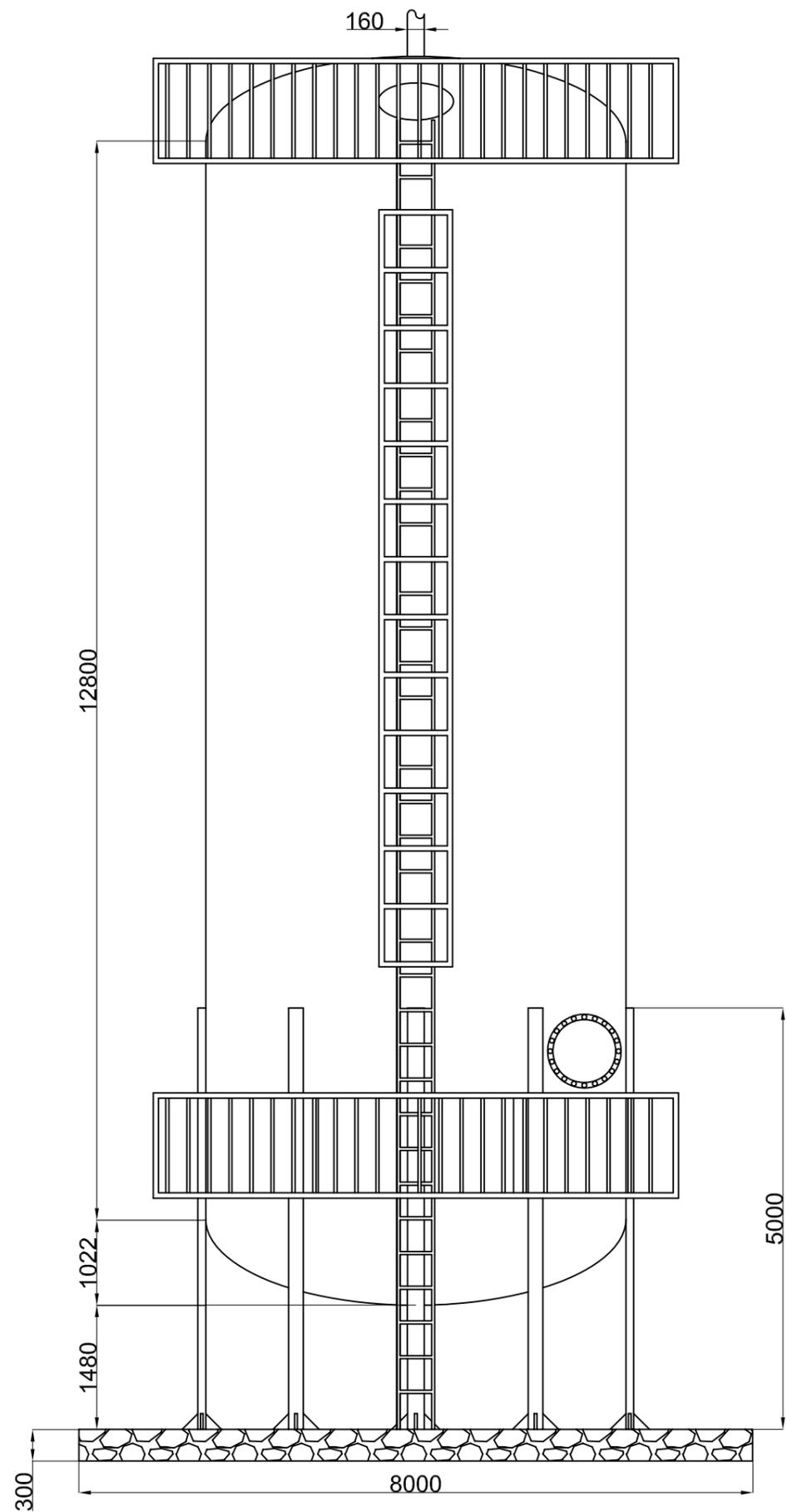
Escala: 1:80 Fecha: Junio - 2008

Firma:

Ingeniero: Francisco José Vela Aragón



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta		
Plano nº:	UCA-25-0001	Tanque pulmón 1
Escala:	1:50	Fecha: Junio - 2008
Ingeniero:	Francisco José Vela Aragón	
		Firma:



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº:
UCA-25-0002

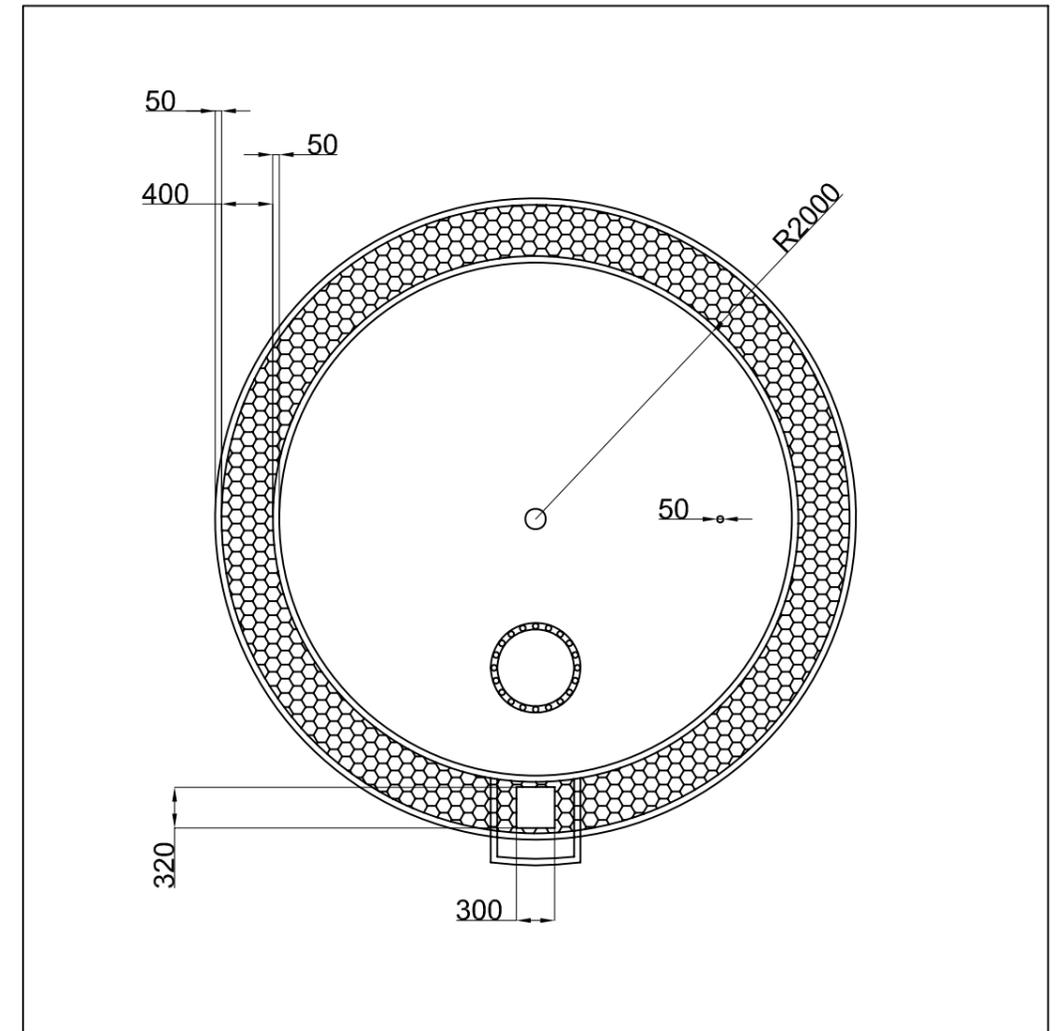
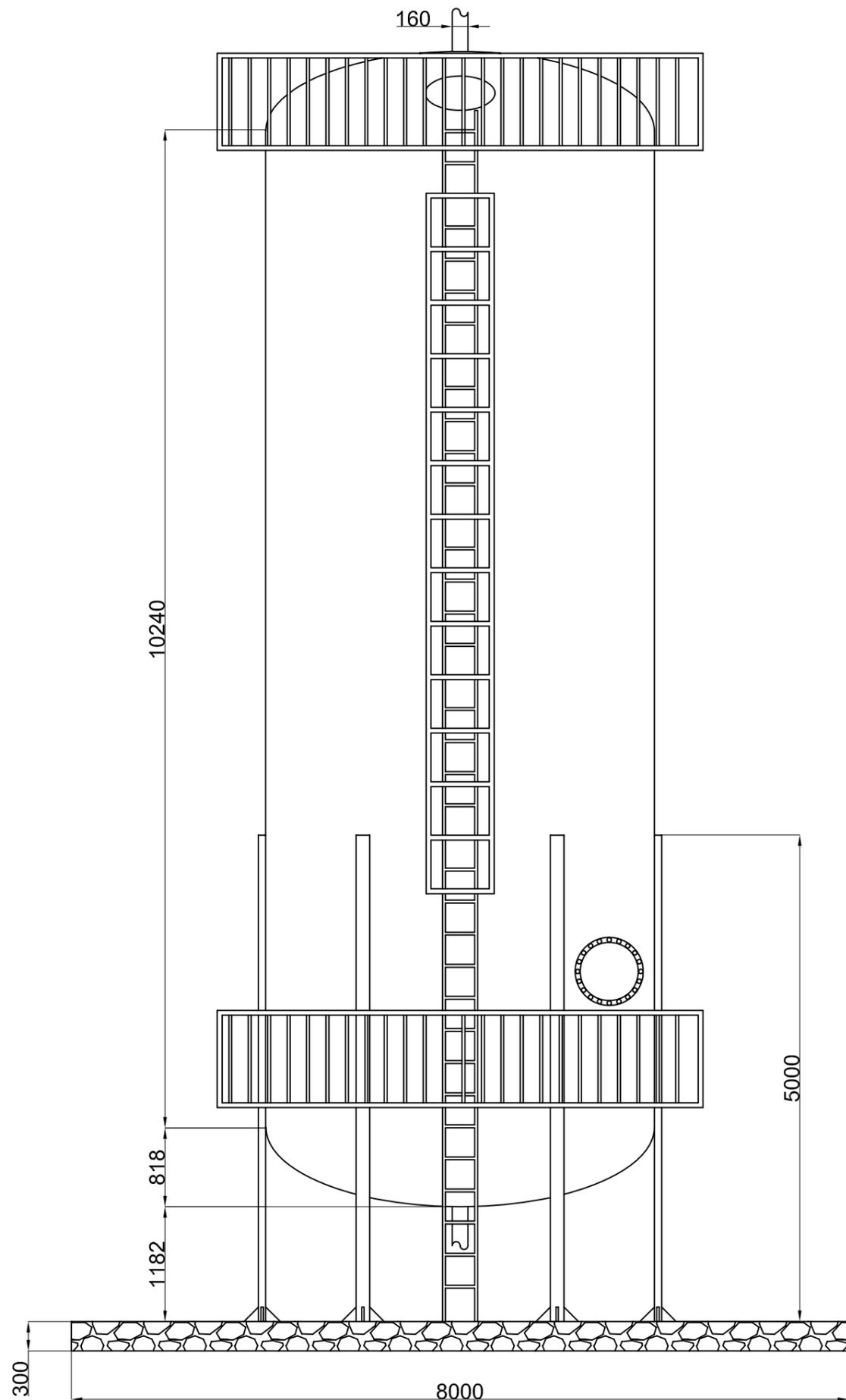
Tanque pulmón 2

Escala: 1:70

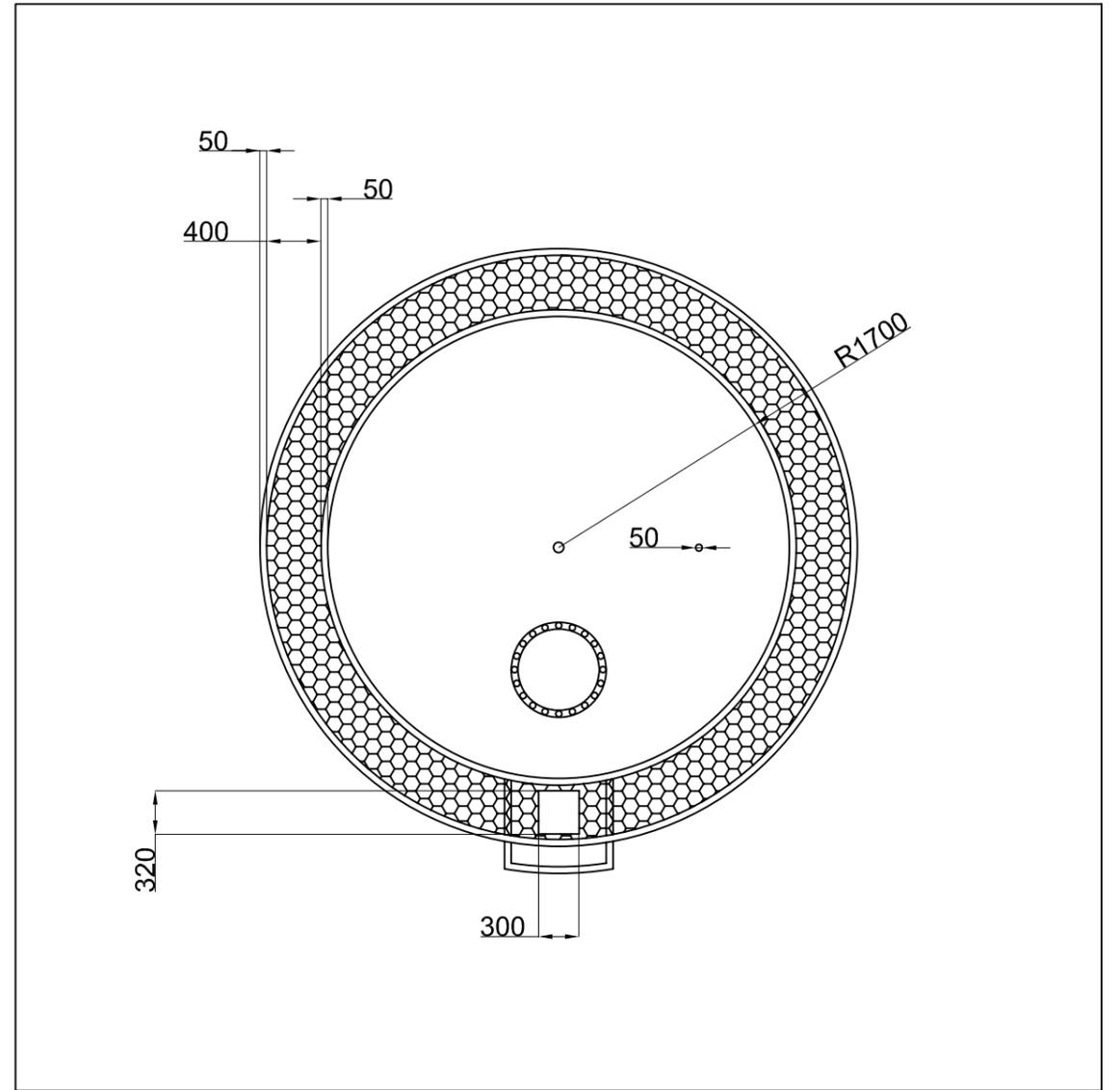
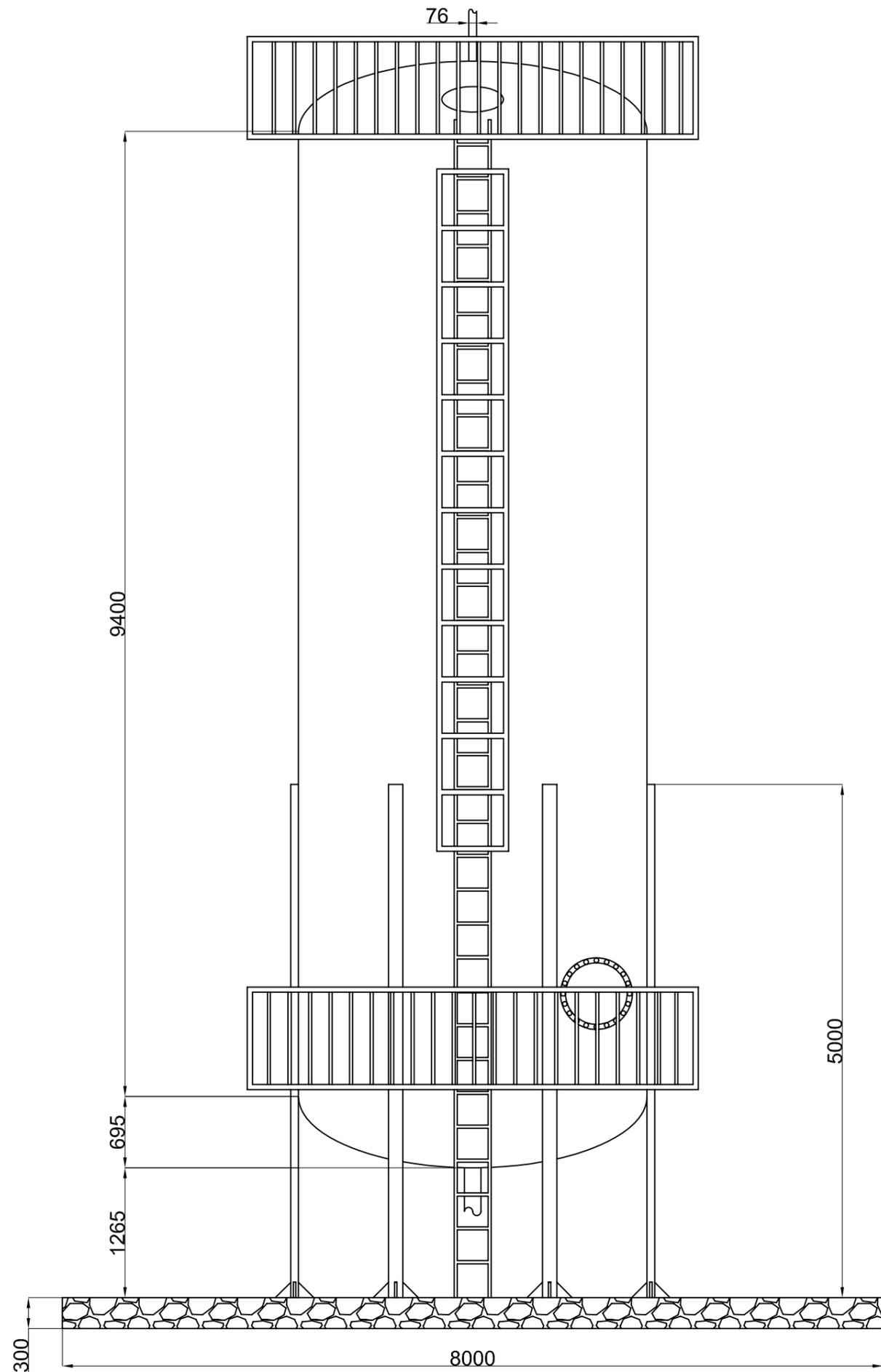
Fecha: Junio - 2008

Firma:

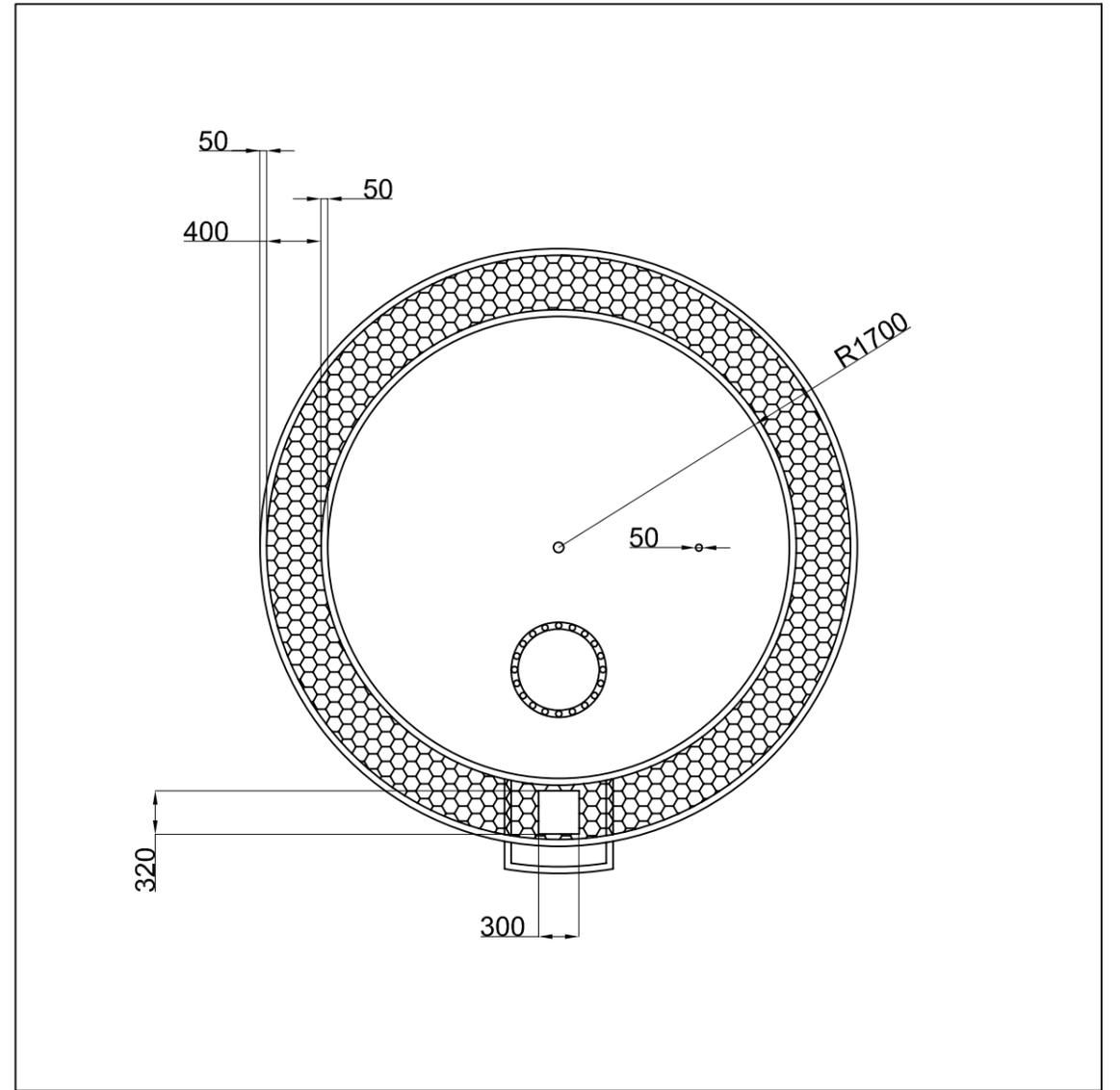
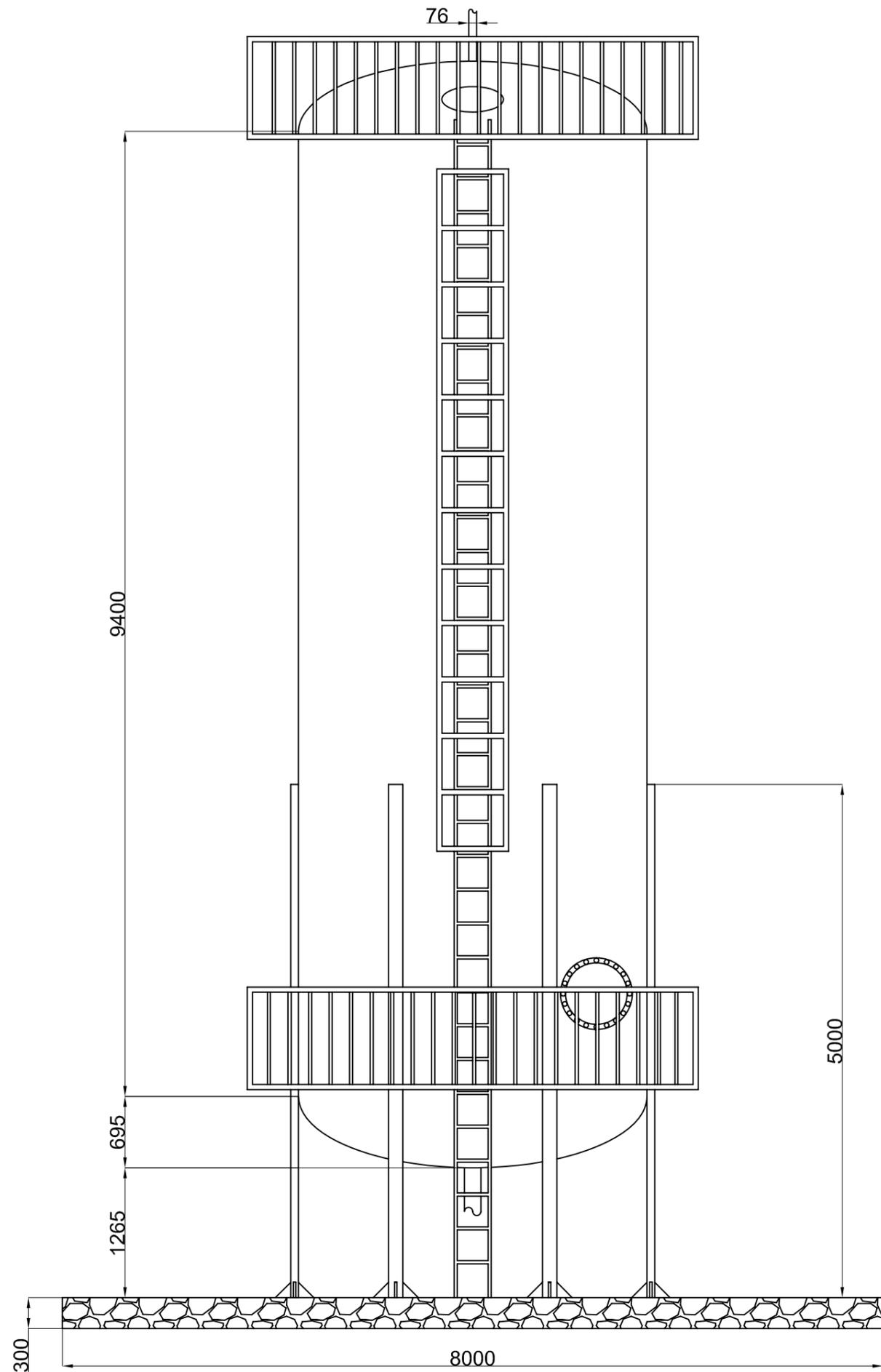
Ingeniero: Francisco José Vela Aragón



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta		
Plano nº: UCA-25-0003	Tanque pulmón 3	
Escala: 1:55	Fecha: Junio - 2008	Firma:
Ingeniero: Francisco José Vela Aragón		



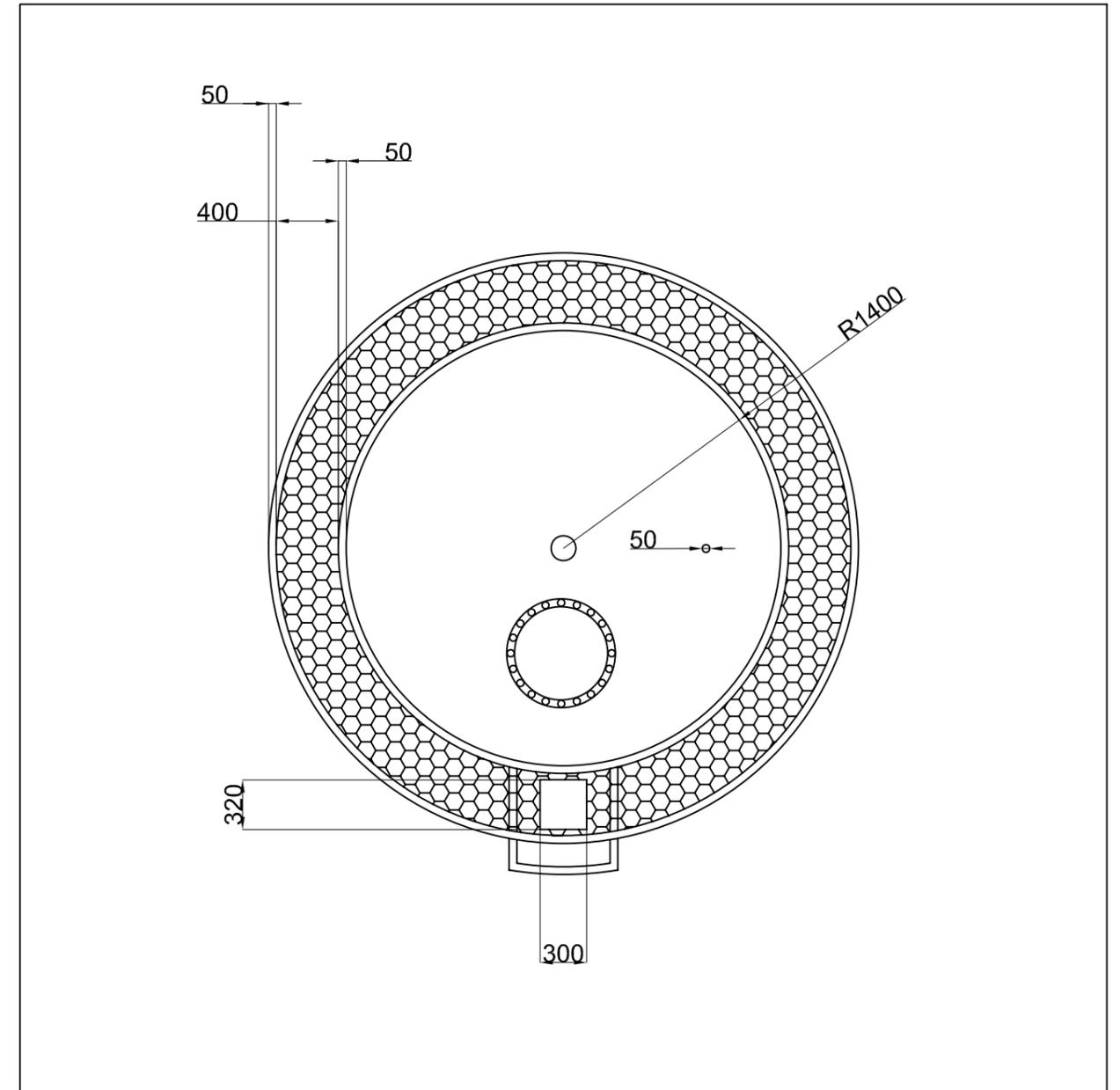
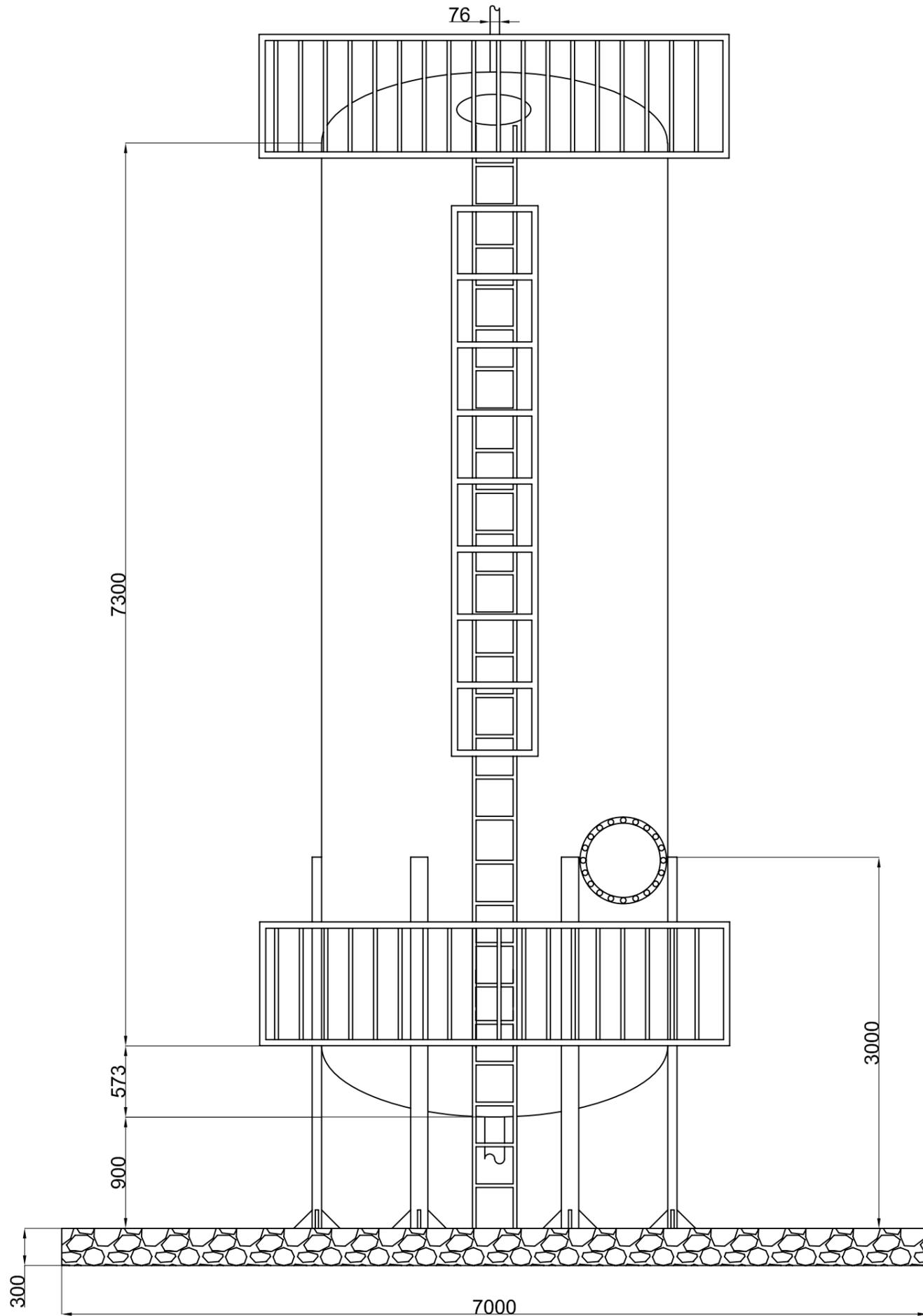
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta		
Plano nº:	UCA-30-0004	Tanque pulmón 4
Escala:	1:50	Fecha: Junio - 2008
Ingeniero:	Francisco José Vela Aragón	
		Firma:



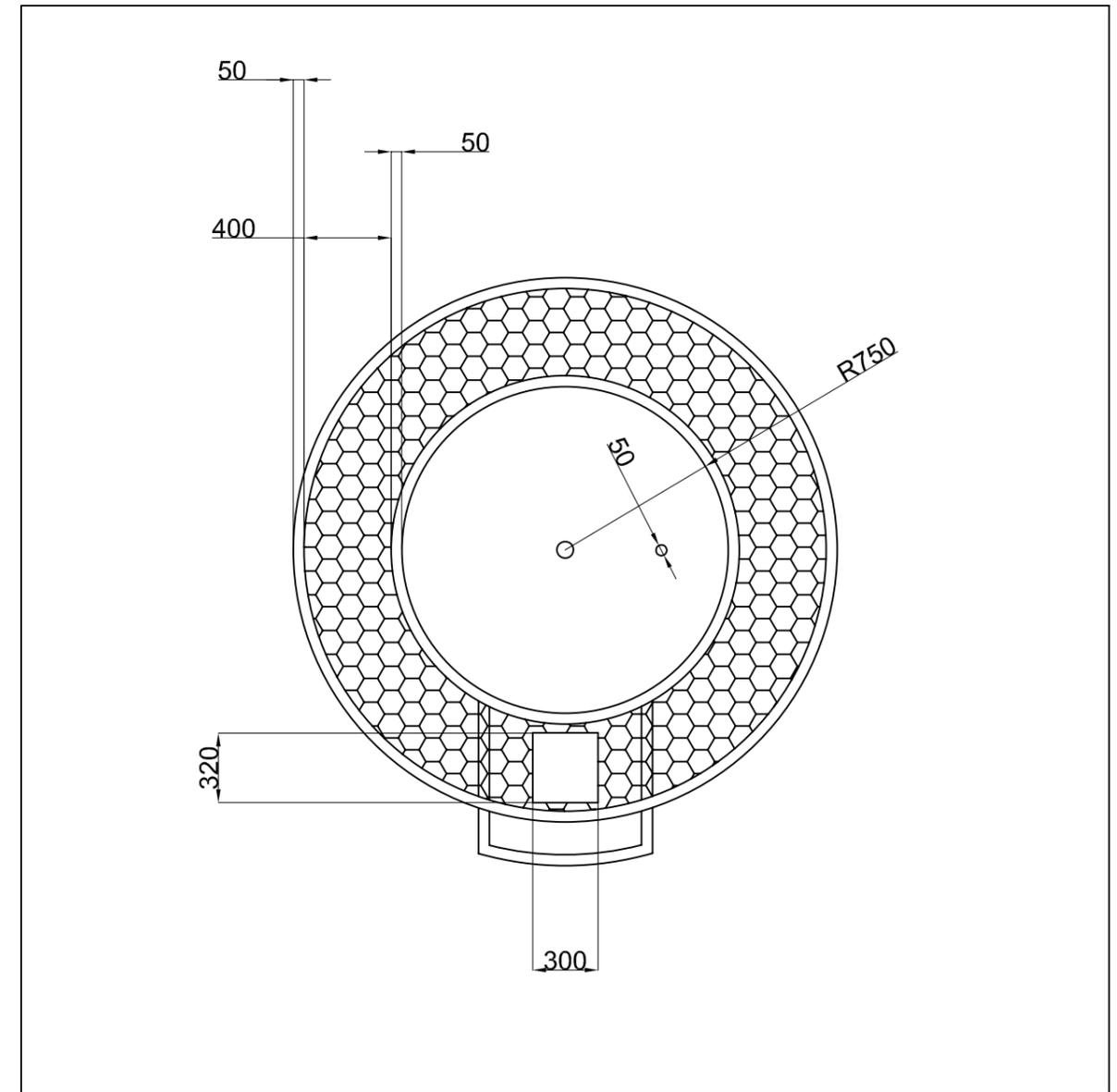
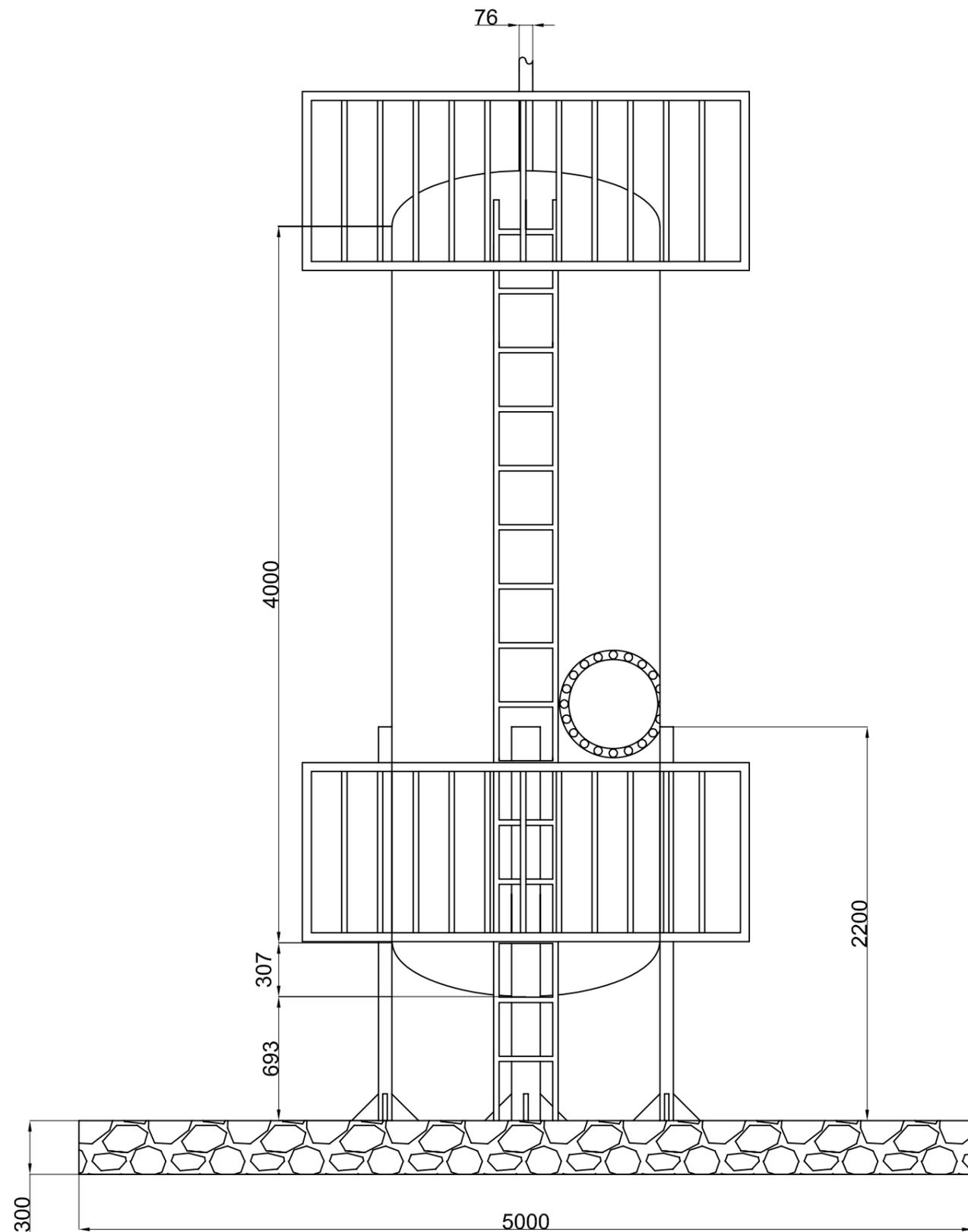
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº:	UCA-30-0001		Tanque de almacenamiento de biobutanol
Escala:	1:50	Fecha:	Junio - 2008
Ingeniero:	Francisco José Vela Aragón		Firma:



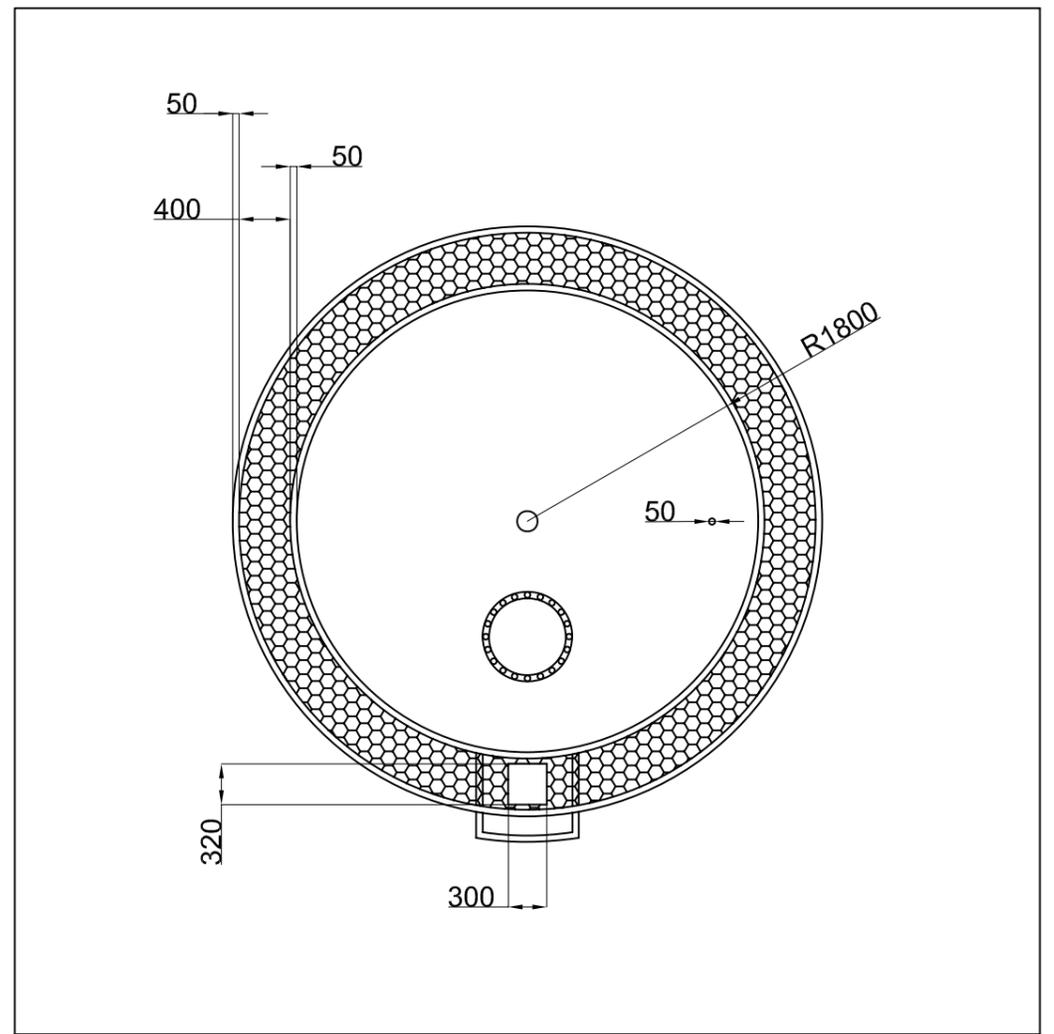
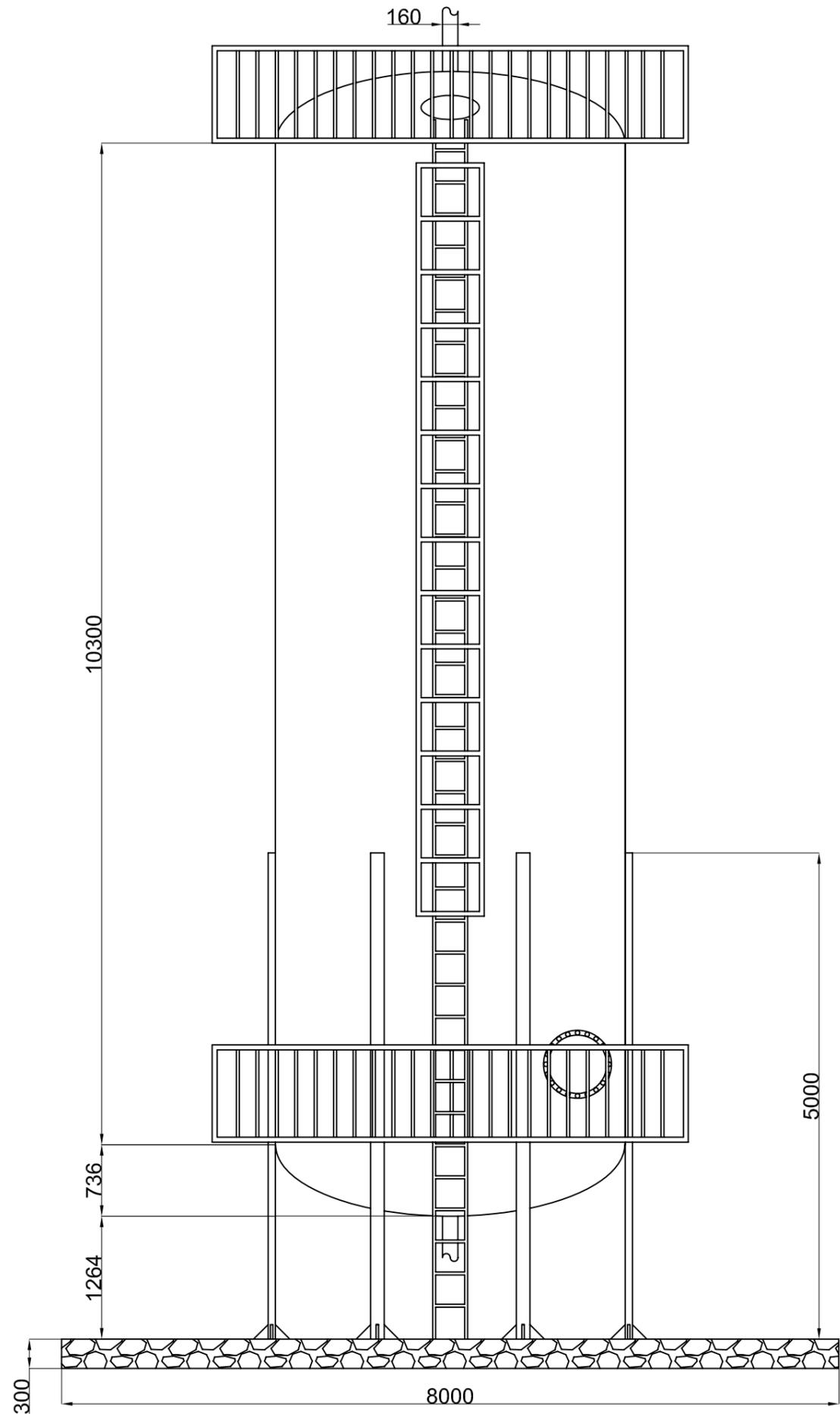
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta		
Plano nº:	UCA-30-0002	Tanque de almacenamiento de acetona
Escala:	1:40	Fecha: Junio - 2008
Ingeniero:	Francisco José Vela Aragón	Firma:



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº: UCA-30-0003	Tanque de almacenamiento de ácido acético o ácido butírico	
Escala: 1:30	Fecha: Junio - 2008	Firma:
Ingeniero:	Francisco José Vela Aragón	



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

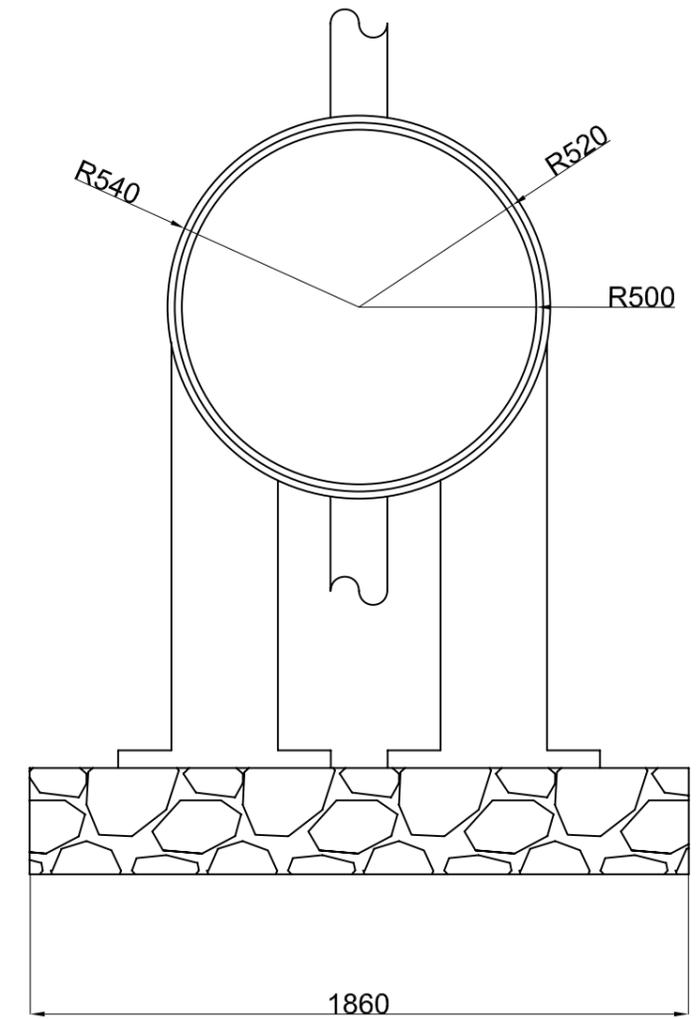
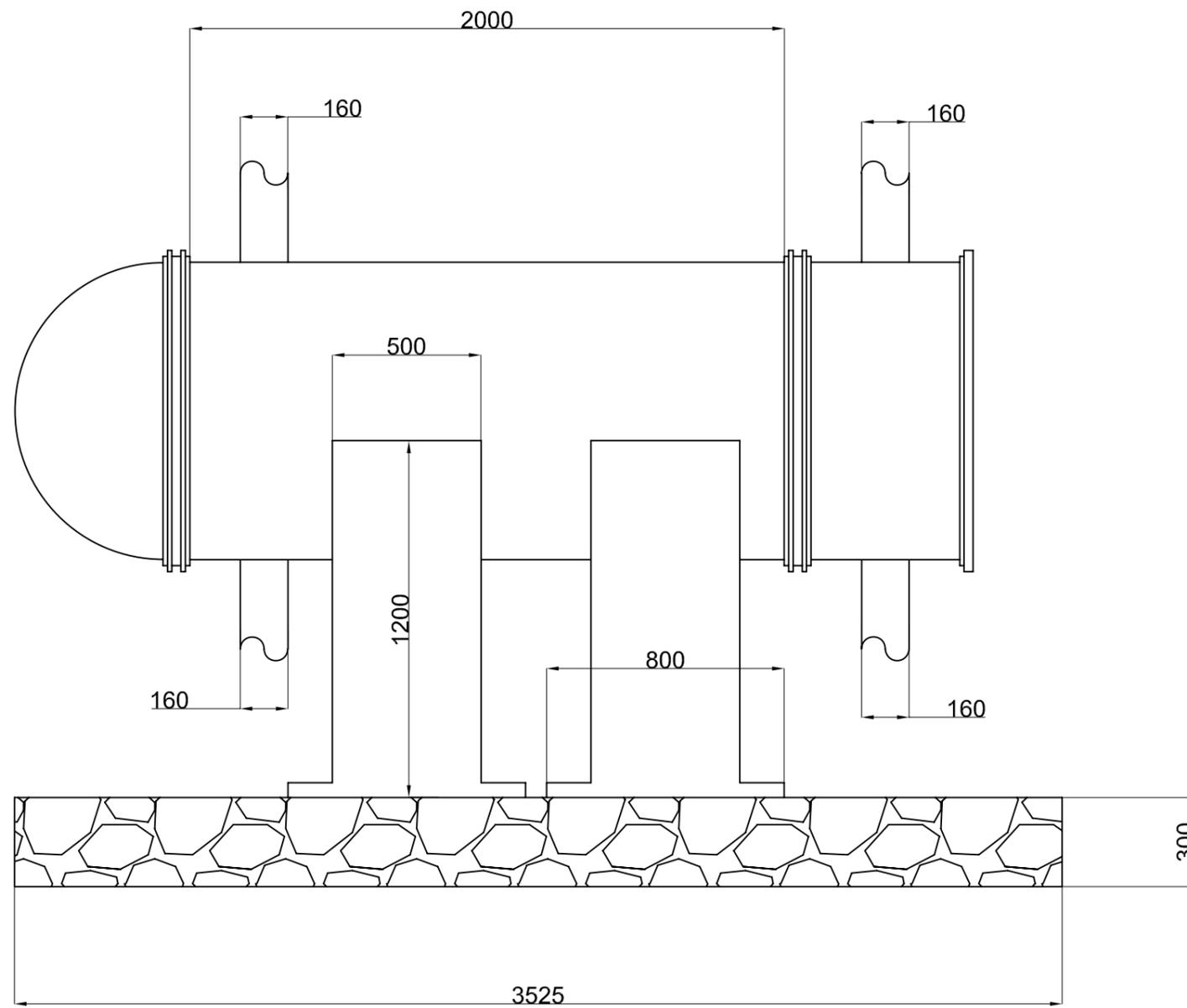
Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº: UCA-30-0004 Tanque de almacenamiento de agua destilada

Escala: 1:55 Fecha: Junio - 2008

Firma:

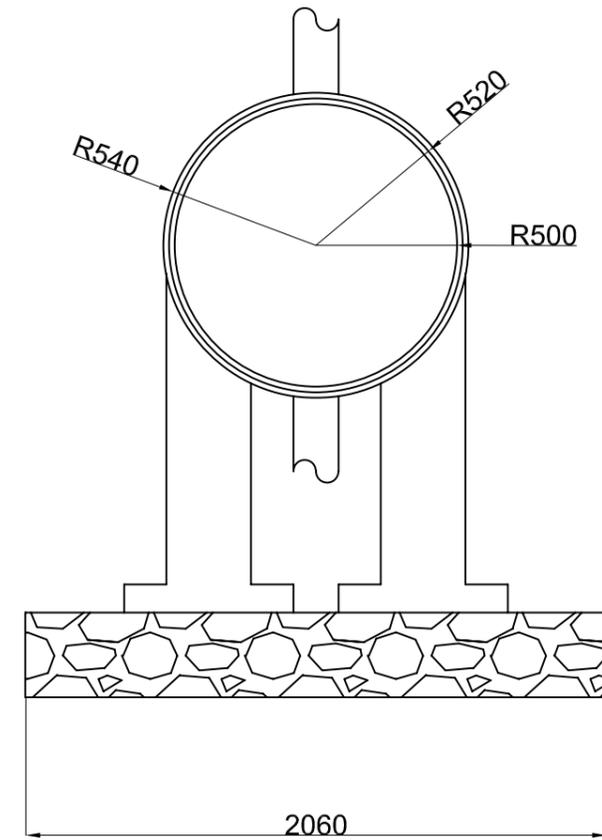
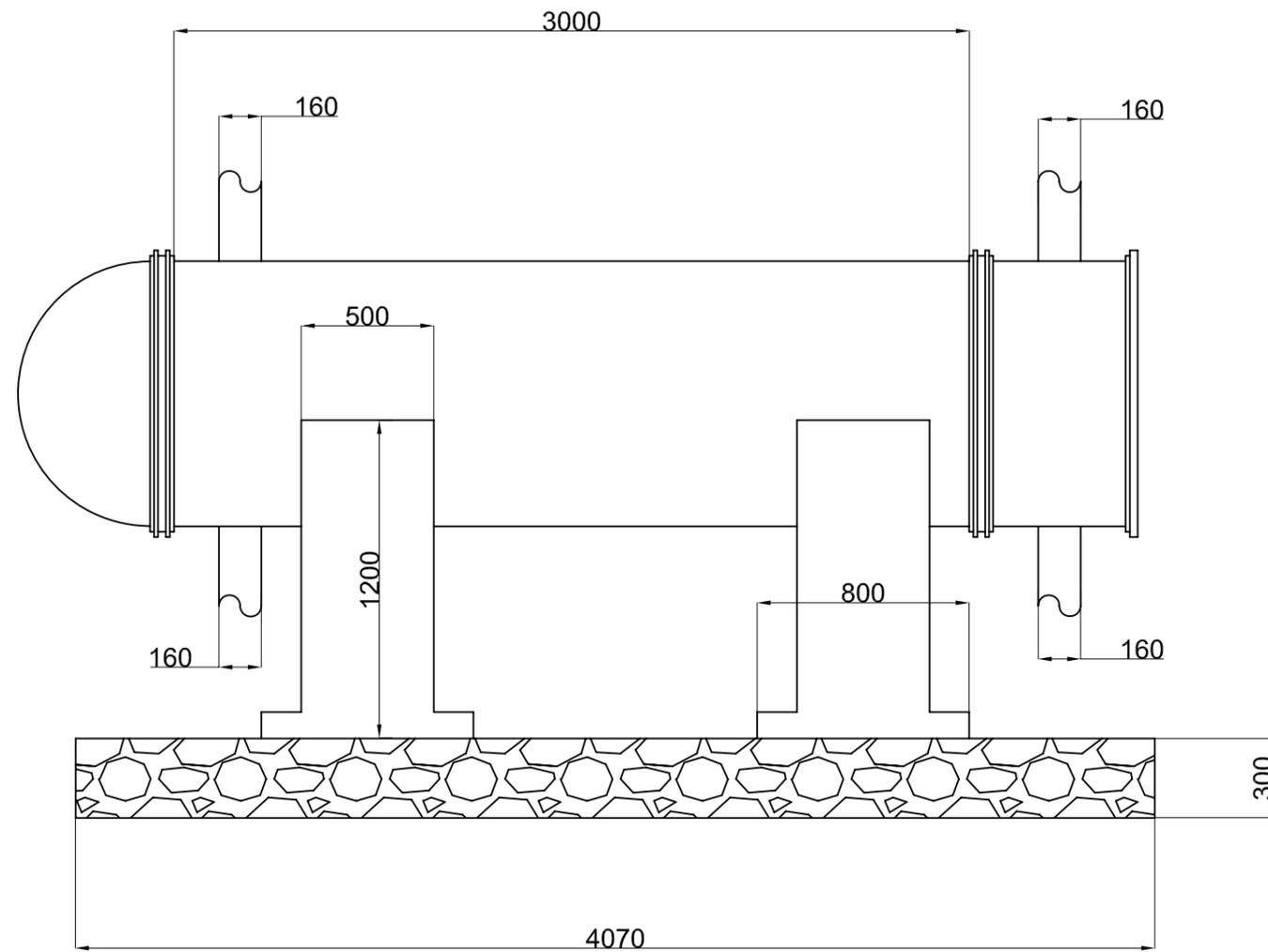
Ingeniero: Francisco José Vela Aragón



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº:	UCA-35-0001		Intercambiador de calor nº 1
Escala:	1:20	Fecha:	Junio - 2008
Ingeniero:	Francisco José Vela Aragón		Firma:



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Diseño de una planta piloto para la obtención de biobutanol a partir de azúcar bruta

Plano nº:
UCA-35-0002

Intercambiador de calor nº 2

Escala: 1:25

Fecha: Junio - 2008

Firma:

Ingeniero: Francisco José Vela Aragón

DOCUMENTO N° 4:
PLIEGO DE CONDICIONES

1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO.

1.1. Interpretación del pliego.

El presente pliego tiende a unificar criterios y establecer normas definidas en la obra que se realizarán en el presente proyecto. Se establecen los criterios que se han de aplicar en la ejecución de las obras, también se fijan las características y ensayos de los materiales a emplear, las normas que se han de seguir en la ejecución de las distintas unidades de obras, las pruebas previstas para la recepción, las formas de medida y abono de las obras y el plazo de garantía.

1.2. Objeto del pliego.

El pliego incluye las prescripciones técnicas que han de regir en la ejecución de las obras del presente proyecto, así como las condiciones facultativas, económicas y legales.

Son objeto de estudio todas las obras incluidas en el presupuesto, abarcando todos los oficios y materiales que se emplearán en ella.

1.3. Documentos que definen las obras.

El presente pliego, conjuntamente con los otros documentos, Memoria descriptiva, Anexos a la Memoria, Planos y Mediciones y Presupuesto, forman el proyecto que servirá de base para la ejecución de las obras. Los planos constituyen los documentos que definen la obra en forma geométrica y cuantitativa.

El Contratista encargado de la realización de las obras estará obligado a seguir estrictamente todo lo especificado en el presente pliego.

1.4. Alcance de la documentación.

Los diversos anexos y documentos del presente proyecto se complementan mutuamente. En consecuencia, una obra que venga indicada en los planos y presupuesto y no venga indicada en los otros documentos, debe ser ejecutada por el contratista sin indemnización alguna por parte del Propietario. Lo mismo se entiende para todos los trabajos accesorios no indicados en planos y documentos, pero generalmente admitidos como necesarios al complemento normal de ejecución de una obra de calidad irreprochable.

1.5. Compatibilidad y relación entre dichos documentos.

Los cinco documentos que definen este proyecto son compatibles entre sí y además se complementan unos a otros. Se ha de procurar que sólo con la ayuda de los Planos y del Pliego de Condiciones se pueda ejecutar totalmente el proyecto.

En cuanto al orden de prioridad dependerá del aspecto que se considere. Si se mira desde un punto de vista técnico – teórico, el documento más importante es la Memoria Descriptiva y en especial el Anexo de Cálculo, seguido de los Planos. Si se mira desde un punto de vista jurídico – legal, entonces será el Pliego de Condiciones el documento más importante.

1.6. Cuerpo normativo.

El cuerpo normativo de aplicación en la ejecución de las obras objeto del presente proyecto será el formado por toda la legislación de obligado cumplimiento que le sea de aplicación en la fecha de la forma del Contrato de adjudicación de las obras.

El Adjudicatario deberá atenerse en la adjudicación de la obra a las condiciones especiales dadas en los documentos que a continuación se

expresan, respecto a condiciones de los materiales y forma de ejecutar los trabajos y ensayos a que deben ser sometidos:

Estructuras de hormigón, fábricas, solados...

- Norma MV-101/1962. “Acciones en la edificación”. Decreto 195/1963 del M^o de Vivienda.
- Ley 6/1998, de 13 de Abril, sobre régimen del suelo y valoraciones.
- Ley 1/1997, de 18 de Junio, por la que se adoptan con carácter urgente y transitorio disposiciones en materia de régimen de suelo y ordenación urbana de Andalucía.
- Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE).
- Norma EH-91. “Instrucción para el Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón en Masa y Armado”.
- Norma Básica de la Edificación NBE-FL-90. “Muros resistentes de Fábricas de Ladrillo”. R.D. 1723/1990 de 20 de Diciembre (BOE 4.1.91).
- Norma de construcción sismorresistentes: Parte general y edificación (NCSE-94). R.D. 2543/1994 de 29 de Diciembre (BOE 8.2.1996).

Abastecimiento de aguas y vertidos.

- Norma Tecnológicas de la Edificación (NTE).
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tubería de abastecimiento de agua. Orden del MOPU de 28 de Julio (BOE 2.10.74 – 3.10.74 – 30.10.74).
- Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua del M^o de Industria.

Instalaciones eléctricas.

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones

Técnicas Complementarias.

- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía.
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y garantías de seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación e Instrucciones Técnicas.
- Normas Técnicas de Construcción y Montaje de las Instalaciones Eléctricas de Distribución de Sevillana de Electricidad.

Estructuras de acero.

- Norma NBE EA – 95. “Estructuras de Acero en Edificación”. R.D. 1829/1995, de 1995.
- Norma Tecnológicas de la Edificación.

Aparatos a presión.

- Reglamento de Aparatos a Presión (R.A.P.). R.D. 1244/79 del Mº de Industria y Energía.

Protección contra incendios.

- N.B.E. C.P.I.-96. “Condiciones de Protección Contra Incendios en los Edificios” del M. O. P. T.
- P.C.I. – “Protección Contra Incendios en los Establecimientos Industriales”.
- Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios. R.D. 1942/1993 (BOE 14.12.93).
- Normas Tecnológicas de la Edificación.

Medio ambiente.

- Decreto 153/1996, de 30 de Abril, por el que se aprueba el

Reglamento de Informe Ambiental.

- Ley de 7/1994, de 18 de Mayo, de Protección Ambiental.
- Norma Básica de Edificación NBE-CA-88 sobre condiciones acústicas en los edificios. Orden del MOPU de 29 de Septiembre de 1988 (BOE 7.9.81 – 3.9.82 – 7.10.82 – 8.10.88).

Seguridad y salud.

- Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Si entre la normativa de aplicación existiesen discrepancias, se aplicarán las más restrictivas, salvo que por parte de la Dirección Facultativa se manifieste por escrito lo contrario en el Libro de Ordenes.

Si entre la normativa de aplicación existiese contradicción será la Dirección Facultativa quien manifieste por escrito la decisión a tomar en el Libro de Ordenes.

Será responsabilidad del Contratista cualquier decisión tomada en los supuestos anteriores si esta no está firmada en el Libro de Órdenes por la Dirección Facultativa y por tanto estará obligado a asumir las consecuencias que deriven de las órdenes que debe tomar la Dirección Facultativa para corregir la situación creada.

2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.

2.1. Condiciones generales facultativas.

2.1.1. Dirección Facultativa.

Artículo 1. Dirección Facultativa.

La Dirección Facultativa de las obras e instalaciones recaerá en el Ingeniero que suscribe, salvo posterior acuerdo con la Propiedad.

Artículo 2. Facultades de la Dirección Facultativa.

Además de las facultades particulares que corresponden a la Dirección Facultativa, expresadas en los artículos siguientes, es misión específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que se realicen, con autoridad técnica legal, completa e indiscutible sobre las personas y cosas situadas en obra y con relación con los trabajos que para la ejecución del contrato se lleven a cabo pudiendo incluso con causa justificada, recusar en nombre de la propiedad al Contratista, si considerara que al adoptar esta solución es útil y necesario para la debida marcha de la obra.

Con este fin el Contratista se obliga a designar sus representantes de obra, los cuales atenderán en todas las observaciones e indicaciones de la Dirección Facultativa, asimismo el Contratista se obliga a facilitar a la Dirección Facultativa la inspección y vigilancia de todos los trabajos y a proporcionar la información necesario sobre el incumplimiento de las condiciones de la Contrata y el ritmo de realización de los trabajos, tal como está previsto en el plan de obra.

A todos estos efectos el Adjudicatario estará obligado a tener en la obra durante la ejecución de los trabajos el personal técnico, los capataces y encargados necesarios que ha juicio de la Dirección Facultativa sean necesarios para la debida conducción y vigilancia de las obras e instalaciones.

Artículo 3. Responsabilidades de la Dirección Facultativa por el retraso de la obra.

El contratista no podrá excusarse de no haber cumplimentado los plazos de obra estipulados, alegando como causa la carencia de planos y órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que la Contrata, en uso de las facultades que en este artículo se le conceda los haya solicitado por escrito a la Dirección Facultativa y éste no los haya entregado. En este único caso, el Contratista quedará facultado para recurrir entre los amigables componedores previamente designados, los cuales decidirán sobre la procedencia o no del requerimiento; en caso afirmativo, la Dirección Facultativa será la responsable del retraso sufrido, pero únicamente en las unidades de obra afectadas por el requerimiento del Contratista y las subsiguientes que con ellas estuviesen relacionadas.

Artículo 4. Cambio del director de obra.

Desde que se dé inicio a las obras, hasta su recepción provisional, el Contratista designará un jefe de obra como representante suyo autorizado, que cuidará que los trabajos sean llevados con diligencia y competencia. Este jefe estará expresamente autorizado por el Contratista para percibir notificaciones de las órdenes de servicio y de las instrucciones escritas o verbales emitidas por la Dirección Facultativa y para asegurar que dichas órdenes se ejecuten. Asimismo estará expresamente autorizado para firmar y aceptar las mediciones realizadas por la Dirección Facultativa.

Cualquier cambio que el Contratista desee efectuar respecto a su representante y personal cualificado y en especial del Jefe de Obra deberá comunicarla a la Dirección Facultativa, no pudiendo producirse el relevo hasta la aceptación de la Dirección Facultativa de las personas designadas.

Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados y empresarios de las obras, y en ausencia de todos ellos, las depositadas en la residencia designada como oficial del Contratista en el contrato de adjudicación, aún en ausencia o negativa del recibo por parte de los dependiente de la Contrata.

2.1.2. Obligaciones y derechos del Contratista.

Artículo 1. Obligaciones y derechos del Contratista.

El Director de Obra podrá exigir al Contratista la necesidad de someter a control los materiales que se han de colocar en las obras, sin que este control previo sea una recepción definitiva de los materiales. Igualmente tiene el derecho a exigir cuantos catálogos certificados, muestras y ensayos que estime oportunos para asegurarse de la calidad de los materiales.

Una vez adjudicados la obra definitiva y antes de su instalación, el Contratista presentará al técnico encargado, los catálogos, muestras, etc. que se relacionen en este pliego, según los distintos materiales. No se podrán emplear materiales sin que previamente hayan sido aceptados por la Dirección de Obra. Si el fabricante no reúne la suficiente garantía a juicio del Director de Obra, antes de instalarse comprobará sus características en un laboratorio oficial, en el que se realizarán las pruebas necesarias.

El control previo no constituye su recepción definitiva pudiendo ser rechazados por la Dirección de Obra aún después de colocados si no cumplen con las condiciones exigibles en el presente Pliego de Condiciones debiendo ser reemplazados por otros que cumplan con las calidades exigibles y a cargo de la Contrata.

Artículo 2. Remisión por solicitud de ofertas.

Por la Dirección Facultativa se solicitarán ofertas a las empresas especializadas del sector, para la realización de las instalaciones especificadas en el presente Proyecto, para lo cual se pondrá a disposición de los ofertantes un ejemplar del citado Proyecto o un extracto con los datos suficientes. En caso de que el ofertante lo estime de interés deberá presentar además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación.

El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

Art. 3. Presencia del Contratista en la obra.

El Contratista, por sí o por medio de sus representantes o encargados estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará a la Dirección Facultativa en las visitas que hará en la obra durante la jornada laboral.

Por sí, o por medio de sus representantes asistirá a las reuniones de obra que se convoquen, no pudiendo justificar por motivo de ausencia ninguna reclamación a las órdenes cruzadas por la Dirección Facultativa en el transcurso de las reuniones.

Artículo 4. Oficina de obra.

El Contratista habilitará una oficina de obra en la que existirá una mesa o tablero adecuado, para extender y consultar sobre él los planos. En dicha oficina tendrá siempre el Contratista una copia autorizada de todos los documentos del Proyecto que le hayan sido facilitados por la Dirección Facultativa y el libro de órdenes.

Artículo 5. Residencia del Contratista.

Desde que se dé comienzo a las obras hasta su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado deberá residir en un punto próximo al de la ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse de él sin previo conocimiento de la Dirección Facultativa y notificándole expresamente la persona que, durante su ausencia, le ha de representar en todas sus funciones. Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier rama que, como dependientes de la Contrata, intervengan en las obras y, en ausencia de ellos, las depositadas en la residencia, designada como oficial, de la Contrata en los documentos del Proyecto, aún en ausencia o negativa por parte de los dependientes de la Contrata.

Artículo 6. Recusación por el Contratista del personal nombrado por la Dirección Facultativa.

El Contratista no podrá recusar al personal técnico de cualquier índole, dependiente de la Dirección Facultativa o de la Propiedad, encargado de la vigilancia de las obras, ni pedir por parte de la Propiedad que se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones. Cuando se crea perjudicado con los resultados de éstos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo 2 “Reclamaciones

contra la Dirección Facultativa”, pero sin que, por esta causa, pueda interrumpirse la marcha de los trabajos.

2.1.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares.

Artículo 1. Libro de órdenes.

El Contratista tendrá siempre en la oficina de la obra y a disposición de la Dirección Facultativa un libro de órdenes con sus hojas foliadas por duplicado y visado por el colegio profesional correspondiente. En el libro se redactarán todas las órdenes que la Dirección Facultativa crea oportuno dar al Contratista para que adopte las medidas de todo género que puedan sufrir los obreros.

Cada orden deberá ser firmada por la Dirección Facultativa y por el Contratista o por su representante en la obra, la copia de cada orden quedará en poder de la Dirección Facultativa.

El hecho de que en el libro no figuren redactadas las órdenes que ya preceptivamente tienen la obligación de cumplimentar el Contratista de acuerdo con lo establecido en las normas oficiales, no supone atenuante alguno para las responsabilidades que sean inherentes al Contratista, no podrá tener en cuenta ningún acontecimiento o documento que no haya quedado mencionado en su momento oportuno en el libro de órdenes.

Artículo 2. Reclamaciones contra la Dirección Facultativa.

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes de la Dirección Facultativa sólo podrán presentarlas a través de la misma ante la Propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes; contra disposiciones de orden técnico o facultativa de la Dirección Técnica, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el

Contratista salvar sus responsabilidades, si lo estimo oportuno, mediante exposición razonada dirigida a la Dirección Facultativa la cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

Artículo 3. Despidos por insubordinación, incapacidad y mala fe.

Por falta de respeto y obediencia a la Dirección Facultativa o al personal encargado de la vigilancia de las obras, por manifiesta incapacidad, o por actos que comprometan o perturben la marcha de los trabajos y su seguridad, el Contratista tendrá obligación de despedir a sus dependientes y operarios a requerimiento de la Dirección Facultativa.

Artículo 4. Orden de los trabajos.

El Director de Obra fijará el orden a seguir en la realización de las distintas partes que componen este Proyecto, así como las normas a seguir en todo lo no regulado en el presente Proyecto.

En general, la determinación del orden de los trabajos será facultad potestativa de la Contrata, salvo aquellos casos en que, por cualquier circunstancia de orden técnico o facultativo, la Dirección estime conveniente su variación.

Estas órdenes deberán comunicarse precisamente por escrito a la Contrata y esta estará obligada a su estricto cumplimiento, siendo directamente responsable de cualquier daño o perjuicio que pudiera sobrevenir por su incumplimiento.

Artículo 5. Replanteo.

Antes de dar comienzo las obras, la Dirección Facultativa auxiliada del personal subalterno necesario y en presencia del Contratista o de su representante, procederá al replanteo general de la

obra. Una vez finalizado el mismo, se levantará acta de comprobación del replanteo.

Los replanteos de detalle se llevarán a cabo de acuerdo con las instrucciones y órdenes de la Dirección Facultativa, quien realizará las comprobaciones necesarias en presencia del Contratista o de su representante.

El Contratista se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

El Contratista está obligado a satisfacer los gastos de replanteo, tanto en general como parciales, y sucesivas comprobaciones. Asimismo, serán de cuenta del Contratista los que originen el alquiler o adquisición de los terrenos para depósitos de maquinaria y materiales, los de protección de materiales y obra contra todo deterioro, daño e incendio, cumpliéndose los requisitos vigentes para almacenamiento de carburantes desde los puntos de vista de seguridad y accidentes, los de limpieza y evacuación de los desperdicios, basura, escombros, etc., los motivados por desagües y señalización y demás recursos.

También serán de cuenta del Contratista los gastos totales de Dirección Facultativa y desplazamiento de personal y material para la inspección y vigilancia, recepción y liquidación.

Artículo 6. Comienzo de las obras.

El Contratista deberá dar comienzo a las obras en el plazo marcado en el Contrato de adjudicación de la obra desarrollándose en las formas necesarias para que dentro de los periodos parciales en aquel reseñados, queden ejecutadas las obras correspondientes y que, en consecuencia la ejecución total, se lleva a cabo dentro del plazo exigido por el Contrato.

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta a la Dirección Facultativa del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación. Previamente se habrá suscrito el acta de replanteo en las condiciones establecidas en el artículo 5 “Replanteo”.

Artículo 7. Plazo de ejecución.

Los plazos de ejecución total y parciales, indicados en el Contrato, se empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo, que no exceda de 7 días a partir de la fecha de la Contrata, y deberán quedar terminadas en el plazo improrrogable de 12 meses, contados a partir de la fecha del acta de replanteo.

El Contratista estará obligado a cumplir con los plazos que se señalen en el Contrato para la ejecución de las obras y que serán improrrogables. No obstante, además de lo anteriormente indicado, los plazos podrán ser objeto de modificación cuando así resulte por cambios determinados por el Director de Obra debidos a la exigencia de la realización de las obras y siempre que tales cambios influyan realmente en los plazos señalados en el Contrato.

Si por cualquier causa ajena por completo al Contratista, no fuera posible empezar los trabajos en la fecha prevista o tuvieran que ser suspendidos una vez empezados, se concederá por el Director de Obra la prórroga estrictamente necesaria.

Artículo 8. Condiciones generales de ejecución de los trabajos.

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto que haya servido de base a la Contrata a las modificaciones del mismo que, previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue la Dirección

Facultativa al Contratista siempre que estas encajen dentro de la cifra a que ascienden los presupuestos aprobados.

Artículo 9. Trabajos defectuosos.

El Contratista debe emplear los materiales que cumplan con las condiciones exigidas en las condiciones generales de índole técnico del Pliego de Condiciones en la edificación y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que puede servirle la excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que la Dirección Facultativa o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando la Dirección Facultativa o su representante en la obra advierta de vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado y todo ello a expensas de la Contrata.

Si esta no estimase justa la resolución y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá con lo establecido en el artículo 12 “Obras ocultas”.

Artículo 10. Aclaraciones y modificaciones de los documentos del Proyecto.

Cuando se trata de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones, las órdenes e instrucciones de los planos, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán por escrito al Contratista, estando éste obligado a su vez a devolver, ya los originales, ya las copias, suscribiendo con su firma al enterado, que figura así mismo en todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba tanto de la Propiedad como de la Dirección Técnica.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por estos crea oportuno no hacer el Contratista, habrá de dirigirla, dentro del plazo de 15 días a la Dirección Facultativa, la cual dará al Contratista el correspondiente recibo si éste lo solicitase.

Artículo 11. Ampliación del Proyecto por causas imprevistas de fuerza mayor.

Si por causa de fuerza mayor o independencia de la voluntad del Contratista y siempre que esta causa sea distinta de las que se especifiquen como la rescisión en el capítulo de condiciones generales de índole legal, aquel no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la Contrata, previo informe de la Dirección Facultativa.

Para ello, el Contratista expondrá por escrito dirigido a la Dirección Facultativa, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso de que por ello se originaría en los plazos acordados razonando la prórroga que por dicha causa se solicita.

Artículo 12. Obras ocultas.

De todos los trabajos donde haya unidades de obra que tienen que quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos e indispensables para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado y se entregarán uno al Propietario, otro a la Dirección Facultativa y el tercero al Contratista, firmados todos ellos por estos dos últimos.

Dichos planos, que deberán ir acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

Artículo 13. Vicios ocultos.

Si la Dirección Facultativa tuviese fundadas razones para creer la existencia de vicios ocultos de construcciones en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que supone defectuosos. Los gastos de demoliciones y reconstrucción que se ocasiona serán de cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente y en caso contrario correrán a cargo del Propietario.

Artículo 14. Características de los materiales, de los aparatos y su procedencia.

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas las clases en los puntos que le parezcan convenientes, siempre que reúnan las condiciones exigidas en el Contrato, que están perfectamente preparados para el objeto a que se apliquen y sea, a lo preceptuado en el Pliego de Condiciones y a las condiciones y a las instrucciones de la Dirección Facultativa.

Artículo 15. Empleo de los materiales y aparatos.

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y aparatos que no fuesen de la calidad requerida, sin que antes sean examinados y aceptados por la Dirección Facultativa, en los términos que prescriben los Pliegos, depositando al efecto el Contratista las muestras y modelos necesarios previamente contrastados, para efectuar en ellos las comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones vigente en la obra. Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc. antes indicadas serán a cargo del Contratista.

Artículo 16. Materiales no utilizables.

El Contratista, a su costa transportará y colocará agrupándolos ordenadamente en el sitio de la obra en el que por no causar perjuicios a la marcha de los trabajos se le designe, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc. que no serán utilizables en la obra. Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones Particulares vigente en la obra.

Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular se retirarán de ella cuando así lo ordene la Dirección Facultativa, pero acordando previamente con el Contratista la justa tasación de dichos materiales y los gastos de sus transportes.

Artículo 17. Materiales y aparatos defectuosos.

Cuando los materiales no fuesen de la calidad requerida o no estuviesen preparados, la Dirección Facultativa dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los pliegos de condiciones, o a falta de estas a las órdenes de la Dirección Facultativa. La Dirección Facultativa podrá permitir el empleo de aquellos materiales defectuosos que mejor le

parezcan o aceptar el empleo de otros de calidad superior a la indicada en los pliegos; si no le fuese posible al Contratista suministrarlos en el modo requerido por ellos, se descontará en el primer caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado y no teniendo derecho el Contratista a indemnización alguna en el segundo.

Artículo 18. Medios auxiliares.

Serán de cuenta y riesgo del Contratista los andamiajes, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesitan al Propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares. Todos estos, siempre que no se haya estipulado lo Contrario en las condiciones particulares de la obra quedarán a beneficio del Contratista, sin que este pueda fundar reclamación alguna en la insuficiencia de dichos medios, cuando estos estén detallados en el presupuesto y consignados por partida alzada o incluidos en los precios de las unidades de obra.

En caso de rescisión por incumplimiento del Contrato por parte del Contratista, los medios auxiliares del Constructor podrán ser utilizados libre y gratuitamente por la Administración, para la terminación de las obras.

En cualquier caso, todos estos medios auxiliares quedarán en propiedad del Contratista una vez terminadas las obras, pero ningún derecho tendrá a reclamación alguna por parte de los desperfectos a que su uso haya dado lugar.

Artículo 19. Medidas de seguridad.

El Contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes sobre la seguridad e higiene en el trabajo, tanto en lo que se refiere al personal de la obra como a terceros.

Como elemento primordial de seguridad se prescribirá el establecimiento de señalización necesaria tanto durante el desarrollo de las obras, como durante su explotación, haciendo referencia bien a peligros que existan o a las limitaciones de las estructuras.

Se utilizarán, cuando existan, las correspondientes señales establecidas por el Ministerio competente, y en su defecto por departamentos nacionales u organismos internacionales.

2.1.4. Recepción provisional, plazo de garantía y recepción definitiva.

Tanto en la recepción provisional, como definitiva, se observará lo regulado en el artículo 169 y siguientes del Reglamento de Contratación y en el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales.

Artículo 1. Recepción provisional.

Terminado el plazo de ejecución de las obras y puesta en servicio, se procederá a la recepción provisional de las mismas estando presente la comisión que designe el Contratista y el Director de Obra. Se realizarán todas las pruebas que el Director de Obra estime oportunas para el cumplimiento de todo lo especificado en este pliego y buena ejecución y calidad de las mismas, siendo inapelable el fallo que dicho Director, a la vista del resultado de las mismas, de donde sobre la validez o invalidez de las obras ejecutadas.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas provisionalmente comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía señalado en el presente pliego y procediéndose en el plazo más breve posible a su medición general y definitiva, con asistencia del Contratista o su representante.

Cuando las obras no se encuentren en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta especificando las premisas que el Director de Obra debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijando un plazo para ello.

Artículo 2. Conservación de los trabajos recibidos provisionalmente.

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el propietario, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la Contrata.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de rescisión de contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que la Dirección Facultativa fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del mismo corra a cargo del Contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuere preciso realizar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar y repasar la obra durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente Pliego de Condiciones Económicas.

El Contratista se obliga a destinar a su costa a un vigilante de las obras que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

Artículo 3. Plazo de garantía.

El plazo de garantía será de un año a contar desde la fecha de su recepción provisional. Durante el periodo de garantía todas las reparaciones derivadas de mala construcción imputables al contratista serán abonadas por este.

Si el Director de Obra tuviera fundadas razones para creer en la existencia de vicios de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar antes de la recepción definitiva las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos. Los gastos derivados en dichas demoliciones correrán a cargo del Contratista, siempre que existan tales vicios, en caso contrario correrán a cargo de la Propiedad.

Artículo 4. Recepción definitiva.

Pasado el plazo de garantía, si las obras se encuentran en perfecto estado de uso y conservación, de acuerdo al presente pliego, se darán por recibidas definitivamente.

Una vez recibidas definitivamente las obras se procederá de inmediato a su liquidación y resolución de la fianza de la que se detraerán las sanciones o cargas que procedan conforme a lo estipulado en el presente pliego.

En caso de que las obras no se encuentren en estado para la recepción definitiva, se procederá de igual forma que para la recepción provisional sin que el Contratista tenga derecho a percibir cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía.

2.1.5. Casos no previstos en este pliego.

El Director de Obra dará las normas a seguir en todo aquello que no quede regulado en este Pliego de Condiciones.

2.2. Condiciones generales económicas.

2.2.1. Base fundamental.

Artículo 1. Alcance.

Comprenderán las que afecten al coste y pago de las obras contratadas, al plazo y forma de las entregas, a las fianzas y garantías para el cumplimiento del Contrato establecido, a los casos que proceden las mutuas indemnizaciones y todas las que se relacionen con la obligación contraída por el Propietario a satisfacer el importe y la remuneración del trabajo contratado, una vez ejecutadas, parcial o totalmente por el Contratista, y de acuerdo con las condiciones convenidas, las que le fueran adjudicadas.

Artículo 2. Base fundamental.

La base fundamental de estas condiciones es que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que éstos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y condiciones generales y particulares que rijan la construcción contratada.

2.2.2. Garantías de cumplimiento y fianzas.

Artículo 1. Garantías.

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato; dichas referencias, si le son pedidas, las presentará el Contratista antes de la firma del Contrato.

Artículo 2. Fianzas.

Si la obra se adjudica por subasta, el depósito para tomar parte de ella se especificará en el anuncio de la misma y su cuantía será de un 3% como mínimo del total del presupuesto de la contrata.

La persona o entidad a quien se haya adjudicado la ejecución de la obra, deberá depositar en el punto y plazo marcados en el anuncio de la subasta la fianza definitiva de estas y en su defecto, su importe será del 10% de la cantidad por la que se otorgue la adjudicación de la obra.

La fianza que se exigirá al Contratista se convendrá entre el Ingeniero y el Contratista, entre una de las siguientes:

Deposito de valores públicos del Estado por un importe del 10% del presupuesto de la obra contratada.

Depósito en metálico de la misma cuantía indicada en el anterior apartado.

Depósito previo en metálico de la misma cuantía del 10% del presupuesto mediante deducción del 5% efectuadas del importe de cada certificación abonada al Contratista.

Descuento del 10% efectuado sobre el importe de cada certificación abonada al Contratista.

Artículo 3. Ejecución de los trabajos con cargos a la fianza.

Si el Contratista se negara a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero en nombre y representación del Propietario, los ordenará a ejecutar a un tercero, o directamente por Administración abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a

que tenga derecho el Propietario en el caso de que el importe de la fianza no baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo.

Artículo 4. Devolución de la fianza.

La fianza será devuelta al Contratista en el plazo que no exceda de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de la certificación del Alcalde al Distrito Municipal en cuyo término se halle emplazada la obra contratada, y no haya reclamación alguna contra aquel por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

2.2.3. Penalizaciones.

Artículo 1. Importe de indemnización por retraso no justificado.

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista, por causa de retraso no justificada en el plazo de terminación de las obras contratadas, se fijará entre cualquiera de los siguientes:

- Una cantidad fija durante el tiempo del retraso.
- El importe de la suma de perjuicios materiales causados por la imposibilidad de ocupación del inmueble, previamente fijados.
- El abono de un tanto por ciento anual sobre el importe del capital desembolsado a la terminación del plazo fijado y durante el tiempo que dure el retraso.

La cuantía y el procedimiento a seguir para fijar el importe de la indemnización, entre los anteriores especificados, se obtendrán expresamente entre ambas partes contratantes, antes de la firma del

Contrato; a falta de este previo convenio, la cuantía de la indemnización se entiende que será el abono por el Contratista al Propietario de un interés del 4,5% anual, sobre las sumas totales de las cantidades desembolsadas por el Propietario, debidamente justificadas y durante el plazo de retraso de la entrega de las obras, en las condiciones contratadas.

2.2.4. Precios y revisiones.

Artículo 1. Precios contradictorios.

Si ocurriese algún caso por virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma:

El Contratista formulará por escrito, bajo su firma, el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad.

La Dirección técnica estudiará el que, según su criterio, debe utilizarse.

Si ambos son coincidentes se formulará por la Dirección técnica el acta de avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio.

Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, la Dirección Facultativa propondrá a la Propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Contratista o, en otro caso, la segregación de la obra o instalación nueva, para ser ejecutada por administración o por otro adjudicatario distinto.

La fijación del precio contradictorio habrá de preceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo ya se hubiese comenzado, el Contratista estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle la Dirección Facultativa y a concluir a satisfacción de éste.

De los precios así acordados se levantarán actas que firmarán por triplicado el Director de Obra, el Propietario y el Contratista o los representantes autorizados a estos efectos por estos últimos.

Artículo 2. Revisión de precios.

Si los vigentes precios de jornales, cargas sociales y materiales, en el momento de firmar el Contrato, experimentan una variación oficial en más o menos de 5%, podrá hacerse una revisión de precios a petición de cualquiera de las partes, que se aplicará a la obra que falte por ejecutar. En caso de urgencia podrá autorizarse la adquisición de materiales a precios superiores, siendo el abono de la diferencia con los contratos.

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello que en principio no se debe admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que son características de determinadas épocas anormales se admite durante ellas la rescisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en armonía con las oscilaciones de los precios del mercado. El Contratista puede solicitar la revisión en alza del Propietario en cuanto se produzca cualquier alteración de precio que repercuta aumentando los contratados. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de recontinuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado y por causas justificadas haya subido, especificándose y acordándose también previamente la fecha a partir de la cual se tendrá en cuenta y cuando

proceda, el acopio de materiales en la obra en el caso que estuviese abonado total o parcialmente por el Propietario.

Si el Propietario o el Ingeniero en su representación no estuviese conforme con los nuevos precios de materiales que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, en cuyo caso se tendrá en cuenta para la revisión, los precios de los materiales adquiridos por el Contratista merced a la información del Propietario.

Cuando entre los documentos aprobados por ambas partes figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de precios.

Artículo 3. Reclamaciones de aumentos de precios.

Si el Contratista, antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación y observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que se aprobase para la ejecución de las obras.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión del contrato, señalados en los documentos relativos a las Condiciones Generales o Particulares de índole Facultativa, sino en el caso de que la Dirección Facultativa o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de la adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en la Contrata,

respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, puesto esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

Artículo 4. Normas para la adquisición de los materiales.

Si al Contratista se le autoriza a gestionar y adquirir los materiales, deberá presentar al Propietario los precios y las muestras de los materiales, necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

Si los materiales fuesen de inferior calidad a las muestras presentadas y aprobadas, el Contratista adquiere la obligación de rechazarlos hasta que se le entreguen otros de las calidades ofrecidas y aceptadas. A falta del cumplimiento de esta obligación, el Contratista indemnizará al Propietario con el importe de los perjuicios que por su incumplimiento se originen, cuya cuantía la evaluará el Ingeniero Director.

Artículo 5. Intervención administrativa del Propietario.

Todos los documentos que deben figurar en las cuentas de administración llevarán la conformidad del representante en los partes de jornales, transportes y materiales, firmando su conformidad en cada uno de ellos.

Artículo 6. Mejora de obra.

No se admitirán mejorar las obras, más que en el caso que el Ingeniero haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo el caso de error en las mediciones del Proyecto, a

menos que el Ingeniero ordene también por escrito la ampliación de las contratadas.

Será condición indispensable que ambas partes contratadas convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales y los aumentos de todas las mejoras.

Artículo 7. Unidades de obra no conformes con el Proyecto.

Si el Contratista, por causa justificada a juicio del Ingeniero propusiera la ejecución de algún trabajo que no esté conforme con las condiciones de la contrata y por causas especiales de excepción la estimase el Ingeniero, éste resolverá dando conocimiento al Propietario y estableciendo contradictoriamente con el Contratista la rebaja del precio.

2.2.5. Medición, valoración y abono de las unidades de obra.

Artículo 1. Medición, valoración y abono de las unidades de obra.

El pago de obras realizadas se hará sobre certificaciones parciales que se practicarán mensualmente. Dichas certificaciones contendrán solamente las unidades de obra totalmente terminadas que se hubieran ejecutado en el plazo a que se refieran.

La relación valorada que figure en las certificaciones, se hará con arreglo a los precios establecidos y con la cubicación, planos y referencias necesarias para su comprobación.

La comprobación, aceptación o reparos deberán quedar terminadas por ambas partes en un plazo máximo de 15 días.

El Director de Obra expedirá las certificaciones de las obras ejecutadas, que tendrán carácter provisional a buena cuenta, verificables por la liquidación definitiva o por cualquiera de las certificaciones siguientes, no suponiendo por otra parte, aprobación ni recepción de las obras ejecutadas y comprendidas en dichas certificaciones.

Serán de abono al Contratista las obras de fábrica ejecutadas con arreglo a condiciones y con sujeción a los planos del Proyecto o a las modificaciones introducidas por el Director Técnico en el replanteo o durante la ejecución de las obras, que constarán en planos de detalle y órdenes escritas. Se abonarán por su volumen o su superficie real de acuerdo con lo que se especifique en los correspondientes precios unitarios que figuran en el cuadro de precios.

Artículo 2. Mediciones parciales y finales.

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de lo que se levantará acta por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminadas las obras con precisa asistencia del Contratista.

En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición en los documentos que le acompañan, deberá aparecer la conformidad del Contratista o de su representación legal. En caso de no haber conformidad, lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

Artículo 3. Composición de los precios unitarios.

Los precios unitarios se compondrán preceptivamente de la siguiente forma:

- Mano de obra, por categorías dentro de cada oficio,

expresando el número de horas intervenidas por cada operario en la ejecución de cada unidad de obra y los jornales horarios correspondientes.

- Materiales, expresando la cantidad que en cada unidad de obra se precise de cada uno de ellos y su precio unitario respectivo en origen.
- Transporte de materiales, desde el punto de origen al pie de trabajo.
- Tanto por ciento de medios auxiliares y de seguridad.
- Tanto por ciento de gastos generales.
- Tanto por ciento de seguros y cargas sociales.
- Tanto por ciento de beneficio industrial del contratista.

Artículo 4. Composición de los precios por ejecución material.

Se entiende por precio de ejecución material el que importe el coste total de la unidad de obra, es decir, el resultante de la suma de las partidas que importan los conceptos "dos" y "seis", ambos inclusive, del artículo precedente, es decir, p.d.m. será igual a la suma de los cinco primeros conceptos del artículo anterior.

Artículo 5. Composición de los precios por contrata.

En el caso de que los trabajos a realizar en la obra y obra aneja, se entiende por precio de contrata el que importe el coste de la unidad de obra total, es decir, el precio de ejecución material más el tanto por ciento sobre éste último precio en concepto de "beneficio industrial del Contratista".

A falta de convenio especial se aplicará el 15%. De acuerdo con lo establecido se entiende por importe de contrata de un edificio u obra aneja, a la suma de su importe de ejecución material más el 15% de beneficio industrial:

- Imprevistos 1%.
- Gastos de administración y dirección práctica de los trabajos 5%.
- Intereses del capital adelantado por el Contratista 3%.
- Beneficio industrial del Contratista 6%.

Artículo 6. Composición de los precios por administración.

Se denominan obras por administración aquellas en que las gestiones que se precisen realizar, las lleva acabo el Propietario, bien por sí o por un representante suyo, o bien por mediación de su Constructor.

Las obras por administración directa son aquellas en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo lleve las gestiones precisas para la ejecución de las obras.

Las obras por administración indirecta son aquellas en las que convienen un Propietario y el Contratista, para que éste por cuenta de aquel y como delegado suyo realice las gestiones y los trabajos que se precisen y así se convengan.

Por parte del Propietario, tiene la obligación de abonar directamente o por mediación del contratista todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos. Por parte del contratista, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos.

Para la liquidación de los trabajos que se ejecute por administración indirecta, regirán las normas que a tales fines se establece en las Condiciones Particulares de índole Económico vigente en la obra:

- Las facturas de los transportes de materiales entrados en la obra.

- Los documentos justificativos de las partidas abonadas por los seguros y cargas sociales vigentes.
- Las nóminas de los jornales abonados.
- Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra.
- A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión o pago haya intervenido el Contratista se le aplicará un 15%, incluidos los medios auxiliares y los de seguridad.

Artículo 7. Precio del material acopiado a pie de obra.

Si el Propietario ordenase por escrito al Contratista el acopio de materiales o aparatos en la obra a los precios contratados y ésta así lo efectuase, los que se hayan acopiado se incluirán en la certificación siguiente a su entrada en la obra.

Artículo 8. Precio de las unidades de obra y de las partidas alzadas.

En los precios de las distintas unidades de obra, en los de aquellas que hayan de abonarse por partidas alzadas, se entenderán que se comprende el de la adquisición de todos los materiales necesarios, su preparación y mano de obra, transporte, montaje, colocación, pruebas y toda clase de operaciones y gastos que vayan a realizarse, así como riesgos y gravámenes que puedan sufrirse, aún cuando no figuren explícitamente en el cuadro de precios, para dejar la obra completamente terminada, con arreglo a las condiciones, y para conservarla hasta el momento en que se realice la entrega.

Los precios serán invariables, cualquiera que sea la procedencia de los materiales y el medio de transporte, sin más excepción que la expresada en este Pliego.

Artículo 9. Relaciones valoradas y certificaciones.

Lo ejecutado por el Contratista se valorará aplicando al resultado de la medición general los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo en cuenta además lo establecido en el presente pliego respecto a mejoras o sustituciones de materiales y a las obras accesorias y especiales.

Al Contratista se lo facilitarán por el Ingeniero los datos de la certificación, acompañándolos de una nota de envío, al objeto, que dentro del plazo de 10 días a partir de la fecha del envío de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos y devolverlos firmados con su conformidad, hacer en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas.

Dentro de los 10 días siguientes a su recibo, el Ingeniero aceptará o rechazará las reclamaciones al Contratista si las hubiera, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución del Ingeniero en la forma prevenida en los pliegos anteriores.

Cuando por la importancia de la obra, o por la clase y número de documentos, no considere el Contratista suficiente aquel plazo para su examen, podrá el Ingeniero concederle una prórroga. Si transcurrido el plazo de 10 días a la prórroga expresada no hubiese devuelto el Contratista los documentos remitidos, se considerará que está conforme con los referidos datos, y expedirá el Ingeniero la certificación de las obras ejecutadas.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el 90% de su importe, a los que figuren en los documentos del proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de contrata.

Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al período a que se refieren, y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere.

En el caso de que el Ingeniero lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

Artículo 10. Valoración en el caso de rescisión.

Cuando se rescinda la contrata por causas que no sean de la responsabilidad del Contratista, las herramientas y demás útiles que como medios auxiliares de la construcción se hayan estado empleando en las obras con autorización del Ingeniero y la contrata y de no mediar acuerdo, por los amigables componedores de índole legal y facultativa.

A los precios de tasación sin aumento alguno, recibirá el Propietario aquellos de dichos medios auxiliares que señalan en las condiciones de cada contrata, o en su defecto los que se consideren necesarios para terminar las obras y quiera reservar para sí el Contratista, entendiéndose que si no tendrán lugar el abono por este concepto, cuando el importe de los trabajos realizados hasta la rescisión no llegue a los tercios de la obra contratada.

Se abonarán los materiales acopiados al pie de obra si son de recibo y de aplicación para terminar esta, en una cantidad proporcionada a la obra pendiente de ejecución, aplicándose a estos materiales los precios que figuren en el cuadro de precios

descompuestos. También se abonarán los materiales acopiados fuera de la obra, siempre que se transporten al pie de ella.

En el caso de rescisión por falta de pago o retraso en el abono o suspensión por plazo superior de un año imputable al Propietario, se concederá al contratista además de las cantidades anteriormente expuestas, una indemnización que fijará el Ingeniero, la cual no podrá exceder del 3% del valor de las obras que falten por ejecutar.

En caso de rescisión por alteración de presupuesto o por cualquiera de las causas reseñadas en las condiciones legales, no procederá más que el reintegro al Contratista de los gastos por custodias de fianza, anuncio de subasta y formalización del contrato, sin que pueda reclamar el abono de los útiles destinados a las obras.

En caso de rescisión por falta de cumplimiento en los plazos de obra, no tendrá derecho el Contratista a reclamar ninguna indemnización a las obras pero si a que se abonen las ejecutadas, con arreglo a condiciones y los materiales acopiados a pie de obra que sean de recibo.

Si lo incompleto, es la unidad de obra y la parte ejecutada en ella fuera de recibo, entonces se abonará esta parte con arreglo a lo que correspondan según la descomposición del precio que figura en el cuadro del Proyecto, sin que pueda pretender el Contratista que, por ningún motivo se efectúe la descomposición en otra forma que la que en dicho cuadro figura.

Toda unidad compuesta o mixta no especificada en el cuadro de precios, se valorará haciendo la descomposición de la misma y aplicando los precios unitarios de dicho cuadro a cada una de las partes que la integra, quedando en esta suma, así obtenida, comprendidos todos los medios auxiliares.

En general se dará al Contratista un plazo de tiempo que determinará la Dirección de la Obra, dentro de los límites de 20 y 60 días para poner el material en curso de instalaciones de ser aceptado como obra terminada, teniendo en cuenta que las no finalizadas se liquidarán a los precios elementales que figuren en el presupuesto, así como los recibos de los materiales a pie de obra que reúnan las debidas condiciones se seguirá por las disposiciones vigentes.

Artículo 11. Equivocaciones en el presupuesto.

Se supone que el Contratista ha hecho detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por tanto al no haber hecho ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios, de tal suerte, que si la obra ejecutada con arreglo al proyecto contiene mayor número de unidades que las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna.

Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

Artículo 12. Formas de abono de las obras.

El abono de los trabajos efectuados se efectuará por uno de los procedimientos siguientes, convenido por el Ingeniero y el Contratista antes de dar comienzo los trabajos:

- 1º. Tipo fijo o a tanto alzado total.
- 2º. Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar el número de unidades ejecutadas.

- 3°. Tanto variable por unidad de obra según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes del Ingeniero.
- 4°. Por lista de jornales y recibos de materiales autorizados en la forma que el presente pliego determina.
- 5°. Por horas de trabajo ejecutado en las condiciones determinadas en el Contrato.

Artículo 13. Abono de unidades de obra ejecutadas.

El Contratista deberá percibir el importe de todas aquellas unidades de obra que haya ejecutado con arreglo y sujeción a los documentos del Proyecto, a las condiciones de la contrata y a las órdenes e instrucciones que por escrito entregue el Ingeniero.

Artículo 14. Abono de trabajos presupuestados con partidas alzadas.

Si existen precios contratados para unidades de obras iguales a las presupuestadas mediante partida alzada se abonará previa medición y aplicación del precio establecido.

Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerá, precios contradictorios para las unidades con partidas alzadas, deducidos de los similares contratados.

Si no existen precios contratados, para unidades de obra iguales o similares, la partida alzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse en cuyo caso, el Ingeniero director de la obra indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que debe seguirse para llevar dicha cuenta.

Artículo 15. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos para su abono se procederá así:

- Si los trabajos se realizan y están especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y el Ingeniero exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valoradas a los precios que figuren en el presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en los pliegos particulares o en su defecto en los generales, en el caso de que dichos fueran inferiores a los que rijan en la época de su realización en caso contrario, se aplicarán estos últimos.
- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso de las obras, por haber sido utilizadas durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, nada se abonará por ellos al Contratista.

Artículo 16. Abono de obras incompletas.

Cuando por rescisión u otra causa fuera preciso valorar obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra en forma distinta, ni que tenga derecho el Contratista a reclamación alguna por insuficiencia u omisión del costo de cualquier elemento que constituye el precio.

Las partidas que componen la descomposición del precio serán de abono cuando esté acopiado en obra la totalidad del material, incluidos accesorios, o realizados en su totalidad las labores u operaciones que determina la definición de la partida, ya que el criterio a seguir ha de ser que sólo se consideran abonables fases con ejecución terminadas,

perdiendo el Adjudicatario todos los derechos en el caso de dejarlas incompletas.

Artículo 17. Liquidaciones parciales.

Las liquidaciones se harán por certificaciones mensuales y se hallarán multiplicando las unidades resultantes de las mediciones por el precio asignado de cada unidad en el presupuesto. Se añadirá el % correspondiente al sistema de Contrato, desquitando las rebajas que se obtuvieran en subasta.

Artículo 18. Carácter provisional de las liquidaciones parciales.

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

La Propiedad se reserva en todo momento y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la obra, a cuyo efecto deberá presentar el Contratista los comprobantes que se exijan.

Artículo 19. Liquidación final.

La liquidación general se llevará a cabo una vez terminadas las obras y en ella se hará constar las mediciones y valoraciones de todas las unidades de obra realizadas, las que constituyen modificaciones del proyecto, y los documentos y aumentos que se aplicaron en las liquidaciones parciales, siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la Dirección técnica con sus precios.

De ninguna manera tendrá derecho el Contratista a formular reclamaciones por aumentos de obra que no estuviesen autorizados por escrito a la Propiedad con el visto bueno del Ingeniero Director.

Artículo 20. Liquidación en caso de rescisión.

En este caso, la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se redactará de acuerdo por ambas partes. Incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la rescisión.

Artículo 21. Pagos.

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y sus importes corresponderán precisamente al de las certificaciones de obras expedidas por el ingeniero, en virtud de las cuales se verificarán aquellos.

Artículo 22. Suspensión o retrasos en el ritmo de los trabajos por retraso en los pagos.

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos o ejecutarlos a menor ritmo que el que le corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

Artículo 23. Demora de los pagos.

Si el Propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que corresponda el plazo convenido, el Contratista tendrá además el derecho de percibir el abono de un 4,5% anual en concepto de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo, tendrá derecho el Contratista a la rescisión del Contrato,

procediéndose a la ejecución de la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que estos reúnan las condiciones preestablecidas y que la cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

Se rechazará toda solicitud de rescisión del Contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra en los materiales acopiados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el Contrato.

Artículo 24. Indemnización de daños causados por fuerza mayor.

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas ocasionadas en la obra sino en los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo, se considerarán como tales casos los que siguen:

- Los incendios causados por electricidad atmosférica.
- Los producidos por terremotos o los maremotos.
- Los producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de los ríos, superiores a los que sean de prever en el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que por el Contratista se tomarán las medidas posibles dentro de sus medios para evitar los daños.
- Los que provengan de movimientos del terreno e que estén construidas las obras.

La indemnización se referirá al abono de las unidades de obra ya ejecutadas con materiales acopiados a pie de obra; en ningún caso comprenderá medios auxiliares.

2.3. Condiciones generales legales.

2.3.1. Arbitrio y jurisdicción.

Artículo 1. Formalización del contrato.

Los Contratos se formalizarán mediante documentos privados, que podrán elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes y con arreglo a las disposiciones vigentes. Este documento contendrá una cláusula en la que se expresa terminantemente que el Contratista se obliga al cumplimiento exacto del Contrato, conforme a lo previsto en el Pliego General de Condiciones.

El Contratista antes de firmar la escritura habrá firmado también su conformidad al pie del Pliego de Condiciones Particulares que ha de regir la obra, en los planos, cuadros de precios y presupuesto general.

Serán de cuenta del Adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne la contrata.

Artículo 2. Arbitraje obligatorio.

Ambas partes se comprometen a someterse en sus diferencias al arbitraje de amigables componedores, designados uno de ellos por el Propietario, otro por la contrata y tres Ingenieros por el C.O. correspondiente, uno de los cuales será forzosamente el Director de Obra.

Artículo 3. Jurisdicción competente.

En caso de no haberse llegado a un acuerdo por el anterior procedimiento, ambas partes son obligadas a someterse a la discusión de todas las cuestiones que pueden surgir como derivadas de su Contrato, a las autoridades y tribunales administrativos, con arreglo a la

legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese enclavada la obra.

2.3.2. Responsabilidades legales del contratista.

Artículo 1. Medidas preparatorias.

Antes de comenzar las obras el Contratista tiene la obligación de verificar los documentos y de volver a tomar sobre el terreno todas las medidas y datos que le sean necesarios. Caso de no haber indicado al Director de obra en tiempo útil, los errores que pudieran contener dichos documentos, el Contratista acepta todas las responsabilidades.

Artículo 2. Responsabilidad en la ejecución de las obras.

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el Contrato y en los documentos que componen el Proyecto. Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo lo mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que la Dirección Facultativa haya examinado o reconocido la construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonadas las liquidaciones parciales.

Artículo 3. Legislación Social.

Habrá de tenerse en cuenta por parte del Contratista la Reglamentación de Trabajo, así como las demás disposiciones que regulan las relaciones entre patronos y obreros, contratación del Seguro Obligatorio, Subsidio Familiar y de Vejez, los Accidentes de Trabajo, Seguridad e Higiene en el Trabajo y demás con carácter social urgentes durante la ejecución de las obras.

El Contratista ha de cumplir lo reglamentado sobre seguridad e higiene en el trabajo, así como la legislación actual en el momento de ejecución de las obras en relación sobre protección a la industria nacional y fomento del consumo de artículos nacionales.

Artículo 4. Medidas de seguridad.

En caso de accidentes ocurridos a los operarios con motivo de ejercicios en los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos vigentes en la legislación, siendo en todo caso único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la Propiedad, por responsabilidad en cualquier aspecto.

De los accidentes y perjuicios de todo género que por cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudiera recaer o sobrevenir, será este el único responsable, o sus representantes en la obra, ya se considera que los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente, dichas disposiciones legales, será preceptivo que el tablón de anuncios de la obra presente artículos del Pliego de Condiciones Generales de índole general, sometido previamente a la firma de la Dirección Facultativa.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes perpetúen para evitar en lo posible accidentes a los obreros y a los andantes no sólo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra.

Se exigirán con especial atención la observación de lo regulado por la ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.G.S.H.T.).

Artículo 5. Vallado y policía de obra.

Serán de cargo y cuenta del Contratista el vallado y la policía del solar, cuidando de la conservación de sus líneas de lindeo, y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiese, no se realicen durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad.

Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento del Ingeniero Director.

Artículo 6. Permisos y licencias.

El adjudicatario estará obligado a tener todos los permisos y licencias, para la ejecución de las obras y posterior puesta en servicio y deberá abonar todas las cargas, tasas e impuestos derivados de la obtención de dichos permisos.

Artículo 7. Daños a terceros.

El Contratista será responsable de todos los accidentes que por inexperiencia o descuido sobreviniese en la edificación donde se efectúan las obras.

Como en las contiguas, será, por tanto, de sus cuentas el abono de las indemnizaciones a quien corresponde y cuando ello hubiera lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir cuando a ello fuese requerido, el justificante de tal cumplimiento.

Artículo 8. Seguro de la obra.

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva, la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la sociedad aseguradora se ingresará en cuenta a nombre del Propietario, para que con cargo a él, se abone la obra que se construye y a medida que esta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones como el resto de los trabajos. En las obras de reparación o reforma, se fijará la porción de la obra que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se previene, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte de la obra afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza de seguros, las pondrá el Contratista antes de contratadas, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

Artículo 9. Suplementos.

El Contratista no puede hacer ningún trabajo que ocasione suplementos de gastos sin autorización escrita del Propietario de la instalación y con el visto bueno del Director de obra.

Artículo 10. Conservación y otros.

El Contratista ejecutor de las obras tendrá que conservar a su cargo todos los elementos de las obras civiles y eléctricas desde el comienzo de las obras hasta la recepción definitiva de las mismas. A este respecto, los gastos derivados de la conservación, tales como revisiones periódicas de las instalaciones, vigilancia, reposición de posibles desperfectos causados por terceros, limpieza de aparatos, etc.

correrán a cargo del Contratista, no pudiendo éste alegar que la instalación esté o no en servicio.

La sustitución o reparación será decidida por la Dirección de obra, que juzgará a la vista del incidente si el elemento puede ser reparado o totalmente sustituido por uno nuevo teniendo que aceptar totalmente dicha decisión.

El Contratista estará obligado a ejecutar aquellos detalles imprevistos por su minuciosidad o que se hayan omitido si el Director de la obra lo juzga necesario.

Artículo 11. Hallazgos.

El Propietario se reserva la posesión de las antigüedades, objetos de arte, o sustancias minerales utilizables, que se encuentren en las excavaciones y demoliciones practicadas en su terreno o edificaciones. El Contratista deberá emplear para extraerlo todas las precauciones que se le indiquen por la Dirección.

El Propietario abonará al Contratista el exceso de obras o gastos especiales que estos trabajos ocasionen.

Serán así mismo, de la exclusiva pertenencia del Propietario los materiales y corrientes de agua que, como consecuencia de la ejecución de las obras, aparecieran en los solares o terrenos donde se realicen las obras, pero el Contratista, en el caso de tratarse de aguas y si las utilizara, serán de cargo del Contratista las obras que sean convenientes ejecutar para recogerlas para su utilización.

La utilización para el aprovechamiento de gravas y arenas y toda clase de materiales procedentes de los terrenos donde los trabajos se ejecuten, así como las condiciones técnicas y económicas en que estos

aprovechamientos han de concederse y ejecutarse se señalarán para cada caso concreto por la Dirección Facultativa.

Artículo 12. Anuncios y carteles.

Sin previa autorización de la Propiedad no podrán ponerse, ni en sus vallas, más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y la policía local.

Artículo 13. Copia de documentos.

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, presupuesto, y pliego de condiciones y demás documentos del proyecto.

2.3.3. Subcontratas.

Artículo 1. Subcontratas.

El Contratista puede subcontratar una parte o la totalidad de la obra a otra u otras empresas, administradores, constructores, instaladores, etc. no eximiéndose por ello de su responsabilidad con la Propiedad.

El Contratista será el único responsable de la totalidad de la obra tanto desde el punto de vista legal como económico, reconociéndose como el único interlocutor válido para la Dirección Técnica.

2.3.4. Pago de arbitrios.

Artículo 1. Pago de arbitrios.

El pago de impuestos y arbitrios en general municipales o de otro régimen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse el

tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo del Contratista siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, al Contratista le deberá ser reintegrado el importe de todos aquellos conceptos que la Dirección Facultativa considere justo hacerlo.

2.3.5. Causas de rescisión del contrato.

Artículo 1. Causas de rescisión del contrato.

Se consideran causas suficientes de rescisión de Contrato las que a continuación se señalan:

- La muerte o incapacidad del Contratista.
- La quiebra del Contratista.

En los casos anteriores, si los herederos o síndico se ofrecieran a llevar a cabo las obras bajo las mismas condiciones estipuladas en el Contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que este último caso tengan derecho a indemnización alguna.

Las alteraciones del Contrato por las causas siguientes:

- La modificación del Proyecto en forma tal, que representan alteraciones fundamentales del mismo a juicio de la Dirección Facultativa y en cualquier caso, siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, representen más o menos un 25% como mínimo del importe de aquel.
- La modificación de las unidades de obra siempre que estas modificaciones representen variaciones, más o menos del 40% como mínimo de alguna de las unidades que figuren en las modificaciones del Proyecto, o más de un 50% de

unidades del Proyecto modificadas.

- La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo de la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación; en este caso la devolución de la fianza será automática.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.
- El no dar comienzo de la contrata a los trabajos dentro de los plazos señalados en las condiciones particulares del Proyecto.
- Incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras. La mala fe de la ejecución de los trabajos.
- El abonado de la obra sin causa justificada.
- La terminación del plazo de ejecución de la obra sin haberse llegado a esta.

Quedará rescindido el contrato por incumplimiento del contratista de las condiciones estipuladas en este Pliego perdiendo en este caso la fianza, y quedando sin derecho a reclamación alguna.

3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES.

En este Capítulo se detallan las características técnicas de los materiales, maquinarias y equipos a emplear, y los medios de ejecución de las obras, además se redactarán las normas de seguridad en el desarrollo de los trabajos y los métodos de medición y valoración a seguir; para cada uno de los capítulos que conforman la ejecución al completo del Proyecto.

3.1. Generalidades.

Artículo 1. Medición y valoración de las unidades de obra.

El pago de obras realizadas se hará sobre certificaciones parciales que se practicarán mensualmente. Dichas certificaciones contendrán solamente las unidades de obra totalmente terminadas que se hubieran ejecutado en el plazo a que se refieran. La relación valorada que figure en las certificaciones, se hará con arreglo a los precios establecidos y con la cubicación, planos y referencias necesarias para su comprobación.

La comprobación, aceptación o reparos deberán quedar terminadas por ambas partes en un plazo máximo de 15 días.

El Director de obra expedirá las certificaciones de las obras ejecutadas, que tendrán carácter provisional a buena cuenta, verificables por la liquidación definitiva o por cualquiera de las certificaciones siguientes, no suponiendo por otra parte, aprobación ni recepción de las obras ejecutadas y comprendidas en dichas certificaciones.

Serán de abono al Contratista, las obras de tierra, de fábrica y accesorios, ejecutadas con arreglo a condiciones y con sujeción a los planos del Proyecto, o a las mediciones introducidas por el Director de la

Obra, en el replanteo de las mismas, que costará en el plano de detalle y órdenes escritas, se abonará por el volumen o peso de acuerdo con lo que se especifique en los correspondientes precios unitarios que figuren en el cuadro de precios.

Artículo 2. Condiciones generales de seguridad e higiene en el trabajo.

De acuerdo con lo prescrito en el Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo, en vigor, las obras objeto del Proyecto satisfará todas las medidas de seguridad e higiene en beneficio del personal de la misma, haya de realizar su trabajo.

3.2. Comienzo de las obras.

Artículo 1. Replanteo.

El Director Obra auxiliado por el personal técnico y equipo de trabajo, de la empresa adjudicataria encargada de la ejecución, efectuará sobre el terreno el replanteo general de las obras que comprenden el Proyecto, así como los replanteos parciales que sean necesarios durante la ejecución de las mismas, dejando constancia material mediante señales, hitos y referencias colocadas en puntos fijos del terreno que tengan garantía de permanencia para que durante la ejecución de las obras puedan fijarse con relación a ellas, la situación en planta o en altura de cualquier elemento o parte de las mismas obras.

El Contratista facilitará a sus expensas cuantos medios materiales y auxiliares se necesiten para llevar a cabo los replanteos generales y parciales.

Con los resultados obtenidos, se levantará acta, acompañada de planos, mediciones y valoraciones, firmadas por el Director Obra y el Contratista o representante en quien delegue, en la que se hará constar

las modificaciones introducidas, caso de que se produzcan, presupuestos resultantes y cuantas incidencias sean de interés para un mejor realización de las obras.

El Contratista, desde el momento que firma el acta de replanteo, se hace responsable de la conservación y reposición de todos los datos que motiven las operaciones reseñadas en este artículo, incluidos materiales, colaboración etc.

Si durante la realización de las obras se apreciase un error en los replanteos, alineaciones o dimensiones de una parte cualquiera de las obras, el Contratista procederá a su rectificación a su costa. La verificación de los replanteos, alineaciones o dimensiones por la Dirección de obra, no eximirá al Contratista de sus responsabilidades en cuanto a sus exactitudes.

Artículo 2. Limpieza del terreno.

Las operaciones de desbrozado deberán ser efectuadas con las debidas precauciones de seguridad a fin de evitar daños en las construcciones existentes, propiedades colindantes, vías y servicios públicos y accidentes cualquier tipo.

Todos los materiales que puedan ser destruidos por el fuego serán quemados, de acuerdo con las normas que sobre el particular existan en la localidad.

Los materiales no combustibles podrán ser utilizados por el Contratista en la forma que considere más conveniente, previa autorización del Director de Obra.

3.3. Movimiento de tierras.

Artículo 1. Excavaciones.

Las excavaciones a realizar son:

- Excavaciones en el Centro de Transformación:

Las necesarias para realizar las arquetas de puesta a tierra, así como las requeridas para el montaje de los centros prefabricados.

- Excavaciones para cimientos de la planta.
- Excavaciones para cimentar la valla exterior.
- Excavaciones para las losas de apoyo de las unidades.

Para no disgregar el terreno más allá de lo previsto, el Director de Obra podrá ordenar que las excavaciones para cimientos de obras de fábrica, sean realizadas por etapas sucesivas.

Si el suelo fuera arcilloso, se realizará la excavación en dos partes, dejando sin ejecutar una capa final, 15 cm, hasta el momento de construir las cimentaciones de la obra.

Si del reconocimiento del terreno, practicado al efectuar las excavaciones, resultase necesidad o conveniencia de variar el sistema de cimentación previsto para las obras de fábrica, se reformará el Proyecto, suspendido mientras tanto los trabajos que fueran necesarios. El Contratista percibirá en este caso el coste de los trabajos realizados, pero no tendrá derecho a ninguna otra indemnización por la variación del Proyecto.

➤ Excavaciones en zanjas para tuberías:

Las zanjas tendrán las dimensiones que figuran en los planos del Proyecto, debiendo llevar su fondo nivelado cuidadosamente para que el tubo apoye en toda su longitud. El Director de Obra indicará en cada caso, una vez abierta la zanja, si es preciso a la vista de la naturaleza del terreno, colocar la tubería a mayor profundidad.

Con arreglo a planos o en su caso a las indicaciones recibidas del Director de Obra como consecuencia del replanteo general, el Contratista realizará las excavaciones necesarias para la ejecución de las obras objeto del proyecto. En tales excavaciones se incluirán los siguientes puntos:

- Desbroce y despeje del terreno.
- Extracción.
- Transporte de los productos removidos a acopio, lugar de empleo o vertedero.
- Acondicionamiento de terrenos si fuese necesario y cuantas operaciones fuesen necesarias para terminar la obra.
- Relleno.

Toda excavación no realizada por el Adjudicatario según planos o con el visto bueno del Director de Obra, no serán abonados. El acopio del material extraído se realizará en lugar adecuado, de modo que no se perjudique el tráfico, ni perturbe desagües y drenajes. Estos trabajos se consideran intrínsecos a la obra y por tanto incluidas en las unidades correspondientes, por lo que no procede abono alguno complementario por tales conceptos. El relleno de la zanja se realizará siguiendo la estratificación indicada en planos. El relleno de las zanjas se realizará en tongadas sucesivas de espesor uniforme, y no siendo

este superior a 30 cm. Tales tongadas serán compactadas humedeciendo ligeramente el material de relleno si fuese necesario. La terminación y la explanación de las superficies se realizarán de modo que no se puedan formar depósitos de agua.

➤ **Medición y valoración de las excavaciones.**

Las excavaciones necesarias para la ejecución de las obras, se abonarán por su volumen referido al terreno antes de excavarlo, al precio respectivo por m³ que figura en el cuadro de precios.

Los volúmenes se deducirán de las líneas teóricas de los planos y órdenes escritas del Director, a partir de los perfiles reales del terreno. Los precios comprenden todos los medios auxiliares y operaciones necesarias para hacer las excavaciones, así como es rasanteo de las zanjas y la arena o material preciso para aquello.

También incluye la retirada de los productos de las excavaciones a sitios donde no afecten a las obras.

No serán abonados los trabajos y materiales que hayan de emplearse para evitar posibles desprendimientos, ni los excesos de excavaciones que por conveniencia u otras causas ajenas a la dirección de las obras ejecute el Contratista, así como las entibaciones que sean precisas ejecutar para seguridad del personal y evitar accidentes.

No serán abonados los desprendimientos, salvo en aquellos casos en que se pueda comprobar que ha sido debido a fuerza mayor. Nunca lo serán los debidos a negligencias del Contratista o por no haber cumplido las órdenes de la dirección de la obra.

Tampoco serán de abono la reparación de todas las averías y desperfectos que en cualquier excavación puedan producirse por consecuencia de lluvias, tránsitos no autorizados y otras causas que no sean de fuerza mayor.

- Medición y valoración de la excavación en zanja para tuberías.

Se abonará por metro lineal o por metro cúbico, a tenor de la definición que se haga en el Cuadro de Precios.

También comprende el refino de la zanja y la compactación del fondo de la misma, cuando tal medida sea necesaria y así se ordene por el Director de Obra. Esta compactación se realizará al 95% del Proctor Normal, salvo distinta indicación del Director de Obra.

El precio también comprende, salvo que expresamente se indique lo contrario, todas las operaciones de carga, descarga y transporte a vertedero, cualquiera que sea la distancia de transporte, de todos los productos sobrantes de excavación, una vez rellena y compactada la zanja. También están comprendidos en el precio, el extendido de las tierras en vertederos, y la indemnización por la zona ocupada por éstas.

Antes de proceder al relleno con arena para la cama de asiento de las tuberías, el Contratista deberá obtener del Director de Obra la aprobación de la excavación, no pudiendo sin la misma comenzar el relleno.

Artículo 2. Drenaje.

En el lecho de las excavaciones realizadas se depositará una capa de áridos, de modo que se obtenga un eficaz drenaje. El espesor de dicha capa será la especificada en los planos. El tamaño de granos de

los áridos, no será superior a 76 m, cedazo 80 UNE, y al cernido ponderal acumulado por el tamiz 0,080 UNE no rebasará el 5%. Si no pudiera encontrar un material que cumpla estos requisitos podrá recurrirse a un drenaje formado por varias capas. Una vez abierta la zanja de drenaje, si el fondo fuese impermeable (arcilla, etc.), la capa superior a los cables o tubos también será impermeable. En caso de que el lecho fuese de material permeable, el relleno será en su totalidad de material permeable.

Artículo 3. Vaciado de tierras.

El Contratista ejecutará las excavaciones según el trazado y profundidad que se determina en los planos. Los productos de los desmontes y los sobrantes del relleno de zanjas, se verterán en los lugares que a tal fin designe el Director de Obra. El vaciado se hará por franjas horizontales de altura no mayor de 1.5 m al ejecutarse a mano o de 3 m al ejecutarse a máquina, trabajando ésta en dirección no perpendicular a los bordes con elemento estructurales y barras o medianerías, dejando sin excavar una zona de protección de ancho no menor de 1 m. que se quitará a mano antes de descender la máquina en ese borde a la franja interior.

Antes de empezar el vaciado, la Dirección aprobará el replanteo realizado, así como los accesos propuestos que serán clausurables y separados para peatones y vehículo de carga.

Las camillas del replanteo serán dobles en los extremos de las alineaciones y estarán separadas del borde del vaciado a no menos de 1 m.

Se dispondrán puntos fijos de referencia en lugares que no puedan ser afectados por el vaciado a los cuales se referirán todas las lecturas de cotas de nivel y desplazamientos horizontales y/o verticales de los puntos del terreno y/o edificaciones próximas. Las lecturas diarias

de los desplazamientos referidos a estos puntos, se anotarán en un estadillo para su control por la Dirección.

Cuando al excavar se encuentre cualquier anomalía no prevista, con variación de los estratos y/o de sus características, cursos de aguas subterráneas, restos de construcciones, valores arqueológicos, se parará la obra al menos en ese tajo, y se comunicará a la Dirección.

El solar estará rodeado de una valla, verja o muro de altura no menor de 2m.

No se acumulará terreno de excavación, ni otros materiales, junto al borde del vaciado, debiendo estar separado de éste una distancia no menor de 2 veces la profundidad del vaciado en ese borde, salvo autorización en cada caso de la Dirección de Obra.

El refino y saneo de las paredes del vaciado se realizará para cada profundidad parcial no mayor de 3 m.

Siempre que por circunstancias imprevistas se presente un problema de urgencia, el Contratista tomará provisionalmente las medidas oportunas, a juicio del mismo, y se lo comunicará lo antes posible a la Dirección.

Una vez alcanzada la cota inferior del vaciado, se hará una revisión general de las edificaciones medianeras para observar las lesiones que haya sufrido, tomándose las medidas oportunas.

En tanto se efectúe la consolidación definitiva de las paredes y fondo del vaciado, se conservarán las contenciones, apuntalamientos y apeos realizados. En el fondo del vaciado se mantendrá el desagüe necesario para impedir la acumulación de agua.

Serán condiciones de no - aceptación:

- En dimensiones, errores superiores al 2,50% y variaciones de ± 10 cm.
- En altura, mayor de 1,65m con medios manuales o mayor de 3,30m con medios mecánicos.
- En zona de protección, inferior de 1m.

La unidad de medición será el metro cúbico de volumen excavado medido sobre perfiles.

Artículo 4. Entibaciones.

El Contratista deberá efectuar todas las entibaciones necesarias para garantizar la seguridad de las operaciones y buena ejecución de los trabajos.

Las zanjas y pozos se podrán realizar sin entibar hasta una profundidad máxima de 1,30 m, siempre que no le afecten empujes de viales o cimentaciones próximas, en cuyo caso habría que ir a entibaciones ligeras.

En profundidades de 1,30 m a 2 m habría que ir a entibaciones ligeras o cuajadas en el caso de viales o cimentaciones próximas.

Para profundidades mayores se realizarán entibaciones cuajadas en todos los casos.

Se estará en todo momento a lo dispuesto en la Norma NTE-ADZ sobre zanjas y pozos en tanto en cuanto a la disposición de la entibación como a la madera a emplear.

Será de obligación para el Contratista la diaria revisión de lo entibado antes de comenzar la jornada de trabajo.

Artículo 5. Rellenos.

Podrán emplearse para rellenos todos los productos de dentro y fuera de la obra, siempre que reúnan las condiciones indispensables para una buena consolidación, compactación y asiento uniforme.

3.4. Cimentaciones.

Artículo 1. Hormigones.

Para su ejecución se tendrán en cuenta las prescripciones de la Instrucción para el Proyecto y Ejecución de obras de Hormigón en Masa y Armado EH-92.

A los distintos hormigones que se empleen o puedan emplearse se les exigirá como mínimo las resistencias características a compresión a los veintiocho (28) días, en probetas cilíndricas de quince (15) centímetros de diámetro y treinta (30) centímetros de altura, que se determinan en los planos.

Si los hormigones no cumplieran como mínimo con los valores de resistencia, se adoptará por el Director de Obra la decisión que proceda conforme al artículo 69.4 de la citada Instrucción.

Las relaciones máximas de agua y cemento a emplear, salvo autorización expresa y por escrito del Técnico Encargado, serán del sesenta por ciento (60%).

Los asientos máximos de los hormigones después de depositado el hormigón, pero antes de consolidado, serán en alzados o cimientos, en masa de cuarenta (40) milímetros y en hormigones armados de sesenta (60) milímetros.

El hormigón armado de la solera así como el de las demás partes de la obra, se verificará de la forma más continua posible, y cuando haya que interrumpir el trabajo, se procurará dejar la superficie sin terminar, lo más resguardada posible de los agentes exteriores, cubriéndola con sacos húmedos. Al reanudar el trabajo, si no se presentase síntomas de iniciación de fraguado, se cubrirá la superficie con una delgada capa de mortero rico (volúmenes iguales de cemento y arena fina), inmediatamente se procederá al hormigonado, apisonado con especial esmero por pequeñas proporciones. Si se hubiera iniciado el fraguado de la superficie del hormigón, se empezará por picarlo frotando con cepillos de alambre, se humedecerá en abundancia y se cubrirá con el mortero rico procedente. Se atenderá en todo a lo dispuesto en la vigente instrucción EH-91.

Podrán ser utilizadas, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, todas las aguas sancionadas como aceptables en la práctica. Cuando no se posea antecedentes de su utilización o así determine el Director de Obra, deberán analizarse las aguas, rechazándose las que no cumplan una o varias de las condiciones dadas en la EH-91.

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar las características exigidas al hormigón.

La utilización de aditivos deberá ser aprobada previamente por la Dirección. Para ello será necesario que las características de los mismos, especialmente su comportamiento al emplearlo en las cantidades previstas, vengán garantizadas por el fabricante, y se realicen ensayos previos en todos y cada uno de los casos.

Los hormigones serán objeto de ensayos de control en el ámbito reducido según la EH-91 y cuya frecuencia será fijada por la Dirección Técnica. Si los ensayos de probetas efectuados en laboratorio oficial aconsejan el reajuste de la dosificación, el Contratista está obligado a

aceptar tal modificación, alterando los precios del hormigón sólo en lo que a partidas de cemento y áridos se refiere; que se obtendrían multiplicando los pesos o volúmenes definitivos por los costes que para dichos materiales figuran en los precios descompuestos.

- Medición y valoración del hormigón:

Hormigón en masa:

Se abonará por m³ al precio asignado en el Presupuesto que comprende todos los materiales necesarios para la formación de la fábrica, así como de medios auxiliares para su ejecución y puesta en obra, encofrado, maestrado y cuantos elementos y labores se precisen para el acabado del hormigón según las condiciones reseñadas en el presente Pliego.

Sólo se abonará el hormigón realmente colocado para lo cual se medirá la rentabilidad de cada amasado y el volumen así deducido se multiplicará por el número de masa; cada masa se controlará con los medios adecuados para asegurar que su composición es constante.

El hormigón no se enlucirá y si esto fuese preciso por su defectuosa ejecución, el Director de la Obra podrá demoler la parte defectuosa u ordenar su enlucimiento y pintura a costa del Contratista.

Hormigón armado:

Se abonará por m³ asignado en el Presupuesto, considerándose, incluso en el precio todos los materiales necesarios para la formación de la fábrica, armaduras, doblado y cortado de las mismas, montaje, así como los medios auxiliares para su ejecución y puesta en obra, encofrados maestrados y

cuantos elementos y laboras se precisen para el acabado del hormigón según las condiciones reseñadas en el presente Pliego.

Sólo se abonará el hormigón colocado terminándose su cuantía de la misma forma que en el apartado anterior.

Artículo 2. Fabricación y puesta en obra del hormigón.

Las condiciones o características de calidad exigidas al hormigón especifican a continuación.

Tales condiciones deberán ser satisfechas por todas las unidades de producto componentes del total, entendiéndose por unidad de producto la cantidad de hormigón fabricado de una sola vez.

➤ Dosificación del hormigón.

La dosificación de los áridos se hará con arreglo a lo dispuesto en la Instrucción EH-91, empleando para ello las mezclas de áridos que sea necesario y siguiendo lo ordenado por la Dirección de la Obra.

En el caso de que se emplearan productos de adición, el Contratista está obligado a instalar los dispositivos de dosificación correspondientes.

Tanto estos agentes como los aceleradores de fraguado solamente podrán ser empleados con autorización escrita de la Dirección. Su uso no revela al Contratista de la obligación de cumplir los requisitos sobre el curado de hormigón.

➤ Consistencia del hormigón.

Se medirán por medio del Cono de Abrams en la forma prescrita por la EH-91 y se clasificará en seca, plástica, blanda y fluida. La consistencia del hormigón a emplear en cimentación será plástica blanda (asiento máximo 9 cm en cono de Abrams) para vibrar y se medirá en el momento de su puesta en obra.

➤ Resistencia del hormigón.

Las resistencias que deben tener las diferentes clases de hormigones, en probeta cilíndrica, a los 28 días de su fabricación será las que se fijen en los planos del Proyecto.

Los criterios a seguir en la toma de muestras en cuanto a la determinación del número de probetas a tomar por elemento o módulo serán los que establece la EH-91.

➤ Aditivos.

Se prohibirá la utilización de cualquier aditivo (acelerantes o retardantes), pudiéndose emplear únicamente algún tipo de impermeabilizante y siempre con la autorización expresa de la Dirección Técnica.

➤ Puesta en hora del hormigón.

Además de las prescripciones de la instrucción EH-91 se tendrá en cuenta lo siguiente.

Podrá realizarse amasado a pie de obra o de central.

En caso de la fabricación a pie de obra, el tiempo de amasado será del orden de 1 minuto y 1/2, y como mínimo un

minuto más tantas veces 15 segundos como fracciones de 400 litros en exceso sobre 750 litros tenga la capacidad de la hormigonera. Se prohibirá totalmente mezclar masas frescas de diferentes dosificaciones. Si durante el amasado surgiera un endurecimiento prematuro (falso fraguado) de la masa, no se añadirá agua, debiendo prolongarse el tiempo de amasado.

Si el hormigón es de central amasadora, y transportado por medio de camiones hasta el lugar del vertido se deberán cumplir los siguientes condicionantes:

- El tiempo transcurrido desde el amasado hasta la puesta en obra no deberá ser mayor de 1 hora.
- Debe evitarse que el hormigón se seque o pierda agua durante el transporte.
- Si al llegar al tajo de colocación el hormigón acusa principio de fraguado, la masa se desechará en su totalidad.
- La planta suministradora estará regulada en la fabricación del hormigón por la Norma EH-PRE-91 y homologada por la Asociación Nacional de Fabricantes de Hormigón Preparado.

El transporte de las hormigoneras al punto de colocación al punto de colocación se realizará de forma que el hormigón no pierda compacidad ni homogeneidad.

El vertido del hormigón se efectuará de manera que no se produzcan disgregaciones y a una altura máxima de caída libre de 1 m, evitando desplazamientos verticales de la masa una vez vertida. Preferiblemente el hormigón debe ir dirigido mediante canaletas.

El hormigón en masa y moldeado, se extenderá por capas de espesor comprendido entre 15 y 30 cm, vibrando el moldeado hasta hacer que refluya el agua a la superficie e intensificando el vibrado junto a los paramentos y rincones del encofrado.

Hormigón armado, el de los pilares, se verterá en capas de 40 cm de espesor máximo vibrándole eficazmente y cuidando de que el hormigón envuelva perfectamente la armadura, vigilando especialmente los paramentos y las esquinas.

Las losas se hormigonarán en todo el grueso, avanzando con el hormigón al vibrarlo, pero efectuando los vertidos de forma que el recorrido sobre el encofrado no sea superior a 2 cm.

Las vigas se hormigonarán, desde un extremo, en toda su dimensión, vertiendo las diferentes amasadas en los puntos convenientes.

➤ Juntas de hormigonado.

Son las producidas al interrumpir la labor del hormigonado, en las que se precisa conseguir la adherencia de un hormigón fresco en otro endurecido. La situación de estas juntas se fijará por la Dirección de Obra, debiendo quedar la superficie del hormigón anterior cubierto con sacos húmedos para protegerlo de los agentes exteriores.

Para conseguir la adherencia del que se vierte posteriormente, se limpiará convenientemente la superficie del hormigón, rascando la lechada superficial hasta que a juicio de la Dirección quede lo suficientemente limpia.

Se verterá a continuación una capa de mortero, de 2 cm de espesor, de dosificación ligeramente superior a la del hormigón empleado, sobre la superficie humedecida.

Los muros o pilares se hormigonarán de una sola vez, siempre que sea posible, hasta el plano de apoyo de los forjados. Cuando ello no sea posible, se permitirá una sola junta horizontal hacia la mitad de la altura

- Temperatura del hormigonado.

El hormigonado se realizará a temperaturas comprendidas entre los 0° C y los 40°C (5° C y 35° C en elementos de gran canto o de superficie muy extensa). Si fuese necesario realizar el hormigonado fuera de estos márgenes se utilizarán las precauciones que dictaminará la Dirección Técnica.

- Curado del hormigón.

El curado del hormigón se realizará una vez endurecido el elemento lo suficiente para no producir deslavado de su superficie. Se realizará de la siguiente forma:

Durante los tres primeros días se protegerá de los rayos del sol, colocando sobre las superficies arpilleras mojas.

Todas las superficies vistas se mantendrán continuamente húmedas por lo menos durante 8 días después del hormigonado, por riego o inundación.

No se empleará para este riego tubería alguna de hierro que no sea galvanizado, extendiéndose esta prohibición a cualquier clase de tuberías que puedan disolver en el agua sustancias nocivas para el fraguado del hormigón o su buen

aspecto. Deberá utilizarse preferentemente, para este trabajo, manguera de goma.

La temperatura del agua empleada en el riego no será inferior en más de 20°C a la del hormigón para evitar la producción de grietas por enfriamiento brusco.

Cuando la temperatura registrada sea menor de cuatro grados bajo cero (-4°C) o superior a cuarenta grados centígrados (40°C), con hormigón fresco se procederá a realizar una investigación para ver que las propiedades del hormigón no han sufrido cambio alguno.

En función de la climatología se ha de tener en cuenta lo siguiente:

- Actuaciones en tiempo frío: prevenir congelación.
- Actuaciones en tiempo caluroso: prevenir agrietamientos en la masa del hormigón.
- Actuaciones en tiempo lluvioso: prevenir lavado del hormigón.

➤ Paramentos de hormigón.

Los paramentos deben quedar lisos, sin defecto alguno y sin necesidad de repasos, por enlucidos o de cualquier otra forma, que no podrán ser aplicadas sin previa autorización de la Dirección de Obra.

Si fuese necesario repasar alguna superficie, los trabajos que se efectúen será por cuenta del Contratista y la hora será abonada como defectuosa, repercutiendo en el precio de encofrado y del hormigón en la cuantía que más adelante se señala.

➤ Encofrado y cimbras.

Los encofrados serán los suficientemente resistentes y estancos para soportar la carga y el empuje del hormigón fresco sin acusar deformación alguna.

Los de madera estarán formados por una tablazón sobre la que se colocarán en su trasdós contrafuertes a una distancia no mayor de 2 m, y éstos sujetos con tornapuntas metálicos o de madera con la suficiente rigidez para asegurar la estaticidad del molde durante el hormigonado (sección mínima del rollizo de 8 cm).

En caso de encofrados metálicos, irán perfectamente ensamblados y también sujetos con tornapuntas. La desviación máxima de los paramentos del encofrado con respecto a la vertical no sobrepasará 1 cm por cada tres metros de altura y la máxima irregularidad de la superficie no sobrepasará los 2 cm, se evitará golpear los encofrados una vez vertido el hormigón.

Se admitirán como tolerancia en la colocación del encofrado un máximo de 2 cm en aplomes y alineaciones y el 2% en menos y el 5% en más espesores y escuadras.

Los encofrados en acuerdos de secciones reproducirán lo más claramente posible la forma indicada por los planos yendo provistos del número necesario de muestra para ello y teniendo la tabla cortada de modo que las diferencias en dimensiones cortadas según las normales a la superficie no excedan de 1 mm.

➤ Desencofrado y descimbrado.

Los encofrados de elementos sometidos a cargas se quitarán lo antes posible, previa consulta al Director de Obra,

pero nunca antes de 24 h, evitando el descascarillado de superficie que se provoca al desencofrar un hormigón fresco.

El plazo de descimbrado de los elementos se fijará por la Dirección de la Obra y se efectuará empleado juegos de cuñas, caja de arena u otros procedimientos adecuados para ello.

Artículo 3. Cimentaciones.

Las características de los componentes y ejecución de los hormigones será la siguiente.

La arena y la grava podrán ser de ríos, arroyos y canteras, no debiendo contener impurezas de carbón, escorias, yeso, etc.

Los áridos deben de proceder de rocas inertes sin actividad sobre el cemento. Se admitirá una cantidad de arcilla inferior a la que se indica posteriormente.

Las dimensiones de la grava serán de 2 a 6 cm, no admitiéndose piedras ni bloques de mayor tamaño. En caso de hormigones armados se indicarán las dimensiones de la grava.

No se podrán utilizar ninguna clase de arena que no haya sido examinada y aprobada por el personal técnico. Se dará preferencia a la arena cuarzosa sobre la de origen calizo, siendo preferibles las arenas de superficie áspera o angulosa.

La determinación de la cantidad de arcilla se realizará de la siguiente forma: cribamos 100 cm de arena con el tamiz de 5 mm, los cuales se vierten en una probeta de 300 cm³ con 150 cm³ de agua, una vez hecho esto se agita fuertemente tapando la boca con la mano, hecho esto se dejará sedimentar durante una hora. En estas condiciones el volumen de arcilla deberá de ser superior al 8%.

La medida de las materias orgánicas se hará mezclando 100 cm³ de arena con una solución de sosa al 3% hasta completar los 150 cm³; después de 2 horas el líquido debe de quedar sin coloración o presentar como máximo un color amarillo pálido que se compara al de la solución testigo, formada por la mezcla de 97,5% de solución de sosa al 3%., 2,5% de solución de ácido tánico, 2% de alcohol de 10%.

Los ensayos de las arenas se harán sobre mortero de la siguiente dosificación: 1 parte de cemento y 3 partes de arena. Esta probeta de mortero conservada en agua durante 7 días, deberá de resistir a la tracción en la romana de Michaelis un esfuerzo comprendido entre 12 y 14 Kg/cm². Toda la arena que sin contener materias orgánicas no resista al esfuerzo de tracción antes indicado será rechazada. El resultado de este ensayo permitirá conocer si debe de aumentarse o disminuirse la dosificación del cemento empleado.

Respecto a la grava o piedra se prohíbe el empleo de cascote y otros elementos blandos o la piedra de estructura foliácea. Se recomienda la utilización de piedra de peso específico elevado.

El cemento utilizado será cualquiera de los cementos Portland de fraguado lento admitidos en el mercado. Previa autorización de la Dirección de Obra podrán utilizarse cementos especiales que se crean convenientes.

El agua utilizada de río o de manantial a condición de que su mineralización no sea excesiva. Se prohíbe el empleo de aguas procedentes de ciénagas o muy ricas en sales carbonosas o selenitosas.

La mezcla de hormigón se efectuará en hormigonera o a mano, siendo preferible el primer método en beneficio de la compacidad ulterior. En el segundo caso se hará sobre chapa de hierro de suficientes dimensiones para evitar que se mezcle con las tierras.

Además:

- Se comprobará que el terreno de cimentación coincide con el previsto.
- En el momento de hormigonar se procederá a la operación de limpieza y nivelación, retirando la última capa de tierras sueltas.
- Se dejarán previstos los pasos de tuberías y mechinales. Se tendrá en cuenta la posición de las arquetas.
- Se colocarán previamente los elementos enterrados de la instalación de puesta a tierra.
- Se habrá ejecutado la capa de hormigón de limpieza y replanteado sobre ella.

La profundidad mínima del firme tendrá en cuenta la estabilidad del suelo frente a los agentes atmosféricos.

Las armaduras se colocarán limpias, exentas de óxido no adherente, pintura, grasa o cualquier otra sustancia perjudicial.

Los calzos, apoyos provisionales y separadores en los encofrados serán de mortero 1:3 o material plástico y se colocarán sobre la superficie de hormigón de limpieza, distanciados cien centímetros (100 cm) como máximo. El primero y el último se colocarán a una distancia no mayor de cincuenta centímetros (50cm) del extremo de la barra.

Se extremarán las precauciones y correcta disposición de los separadores de capas, principalmente las superiores.

Durante la ejecución se evitará la actuación de cualquier carga estática o dinámica que pueda provocar daños en los elementos ya hormigonados.

El curado se realizará manteniendo húmeda la superficie de la cimentación mediante riego directo, que no produzca deslavado o a través de un material que sea capaz de retener la humedad.

Artículo 4. Obra de madera.

Las dimensiones de las piezas necesarias para la construcción de obras provistas o auxiliares, así como su disposición o fijación técnica de las obras de carpintería, serán ejecutadas con la mayor perfección, presentando los embalajes bien ajustados y las molduras terminadas, debiendo quedar repasadas con papel de lija o llevadas al lugar de empleo sin imprimir.

Artículo 5. Armaduras.

La cuantía y disposición de las armaduras de los diferentes elementos de la cimentación será la que nos dé el cálculo, y que viene reflejada en la Documentación Técnica.

Las armaduras se doblarán en frío y a velocidad moderada, por medios mecánicos, no admitiéndose aceros endurecidos por deformación en frío o sometidos a tratamientos térmicos especiales.

Las características geométricas y mecánicas de las armaduras serán las que se citan en el anexo correspondiente de la Memoria Técnica. En las zapatas se preverán unas armaduras de espera que se solaparán con las del pilar o enano en su caso, por medio del solape de barras, debiendo llevar unas patillas inferiores de longitud igual a 15 veces el diámetro de las barras de dicha patilla.

Protección de las armaduras:

- Las armaduras de las zapatas de colocarán sobre el hormigón de limpieza y separándose 10 cm de los laterales del pozo de

cimentación.

- El recubrimiento de armaduras en zunchos de arriostramiento deberá ser de 35 mm, para ello se dispondrán separadores o calzos de igual o mayor resistencia característica que el hormigón a emplear y a una distancia máxima entre ellos de 1,5 m.
- Las armaduras se colocaran limpias, exentas de óxido, grasa o cualquier otra sustancia perjudicial así como también estarán exentas de defectos superficiales, grietas ni sopladuras. Se dispondrán de acuerdo con las indicaciones del Proyecto, sujetas entre sí y al encofrado de manera que puedan experimentar movimientos durante el vertido y compactación del hormigón, y permitan a éste envolverlas sin dejar coqueras.
- Cuando exista el peligro de que se puedan confundir unas barras con otras, se prohíbe el empleo simultáneo de aceros de características mecánicas diferentes, sin embargo se podrán utilizar, en un mismo elemento dos tipos de acero, uno para la armadura principal y otro para los estribos.
- Las armaduras se doblarán ajustándose a los planos del Proyecto, cumpliéndose las prescripciones de la EH-91.

3.5. Estructuras de acero.

Artículo 1. Estructuras de acero.

El Contratista podrá subcontratar con la aprobación del Director de obras, la ejecución y montaje en obra de la estructura metálica de la nave con construcción que reúne los requisitos que establezca la legislación y las condiciones establecidas por el Ministerio de Industria.

En la ejecución de la estructura de acero laminado de la nave, se aplicará lo establecido en la norma NBE EA-95 “estructuras de acero en

edificación” referente a la ejecución de uniones soldadas, ejecución en taller y montaje en obra.

El soldeo se realizará por cualquier de los procedimientos expresados en dicha norma, debiendo presentar el Constructor, si el Director de Obra lo requiere, una memoria de soldeo en la que detalle las técnicas operativas a utilizar dentro del procedimientos elegido.

El Director Obras podrá siempre que lo desee, directamente o por delegación, comprobar en el taller el cumplimiento de la mencionada norma, y durante el montaje en obra a vigilar su cumplimiento.

Las tolerancias en las dimensiones, forma y peso para la ejecución y montaje de la estructura, serán las establecidas en el capítulo VI de la NBE EA-95.

➤ Estructuras metálicas:

El acero para estructuras metálicas se abonará al precio que para el Kg de acero de las distintas clases de perfiles se asigna en el Presupuesto, considerándose incluso en dicho precio los costes de la adquisición, trabajos de taller, montaje, colocación en obra y pintura de resina o polimerizado, excepto las partes embebidas en hormigón que irán sin pintar.

El peso se deducirá siempre que sea posible de los pesos unitarios dados en el catálogo de perfiles y de las dimensiones correspondientes medidas en los Planos del Proyecto o en los facilitados por el Director de las Obras durante su ejecución y debidamente comprobado en las obras realizadas ya.

En otro caso se determinará el peso efectivo, debiendo dar el Contratista su conformidad con las cifras obtenidas antes de su

colocación definitiva en obra, de las piezas y estructuras metálicas.

También comprende el precio, la soldadura a realizar durante el montaje.

➤ Acero en redondo:

El acero para armaduras y arriostramientos de las cabezas de los pilares o hincos se abonará al precio asignado en el Presupuesto, considerándose incluso en el mismo los costes de adquisición, trabajo de taller, montaje, colocación en obra, pruebas y pinturas de resinas o polimerización, excepto en los casos de armaduras embebidas en el hormigón que irán sin pintar, el peso se deducirá siempre que sean las dimensiones correspondientes medidas en los Planos del Proyecto o en los facilitados por el Director de las Obras durante su ejecución y debidamente comprobado en la obras realizadas ya. En otro caso se determinará el peso efectivo debiendo dar el Contratista su conformidad con las cifras obtenidas antes de la colocación definitiva en obra.

También comprende el precio, las soldaduras de las barras a las cabezas de los perfiles para conseguir un perfecto arriostramiento.

Artículo 2. Protección de la estructura.

Las estructuras estarán protegidas por dos capas de pintura. Cada capa deberá asegurarse una protección no menor que la proporcionada por tres capas de pintura tradicional que contenga 30% de aceites de linaza cocido.

Antes del pintado se presentará al Director Obra muestras de pintura y se pintarán para juzgar el color y acabado, quien dará su aprobación.

Referente a la protección de la estructura, se seguirá todo lo especificado en la NBE EA-95.

Artículo 3. Carpintería metálica.

Las obras de carpintería metálica deberán realizarse con perfección y acabado.

- Medición y valoración de las obras metálicas.

Los hierros y demás materiales metálicos se abonarán por su peso a los precios que figuran en el Presupuesto, en los cuales van incluidos todas las manipulaciones y operaciones necesarias para dejar la obra terminada.

3.6. Albañilería.

Artículo 1. Fábrica de ladrillos.

Antes de su colocación en obra, los ladrillos deberán ser saturados de humedad, aunque bien escurridos del exceso de agua, con objeto de evitar el deslavamiento de los morteros. Deberá demolerse toda la fábrica en que el ladrillo no hubiese sido regado o lo hubiese sido deficientemente, a juicio del Técnico encargado.

El asiento del ladrillo se efectuará por hiladas horizontales, no debiendo corresponder en un mismo plano vertical las juntas de dos hiladas consecutivas. Los ladrillos se colocarán según el aparejo que determine el Director de Obra, siempre a restregón y sin moverlos después de efectuada la operación.

Los tendeles no deberán exceder, en ningún punto de 15 mm y las juntas no serán superiores a 9 mm en parte alguna. Para colocar los ladrillos, una vez limpias y humedecidas las superficies sobre las que han de descansar, se echará el mortero en cantidad suficiente para que comprimiendo fuertemente sobre el ladrillo y apretando además contra los inmediatos, queden los espesores de junta señalados y el mortero refluya por todas partes.

Las juntas en los parámetros que hayan de enlucirse o revocarse, quedarán sin rellenar a tope para facilitar la adherencia del revoco o enlucido que completará el relleno y producirá la impermeabilidad de la fábrica de ladrillo.

Al reanudarse el trabajo se regará abundantemente la fábrica antigua, se barrerá y se sustituirá, empleando mortero nuevo, todo ladrillo deteriorado.

Artículo 2. Ejecución del muro de cerramiento.

El plano de arranque del muro de cerramiento de la nave sobre la cimentación, se preparará de modo que guarde planeidad y horizontalidad. Deberá ir anclado en sus cuatro lados a elementos estructurales horizontales y verticales, de tal manera que puede asegurado su estabilidad y la transmisión de los esfuerzos horizontales a que esté sometido.

Se comenzará su ejecución por las esquinas colocando en ellas, miras restas escantilladas con marcas de las alturas de las hiladas. Entre ellas se colocarán cuerdas de atirantar, bien tensas y en longitudes libres no superiores a 8 m. que servirán de guía para la alineación de paramentos y se irán elevando con la altura de una o varias hiladas para asegurar su horizontalidad.

La tolerancia máxima de desviación de los tendeles será de 0,5 cm/m y la falta de verticalidad no será superior a 3 mm/m. Durante la ejecución se prestará especial cuidado al pañeado y planeidad de los paramentos, comprobándose mediante renglones de 2 m de longitud, colocados de canto en distintas posiciones no tolerándose flechas superiores a 0,5 cm.

Cuando por cualquier motivo hayan de suspenderse los trabajos de construcción de la fábrica, se dejará el cerramiento con las diferentes hiladas formando entrantes y salientes, a manera de redientes para que al continuar la fábrica se pueda conseguir una perfecta trabazón entre la nueva y la antigua. En tiempo lluvioso o heladas se suspenderá la ejecución de la fábrica, debiendo proteger las partes de reciente ejecución.

En tiempo extremadamente seco y caluroso deberá mantenerse húmeda la fábrica de reciente ejecución, y una vez fraguado el mortero y durante 7 días, se regará abundantemente para que el proceso de endurecimiento no sufra alteración.

El rehuntado se realizará antes de que termine el proceso de endurecimiento del mortero, presionando con el llaguero lo suficiente para que el mortero se adhiera a las piezas de ambos lados de la junta.

El agarre del cerramiento a los pilares se realizará mediante dos Ø8 mm, situados a lo largo del tendel embebidos en la junta y soldados a los pilares metálicos. Se situarán estos agarres cada 6 hiladas de bloques.

Se terminará la ejecución del muro con el repaso de las llagas, efectuándose a continuación la limpieza general de todo el paramento.

El mortero de agarre será M-40b, dosificación 1:6, resistencia 40 Kg/cm² y consistencia en cono de Abrams 17 cm. Se extenderá sobre la

superficie de asiento de los bloques una tongada de mortero en cantidad suficiente para formar juntas de 1 cm de espesor y que la llaga y el tendel rebosen.

Los encuentros de esquinas o con otros muros se hará mediante enjarjes en todo su espesor y en todas las hiladas. El cerramiento quedará plano y aplomado y tendrá una composición uniforme en toda su altura.

Se formará una barrera antihumedad en el arranque sobre cimentación, con lámina bituminosa que cumplirá las condiciones de la norma MV-301, de superficie no protegida con armaduras inorgánicas. La superficie en que vaya a colocarse la lámina será continua en toda la superficie de zócalo. Los solapes de la lámina no serán menores de 7 cm. La lámina estará colocada al menos una hilada de bloque, por encima del terreno y a una altura sobre el terreno no inferior a 30 cm.

Los muros de cerramiento irán protegidos exteriormente con un material que asegura su impermeabilidad, a no ser que el fabricante garantice mediante ensayos la impermeabilidad del bloque.

La unidad de medición del cerramiento para cada tipo, descontando huecos, será el m², para la barrera antihumedad será el m tanto en planos como en obra.

- Medición y valoración de las obras de fábrica.

Se abonarán por metro cúbico medido en la obra ejecutada y completamente terminada, con arreglo a condiciones según el precio asignado en el Presupuesto, que incluye el refino de los paramentos y rejuntados, así, como los materiales y medios auxiliares necesarios.

Artículo 3. Ejecución de tabicados.

Los ladrillos serán cerámicos, exentos de caliches con resistencia no inferior a 30 kg/cm² con huecos de eje paralelo a la mayor dimensión del ladrillo y con un volumen superior al 33% del total aparente.

Las condiciones dimensionales y de forma cumplirán lo establecido en la norma MV-201.

El acero o premarco se colocará en su posición perfectamente aplomado, alineado, y escuadrado, manteniendo los elementos necesarios para garantizar su indeformabilidad. Los elementos de indeformabilidad próximos al suelo se protegerán de los del paso sobre ellos.

El cerco llevará los elementos necesarios para su enlace al tabique. Cuando el cerco no tenga asegurado la indeformabilidad de sus ángulos se colocará con la ayuda de una plantilla. El ladrillo antes de colocarlo se humedecerá por riego sin llegar a empapararlo. Una vez replanteado el tabique con la primera hilada, se colocarán aplomadas y arriostras miras distancias 4 m como máximo, y los premarcos o cercos previstos. Sobre la hilada de replanteo se levantarán hiladas alineadas horizontalmente, procurando que el nivel superior del premarco cerco coincida con la junta horizontal.

Se retirarán las rebabas a medida que se suba el tabique procurando apretar las juntas. La unión se harán con enjarjes en todo su espesor, dejando dos hileras sin enjarjar. El encuentro de tabiques con elementos estructurales se harán de forma que no sean solidarios. El tabique quedará plano y aplomado, tendrá una composición uniforme en toda su altura y no presentará ladrillos rotos.

El panderete se ejecutará con ladrillo hueco sencillo tomado con pasta viva de yeso negro definido como Y-12. Se untará el ladrillo en canto y testa con cantidad suficiente para formar juntas de 1 cm de espesor.

La roza tendrá una profundidad no mayor de 4 cm sobre el bloque y de un canuto sobre ladrillo hueco. El ancho no será superior a dos veces su profundidad. Se ejecutará preferentemente a máquina y una vez guarnecido el tabique.

Serán condiciones de no-aceptación: desplomes en cerco superior a 1 cm y descuadres en algunos de los ángulos de cerco, fijación deficiente de cerco al tabique, errores de replanteo superiores a ± 2 cm, no acumulativos; variaciones en planeidad de paramento medida con regla de 2 m, superiores a 2 cm; desplome del tabique superior a 1 cm en 3 m; enjarje en unión inferior a lo especificado; profundidad de roza a un canuto sobre ladrillo hueco, distancia de roza a cerco inferior a 15 cm, distancia entre rozas en dos caras del tabique inferior a 40 cm.

La unidad de medición, tanto en planos como en obra será el m² de tabique.

Artículo 4. Enfoscados, enlucidos y guarnecidos.

Los paramentos que hayan de enfoscarse, se dejarán a juntas degolladas barriéndose y regándose antes de tendido de las capas de mortero.

Se prohíbe terminantemente bruñir los paramentos enfoscados con paleta. Si las condiciones de humedad y temperatura lo requiere, se humedecerán diariamente los enfoscados, pero siempre siguiendo el criterio del Director de Obra.

Los enlucidos de yeso tanto en paramentos horizontales como verticales se realizarán con yeso de buena calidad. Cuando el revestimiento de yeso deba tener un espesor superior a 15 mm, se realizará por capas sucesivas que no superen este espesor. Será necesario en este caso que la capa anterior a la que se va realizar, tenga consistencia suficiente para no desprenderse al aplicar ésta última y presente una superficie rayada.

El yeso se ajustará a las condiciones fijadas en el Pliego General de Condiciones para la Recepción de Yesos y Escayolas en las Obras de Construcción.

- Medición y valoración de la tabiquería, enfoscados, guarnecidos y blanqueos.

La medición de citoras y tabiques, tanto sencillos como dobles se hará por m², descontándose de la medición los huecos existentes.

Los enfoscados guarnecidos y blanqueos se valorarán también por m² y de ellos se descontarán los huecos que no tengan mochetas, o sea, los que tengan los marcos enrasados y no se descontarán aquellos que tengan mochetas.

Artículo 5. Solados.

Sobre la superficie a solar se extenderá una capa de 2 cm de espesor de arena de río con tamaño máximo de grano 0,5cm y una capa de mortero de cemento P-350 y arena de río de dosificación 1:6 de 2 cm de espesor. La baldosa de terrazo se humedecerá antes de su colocación y se asentará sobre la capa de mortero, cuidando que se forme una superficie continua de asiento y recibido de solado. Para relleno de las juntas se extenderá sobre las baldosas una lechada de cemento.

El pulido de solado se hará con máquina de disco horizontal, no pisándose durante los cuatros días siguientes.

Serán condiciones de no-aceptación: ausencia de la capa de arena, espesores de capa inferiores a los especificados, variaciones planeidad en todas direcciones medidas con regla de 2 m, superiores a 4 mm, ausencia de malla en los lugares especificados, distancias entre juntas superiores 130 cm, colocación deficiente de baldosas, ausencia de lechada en juntas, cejas superiores a 2 mm.

Artículo 6. Ejecución de alicatados.

El azulejo estará seco y con la cara posterior limpia. Se alicatará sobre una superficie maestrada plana y lisa, de cemento, yeso o escayola y con una humedad no mayor del 3 %.

Serán condiciones de no-aceptación: taladros de dimensiones superiores a las especificadas, juntas no paralelas entre sí con tolerancias de $\pm 1\text{mm}$ por m, variación en planeidad en todas direcciones medida con regla de 2 m superior a 2 mm, variación en espesor de mortero superior a 1 cm, el mortero no cubre totalmente la cara posterior del agujero, aplicación de adhesivo distinta a la especificada, humedad del paramento superior al 3%.

La unidad de medición, tanto en planos como en obra será el m².

- Medición y valoración de los alicatados.

Los alicatados se medirán por m² en su verdadera magnitud cuando ésta esté totalmente terminada y de acuerdo con lo dicho en este Proyecto.

Dichas mediciones se realizarán descontando todos los posibles huecos que pueda haber.

3.7. Pintura.

Artículo 1. Ejecución de los trabajos de pintura.

Para pintura a la cal sobre ladrillo a cemento se procederán a una limpieza general de soporte mediante cepillos o elementos adecuados. Se aplicarán a continuación una mano de fondo con pintura a la cal diluida, aplicada con brocha de encalar, rodillos o procedimientos neumáticos, hasta la impregnación de los poros de la superficie de soporte. Pasado el tiempo de secado se procederá a la aplicación de dos manos de acabado.

En pinturas sobre madera se realizará una limpieza general de la superficie del soporte. Se hará un sellado de los nudos mediante goma laca dada a pincel, asegurándose de que haya penetrado en las oquedades de los mismos. A continuación se dará la mano de imprimación para madera a brocha o pistola, impregnando la superficie del soporte.

Para pintar el esmalte sobre hierro o acero se realizará un rascado de óxidos mediante cepillo metálico seguido de una limpieza manual esmerada de la superficie.

Se aplicará una mano de imprimación anticorrosiva al aceite, grasa o sintética, dada a brocha o pistola, con rendimiento no menor de especificado por el fabricante. Se aplicará dos manos de acabado o brocha o rodillo de esmalte grasa.

Para pintar al esmalte sobre galvanizado o metales no férricos se realizará una limpieza general de la superficie seguida de un desengrasado a fondo con productos adecuados. A continuación se aplicará una mano de imprimación a brocha o pistola con rendimiento no menor del especificado por el fabricante. Pasado un tiempo de permanencia al aire no menor del especificado, se aplicarán dos manos

de acabado de esmalte graso, a brocha o rodillo con un rendimiento y un tiempo de secado entre ambas no menores de lo especificado.

Toda la carpintería de madera se tratará superficialmente con un barnizado sintético de acabado satinado en interiores y exteriores.

Toda la superficie a barnizar reunirá las siguientes condiciones previas:

- El contenido de humedad en el momento de su aplicación estará comprendido entre el 14 y el 20% para exteriores y entre el 8 y el 14% para interiores.
- La madera no estará afectada de hongos o insectos, saneándose previamente con productos fungicidas o insecticidas.
- Se habrán eliminado los nudos mal adheridos sustituyéndolos por cuñas de madera de iguales características.
- Los nudos sanos que presenten exudados resinosos se sangrarán mediante lamparillas rascándose la resina que aflora con rasqueta.

Previamente al barnizado se procederá a una limpieza general del soporte y un lijado fino del mismo. A continuación se dará una mano de fondo con barniz diluido y mezclado con productos fungicidas. Esta imprimación se dará a brocha o a pistola de manera que queden impregnados la totalidad de los poros.

Pasado el tiempo de secado de esta primera mano se realizará un posterior lijado aplicándose a continuación dos manos de barniz sintético a brocha, debiendo haber secado la primera antes de dar la segunda. El rendimiento será el indicado por el fabricante del barniz para los diferentes tipos de madera.

Antes de la aplicación de la pintura estarán recibidos y montados todos los elementos que deben ir en el paramento como cercos de puertas, ventanas, canalizaciones, instalaciones, bajantes; se comprobará que la temperatura ambiente no sea mayor de 28°C ni menor de 6°C, el soleamiento no incidirá directamente sobre el plano de aplicación; se comprobará que en las zonas próximas a los paramentos a revestir no haya manipulación o trabajo con elementos que desprenden polvo o dejen partículas en suspensión; la superficie de aplicación estará nivelada y lisa.

Antes de pintar superficies de yeso, cemento, albañilería o derivados, la superficie del soporte no tendrá una humedad mayor de 6%, habiéndose secado por aireación natural. Se eliminarán las eflorescencias salidas y la alcalinidad mediante un tratamiento químico a base de una disolución de agua caliente de sulfato de zinc o sales de fluorosilicato en una concentración entre 5 y 10%; las manchas superficiales producidas por moho, además de rascado o eliminación con estropajo, se desinfectarán lavando con disolventes fungicidas; las manchas originadas por humedades internas que lleven sales de hierro, se aislarán mediante una mano de clorocaucho diluido o productos adecuados.

El contenido de humedad de la madera en el momento de aplicación de la pintura será del 14% al 20% al exterior; 8-14% al interior; la madera no estará afectada de ataque de hongos o insectos, saneándose previamente con productos fungicidas o insecticidas; los nudos sanos que presenten exudado de resina se sangrarán mediante lamparilla o soplete, rascando la resina que aflore con rasqueta.

Antes de pintar superficies metálicas, se realizará una limpieza general de suciedades accidentales y óxidos y un desengrasado de la superficie.

Se suspenderá la aplicación cuando la temperatura ambiente sea inferior a 6 °C o superior a 28 °C a la sombra; en tiempo lluvioso se suspenderá la aplicación cuando el paramento no está protegido; al finalizar la jornada se tapanán y protegerán perfectamente los envases y se limpiarán y repasarán los útiles de trabajo. Después de la aplicación se evitará en las zonas próximas a los paramentos revestidos la manipulación y trabajos con elementos que desprendan polvo o dejen partículas en suspensión. Se dejará transcurrir el tiempo de secado indicado por el fabricante, no utilizándose procedimientos artificiales de secado.

Los materiales de origen industrial deberán cumplir las condiciones funcionales y de calidad fijadas, así como las correspondientes normas y disposiciones vigentes relativas a la fabricación y control industrial.

Cuando el material llegue a obra con certificado de origen industrial que acredite el cumplimiento de dichas disposiciones, condiciones y normas, su recepción se realizará comprobando únicamente sus características aparentes.

Serán condiciones de no-aceptación humedades o manchas de moho u óxido o eflorescencias salinas, falta de sellado en nudos o de mano de imprimación o plastecido de vetas y golpes, no se ha realizado el rascado de óxidos y limpieza de la superficie, falta de imprimación, falta de protección de elementos próximos, tiempo válido de mezcla especificado por el fabricante sobrepasado, falta de mano fondo, aspecto y color distinto al especificado, descolgamientos, desconchados, cuarteamiento, gotas y falta de uniformidad.

La unidad de medición será el m² de superficie pintada, descontando los elementos recibidos que superen en conjunto el 15% de la superficie pintada; el m para el pintado de elementos lineales.

- Medición y valoración de las pinturas.

Las armaduras metálicas, ventanas, y superficies con huecos, pintadas a dos caras, se cobrarán por m², contándose vez y medida la superficie de una cara, descontándose todos los huecos que puedan existir.

Artículo 2. Ítems que necesitan ser pintados.

- Todas las estructuras metálicas.
- Todos los tanques de acero, recipientes y tuberías no aisladas.
- Maquinarias y equipos pintados en taller que requieran un acabado.

Artículo 3. Ítems que no necesitan ser pintados.

- Cimentaciones de hormigón.
- Materiales aleados o no férricos.
- Aislamientos térmicos.
- Superficies que deben ser aisladas.
- Partes mecanizadas de equipos.
- Mampostería.

3.8. Instalaciones eléctricas en baja tensión y de alumbrado.

Artículo 1. Características técnicas de las instalaciones eléctricas y de alumbrado.

- Instalaciones interiores o receptoras.

Las instalaciones interiores o receptoras son las que, alimentadas por una red de distribución o fuente de energía propia, tienen por finalidad la utilización de la energía eléctrica.

➤ Condiciones Generales.

En toda instalación interior o receptora que se proyecte y realice, se alcanzará el máximo equilibrio en las cargas que soportan los distintos conductores que forman parte de la misma, y ésta se subdividirá de forma que las perturbaciones originadas por las averías que puedan producirse en algún punto de ella, afecten a un número mínimo de partes de la instalación. Esta subdivisión debe permitir también la localización de las averías y facilitar el control del aislamiento de la instalación.

Instalación de conductores.

Los conductores de las instalaciones para baja tensión deben ser utilizados en la forma y para la finalidad que fueron fabricados.

Sistema de protección.

Dicho sistema para las instalaciones de baja tensión impedirá los efectos de las sobreintensidades y sobretensiones que por distintas causas cabe preveer en las mismas y resguardarán conductores y aparatos de las acciones de las acciones y efectos de los agentes externos. Así mismo y a efectos de seguridad general, se determinarán las condiciones que deben cumplir dichas instalaciones para evitar los contactos directos y anular los efectos de los indirectos.

Puesta a tierra.

Las condiciones a cumplir en la instalación así como los sistemas de puesta tierra de los receptores y de cualquier parte de la instalación que utilice la energía eléctrica, se regirán por el vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

➤ Condiciones Particulares.

Las condiciones y garantías que deben reunir las instalaciones proyectadas serán las siguientes:

- Seguridad de personas y aparatos.
- Fiabilidad en su funcionamiento.
- Normalización en los materiales y aparatos empleados.

➤ Propuestas de Normas.

Las empresas distribuidoras de energía eléctrica podrán proponer Normas sobre la construcción y montaje de acometidas, líneas repartidoras, instalaciones de contadores y derivaciones individuales señalando en ellas las condiciones técnicas de carácter concreto que sean precisas para una mayor homogeneidad en las redes de distribución y en las instalaciones de los abonados.

Estas normas deberán ajustarse al R.E.B.T., serán informadas por las delegaciones provinciales del M.I. y aprobadas en su caso, por la Dirección General de Energía.

➤ Redes subterráneas distribuidoras de energía eléctrica.

Condiciones generales.

Los materiales cumplirán con las especificaciones de las Normas UNE que les correspondan y que sean señaladas como de obligado cumplimiento en las Instrucciones MI-BT 044.

Conductores.

Serán de cobre, aislados adecuadamente. Estarán además debidamente protegidos contra la corrosión y tendrán suficiente resistencia mecánica para soportar las tracciones a que se puedan estar sometidos.

La tensión nominal de los conductores no será inferior a 1000 V.

La sección de los conductores será la adecuada a las intensidades previstas y a las intensidades previstas y a las caídas de tensión, en todo caso no inferior a 6 mm² para conductores de cobre.

Sección mínima del conductor neutro.

a) En distribución monofásica o de corriente continua:

- A dos hilos: igual a la del conductor de fase.
- A tres hilos: hasta 10 mm² de cobre o 16 mm² de aluminio, igual a la del conductor de fase, para secciones superiores, mitad de la del conductor de fase, con un mínimo de 10 mm² y 16 mm² para el cobre y aluminio respectivamente.

b) En distribuciones trifásicas:

- A dos hilos: (fase y neutro) igual a la del conductor de fase.
- A tres hilos: (dos fases y neutro) igual a los conductores de fase.
- A cuatro hilos: (tres fases y neutro) hasta 10mm² de cobre o 16 mm² de aluminio, igual que los conductores

de fase, para secciones mayores la mitad, con un mínimo de 10mm² y 16mm² para el cobre y aluminio respectivamente.

Todo lo dicho en este apartado se cumplirá cuando las cargas no produzcan un desequilibrio entre fases mayor del 10 %, en caso contrario las secciones del neutro serán iguales a las de los conductores de fase.

Ejecución de las instalaciones.

a) Empalmes:

Garantizarán una perfecta continuidad del conductor y de su aislamiento, así como su envolvente metálica cuando exista. Así mismo quedará garantizada su estanqueidad y resistencia a la corrosión.

b) Instalación de los conductores:

Se instalarán dentro de un tubo de P.V.C. que irá en el fondo de una zanja conveniente preparada, rodeado de arena o tierra cribada y de forma que no pueda perjudicarle la presión o asientos del terreno. A 20cm. Por encima de los conductores se colocará una cobertura de aviso y protección, construida de hormigón.

La profundidad mínima de la instalación de 0.8m, si el Ingeniero Director lo autoriza esta distancia podrá reducirse, manteniendo la debida protección de los conductores.

➤ Protección.

En derivaciones de pequeña longitud (por ejemplo, acometidas como en el caso que nos ocupa), para facilitar su instalación y revisión se admite que la protección está confiada a los fusibles o interruptores automáticos instalados en el extremo de la derivación.

El conductor neutro deberá mantenerse aislado de la envolvente metálica del cable. Su puesta a tierra podrá realizarse en cajas de seccionamiento o de empalmes, separándolas de las tomas de tierra que puedan presentar las citadas cajas o envolvente metálicas del cable.

Continuidad del neutro.

La continuidad del neutro quedará asegurada en todo momento. Este no podrá ser interrumpido en las redes de distribución salvo que la interrupción sea realizada por:

- Interruptores o seccionadores omnipolares que actúen sobre el neutro al mismo tiempo que en las fases (corte omnipolar simultáneo) o que establezcan la conexión del neutro antes que las fases y desconecten éstas antes que el neutro.
- Uniones amovibles en el neutro próximas a los interruptores o seccionadores de los conductores de fase debidamente señalizada y que sólo puedan ser maniobradas con herramientas adecuadas, no debiendo ser seccionado el neutro sin que lo estén previamente las fases, ni conectadas éstas sin haberlo sido previamente el neutro.

- Cruzamientos, proximidades y paralelismos.

Es precisa la providencia de distancias de seguridad, ya que en la instalación que nos ocupa hay instalaciones de agua y saneamientos, por los que serán de aplicación la MI-BT006.

- Instalaciones de locales húmedos.

Locales húmedos.

Locales o emplazamientos húmedos son aquellos cuyas condiciones ambientales se manifiestan momentánea o permanentemente bajo la forma de condensación en el techo y paredes, manchas salinas o moho, aún cuando no aparezcan gotas, ni el techo ni paredes estén impregnadas de agua.

Canalizaciones.

Las canalizaciones podrán estar constituidas por:

- Conductores flexibles aislados a 440 V de tensión nominal como mínimo, colocados sobre aisladores.
- Conductores rígidos aislados a 750 V de tensión nominal como mínimo, bajo tubos protectores.
- Conductores rígidos aislados armados, a 100 V de tensión nominal como mínimo fijados directamente sobre las paredes o colocados en el interior de la construcción.

Los conductores destinados a la conexión de aparatos receptores podrán ser rígidos a 750 V o flexibles a 440 V de tensión nominal como mínimo.

Las canalizaciones serán estancas utilizándose; para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas o dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a la caída vertical de gotas de agua.

Conductores desnudos.

Solamente en casos excepcionales, y por razones justificadas ante la delegación provincial correspondiente al M.I., podrán utilizarse canalizaciones constituidas por conductores desnudos sobre aisladores. En este caso la distancia más próxima de los conductores a la pared será como mínimo de 10 cm.

Conductores aislados.

Los conductores aislados colocados sobre aisladores se dispondrán a una distancia mínima de 5 cm. A las paredes, y la separación entre conductores será de 3 cm como mínimo.

El material utilizado para la sujeción de los conductores aislados fijados directamente sobre las paredes será hidrófugo, preferentemente aislante y estará protegido contra la corrosión.

➤ *Instalaciones en locales mojados.*

Locales o emplazamientos mojados son aquellos en que los suelos, techo o paredes estén o puedan estar impregnadas de humedad y donde se vean aparecer, aunque sólo sea temporalmente lodo o gotas gruesas de agua, debido a la condensación o bien estar cubiertos con vaho durante largos periodos. En estos locales además de las condiciones establecidas para locales húmedos se cumplirán las siguientes.

Canalizaciones.

Las canalizaciones serán estancas utilizándose; para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas y dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a las proyecciones de agua.

Tubos.

Los tubos serán estancos, preferentemente aislantes y en caso de ser metálicos, deberán estar protegidos contra la corrosión. Se colocarán en montaje superficial, y los tubos metálicos se dispondrán, como mínimo, a 2cm de las paredes.

Montajes diversos.

La instalación de herrajes, cajas terminales, empalmes,... deben realizarse siguiendo las instrucciones y normas del fabricante.

En caso de uniones de tubos metálicos en cajas terminales a interruptor, los tramos serán cortos, de forma que los esfuerzos electrodinámicos que puedan producirse no sean ocasión de cortocircuitos entre fases.

Armario de distribución.

El armario general de maniobra estará constituido por perfiles laminados de acero y será soportado por una fundación a 15cm. Aproximadamente de altura sobre el nivel del suelo al preparar la fundación que dejarán los tubos o taladros necesarios para el posterior tendido de cables colocado con la mayor inclinación posible para conseguir que la entrada de cal a los

tubos que de siempre 50 cm, como mínimo por debajo de la rasante del suelo.

El armario contendrá todos los instrumentos y aparatos de mando, protección y medida especificados en la memoria.

Dispositivos de protección.

De acuerdo con lo establecido en la MIE-BT 020 se instalará, en cualquier caso, un dispositivo de protección en el origen de cada circuito derivado de otro que penetre en el local mojado.

Aparatos móviles portátiles.

Se prohíbe su utilización en estos locales excepto en los casos previstos en la instrucción MI-BT021.

Receptores de alumbrado.

Los receptores de alumbrado tendrán sus piezas metálicas bajo tensión, protegidas contra las proyecciones de agua. La cubierta de los portalámparas será en su totalidad de material aislante, hidrófugo, salvo cuando se instale en el interior de cubiertas estancas destinadas a los receptores de alumbrado, lo que deberá hacerse siempre que estas se coloquen en lugar fácilmente accesible.

Artículo 2. Motores.

- Condiciones Generales de la instalación.

Los motores estarán contruidos o se instalarán de manera que la aproximación a sus partes en movimiento no pueda ser causa de accidente.

➤ Conductores de conexión.

La sección mínima que deban tener los conductores de conexión que alimentan un solo motor, con objeto de evitar en ellos un calentamiento excesivo, deberá estar dimensionada para una intensidad no inferior a 1.25 de la intensidad nominal a plena carga del motor en cuestión.

➤ Protección contra sobreintensidades.

En el caso de los motores con arranque estrella - triángulo como es el caso que nos ocupa, la protección asegurará a los circuitos tanto para la estrella como para la de triángulo.

Las características de los dispositivos de protección estarán de acuerdo con las de los motores a proteger y con las condiciones de servicio previstas para estos, debiéndose seguir las indicaciones dadas por el fabricante de los mismos.

➤ Protección contra la falta de tensión.

Los motores estarán protegidos contra la falta de tensión por un dispositivo de corte automático de la alimentación, cuando el arranque espontáneo del motor, como consecuencia de un restablecimiento de la tensión, pueda provocar accidentes, oponerse a dicho restablecimiento o perjudicar al motor.

Cuando el motor arranque automáticamente en condiciones preestablecidas no se exigirá el dispositivo de protección contra la falta de tensión por el sistema de corte de la alimentación, pero debe quedar excluida la posibilidad de un accidente en caso de arranque espontáneo.

- Potencia de arranque.

Los motores tendrán limitada la intensidad absorbida en el arranque, cuando en el caso contrario se puedan producir efectos que perjudiquen a la instalación u ocasionen perturbaciones inestables al funcionamiento de otro receptor.

Artículo 3. Transformador.

- Condiciones Generales de la instalación.

Los transformadores que puedan estar al alcance de personas no especializadas estarán contruidos o situados de manera que su arrollamiento y elementos bajo tensión, si éste es superior a 50 V, sean inaccesibles.

- Protección contra sobrecarga.

Todo transformador estará protegido contra sobrecargas por un dispositivo de corte de sobreintensidades u otro sistema equivalente. Este dispositivo estará de acuerdo con las características que figuran en la placa del transformador y se situarán antes del arrollamiento primario y después del secundario.

Artículo 4. Puesta a tierra.

- Objeto.

Su objeto, principalmente, es el delimitar la tensión que con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material utilizado.

➤ Definición.

La denominación puesta a tierra comprende la unión metálica directa sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima al terreno no tengan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falta o la descarga de origen atmosférico.

➤ Partes que comprenden las puestas a tierra.

Todo sistema de puesta a tierra constará de las siguientes partes:

- Tomas de tierra.
- Líneas principales de tierra.
- Conductores de protección.
- Derivaciones de las líneas principales de tierra.

El conjunto de conductores, así como sus derivaciones y empalmes, que constituyen el circuito de puesta a tierra.

Tomas de tierra.

Estarán constituidas por los siguientes elementos:

- Electrodo metálico en buen contacto con el terreno, que facilita el paso a éste de las corrientes de defecto y las cargas eléctricas que tengan o puedan tener.
- Líneas de enlace con tierra, que une el electrodo con el punto de puesta a tierra.

- Punto de puesta a tierra, constituido por un dispositivo de conexión que permita la unión entre los conductores de las líneas de enlace y principal de tierra con el fin de realizar la medida de la resistencia de tierra. Estará situado fuera del suelo.

Líneas principales de tierra.

Formadas por conductores que parten del punto de puesta a tierra y a las que se unirán las derivaciones de puesta a tierra de las masas, generalmente a través de los conductores de protección.

Derivaciones de las líneas principales de tierra.

Constituidas por conductores que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección o directamente con las masas.

Conductores de protección.

Estos unirán las masas a la línea principal de tierra.

- Prohibición de incluir en serie las masas y los elementos metálicos en el circuito de tierra.

El circuito de puesta a tierra formará una línea eléctricamente continua, en la que no podrá incluirse en serie masas ni elementos metálicos, cualquiera que sean estos. Las conexiones de los mismos al circuito de puesta a tierra se efectuarán por derivaciones de éste.

- Naturaleza, constitución, dimensiones y condiciones de instalación de los elementos de puesta a tierra.

Naturaleza.

Se emplearán electrodos artificiales. Previa autorización del Ingeniero Director se podrá utilizar electrodos naturales, siempre que presenten y aseguren un buen contacto permanente con el terreno y las resistencias de tierra que se obtengan con ellos presente un valor adecuado.

Constitución de los electrodos artificiales.

Podrán estar constituidos por:

- Electrodos simples constituidos por barras, cables, pletinas y otros perfiles.
- Anillos o mallas metálicas constituidos por los elementos indicados anteriormente o combinaciones de ellos.

Serán materiales inalterables a la humedad y a la acción del terreno. Su sección no será inferior a $\frac{1}{4}$ de la sección del conductor que constituye la línea principal de tierra. Entre ellos están las picas.

Las picas podrán estar constituidas por:

- Tubos de acero galvanizado de 25 mm de diámetro exterior, como mínimo, y 2 m de longitud como mínimo.
- Cualquier otro electrodo de características similares al anterior, si el Ingeniero Director lo autoriza.

➤ Resistencia de tierra.

El electrodo se dimensionará de forma que su resistencia de tierra, en cualquier circunstancia previsible, no sea superior al valor especificado para ello en cada caso.

Este valor de resistencia de tierra será tal que, cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

- 24 V en local o emplazamiento conductor.
- 50 V en los demás casos.

Si las condiciones de la instalación son tales que puedan dar lugar a tensiones de contacto superiores a los valores señalados anteriormente, se asegurará la rápida eliminación de la falta mediante dispositivos de corte adecuados a la corriente de servicio.

➤ Características y condiciones de las líneas de enlace con tierra.

Naturaleza y secciones mínimas.

Los conductores que constituyen las líneas de enlace con tierra, las líneas de tierra y sus derivaciones, serán de cobre u otro material de alto punto de fusión. Su sección deberá cumplir lo dispuesto en el MI-BT 039 y en cualquier caso no tendrán una sección inferior a 16 mm² para las líneas principales de tierra y de 35 mm² para la línea de enlace con tierra, si son de cobre, o secciones equivalentes a las anteriores para cualquier otro material empleado.

Tendido de los conductores de la línea principal de tierra, sus derivaciones y de los conductores de protección.

El recorrido de estos conductores será lo más corto posible, sin cambios bruscos de Dirección, no estarán sometidos a esfuerzos mecánicos y estarán protegidos contra la corrosión y el desgaste mecánico.

Conexiones de los conductores de los circuitos de tierra con las partes metálicas y masas a los electrodos.

Presentarán un buen contacto eléctrico, para ello se efectuará con todo cuidado, por medio de piezas de empalme adecuadas, asegurando las superficies de contacto, de forma que la conexión sea efectiva.

Los contactos estarán limpios, sin humedad y de forma que la acción del tiempo no destruya, por efectos electroquímicos las conexiones efectuadas.

Prohibición de interrumpir los circuitos de tierra.

Se prohíbe intercalar en circuitos de tierra seccionadores, fusibles o interruptores. Sólo se permite disponer un dispositivo de corte en los puntos de puesta a tierra, de forma que permita medir la resistencia de la toma de tierra.

- Separación de las tomas de tierra de las masas.

Se verificará que las masas puestas a tierra en una instalación de utilización, así como los conductores de protección asociados a estas masas o a los relés de protección de masa, no están unidas a la toma de tierra de las masas de un centro de transformación. Si no se hace el control mediante la medida efectuada entre las tomas de tierra de las masas de las instalaciones de utilización y la de las masas del centro de transformación, se considerará que las tomas de tierra son

eléctricamente independientes cuando se cumplen todas y cada una de las condiciones siguientes:

- No existe canalización metálica conductora (cubierta metálica de cable no aislada especialmente, canalización de agua, gas...) que una la zona de tierras del centro de transformación con la zona donde se encuentran los aparatos de utilización.
- Las distancias entre las tomas de tierra del centro de transformación y las tomas de tierra u otros elementos conductores enterrados en los locales de utilización es al menos igual a 15m.
- El centro de transformación está situado en un recinto aislado de los locales de utilización o en el interior de los mismos, está establecido de tal manera que sus elementos metálicos no estén unidos a los elementos metálicos constructivos de los locales de utilización.

Artículo 5. Autorización y puesta en servicio de la instalación.

Corresponde al Ministerio de Industria, con arreglo a la ley de 24 de Noviembre de 1.939, la autorización de la puesta en servicio de las instalaciones eléctricas de baja tensión.

Las delegaciones provinciales del Ministerio de Industria autorizarán el enganche y funcionamiento de las instalaciones eléctricas de baja tensión.

Artículo 6. Responsabilidad y sanciones.

Sin perjuicio de las comprobaciones que realicen y la autorización que otorgue la Delegación Provincial del Ministerio de Industria, la responsabilidad de las infracciones corresponde a las sanciones de las mismas.

Se presume, salvo prueba de lo contrario, autores de las infracciones respectivas:

- A los instaladores, en cuanto a las infracciones que se refieren a la instalación.
 - A los usuarios, en cuanto a las infracciones relativas al uso de aquellas e instalaciones.
 - A las empresas suministradoras, en cuanto a las infracciones relativas a los preceptos que les afecten en el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, e instrucciones complementarias.
- Medición y valoración de las instalaciones eléctricas.

Los tubos de P.V.C. se medirán en metros lineales según el diámetro y sin descontar los pasos por caja de registro. Los tubos que vayan a ir tapados, se medirán antes de que se hayan instalados totalmente.

Las cajas de registro se medirán en unidades completas instaladas, teniendo en cuenta sus características y dimensiones.

Los conductores se medirán en metros lineales, realizada la medición sobre la longitud total instalada, del mismo tipo de aislamiento y sección.

La conducción enterrada de cable desnudo recocado de cobre, para la puesta a tierra, se medirá en metros lineales en la longitud total colocada de igual sección.

Las arquetas de conexión de toma de tierra, de las características estipuladas en la documentación técnica, se medirán en unidades completas terminadas.

Los cuadros de distribución, interruptores, conmutadores, se medirán sobre la base de unidades completamente terminadas.

➤ Valoración de las luminarias.

Se medirán en unidades totalmente instaladas en su lugar indicando en la documentación técnica, teniéndose en cuenta el tipo de cada una de ellas.

En el precio que se estipula en los presupuestos se consideran incluidos todos aquellos accesorios para su fijación correcta.

La conducción de distribución del alumbrado se medirá en metros lineales.

➤ Condiciones de seguridad e higiene para la iluminación.

Los locales de trabajo tendrán la iluminación precisa y deberá satisfacer las condiciones de seguridad del personal empleado.

Siempre que sea posible la iluminación será natural, completándose aquellos lugares que no resulten bien iluminados mediante luz artificial.

➤ Condiciones de seguridad e higiene para los motores.

La limpieza y engrasado de los motores, transmisiones y máquinas no podrá hacerse nada más que por el personal especializado y durante la parada del mismo, salvo que exista garantía de seguridad para los operarios.

Los trabajos de reparación u otros cualesquiera similares, se harán análogamente cuando las máquinas se encuentren en reposo. Los obreros al servicio de los motores y máquinas en general, llevarán para el trabajo prendas de vestir ajustadas.

Los órganos móviles de los motores y cualquier otro elemento de los mismos que presenten peligro para los trabajadores, deberán ser provistos de la adecuada protección que los evite.

3.9. Centro de transformación.

Artículo 1. Local.

El local del centro de transformación no albergará en su interior ninguna instalación ajena a su función, ni estará atravesado o cruzado por tuberías de agua, desagües u otros servicios.

La ventilación queda garantizada mediante rejillas con lamas en forma de "V" invertida combinada con tela de mosquitero. Tales rejillas tendrán un grado de protección mínimo IP-3XX.

Las puertas serán metálicas galvanizadas de doble hoja, de apertura hacia el exterior, que puedan abatirse totalmente sobre la fachada.

Los centros de transformación prefabricados de hormigón cumplirán con la recomendación UNESA-1303A o la norma que la sustituyera.

Quedará prohibido el acceso a los centros de transformación a toda persona ajena al servicio. Se excluye de esta prohibición a los funcionarios de la Dirección de Industria y Energía, así como a los de inspección de trabajo, siempre y cuando actúen en actos de servicio.

En todo centro de transformación se instalará una banquetta aislante, guantes igualmente aislantes y una pértiga de maniobras. Así mismo, se colocará en sitio visible el esquema unificar realizado en el centro. También se instalarán indicadores de instalaciones de alta tensión e instrucciones de primeros auxilios a accidentados por contactos con partes en tensión.

En caso de accidente no se verterá agua sobre la instalación, pues pueden producirse contactos y ponerse en comunicación los circuitos primarios con los secundarios, quedando en alta toda la instalación

En el interior y junto a la puerta se instalará un extintor de eficacia 610B.

Los componentes básicos del hormigón armado son:

- Cemento P-450.
- Arena lavada de río.
- Árido manchado o rodado de río.
- Armaduras de acero de límite elástico mínimo de 5.000 Kg/cm².

La resistencia a la compresión del hormigón armado será de 350 Kg/cm² como mínimo a los 28 días y un grado de compacidad que asegure la total impermeabilidad de las paredes o módulos.

Las condiciones de servicio serán las exigidas en la norma MV-101/1962 para una altitud de instalación de 500 m sobre el nivel del mar.

Artículo 2. Aparamenta.

En este apartado se incluyen el disyuntor de protección general, los interruptores-seccionadores y las celdas de protección de los transformadores de potencia.

Todos ellos serán tripolares y realizarán la extinción del arco mediante autosoplado de hexafluoruro de azufre. Todos los contactos y bornes de conexión serán de una sola pieza de cobre plegado en frío.

Serán del tipo denominado bajo envolvente metálica, siendo este material prefabricado debiéndose garantizarse mediante protocolos de ensayos las características eléctricas del conjunto, y cumplirán lo especificado en las normas UNE-29009 y 36086.

En el montaje convencional y por motivos de seguridad se colocará necesariamente un mando por manivela para su apertura y cierre, para todos los interruptores de cable o línea.

De acuerdo con lo indicado en el apartado 1.1.1 del MIE RAT-12, los niveles de aislamiento a considerar en las instalaciones serán los siguientes:

Tensión más elevada para el material	20 KV
Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo	125 KV
Tensión soportada nominal de corta duración 50Hz	50 KV

También admitirán durante un segundo una intensidad de cresta de 16KA, y resistir sin formación de arco y durante un minuto una sobrepresión trifásica de 60 KV (eficaces).

Las celdas interruptor - seccionador estarán equipadas con seccionadores de puesta a tierra existiendo entre ambos seccionadores

un enclavamiento seguro, de modo que cuando uno este abierto, el otro esté cerrado, y viceversa.

Cada cabina o celda separable llevará una placa de características con los siguientes datos:

- Nombre del fabricante o marca de identificación.
- Número de serie o designación de tipo, que permita obtener toda la información necesaria.
- Tensión nominal.
- Intensidades nominales de las barras generales y los circuitos.
- Frecuencia nominal.

La conexión a tierra de las envolventes metálicas se realizará de la forma indicada en la instrucción MIE-RAT-13.

Artículo 3. Fusibles.

Todos los fusibles serán del tipo de alto poder de ruptura.

Los fusibles irán instalados en el interior de las celdas de protección del transformador.

El calibre de los mismos dependerá de la potencia del transformador a proteger, ajustándose para este fin a lo especificado en las Normas Técnicas de Construcción y Montaje de las Instalaciones Eléctricas de Distribución de la Compañía Sevillana de Electricidad.

Los fusibles cumplirán lo especificado en la norma UNE -21120.

Deberán estar contruidos de forma que no produzcan proyecciones de metal fundido ni formación de llama, y llevar grabado el calibre por el 80% de la corriente máxima que pueden soportar indefinidamente.

Artículo 4. Cables.

El puente de alta tensión será de una sección de cobre de 50 mm², de aislamiento de polietileno reticulado o etileno - propileno 18/30 KV.

El puente de baja tensión se realizará con pletinas de cobre de 100x10 mm² de sección.

El resto del cableado utilizado, en baja tensión cumplirá con la instrucción MIE.RAT-007.

Los cables de alumbrado serán de cobre electrolítico con una sección de 6 mm² excepto el de la acometida que será de 10 mm². La cubierta será de policloruro de vinilo.

Los cables de conexión a la luminaria serán de 2x2,5 mm² de cobre con igual aislamiento.

El Contratista informará por escrito al Director de Obra del nombre del fabricante de cables y le enviará una muestra de los mismos.

Artículo 5. Armario de baja tensión.

Admitirán cuatro salidas y un módulo de ampliación, y estarán dotados de los desconectores necesarios para las salidas de cables provistos de fusibles de uso general aptos para la intensidad nominal de las líneas que alimentan.

El elemento de corte de cada línea, podrá ser uni o tripolar, con poder de corte de 2000A, colocándose un interruptor adecuado que incluso, podrá ser único para la salida del transformador.

El neutro de las salidas de baja tensión será seccionable mediante el uso de la herramienta adecuada.

Los armarios estarán contruidos conforme a las normas CEI-439-1, CEI-529, CEI-144, NF-410 y C15-100.

El grado mínimo de protección ha de ser IP-54.

Los elementos plásticos que contengan serán autoextinguibles a 96 o C según normas CEI-695.21 y C15-100.

El embarrado de que dispongan será de cobre electrolítico y capaz de soportar esfuerzos térmicos y electromecánicos de cortocircuito, calculados en la Memoria del proyecto que nos ocupa.

Se indicarán en unas placas con características indelebles:

- Nombre de fabricante, modelo y número de serie.
- Intensidad en amperios.
- Número de líneas de salida.

Artículo 6. Equipo de medida.

El equipo de medida estará compuesto de los transformadores de medida ubicados en la celda de medida de A.T. y el equipo de contadores de energía activa y reactiva ubicado en el armario de contadores, así como de sus correspondientes elementos de conexión, instalación y precintado.

Las características eléctricas de los diferentes elementos están especificadas en la memoria.

Los transformadores de medida deberán tener las dimensiones adecuadas de forma que se puedan instalar en la celda de A.T.

guardado las distancias correspondientes a un aislamiento de 24 kv. Por ello será preferible que sean suministrados por el propio fabricante de las celdas, ya instalados en la celda. En el caso de que los transformadores no sean suministrados por el fabricante de celdas se le deberá hacer la consulta sobre el modelo exacto de transformadores que se van a instalar a fin de tener la garantía de que las distancias de aislamiento, pletinas de interconexión, etc. serán las correctas.

La regleta de verificación será de un modelo normalizado por la Compañía Sevillana de Electricidad, situada de forma que pueda ser manipulada sin peligro, por proximidades con partes en tensión.

Los transformadores de intensidad estarán homologados por la Administración competente, siendo las características técnicas las siguientes:

Clase de precisión mínima	0,5
Potencia de precisión mínima	15 VA
Tensión nominal de aislamiento	36 KV
Tipo de aislamiento	Seco
Intensidad límite térmica mínima	5 KA
Intensidad límite dinámica mínima	2,5x5 KA
Factor de sobrecarga mínimo	5
Intensidad nominal secundaria	5 A
Intensidad nominal primaria	150 A

Los transformadores de tensión estarán homologados por la Administración competente.

En los circuitos secundarios de estos transformadores sólo se podrán conectar los circuitos voltimétricos de los contadores, que sirvan para la facturación, así como la alimentación de aquellos elementos necesarios para dicha facturación (relojes de tarificación, etc.).

Las características técnicas fundamentales de los transformadores de tensión son las siguientes:

Clase de precisión mínima	0,5
Potencia de precisión mínima	50 VA
Tensión nominal de aislamiento	24 KV
Tipo de aislamiento	Seco
Tensión nominal secundaria	110/ 3 V
Tensión nominal primaria	22/ 3 KV
Tipo	Un polo aislado

Artículo 7. Contadores.

Los contadores de energía activa y reactiva estarán homologados por el organismo competente. Sus características eléctricas están especificadas en la memoria.

Artículo 8. Transformador.

Además de lo especificado en el presente pliego, cumplirán las dadas en el documento Memoria.

Se usará transformador en baño de aceite.

El transformador en baño de aceite se ajustará a las normas CEI, UNE-20138 y recomendaciones UNESA 5201-y 5204.

La tensión del primario nominal de trabajo será de 20 KV, para ello deberán de llevar bajo tapa las conexiones necesarias para la tensión de 20 KV. La tensión del secundario será 380/220 V de valor nominal.

Se prohíbe usar piraleno como refrigerante.

El transformador irá provisto de regulador de tensión, que se puede accionar sin carga, con una regulación posible de 2,5 y 5% de la tensión nominal.

El fabricante será de conocida solvencia y su marca de fabricación será internacionalmente conocida.

El aceite estará obtenido por destilación fraccionada del petróleo y refinada con posterioridad. Sus características más importantes serán:

- Color: Observado a contraluz en un tubo de ensayo de 15 mm, aparecerá claro y limpio.
- Peso específico: A veinte grados, ocho grados Engler y a cincuenta grados, dos con cinco grados Engler como máximo.
- Temperatura de inflamación mínima: Ciento cuarenta grados.
- Rigidez dieléctrica: 100 KV/cm.
- Alteración del algodón: Al introducirlo en el aceite durante diez minutos y probado a tracción inmediatamente después de secado del mismo, presentará una reducción no mayor del 35% en su coeficiente de tracción inicial.
- Acidez orgánica: Será de un máximo de 0,05% en ácido oleico.
- Asfalto y resinas: Exento.

Los cables de unión entre las celdas de protección y el transformador serán de aislamiento basándose en polietileno reticulado, de 50 mm² de sección, 18/30 KV.

Artículo 9. Columnas.

Cumplirán:

- El espesor mínimo de chapa será de 3 mm.

- El tipo de acero cumplirá la norma UNE 36080-73.
- Las características y ensayos se regirán por las Normas de Alumbrado Urbano del Ministerio de la Vivienda.
- La columna llevará en su base una puerta de registro prevista de cerradura. Esta puerta y la cavidad a la que da acceso deberá de ser de suficientes dimensiones para permitir el alojamiento de la placa de conexión y fusible.

El Contratista presentará al Director de Obra un croquis con las características de dimensiones, formas, espesores de chapa y peso de columna que se pretende colocar.

Artículo 10. Centro de mando.

Será metálico tratado químicamente. Tendrá el cierre hermético de manera que resguarde a los elementos en él alojados de la humedad. Deberá de llevar cerradura con llave para que el interior solo pueda ser manipulado por el personal especializado.

Los interruptores magnetotérmicos cumplirán con las normas UNESA y serán de las características ya citadas en el documento Memoria.

La célula fotoeléctrica deberá de soportar la acción de los agentes atmosféricos sin que afecten a su función.

El relé crepuscular deberá de ajustarse para que conecte cuando la intensidad luminosa descienda de 10 lux.

Artículo 11. Centro de transformación.

En primer lugar se prepararán la apertura y nivelación del foso para la correcta colocación del centro. Después se realizarán las zanjas; deberán de estar limpias de materiales que estorben en el tendido de

los tubos los cuales deberán de asentar perfectamente. Las dimensiones de las excavaciones se ajustarán a las indicadas en los planos que acompañan al presente Proyecto.

En terrenos inclinados se hará una explanación del terreno al nivel correspondiente a la estaca central.

La tierra sobrante deberá de ser retirada a un lugar donde no produzca perjuicio ninguno.

Los embarrados y conexiones de alta tensión estarán constituidos por conductores aislados soportados por aisladores de apoyo. Estos aisladores de apoyo soportarán una carga mínima de ensayo a la flexión de 160 daN.

Las conexiones, derivaciones y empalmes se realizarán con elementos apropiados, que para conductores de cobre de sección circular se recomienda que sean de apriete concéntrico.

Las conexiones de baja tensión se ajustarán a lo dispuesto en REBT.

Ningún circuito de baja tensión se situará sobre la vertical de los circuitos de alta tensión ni a menos de 45 cm, excepto si se instalan tubos o pantallas de proyección.

Se cuidará de respetar las distancias de las partes en tensión, a masa como establece en el vigente Reglamento. Los mandos de los aparatos deberán ser regulados para su perfecto funcionamiento.

Las condiciones de los circuitos de puesta a tierra son las siguientes:

- No se unirán al circuito de puesta a tierra ni las ventanas

metálicas ni las puertas de acceso.

- En ninguno de los circuitos de puesta a tierra se colocarán elementos de seccionamiento.
- La conexión del neutro a su toma se efectuará siempre que sea posible antes del seccionamiento de baja tensión.
- Cada circuito de puesta a tierra llevará un borne para la medida de la resistencia a tierra, situado en un punto de fácil acceso.
- Los circuitos de tierra se establecerán de manera que se eviten los deterioros debidos a las acciones mecánicas.
- La conexión del conductor de tierra con la toma de tierra se realizará de forma que no haya peligro de aflojarse.
- Los circuitos de puesta a tierra formarán una línea continua en la que no podrán incluirse en serie las masas del centro. Siempre la conexión de las masas se realizará por derivación.
- Los conductores de tierra podrán ser de cobre o acero y su sección mínima respectivamente de 35 mm² o su equivalente.
- Cuando la alimentación de un centro se realice por medio de cables subterráneos provistos de cubiertas metálicas, se asegurará la continuidad de estas por medio de un conductor de cobre lo más corto posible de una sección no inferior a 50 mm².

La cubierta metálica se unirá al circuito de tierra de las masas.

Puesto que se realizará la medida en alta tensión, se instalarán tres transformadores de intensidad y otros tres de tensión en el sentido de la circulación de la energía y como se indica en el plano correspondiente.

Los transformadores de medida deben ser instalados de forma que sus placas de características sean visibles una vez abierta la celda que los contiene. Se reserva una celda exclusivamente para medida.

Las líneas de conexión del equipo de medida, serán lo mas cortos posible, canalizados en tubo visible. La tierra de los secundarios de los transformadores de medida, se llevará directamente de cada transformador al punto de unión con la tierra para medida y de aquí se llevará, en un solo hilo, a la regleta de verificación. Los contadores se colocarán en un módulo exterior a la celda, estando los hilos de conexión bajo tubo de acero.

El error en la medida producido por los empalmes y los conductores no serán superior al 0,2% en valor absoluto. El equipo de medida estará montado de tal forma que pueda precintarse en los mecanismos de regulación por Organismos Competentes de la Administración y en los de conexión de Sevillana de Electricidad, sin impedir a su vez la visibilidad de los integradores de medida. Los contadores de medida de energía reactiva se colocarán siempre según el orden de sucesión de fases y en primer lugar. El de activa a continuación.

Durante la ejecución de las obras o una vez finalizada, el Director de Obra podrá verificar si los trabajos realizados están de acuerdo con las especificaciones contenidas en este Pliego. Esta verificación se llevará a cabo por cuenta del Contratista.

Una vez finalizadas las instalaciones el Contratista deberá de solicitar la oportuna recepción global de la obra. En la recepción de la instalación se incluirán los siguientes conceptos:

- Aislamiento: Medición de la resistencia del aislamiento del conjunto de la instalación.
- Ensayo dieléctrico: Todo el material que forma parte del equipo eléctrico del centro deberá de haber soportado por separado las tensiones de prueba a frecuencia industrial y a impulso tipo rayo.
- Instalación de puesta a tierra: Se comprobará la medida de

las resistencias de puesta a tierra, las tensiones de contacto y de paso.

- Regulación y protecciones: Se comprobará el buen estado de funcionamiento de los relés de protección y su correcta regulación.

3.10. Bombas.

- Se instalarán bombas horizontales centrífugas.
- El proveedor proporcionará curvas de rendimiento, potencia, caudal, etc., para todas las bombas instaladas.
- Se aconseja y prefiere el uso de juntas mecánicas sobre las de empaquetadura.
- Se prefiere el uso de cojinetes estandarizados. Los soportes de cojinete se lubricarán con aceite.
- Los soportes de cojinete se diseñarán de tal modo que para la máxima carga y mínimo engrase, la vida media no sea inferior a 2 años.
- Se debe prever un depósito de aceite de reserva de la capacidad adecuada, íntegramente con el soporte.
- Se debe prever la posibilidad de montar y desmontar los cierres y elementos rotativos, sin tener que mover el motor.
- Los rodetes se diseñarán para tener un decrecimiento gradual de carga, con crecimiento de opacidad desde el arranque a la capacidad normal.
- La magnitud de cualquier vibración con la bomba funcionando en su bancada, no debe sobrepasar 0.05mm, doble amplitud medida en el soporte del cojinete.
- En las líneas de descarga se instalarán válvulas retentoras antes de la primera válvula de bloque.
- Los filtros temporarios se fabricarán de chapa perforada a máquina de 1/6" de espesor para tuberías menores de 10".

3.11. Tuberías.

Artículo 1. Códigos.

- Todas las tuberías de proceso estarán de acuerdo con la sección aplicable del código ASA.
- Todos los materiales para tuberías se especifican de acuerdo con ASTM.

Artículo 2. Tuberías.

- Todas las tuberías serán de un “Schedule” de 10, salvo que se especifique lo contrario.
- Todas las tuberías de 3” y mayores serán fabricadas en taller utilizando accesorios de soldadura a tope. Toda la tubería de 2” será fabricada en campo utilizando accesorios roscados. En ciertos casos y para tubería de 2” únicamente, las uniones por soldadura de encastre pueden ser más prácticas que las roscadas.
- Si las fatigas producidas por la dilatación o contracción de las tuberías no pueden ser reducidas a los límites admitidos por el código mediante cambio de dirección o elevación, se deberán hacer liras de expansión. Las liras de expansión serán situadas preferentemente en un plano vertical, y podrán fabricarse completamente con accesorios soldados.
- Las tomas de muestra y líneas de ventilación serán de 3/4” como mínimo a no ser que se indique específicamente lo contrario.
- El margen de corrosión en las tuberías será de un mínimo de 3 mm para garantizar 12 años de servicio.

Artículo 3. Válvulas.

- Todas las válvulas, forjadas o fundidas, de compuerta o asiento, en acero al carbono o aleado, tendrán las capas atornillada y exteriormente roscas y estribos.

- Los cuerpos de válvula de hierro, con la cara de brida lisa, serán mecanizados para obtener una cara con mecanizado en espiral.
- Los instrumentos como manómetros, termopares, placas orificio, termómetros, etc., conectados a las líneas, llevarán válvula de cierre que permita el cambio de los mismos sin pérdidas del fluido. Dichas válvulas deberán cumplir las especificaciones de tuberías.
- Se evitará el uso de válvulas de ángulo.

Artículo 4. Bridas.

Todas las bridas se orientarán de modo que los agujeros queden fuera de los ejes, y simétricamente distribuidos respecto a ellos.

Todas las uniones brida–brida se realizarán mediante perno roscado y dos tuercas hexagonales. Los pernos de acero al carbono serán de una calidad no inferior que la del acero ASIMA–193 Grado B–7.

La cara de la brida será del tipo “raised” o “flat”; las caras macho–hembra no son permitidas.

Artículo 5. Accesorios.

- Los cambios de tamaño se realizarán mediante reductores unidos de igual forma que la tubería donde se instalan.
- Las conexiones en las líneas de proceso se realizarán mediante soldadas.
- Se colocarán filtros delante de todas las bombas y equipos rotativos que no tengan esa protección.
- Los accesorios embridados deberán ser de utilización absolutamente mínima.

Artículo 6. Colgantes y accesorios.

- No se usará hierro maleable para vigas o uniones de tuberías a los

soportes.

- Los soportes fabricados con tubos tendrán sus extremos tapados.

Artículo 7. Cambios de dirección.

- Los cambios de dirección de todas las tuberías roscadas se realizarán curvando la tubería, siempre que sea posible; en caso contrario utilizando codos roscados.
- Los cambios de dirección de la tubería soldada se realizarán mediante el empleo de coldados sin unión. La tubería curvada podrá utilizarse dependiendo del servicio o la aplicación.
- Los codos de 90° soldados a tope deberán ser de radio largo.

3.12. Aislamiento térmico.

Artículo 1. General.

- Todas las tuberías de vapores o fluidos donde sea necesaria la conservación del calor, deben ser aisladas térmicamente.
- Las bridas y cuerpos de válvulas serán aisladas.
- Todas las tuberías aisladas se limpiarán, secarán y probarán hidrostáticamente antes del recubrimiento.

Artículo 2. Materiales.

Todos los materiales deben ser nuevos, llegando a obra cerrados y en sus embalajes originales.

3.13. Aislamiento acústico.

Todas las zonas indicadas en los planos se aislarán acústicamente para impedir la libre circulación de las ondas sonoras.

Durante la construcción de las paredes, punto 3.5, se tapizarán las paredes con aislamiento acústico según dicho punto.

Todos los materiales deben ser nuevos, llegando a obra cerrados y en sus embalajes originales.

3.14. Prueba hidráulica.

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de su puesta en operación.

La comprobación consistirá en ensayos no destructivos, tales como radiografiados, comprobación con líquidos penetrantes y partículas magnéticas de las soldaduras, y una prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de proyecto.

Los valores mínimos de la presión de prueba hidráulica varían según los códigos de diseño.

Según el código ASME VIII Div. 1, la presión de prueba hidráulica es:

$$P_{Hm} = 1,5 \times P \times \frac{S_a}{S}$$

Siendo:

P_{Hm} = Presión hidráulica mínima, Kg/cm².

P = Presión de diseño o proyecto, Kg/cm².

S = Tensión admisible a temperatura de diseño, Kg/cm².

S_a = Tensión admisible a temperatura ambiente, Kg/cm².

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba inicial, otra prueba periódica a una presión de:

$$P_{Hm} = 1,3 \times P \times \frac{S_a}{S}$$

Se ha de verificar en todos los casos que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superen el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario, se deberá aumentar los espesores de las paredes de forma que se cumpla esta condición.

Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deberá tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna de líquido.

3.15. Seguridad y salud en la obra.

Artículo 1. Objeto del presente capítulo.

Se redacta el siguiente pliego para definir las calidades y características técnicas de los materiales a utilizar en la obra en lo dispuesto en el estudio de seguridad e higiene, normativa básica de obligado cumplimiento, obligaciones del empresario, etc.

Artículo 2. Condiciones técnicas.

En aplicación del Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo, el contratista o constructor principal de la obra quedará obligado a elaborar un Plan de Seguridad e Higiene en el que analice, estudie, desarrolle y complemente en función de su propio sistema de ejecución, las obras y las previsiones contenidas en el citado estudio.

El Plan de Seguridad e Higiene debe ser presentado antes del inicio de la obra a la Dirección Técnica encargada de su aprobación y seguimiento. Una copia de dicho plan a efectos de su conocimiento y seguimiento debe ser entregada al vigilante de seguridad, y en su defecto, a los representantes de los trabajadores del centro de trabajo,

quienes podrán presentar por escrito y de forma razonada las sugerencias y alternativas que se estimen oportunas.

➤ Vigilante de seguridad e higiene.

Sus funciones serán las establecidas por la Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Es el responsable del cumplimiento del Plan de Seguridad.

Todos los incumplimientos deberán ser anotados en el Libro de Incidencias, dando cuenta a la Dirección Técnica Facultativa y a los inspectores de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Debe ser designado por escrito y presentado a la Dirección Técnica para su aprobación antes del inicio de las obras.

➤ Condiciones de los medios de protección.

Todas las prendas de protección personal o elementos de protección colectiva, tendrán fijado un periodo de vida útil, desechándose a su término.

Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se repondrá ésta, independientemente de la duración prevista o de la fecha de entrega.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato límite, es decir, el máximo para el que fue concebido, será desechado y repuesto al momento. De igual modo se repondrán inmediatamente aquellas prendas que por su uso hayan adquirido más holgura o tolerancias de las admitidas por el fabricante.

El uso de una prenda o equipo nunca representará un riesgo en sí mismo.

Artículo 3. Protecciones personales.

Todo elemento de protección personal se ajustará a las Normas de Homologación pertinentes, siempre que existan en el mercado, y si no, se tendrán en cuenta las consideraciones antes aludidas.

Los medios de protección personal, simultáneos con los colectivos, serán de empleo obligado, siempre que se precisen para eliminar o reducir los riesgos profesionales.

La protección personal, no dispensa en ningún caso de la obligación de emplear los medios preventivos de carácter general, conforme a lo dispuesto por la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Todas las prendas homologadas deberán llevar el sello reglamentario.

- Protecciones colectivas.

Vallas autónomas de limitación y protección.

Podrán realizarse a partir de pórticos con pies derechos y dintel a partir de tablones embridados, firmemente sujetos al terreno y cubierta cuajada de tablones. Estos elementos también podrán ser metálicos.

Redes perimetrales.

Para la protección del riesgo de caídas al vacío por el borde perimetral se utilizarán pescantes tipo horca.

El extremo inferior de la red, se anclará a horquillas de hierro previamente embebidas en el forjado. Las redes serán de poliamida, protegiendo las plantas de trabajo. La cuerda de seguridad será como mínimo de 10 mm de diámetro, y los módulos de red serán atados entre sí, con cuerda de poliamida como mínimo de 3 mm de diámetro.

El desencofrado se protegerá mediante redes de la misma calidad ancladas al perímetro de los forjados.

Redes verticales.

En protecciones verticales de cajas de escaleras, voladizos de balcones, cláusula de acceso a planta desprotegida, forjados una vez desencofrados y hasta la construcción del cerramiento, etc., se utilizarán redes verticales (tipo teris), ancladas a los forjados respectivos y a los pilares o puntales colocados a tal efecto.

Redes horizontales.

Se colocarán para proteger la posible caída de personas u objetos en patios, huecos de escaleras, etc.

Barandillas.

Las barandillas rodearán el perímetro de la planta encofrada, si no se utiliza otro medio, como las redes verticales antes descritas, y deberán tener la suficiente resistencia para garantizar la retención de personas.

Cables de sujeción de cinturón de seguridad y sus anclajes.

Tendrán suficiente resistencia para soportar los esfuerzos a que puedan ser sometidos de acuerdo con su función protectora.

Todos los operarios deberán ser instruidos sobre las formas correctas de utilización y colocación, por parte del encargado de los trabajos.

Antes de su utilización, deberán revisarse todos los elementos constituyentes del cinturón, sobre todo el elemento de amarre. Cuando existan dificultades para fijar un punto de anclaje, se utilizarán dispositivos anticaída.

Plataformas de trabajo.

Tendrán como mínimo 60 cm de ancho, y las situadas a más de 2 metros del suelo, estarán dotadas de barandillas de 90 cm de altura, listón intermedio y rodapié.

Los elementos que las compongan, se fijarán a la estructura portante, de modo que no puedan darse basculamientos, deslizamientos u otros movimientos peligrosos.

Si se realizara con madera, ésta será sana, sin nudos ni grietas que puedan dar lugar a roturas, el espesor mínimo será de 5 cm. Si son metálicas deberán tener una resistencia suficiente al esfuerzo a que van a ser sometidas.

Se cargarán únicamente los materiales necesarios para asegurar la continuidad del trabajo.

Plataformas voladas.

Deberán ir provistas de zapatas antideslizantes, apoyándose en superficies planas y resistentes. Si son de madera, los largueros serán de una sola pieza, los peldaños estarán ensamblados en los largueros (no solamente clavados), y no deberán pintarse, salvo con barniz transparente.

Queda prohibido el empalme de escaleras si no cuentan con elementos especiales para ello. No salvarán más de 5 metros de altura si no están reforzadas en el centro, para salvar alturas superiores se adecuarán fijaciones en cabeza y base y se utilizará cinturón de seguridad o dispositivo antiácida.

Escalera de mano.

Deberán ir provistas de zapatas antideslizantes.

Señales de tráfico y seguridad.

Estarán de acuerdo con la normativa vigente.

Topes para la descarga de vehículos a distinto nivel.

Se podrán realizar con un par de tablones embridados, fijados al terreno por medio de redondos hincados al mismo, o de otra forma eficaz.

Interruptores diferenciales.

La sensibilidad mínima de los interruptores diferenciales, será para alumbrado de 30 mA y para fuerza de 300 mA.

Toma de tierra.

La resistencia de la toma de tierra no será superior a la que garantice de acuerdo con la sensibilidad del interruptor diferencial, una tensión máxima de contacto de 24V.

La red de tierra, se realizará con cable de cobre desnudo, trenzado de 50mm² y pica de acero o cobre desnudo, trenzado de 50mm² de 2 metros de longitud y 3/4 de diámetro.

Extintores de incendios.

Serán adecuados al agente extintor y tamaño al tipo de incendio previsible, y se revisarán periódicamente.

- Servicios de protección.

Servicio técnico de seguridad e higiene.

La empresa constructora dispondrá de asesoramiento técnico de seguridad e higiene.

El contratista deberá presentar antes de su implantación en obra y posteriormente con la periodicidad exigida, los siguientes documentos:

- Lista de personal, detallando los nombre de los trabajadores que pertenecen a su plantilla y van a desempeñar los trabajos contratados, indicando los números de afiliación a la Seguridad Social. Dicha lista debe ser soportada para el caso de Sociedades Cooperativas por la fotocopia de la matriz individual del talonario de cotización de la Mutuality Laboral de Trabajadores Autónomos de la Industria, con la

fotocopia de A-22 de alta en la Seguridad Social; o en su defecto fotocopia de la inscripción en el Libro de Matrícula para el resto de sociedades.

- Asimismo deberá indicar posteriormente todas las altas y bajas que se produzcan de acuerdo con el procedimiento del epígrafe anterior.
- Fotocopia de los ejemplares oficiales de los impresos de liquidación TC1 y TC2 del Instituto Nacional de la Seguridad Social, o en caso de Sociedades Cooperativas la matriz de los talones de cotización a la Mutua Laboral de los Trabajadores Autónomos de la Industria, debidamente diligenciada como abonos, correspondiente a las últimas mensualidades ingresadas en el periodo voluntario de cobro. Posteriormente dichas mensualidades se presentarán antes del día 10 de cada mes.
- Seguro de responsabilidad civil de todos los vehículos y maquinaria que trabaje o tenga acceso directo al área de trabajo. No se permitirá el acceso al trabajo de ningún vehículo o maquinaria sin este requisito.
- El contratista presentará copias de las pólizas de seguros mencionados.
- Servicio médico. La empresa constructora dispondrá de un servicio médico de empresa propio o mancomunado.
- Instalaciones médicas. La obra dispondrá de botiquín portátil instalado en las oficinas. Los servicios médicos del contratista (propios o mancomunados) revisarán mensualmente el contenido del botiquín, reponiendo inmediatamente todo lo utilizado o consumido.

Artículo 4. Condiciones facultativas.

- Identificación de la obra.
- Identificación del redactor del Plan de Seguridad y Salud.

El presente Plan de Seguridad y Salud es redactado por el ingeniero autor del presente proyecto.

- Normativa legal de aplicación.

La edificación, objeto del Plan de Seguridad y Salud, estará regulada a lo largo de su ejecución por los textos que a continuación se citan, siendo de obligado cumplimiento para las partes implicadas.

Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995 de 8 de Noviembre (se prestará especial atención a los puntos que se detallan).

Real Decreto 1627/97 de 24 de Octubre de 1997. Este Real Decreto tiene por objeto establecer la aplicación concreta de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, al sector de la construcción y su vigencia comenzará a partir del día 25 de Diciembre de 1997, coincidiendo con los dos meses de su publicación, tal como establece la disposición final tercera.

Esta nueva norma deroga expresamente el Real Decreto 555/1986, modificado por el Real Decreto 84/1990, que implantó el Plan de Seguridad y Salud en los proyectos de edificación y obras públicas que, no obstante, será de aplicación en todos aquellos proyectos visados por los Colegios profesionales correspondientes aprobados por las administraciones públicas antes de la entrada en vigor del nuevo Real Decreto.

Obligaciones de las partes implicadas.

El autor del encargo adoptará las medidas necesarias para que el Plan de Seguridad y Salud quede incluido como documento integrante del proyecto de ejecución de obra. Dicho Plan de Seguridad y Salud será visado en el Colegio profesional correspondiente.

Asimismo, abonará a la empresa constructora, previa certificación de la dirección facultativa, las partidas incluidas en el documento presupuesto Plan de Seguridad. Si se implantasen elementos de seguridad, no incluidos en el presupuesto, durante la realización de la obra, estos se abonarán igualmente a la empresa constructora, previa autorización del autor del Plan de Seguridad y Salud.

El Plan de Seguridad que analice, estudie y complemente este Plan de Seguridad, contará de los mismos aparatos, así como la adopción expresa de los sistemas de producción previstos por el constructor, respetando fielmente el Pliego de Condiciones. Dicho Plan será sellado y firmado por persona con suficiente capacidad legal. La aprobación expresa del Plan y el representante de la empresa constructora con facultades legales suficientes o por el propietario con idéntica calificación legal.

La empresa constructora cumplirá las estipulaciones preventivas del Plan de Seguridad y Salud, respondiendo solidariamente de los daños que se deriven de la infracción del mismo por su parte o de los posibles subcontratistas o empleados.

La dirección facultativa considera el Plan de Seguridad y Salud como parte integrante de la ejecución de la obra. A la Dirección Facultativa le corresponde el control y supervisión de la ejecución del Plan de Seguridad y Salud, autorizando previamente

cualquier modificación de éste, dejando constancia escrita en el Libro de Incidencias.

Periódicamente, según lo pactado, se realizarán las pertinentes certificaciones del presupuesto de seguridad, poniendo en conocimiento de la propiedad y de los organismos competentes, el incumplimiento, por parte de la empresa constructora, de las medidas de seguridad contenidas en el Plan de Seguridad y Salud.

Los suministradores de medios, dispositivos, máquinas y medios auxiliares, así como los subcontratistas, entregarán al jefe de obra, delegados de prevención y dirección facultativa, las normas para montaje, desmontaje, usos y mantenimiento de los suministros y actividades; todo ello destinado a que los trabajos se ejecuten con la seguridad suficiente y cumpliendo con la normativa vigente.

Los medios de protección personal, estarán homologados por organismo competente en caso de no existir éstos en el mercado, se emplearán los más adecuados bajo criterio del Comité de Seguridad y Salud o Delegación de Prevención, con el visto bueno de la Dirección Facultativa, para la seguridad.

Comités de seguridad y salud. Delegado de prevención de seguridad.

El comité de Seguridad y Salud es el órgano paritario y colegiado de participación destinado a la consulta regular y periódica de las actuaciones de la empresa en materia de prevención de riesgos.

Se constituirá un Comité de Seguridad y Salud en todas las empresas o centros de trabajo que cuenten con 50 o más trabajadores.

El comité estará formado por los delegados de prevención, de una parte, y por el empresario y/o su representante en número igual al de los delegados de prevención de la otra.

En las reuniones del Comité de Seguridad y Salud participarán, con voz pero sin voto, los delegados sindicales y los responsables técnicos de la prevención de la empresa que no estén incluidos en la composición a la que se refiere el párrafo anterior. En las mismas condiciones podrán participar trabajadores de la empresa que cuenten con una especial cualificación o información respecto de concretas cuestiones que se debatan en este órgano y técnicos en prevención ajenos a la empresa, siempre que así lo solicite alguna de las representaciones en el Comité.

El Comité de Seguridad y Salud se reunirá trimestralmente y siempre que lo solicite alguna de las representaciones en el mismo. El Comité adoptará sus propias normas de funcionamiento.

Las empresas que cuenten con varios centros de trabajo dotados de Comité de Seguridad y Salud podrán acordar con sus trabajadores la creación de un Comité Intercentros, con las funciones que el acuerdo le atribuya.

Competencias y facultades del comité de seguridad y salud.

El Comité de Seguridad y Salud tendrá las siguientes competencias:

- Participar en la elaboración, puesta en práctica y evaluación de los planes y programas de prevención de riesgos en las empresas. A tal efecto, en su seno se debatirán antes de su puesta en práctica y en lo referente a su incidencia en la prevención de riesgos, los proyectos en materia de planificación, organización del trabajo e introducción de nuevas tecnologías, organización y desarrollo de las actividades de protección y prevención y proyecto y organización de la formación en materia preventiva.
- Promover iniciativas sobre métodos y procedimientos para la efectiva prevención de los riesgos, proponiendo a la empresa la mejora de las condiciones o la corrección de las deficiencias existentes.

Delegados de prevención.

Los Delegados de Prevención son los representantes de los trabajadores con funciones específicas en materia de prevención de riesgos en el trabajo.

Los Delegados de Prevención serán designados por y entre los representantes del personal, en el ámbito de los órganos de representación previstos en las normas a que se refiere el artículo 34, Ley 31/95, con arreglo a la siguiente escala:

De 50 a 100 trabajadores	2 Delegados de Prevención
De 101 a 500 trabajadores	3 Delegados de Prevención
De 501 a 1000 trabajadores	4 Delegados de Prevención
De 1001 a 2000 trabajadores	5 Delegados de Prevención
De 2001 a 3000 trabajadores	6 Delegados de Prevención
De 3001 a 4000 trabajadores	7 Delegados de Prevención
De 4001 en adelante	8 Delegados de Prevención

En las empresas de hasta 30 trabajadores el Delegado de Prevención, será el delegado de personal. En las Empresas de 31 a 49 trabajadores habrá un Delegado de Prevención que será elegido por y entre los delegados de personal.

- a) Los trabajadores vinculados por contrato de duración determinada superior a un año se computarán como trabajadores fijos de plantilla.
- b) Los contratos por término de hasta un año se computarán según el número de días trabajados en el período de un año anterior a la designación. Cada 200 días trabajados o fracción se computarán como un trabajador más.

Competencias y facultades de los delegados de prevención.

- a) Colaborar con la dirección de la Empresa en la mejora de la acción preventiva.
- b) Promover y fomentar la cooperación a los trabajadores en la ejecución de la normativa y sobre la precisión de riesgos laborales.
- c) Ser consultados por el empresario con carácter previo a la ejecución acerca de las decisiones a que se refiere el artículo 33 de la presente Ley.
- d) Ejerce una labor de vigilancia y control sobre cumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales.

Garantía y sigilo profesional de los delegados de prevención.

Lo previsto en el artículo 68 del Estatuto de los Trabajadores en materia de garantías será de aplicación a los Delegados de Prevención en su condición de representante de los trabajadores.

El tiempo utilizado por los Delegados de Prevención para el desempeño de las funciones previstas en esta Ley será considerado como de ejercicio de funciones de representación a los efectos de la utilización del crédito de horas mensuales retribuidas previsto en la letra e) del citado artículo 68 del Estatuto de los Trabajadores.

No obstante lo anterior, será considerado en todo caso como tiempo de trabajo efectivo, sin imputación al citado crédito horario, el correspondiente a las reuniones del Comité de Seguridad y Salud y a cualesquiera otras convocadas por el empresario en materia de prevención de riesgos, así como el destinado a las visitas previstas en las letras a) y c) del número 2 del artículo anterior.

El empresario deberá proporcionar a los Delegados de Prevención los medios y la formación en materia preventiva que resulten necesarios para la ejecución de sus funciones.

La formación se deberá facilitar por el empresario por sus propios medios o mediante concierto con organismos o entidades especializadas en la materia y deberá adaptarse a la evolución de los riesgos y a la aparición de otros nuevos, permitiéndose periódicamente si fuera necesario.

El tiempo dedicado a la formación será considerado como tiempo de trabajo a todos los efectos y su coste no podrá recaer en ningún caso sobre los Delegados de Prevención.

Servicio de prevención.

Nombramiento por parte del empresario de los trabajadores que se ocupen de las tareas de prevención de riesgos profesionales.

Protección y prevención de riesgos profesionales (Artículo 30 Ley 31/95).

En cumplimiento del deber de Prevención de riesgos profesionales, el empresario designará uno o varios trabajadores para ocuparse de dicha actividad, constituirá un servicio de prevención o concertará dicho servicio con una entidad especializada ajena a la empresa.

Los trabajadores designados deberán tener la capacidad necesaria, disponer del tiempo y de los medios precisos y ser suficientes en número, teniendo en cuenta el tamaño de la empresa, así como los riesgos a que están expuestos los trabajadores y su distribución en la misma, con el alcance que se determine en las disposiciones a que se refiere la letra e) del apartado 1 del Artículo 6 de la presente Ley.

Los trabajadores a que se refiere el párrafo anterior colaborarán entre sí y, en su caso con los servicios de prevención.

Para la realización de la actividad de prevención, el empresario deberá facilitar a los trabajadores designados el acceso a la información y documentación a que se refieren los artículos 18 y 23 de la presente Ley.

Los trabajadores designados no podrán sufrir ningún perjuicio derivado de sus actividades de protección y prevención de los riesgos profesionales en la empresa. En ejercicio de esta función, dichos trabajadores gozarán, en particular, de las garantías que para los representantes de los trabajadores establecen las letras a), b) y c) del artículo 68 y el apartado 4 del artículo 56 del texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores.

Esta garantía alcanzará también a los trabajadores integrantes del servicio de prevención, cuando la empresa decida constituirlo de acuerdo con lo dispuesto en el artículo siguiente.

Los trabajadores a que se refieren los párrafos anteriores deberán guardar sigilo profesional sobre la información relativa a la empresa a la que tuvieran acceso como consecuencia del desempeño de sus funciones.

En las empresas de menos de 6 trabajadores, el empresario podrá asumir personalmente las funciones señaladas en el apartado 1, siempre que desarrolle de forma habitual su actividad en el centro de trabajo y tenga la capacidad necesaria, en función de los riesgos a que estén expuestos los trabajadores y la peligrosidad de las actividades con el alcance que se determine en las disposiciones a que se refiere la letra e) del apartado 1 del artículo 6 de la presente Ley.

El empresario que no hubiere concertado el servicio previsto por una entidad especializada ajena a la empresa deberá someter su sistema de prevención al control de una auditoría o evaluación externa, en los términos que reglamentariamente se determinen.

Los servicios de prevención deberán estar en condiciones de proporcionar a la empresa el asesoramiento y apoyo que precise en función de los tipos de riesgos en ella existentes y en lo referente a:

- El diseño, aplicación y coordinación de los planes y programas de actuación preventiva.
- La evaluación de los factores de riesgos que pueden afectar a la seguridad y la salud de los trabajadores en los términos previstos en el artículo 16 de esta Ley.
- La determinación de las prioridades en la adaptación de las medidas preventivas adecuadas y la vigilancia de su eficacia.
- La información de los trabajadores.
- La protección de los primeros auxilios y planes de emergencia.
- La vigilancia de la salud de los trabajadores en relación con los riesgos derivados del trabajo.

Índices de control.

En esta obra se llevarán obligatoriamente los índices siguientes:

Índice de incidencia.

Definición: Número de siniestros con baja acaecidos por cada 100 trabajadores.

Índice de frecuencia.

Definición: Número de siniestros con baja acaecidos por cada millón de horas trabajadas.

Índice de gravedad.

Definición: Número de jornadas perdidas por cada 1000 horas trabajadas.

Duración media de incapacidad.

Definición: Número de jornadas perdidas por cada accidente con baja.

Parte de accidentes y deficiencias.

Respetándose cualquier modelo normalizado que pudiera ser uso normal en la práctica del contratista; los partes y deficiencias observadas recogerán como mínimo los siguientes datos con una tabulación ordenada.

a) Parte de accidente:

- Identificación de la obra.
- Día, mes y año en que se ha producido el accidente.
- Hora de producción del accidente.
- Nombre del accidentado.
- Categoría profesional y oficio del accidentado.
- Domicilio del accidentado.
- Lugar (tajo) en que se produjo el accidente.
- Causas del accidente.
- Importancia aparente del accidente.
- Posible especificación sobre fallos humanos.
- Lugar, persona y forma de producirse la primera cura. (Médico, practicante, socorrista, personal de obra).
- Lugar de traslado para hospitalización.
- Testigos del accidente (verificación nominal y

versiones de los mismos).

- Como complemento de estas partes se emitirá un informe que contenga:
- ¿Cómo se hubiera podido evitar?
- Ordenes inmediatas para ejecutar.

b) Parte de deficiencias:

- Identificación de la obra.
- Fecha en que se ha producido la observación.
- Lugar (tajo) en que se ha hecho la observación.
- Informe sobre la deficiencia observada.
- Estudio de mejora de la deficiencia en cuestión.

c) Estadísticas:

Los partes de deficiencia se dispondrán debidamente ordenados por fechas desde el origen de la obra hasta su terminación, y se complementarán con las observaciones hechas por el Comité de Seguridad y las normas ejecutivas dadas para subsanar las anomalías observadas.

Los partes de accidente, si los hubiere, se dispondrán de la misma forma que los partes de deficiencias.

Los índices de control se llevarán a un estadillo mensual con gráficos de dientes de sierra, que permitan hacerse una idea clara de la evolución de los mismos, con una somera inspección visual; en abscisas se colocarán los meses del año y en ordenadas los valores numéricos del índice correspondiente.

- d) Seguro de responsabilidad civil y todo riesgo de construcción y montaje:

Será preceptivo en la obra, que los técnicos responsables dispongan de cobertura en materia de responsabilidad civil profesional; asimismo el contratista debe disponer de cobertura de responsabilidad civil en el ejercicio de su actividad industrial, cubriendo el riesgo inherente a su actividad como constructor por los daños a terceras personas de los que puede resultar responsabilidad civil extracontractual a su cargo, por hechos nacidos de culpa o negligencia; imputables al mismo a las personas de las que debe responder; se entiende que esta responsabilidad civil debe quedar ampliada al campo de la responsabilidad civil patronal.

El contratista viene obligado a la contratación de un Seguro en la modalidad de todo riesgo a la construcción durante el plazo de ejecución de la obra con ampliación a un período de mantenimiento de un año, contando a partir de la fecha de terminación definitiva de la obra.

Normas para certificación de elementos de seguridad.

Una vez al mes la constructora extenderá la valoración de las partidas que, en materia de Seguridad se hubiesen realizado en la obra; la valoración se hará conforme al plan y de acuerdo con los precios contratados por la propiedad: esta valoración será visada y aprobada por la Dirección Facultativa para la seguridad y sin este requisito no podrá ser abonada por la Propiedad.

El abono de las certificaciones expuestas en el párrafo anterior se hará conforme se estipule en el contrato de obra.

Se tendrá en cuenta a la hora de redactar el presupuesto de este Plan, sólo las partidas que intervienen como medidas de Seguridad e Higiene, haciendo omisión de medios auxiliares, sin los cuales la obra no se podría realizar.

En caso de ejecutar en obra unidades no previstas en el presente presupuesto: se definirán total y correctamente las mismas y se les adjudicará el precio correspondiente procediéndose para su abono, tal y como se indica en los apartados anteriores.

En caso de plantearse una revisión de precios, el Contratista comunicará esta a la Propiedad por escrito, habiendo obtenido la aprobación previa de la Dirección Facultativa para la Seguridad.

Formación e información de los trabajadores.

Todos los trabajadores tendrán conocimientos de los riesgos que conlleva su trabajo, así como de las conductas a observar y del uso de las protecciones colectivas y personales, con independencias de la formación que reciban, esta información se dará por escrito.

Se establecerán las actas de autorización del uso de las máquinas, equipos y medios; de recepción de protecciones personales; de instrucción y manejo; de mantenimiento.

Se establecerán por escrito las normas a seguir cuando se detecte una situación de riesgo, por accidente o incidente.

De cualquier incidente o accidente relacionado con la seguridad y salud, se dará conocimiento fehaciente a la dirección facultativa.

En un plazo proporcional a la gravedad de los hechos. En el caso de accidente grave o mortal, dentro del plazo de las 24 horas siguientes. Se redactará una declaración programática sobre el propósito del cumplimiento de lo dispuesto en la materia de seguridad y salud, firmado por la máxima autoridad de la empresa constructora y el jefe de obra. De este documento tendrán conocimiento los trabajadores.

La Dirección Facultativa por ser la redactora del Estudio de Seguridad debe dar el visto bueno al Plan de Seguridad, pudiendo rechazarlo si no lo considera ajustado a dicho Estudio, o a la legalidad vigente.

Dicha Dirección Facultativa no autorizará el inicio de las obras en tanto no esté aprobado el Plan de Seguridad y designado el Vigilante de Seguridad.

Artículo 5. Condiciones económicas.

Las mediciones, calidades y valoración recogidas en el presente Estudio de Seguridad e Higiene podrán ser modificadas o sustituidas por alternativas propuestas por el contratista adjudicatario en el Plan de Seguridad, siempre que ello no suponga variación del importe total.

El abono de las distintas partidas del presupuesto de Seguridad e Higiene se realizará mediante certificaciones complementarias y conjuntamente a las certificaciones de obra, de acuerdo con las cláusulas del contrato de obra, siendo responsable la Dirección Facultativa de las liquidaciones hasta su saldo final.

Puerto Real, a Junio de 2008

El Ingeniero Químico: Fco. José Vela Aragón

DOCUMENTO N° 5:

PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN.

Toda actividad privada con el objetivo de satisfacer una demanda, lleva asociado un incremento económico. En este caso se trata de transformar azúcar bruto, un producto de bajo valor añadido, en biobutanol, acetona, ácido acético y ácido butírico, varios productos de alto valor añadido.

Inicialmente se llevará a cabo una estimación de la inversión inicial a realizar para posteriormente analizar la rentabilidad del proyecto en cuestión. Se ha estimado que el tiempo de ejecución de las obras hasta su puesta en marcha será de un año y medio.

El objeto del presente documento es presentar de forma sencilla los resultados obtenidos del estudio económico de la planta y realizar el correspondiente balance entre los costes y los ingresos reportados por la actividad productiva.

Los factores más significativos que afectan a la viabilidad económica de fabricación, en general, son la capacidad de la planta y los precios tanto de la materia prima como de los productos obtenidos. El estudio económico de la planta de biobutanol puede ser determinado una vez que ciertos factores sean identificados, como son:

- Capacidad de la planta.
- Tecnología del proceso.
- Coste de la materia prima.
- Costes de los productos químicos.
- Costes de los servicios auxiliares.
- Costes de la energía y electricidad necesarias.
- Precio de venta de los productos obtenidos.

Los efectos de estos factores serán primordiales para conocer la viabilidad económica de la planta.

A continuación se enuncian algunas consideraciones previas realizadas para el cálculo del estudio económico:

- Obra Civil: se realizará sobre el plano UCA-00-0001, habiéndose obtenido los precios a partir de datos proporcionados por la empresa constructora.
- Equipos, instrumentos, válvulas especiales, tuberías y accesorios: los precios se han obtenido en base a los catálogos de los fabricantes.
- Imprevistos: se evaluará como un 10% del presupuesto total.
- Producción: se considera en base, a efectos de coste, que la capacidad de la planta será de 8.075 kg de biobutanol, 4.218 kg de acetona, 403 kg de ácido acético, 198 kg de ácido butírico y 122.196 kg de agua destilada y 224.299 kg de vapor diarios, pudiendo variar tanto la cantidad de ácido acético, ácido butírico y sobre todo de agua destilada y vapor de agua, en función de las necesidades del mercado.
- Materia prima: el precio de la materia prima incluye los costes de transporte y almacenamiento.
- Enzima: el precio de la enzima invertasa (E.C. 3.2.1.26) inmovilizada es de 138,50 € por matriz de 200-300 unidades, incluyendo los gastos de envío. Se comprarán 1.000 matrices para todo un año, para asegurar el *stock* de enzima.
- Microorganismo: el precio del microorganismo empleado en la fermentación es de 70 €/liófilo, incluyendo los gastos de envío. Se

comprarán 47 liófilos para asegurar que la fermentación puede llevarse a cabo en caso de que se produzca alguna contaminación.

- Amortización: la planta va a tener un plazo de amortización de 5 años, durante los cuales se va a destinar parte de las ganancias a recuperar la inversión anteriormente realizada.
- Todos los precios mostrados se expresan en euros.

2. ESTADO DE MEDICIONES

2.1. Equipos de proceso

ITEM	DESCRIPCIÓN	Nº UD.
0001	Centrífuga Decanter IGNOR. La velocidad diferencial de origen se sitúa en un rango entre 5-25 rpm. Motor de 55,5 CV. Todas las piezas en contacto con el producto se realizan en acero inoxidable AISI 304L o 316L. Las principales partes mecánicas de la unidad (tambor, tornillo, lámina del tornillo) llevan aplicada una capa de W2C (65%) con un espesor de entre 2 y 3 mm. Esta protección mejora la resistencia mecánica y prolonga la vida útil.	1
0002	Intercambiador de calor doble paso de tubo y un paso de carcasa de 2 m. de longitud. Tubos interiores de 0,10 m. de diámetro.	1
0003	Intercambiador de calor doble paso de tubo y un paso de carcasa de 3 m. de longitud. Tubos interiores de 0,10 m. de diámetro.	1
0004	Sistema de pervaporación compuesto por, equipo de vacío, 127 tubos de membrana de silicalita TS1-silicona de 10 m, recubierto por una chapa de acero inoxidable. de longitud y 0,05 m. de diámetro y carcasa de acero Inoxidable AISI 316L de 8 mm. de espesor con válvula de seguridad, manómetro y rejillas para soportar los tubos.	1

0005	Columna de destilación Kvaerner, de 2,36 m. de diámetro y 18 m. de altura. Con 30 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	1
0006	Columna de destilación Kvaerner, de 2,2 m. de diámetro y 16,8 m. de altura. Con 28 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	2
0007	Columna de destilación Kvaerner, de 2,8 m. de diámetro y 21,6 m. de altura. Con 36 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	1
0008	Columna de destilación Kvaerner, de 2,5 m. de diámetro y 19,2 m. de altura. Con 32 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	1
0009	Caldera de vapor fabricada por ATTSU, modelo HH, con capacidad de generación de vapor de 20.000 kg/h a presiones de trabajo de hasta 16 bar. Posibilidad de utilizar distintos combustibles.	2
0010	Agitador modelo 6HTN15. Velocidad de giro de 30 hasta 900 rpm. La unidad requiere un motor de 65 CV.	13

0011	Maquina embotelladora y etiquetadora, con una capacidad de embotellado de 10.000 botellas a la hora.	3
------	--	---

2.2. Tanques de fermentación y almacenamiento.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Nº UD.
0021	Silos de almacenaje de azúcar bruta en grano, construido en acero inoxidable AISI 316L con acabado 2B, con capacidad para 120 m ³ . Incluye tolva de descarga con un ángulo de descarga de 60°.	5
0022	Mezclador vertical de 50 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3 m. y una altura de 7,2 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono. Con camisa calefactora.	1
0023	Reactor vertical de 8,5 m ³ construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 1,5 m. y una altura de 4,8 m. soportado sobre cuatro patas de acero al carbono. Con camisa refrigeradora, aislante y soporte interiores para inmovilizado de la enzima.	1
0024	Tanque de fermentación vertical de 105 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 4,8 m. y una altura de 13,8 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	12

0025	Tanque de almacenamiento vertical de 85 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,4 m. y una altura de 9,4 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	1
0026	Tanque de almacenamiento vertical de 45 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 2,8 m. y una altura de 7,3 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	1
0027	Tanque de almacenamiento vertical de 7 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 1,5 m. y una altura de 4,0 m. soportado sobre cuatro patas de acero al carbono.	2
0028	Tanque de almacenamiento vertical de 105 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,6 m. y una altura de 10,3 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	2
0029	Tanque pulmón vertical de 250 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 4,8 m. y una altura de 13,8 m. soportado sobre ocho patas de acero al carbono.	5
0030	Tanque pulmón vertical de 125 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 4 m. y una altura de 10 m. soportado sobre ocho patas de acero al carbono.	1
0031	Tanque pulmón vertical de 90 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,5 m. y una altura de 9,3 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	1

0032	Tanque pulmón vertical de 85 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,3 m. y una altura de 8,5 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	1
------	--	---

2.3. Cerrajería.

ITEM	DESCRIPCIÓN	N° UD.
0041	Barandilla de escalera de 90 cm. de altura, con pasamanos de 50x40 mm., pilastras de 40x40 mm., cada 70 cm., barandal superior de 12 cm. del pasamanos e inferior a 3cm., en perfil de 40x40 mm, y barrotes verticales de 30x15 mm. a 10 cm.	420
0042	Cercado con enrejado metálico galvanizado en caliente de malla simple torsión, trama 40/14 y postes de tubo de acero galvanizado por inmersión, de 48 mm. de diámetro y tornapuntas de tubo de acero galvanizado de 32 mm. de diámetro, totalmente montada y recibido con mortero de cemento y arena de río 1/4 tensores, grupillas y accesorios.	12.500

2.4. Cimentación y cubetos.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Nº UD.
0051	Desbroce y limpieza de terreno por medios mecánicos, sin carga ni transporte y con p.p. de costes indirectos.	12.500
0052	Hormigón armado HA-30/B/40 IIa N/mm ² , con tamaño máximo del árido de 40 mm., consistencia blanda, elaborado en central en relleno de zapatas de cimentación, y armadura B- 500 S (40 kg/m ³), encofrado y desencofrado, vertido por medio de camión-bomba, vibrado y colocación. Según EHE.	6.000

2.5. Red de tuberías.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Nº UD.
0061	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 6" y p.p. de accesorios, curvas, té, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y totalmente instalada.	1.300
0062	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 3" y p.p. de accesorios, curvas, té, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y totalmente instalada.	500

0063	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 2" y p.p. de accesorios, curvas, té, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y totalmente instalada.	40
0064	Codo de 90° de 6" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	77
0065	Codo de 90° de 3" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	69
0066	Codo de 90° de 2" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	4
0067	Té de 6" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	33
0068	Té de 3" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	2
0069	Válvula de globo de 6", husillo ascendente, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	52
0070	Válvula de globo de 3", husillo ascendente, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	30
0071	Válvula reductra de presión GD-45 para vapor, aire y gases no corrosivos. Cuerpo de acero A536 y válvula de acero AISI 420.	8
0072	Válvula con controlador, accionador, con señal eléctrica, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	37
0073	Válvula de seguridad tipo "safety", tarada para una presión de 15 bar, con juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	16

0074	Grupo de presión para 150 m ³ /h a 65 m.c.a. compuesto por, electrobomba principal de 15 CV, colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, completamente instalado.	6
0075	Grupo de presión para 150 m ³ /h a 65 m.c.a. compuesto por, electrobomba principal de 4,5 CV, colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, completamente instalado.	16
0076	Grupo de presión para 50 m ³ /h a 65 m.c.a. compuesto por, electrobomba principal de 1,5 CV, colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, completamente instalado.	18

2.6. Sistemas de control.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Nº UD.
0081	Sensor de temperatura KOBOLD modelo TDD, se utiliza para la medida y monitorizado económicos de la temperatura. Adecuados para aplicaciones donde la temperatura se controla con un alto grado de precisión de conmutación. Tiene un indicador LED de 3 dígitos. Tiene una precisión de 0,5 °C. Rango de medición: -50 °C ... +125 °C.	19

0082	<p>Sensor de presión KOBOLD con precisión SEN-33. Estos sensores de presión tienen un grado de exactitud de 0,1% como estándar siendo 0,05% una opción. Son particularmente adecuados para el uso en Ingeniería de Prueba y Calibración. Perfecto para ambientes industriales hostiles. Rango de medición: -1 hasta 0 ... 0 hasta 1000 bar.</p>	26
0083	<p>Sensor capacitivo de detección del nivel relleno KFS. Trabaja según el principio de medición de 3 electrodos. Con este principio el depósito o un electrodo adicional sirve como contraelectrodo. Puede tener hasta 3 valores límites de consigna.</p>	32
0084	<p>Medidor de oxígeno disuelto InPro 6880I, adecuado para caldos de fermentación. Rango de presión en el que trabaja de 0,2 a 6 bar y rango de temperaturas a las que trabaja de 5°C a 60 °C.</p>	12
0085	<p>Electrodo estándar combinado para medidas generales del pH. El sistema de descarga Ag/AgCl se ha diseñado como cartucho. La versión combinada del electrodo con el diafragma de anillo PTFE es especialmente conveniente para condiciones duras de servicio, por ejemplo, servicio en plantas de la clarificación o en medios aceitosos y muy usados. El electrodo puede resistir presiones de hasta 10 bar. Sus dimensiones son 120 x 12 mm (DIN 19263). Rango de medida: 0-12.</p>	12
0086	<p>Instrumento de medición KOBOLD tipo DWD es un transmisor de caudal con indicación digital del caudal instantáneo, salida analógica de 4-20 mA y dos relés, a todo o nada, ajustables indicando el punto de conmutación, para monitorizar valores límite. Rango de medida: 1-10 l/min ... 360-3.600 m³/h.</p>	12

0087	Panel de control, software diseñado para el control en planta de procesos, con modificación de distintas variables.	1
------	---	---

2.7. Protección contra incendios.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Nº UD.
0091	Extintor de polvo ABC con eficacia 144B para extinción de fuego de materias sólidas, líquidas, productos gaseosos e incendio de equipos eléctricos, de 9 kg. de agente extintor con soporte, manómetro y boquilla con difusor según norma UNE-23110, totalmente instalado. Certificado por AENOR.	15
0092	Armario extintor de 6/9 kg., en chapa galvanizada pintado en rojo, con puesta con cristal, totalmente instalado.	15
0093	Boca de incendio equipada, BIE, formada por cabina de chapa de acero de 650x500x160 mm., pintada en rojo, marco en acero inoxidable con cerradura y cristal, rótulo romper en caso de incendio, devanadera circular cromada, lanza de tres efectos con racor, válvula de 1" ½ de latón con racor, 25 m. de manguera sintética de 45mm. y manómetro de 0 a 16 kg/cm ² , según norma UNE 23403, certificado de AENOR, totalmente instalada.	11
0094	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 4" i/p.p. de accesorios, curvas, té, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y esmalte en rojo, totalmente instalada.	500

0095	Válvula de compuerta de 4", husillo ascendente, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	10
0096	Grupo de presión contra incendios de 24 m ³ /h a 65 m.c.a. según norma UNE 23-500 compuesto por, electrobomba principal de 15 CV., bomba jockey de 3 CV., acumulador de 50 l., colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, bancada monobloc, completamente instalado.	3
0097	Pulsador de alarma tipo rearmable, con tapa de plástico basculante, i/p.p. de tubos y cableado, conexionado y probado.	1
0098	Cuadro de alarma exterior óptico/acústico con sirena y piloto a 24 V., autoprotegible, autoalimentada y juego de baterías (2x12 V.), i/p.p. tubos y cableado, conexionada y probada.	1

2.8. Salud y seguridad

ITEM	DESCRIPCIÓN	Nº UD.
0101	Cinta corrida de balizamiento plástica, pintada a dos colores roja y blanca, incluso colocación y desmontado.	100

0102	Cartel indicativo de uso obligatorio de casco de 400x300 mm., sin soporte metálico, incluso colocación y desmontado.	5
0103	Cartel indicativo de prohibido el paso a la obra de 400x300 mm., sin soporte metálico, incluso colocación y desmontado.	5
0104	Cartel indicativo de peligro por zonas de obra de 400x300 mm., sin soporte metálico, incluso colocación y desmontado.	5
0105	Casco de seguridad con desudador, homologado CE.	20
0106	Gafas contra impacto antirrayadura, homologadas CE.	20
0107	Mono de trabajo, homologado CE.	20
0108	Protectores auditivos tipo orejeras, para entornos exigentes, homologados CE.	20
0109	Par de guantes para soldador, forrado ignífugo, largo de 34 cm., homologados CE.	20
0110	Par de botas de seguridad S3 piel, negra, con puntera y plantilla metálica, homologadas CE.	20

2.9. Obra civil.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Nº UD.
0121	Parcela	12.500
0122	Oficinas	175
0123	Vestuarios	175
0124	Laboratorios	175
0125	Almacén	200
0126	Cerramiento	725
0127	Pavimento	9.000

3. LISTA DE PRECIOS UNITARIOS.

3.1. Equipos de proceso.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO
0001	Ud.	Centrífuga Decanter IGNOR. La velocidad diferencial de origen se sitúa en un rango entre 5-25 rpm. Motor de 55,5 CV. Todas las piezas en contacto con el producto se realizan en acero inoxidable AISI 304L o 316L. Las principales partes mecánicas de la unidad (tambor, tornillo, lámina del tornillo) llevan aplicada una capa de W2C (65%) con un espesor de entre 2 y 3 mm. Esta protección mejora la resistencia mecánica y prolonga la vida útil.	32.900 €
0002	Ud.	Intercambiador de calor doble paso de tubo y un paso de carcasa de 2 m. de longitud. Tubos interiores de 0,10 m. de diámetro.	4.900 €
0003	Ud.	Intercambiador de calor doble paso de tubo y un paso de carcasa de 3 m. de longitud. Tubos interiores de 0,10 m. de diámetro.	5.500 €
0004	Ud.	Sistema de pervaporación compuesto por, equipo de vacío, 127 tubos de membrana de silicalita TS1-silicona de 10 m, recubierto por una chapa de acero inoxidable. de longitud y 0,05 m. de diámetro y carcasa de acero Inoxidable AISI 316L de 8 mm. de espesor con válvula de seguridad, manómetro y rejillas para soportar los tubos.	212.900 €

0005	Ud.	Columna de destilación Kvaerner, de 2,36 m. de diámetro y 18 m. de altura. Con 30 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	310.000 €
0006	Ud.	Columna de destilación Kvaerner, de 2,2 m. de diámetro y 16,8 m. de altura. Con 28 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	290.000 €
0007	Ud.	Columna de destilación Kvaerner, de 2,8 m. de diámetro y 21,6 m. de altura. Con 36 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	350.000 €
0008	Ud.	Columna de destilación Kvaerner, de 2,5 m. de diámetro y 19,2 m. de altura. Con 32 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	330.000 €
0009	Ud.	Caldera de vapor fabricada por ATTSU, modelo HH, con capacidad de generación de vapor de 20.000 kg/h a presiones de trabajo de hasta 16 bar. Posibilidad de utilizar distintos combustibles.	209.000 €
0010	Ud.	Agitador modelo 6HTN15. Velocidad de giro de 30 hasta 900 rpm. La unidad requiere un motor de 65 CV.	4.725 €
0011	Ud.	Maquina embotelladora y etiquetadora, con una capacidad de embotellado de 10.000 botellas a la hora.	15.000 €

3.2. Tanques de fermentación y almacenamiento.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO
0021	Ud.	Silos de almacenaje de azúcar bruta en grano, construido en acero inoxidable AISI 316L con acabado 2B, con capacidad para 120 m ³ . Incluye tolva de descarga con un ángulo de descarga de 60°.	69.000 €
0022	Ud.	Mezclador vertical de 50 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3 m. y una altura de 7,2 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono. Con camisa calefactora.	31.200 €
0023	Ud.	Reactor vertical de 8,5 m ³ construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 1,5 m. y una altura de 4,8 m. soportado sobre cuatros patas de acero al carbono. Con camisa refrigeradora, aislante y soporte interiores para inmovilizado de la enzima.	10.900 €
0024	Ud.	Tanque de fermentación vertical de 105 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 4,8 m. y una altura de 13,8 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono. Con camisa refrigeradora y aislante.	49.900 €
0025	Ud.	Tanque de almacenamiento vertical de 85 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,4 m. y una altura de 9,4 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	47.900 €

0026	Ud.	Tanque de almacenamiento vertical de 45 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 2,8 m. y una altura de 7,3 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	31.500 €
0027	Ud.	Tanque de almacenamiento vertical de 7 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 1,5 m. y una altura de 4,0 m. soportado sobre cuatro patas de acero al carbono.	10.900 €
0028	Ud.	Tanque de almacenamiento vertical de 105 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,6 m. y una altura de 10,3 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	49.900 €
0029	Ud.	Tanque pulmón vertical de 250 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 4,8 m. y una altura de 13,8 m. soportado sobre ocho patas de acero al carbono.	102.900 €
0030	Ud.	Tanque pulmón vertical de 125 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 4 m. y una altura de 10 m. soportado sobre SEIS patas de acero al carbono.	51.200 €
0031	Ud.	Tanque pulmón vertical de 90 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,5 m. y una altura de 9,3 m. soportado sobre seis patas de acero	48.600 €

0032	Ud.	Tanque pulmón vertical de 85 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,3 m. y una altura de 8,5 m. soportado sobre seis patas de acero	47.600 €
------	-----	--	----------

3.3 Cerrajería.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO
0041	m	Barandilla de escalera de 90 cm. de altura, con pasamanos de 50x40 mm., pilastras de 40x40 mm., cada 70 cm., barandal superior de 12 cm. del pasamanos e inferior a 3cm., en perfil de 40x40 mm, y barrotes verticales de 30x15 mm. a 10 cm.	58,1 €
0042	m ²	Cercado con enrejado metálico galvanizado en caliente de malla simple torsión, trama 40/14 y postes de tubo de acero galvanizado por inmersión, de 48 mm. de diámetro y tornapuntas de tubo de acero galvanizado de 32 mm. de diámetro, totalmente montada y recibida con mortero de cemento y arena de río 1/4 tensores, grupillas y accesorios.	8,3 €

3.4. Cimentación y cubetos.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO
0051	m ²	Desbroce y limpieza de terreno por medios mecánicos, sin carga ni transporte y con p.p. de costes indirectos.	4,9 €
0052	m ³	Hormigón armado HA-30/B/40 IIa N/mm ² , con tamaño máximo del árido de 40 mm., consistencia blanda, elaborado en central en relleno de zapatas de cimentación, y armadura B-500 S (40 kg/m ³), encofrado y desencofrado, vertido por medio de camión-bomba, vibrado y colocación. Según EHE.	155,7 €

3.5. Red de tuberías.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO
0061	m	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 6" y p.p. de accesorios, curvas, térs, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y totalmente instalada.	31,9 €
0062	m	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 3" y p.p. de accesorios, curvas, térs, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y totalmente instalada.	25,9 €

0063	m	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 2" y p.p. de accesorios, curvas, té, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y totalmente instalada.	20,9 €
0064	Ud.	Codo de 90° de 6" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	31,3 €
0065	Ud.	Codo de 90° de 3" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	25,3 €
0066	Ud.	Codo de 90° de 2" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	20,3 €
0067	Ud.	Té de 6" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	31,3 €
0068	Ud.	Té de 3" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	25,3 €
0069	Ud.	Válvula de globo de 6", husillo ascendente, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	114,9 €
0070	Ud.	Válvula de globo de 3", husillo ascendente, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	106,9 €
0071	Ud.	Válvula reductora de presión GD-45 para vapor, aire y gases no corrosivos. Cuerpo de acero A536 y válvula de acero AISI 420.	100,9 €

0072	Ud.	Válvula con controlador, accionador, con señal eléctrica, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	250,9 €
0073	Ud.	Válvula de seguridad tipo "safety", tarada para una presión de 15 bar, con juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	199,9 €
0074	Ud.	Grupo de presión para 150 m ³ /h a 65 m.c.a. compuesto por, electrobomba principal de 15 CV, colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, completamente instalado.	375,5 €
0075	Ud.	Grupo de presión para 150 m ³ /h a 65 m.c.a. compuesto por, electrobomba principal de 4,5 CV, colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, completamente instalado.	250,5 €
0076	Ud.	Grupo de presión para 144 m ³ /h a 65 m.c.a. compuesto por, electrobomba principal de 15 CV, colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, completamente instalado.	200,9 €

3.6. Sistemas de control.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO
0081	Ud.	Sensor de temperatura KOBOLD modelo TDD, se utiliza para la medida y monitorizado económicos de la temperatura. Adecuados para aplicaciones donde la temperatura se controla con un alto grado de precisión de conmutación. Tiene un indicador LED de 3 dígitos. Tiene una precisión de 0,5 °C. Rango de medición: -50 °C ... +125 °C.	113,7 €
0082	Ud.	Sensor de presión KOBOLD con precisión SEN-33. Estos sensores de presión tienen un grado de exactitud de 0,1% como estándar siendo 0,05% una opción. Son particularmente adecuados para el uso en Ingeniería de Prueba y Calibración. Perfecto para ambientes industriales hostiles. Rango de medición: -1 hasta 0 ... 0 hasta 1000 bar.	239,8 €
0083	Ud.	Sensor capacitivo de detección del nivel relleno KFS. Trabaja según el principio de medición de 3 electrodos. Con este principio el depósito o un electrodo adicional sirve como contraelectrodo. Puede tener hasta 3 valores límites de consigna.	134,9 €
0084	Ud.	Medidor de oxígeno disuelto InPro 6880I, adecuado para caldos de fermentación. Rango de presión en el que trabaja de 0,2 a 6 bar y rango de temperaturas a la que trabaja de 5 a 60 °C.	149,5 €

0085	Ud.	<p>Electrodo estándar combinado para medidas generales del pH. El sistema de descarga Ag/AgCl se ha diseñado como cartucho. La versión combinada del electrodo con el diafragma de anillo PTFE es especialmente conveniente para condiciones duras de servicio, por ejemplo, servicio en plantas de la clarificación o en medios aceitosos y muy usados. El electrodo puede resistir presiones de hasta 10 bar. Sus dimensiones son 120 x 12 mm (DIN 19263). Rango de medida: 0-12.</p>	159,8 €
0086	Ud.	<p>Instrumento de medición KOBOLD tipo DWD es un transmisor de caudal con indicación digital del caudal instantáneo, salida analógica de 4-20 mA y dos relés, a todo o nada, ajustables indicando el punto de conmutación, para monitorizado valores límite. Rango de medida: 1-10 l/min ... 360-3.600 m³/h.</p>	145,9 €
0087	Ud.	<p>Panel de control, software diseñado para el control en planta de procesos, con modificación de distintas variables.</p>	10,69 €

3.7. Protección contra incendios.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO
0091	Ud.	Extintor de polvo ABC con eficacia 144B para extinción de fuego de materias sólidas, líquidas, productos gaseosos e incendio de equipos eléctricos, de 9 kg. de agente extintor con soporte, manómetro y boquilla con difusor según norma UNE-23110, totalmente instalado. Certificado por AENOR.	55,7 €
0092	Ud.	Armario extintor de 6/9 kg., en chapa galvanizada pintado en rojo, con puesta con cristal, totalmente instalado.	47,9 €
0093	Ud.	Boca de incendio equipada, BIE, formada por cabina de chapa de acero de 650x500x160 mm., pintada en rojo, marco en acero inoxidable con cerradura y cristal, rótulo romper en caso de incendio, devanadera circular cromada, lanza de tres efectos con racor, válvula de 1" 1/2 de latón con racor, 25 m. de manguera sintética de 45mm. y manómetro de 0 a 16 kg/cm ² , según norma UNE 23403, certificado de AENOR, totalmente instalada.	235,5 €
0094	m	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 4" i/p.p. de accesorios, curvas, térs, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y esmalte en rojo, totalmente instalada.	22,5 €
0095	Ud.	Válvula de compuerta de 4", husillo ascendente, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	429,8 €

0096	Ud.	Grupo de presión contra incendios de 24 m ³ /h a 65 m.c.a. según norma UNE 23-500 compuesto por, electrobomba principal de 15 CV., bomba jockey de 3 CV., acumulador de 50 l., colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, bancada monobloc, completamente instalado.	5.420,9 €
0097	Ud.	Pulsador de alarma tipo rearmable, con tapa de plástico basculante, i/p.p. de tubos y cableado, conexionado y probado.	9,5 €
0098	Ud.	Cuadro de alarma exterior óptico/acústico con sirena y piloto a 24 V., autoprotegible, autoalimentada y juego de baterías (2x12 V.), i/p.p. tubos y cableado, conexionada y probada.	86,5 €

3.8. Salud y seguridad.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO
0101	m	Cinta corrida de balizamiento plástica, pintada a dos colores roja y blanca, incluso colocación y desmontado.	0,09 €
0102	Ud.	Cartel indicativo de uso obligatorio de casco de 400x300 mm., sin soporte metálico, incluso colocación y desmontado.	5,9 €

0103	Ud.	Cartel indicativo de prohibido el paso a la obra de 400x300 mm., sin soporte metálico, incluso colocación y desmontado.	5,9 €
0104	Ud.	Cartel indicativo de peligro por zonas de obra de 400x300 mm., sin soporte metálico, incluso colocación y desmontado.	5,9 €
0105	Ud.	Casco de seguridad con desudador, homologado CE.	8,9 €
0106	Ud.	Gafas contra impacto antirrayadura, homologadas CE.	11,5 €
0107	Ud.	Mono de trabajo, homologado CE.	14,9 €
0108	Ud.	Protectores auditivos tipo orejeras, para entornos exigentes, homologados CE.	7,9 €
0109	Ud.	Par de guantes para soldador, forrado ignífugo, largo de 34 cm., homologados CE.	12,5 €
0110	Ud.	Par de botas de seguridad S3 piel, negra, con puntera y platilla metálica, homologadas CE.	46,1 €

3.9. Obra civil.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO
0121	m ²	Parcela	49,5 €
0122	m ²	Oficinas	475,9 €
0123	m ²	Vestuarios	475,9 €
0124	m ²	Laboratorios	475,9 €
0125	m ²	Almacén	475,9 €
0126	m ²	Cerramiento	49,9 €
0127	m ²	Pavimento	14,9 €

4. LISTA DE PRECIOS DESCOMPUESTOS.

4.1. Equipos de proceso.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	Nº UD.	PRECIO	TOTAL
0001	Ud.	Centrífuga Decanter IGNOR. La velocidad diferencial de origen se sitúa en un rango entre 5-25 rpm. Motor de 55,5 CV. Todas las piezas en contacto con el producto se realizan en acero inoxidable AISI 304L o 316L. Las principales partes mecánicas de la unidad (tambor, tornillo, lámina del tornillo) llevan aplicada una capa de W2C (65%) con un espesor de entre 2 y 3 mm. Esta protección mejora la resistencia mecánica y prolonga la vida útil.	1	32.900 €	32.900 €
0002	Ud.	Intercambiador de calor doble paso de tubo y un paso de carcasa de 2 m. de longitud. Tubos interiores de 0,10 m. de diámetro.	1	4.900 €	4.900 €
0003	Ud.	Intercambiador de calor doble paso de tubo y un paso de carcasa de 3 m. de longitud. Tubos interiores de 0,10 m. de diámetro.	1	5.500 €	5.500 €

0004	Ud.	Sistema de pervaporación compuesto por, equipo de vacío, 127 tubos de membrana de silicalita TS1-silicona de 10 m. de longitud y 0,05 m. de diámetro y carcasa de acero Inoxidable AISI 316L de 8 mm. de espesor con válvula de seguridad, manómetro y rejillas para soportar los tubos.	1	212.900 €	212.900 €
0005	Ud.	Columna de destilación Kvaerner, de 2,36 m. de diámetro y 18 m. de altura. Con 30 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	1	310.000 €	310.000 €
0006	Ud.	Columna de destilación Kvaerner, de 2,2 m. de diámetro y 16,8 m. de altura. Con 28 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	2	290.000 €	580.000 €
0007	Ud.	Columna de destilación Kvaerner, de 2,8 m. de diámetro y 21,6 m. de altura. Con 36 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	1	350.000 €	350.000 €
0008	Ud.	Columna de destilación Kvaerner, de 2,5 m. de diámetro y 19,2 m. de altura. Con 32 platos de acero inoxidable AISI 304L, y un espaciado entre platos de 0,60 m. Con 3 bocas de hombre.	1	330.000 €	330.000 €

0009	Ud.	Caldera de vapor fabricada por ATTSU, modelo HH, con capacidad de generación de vapor de 20.000 kg/h a presiones de trabajo de hasta 16 bar. Posibilidad de utilizar distintos combustibles.	2	20.900 €	41.800 €
0010	Ud.	Agitador modelo 6HTN15. Velocidad de giro de 30 hasta 900 rpm. La unidad requiere un motor de 65 CV.	13	4.725 €	61.425 €
0011	Ud.	Maquina embotelladora y etiquetadora, con una capacidad de embotellado de 10.000 botellas a la hora.	3	15.000 €	45.000 €

4.2. Tanques de fermentación y almacenamiento.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	Nº UD.	PRECIO	TOTAL
0021	Ud.	Silos de almacenaje de azúcar bruta en grano, construido en acero inoxidable AISI 316L con acabado 2B, con capacidad para 120 m ³ . Incluye tolva de descarga con un ángulo de descarga de 60°.	5	69.000 €	345.000 €
0022	Ud.	Mezclador vertical de 50 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3 m. y una altura de 7,2 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono. Con camisa calefactora.	1	31.200 €	31.200 €
0023	Ud.	Reactor vertical de 8,5 m ³ construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 1,5 m. y una altura de 4,8 m. soportado sobre cuatros patas de acero al carbono. Con camisa refrigeradora, aislante y soporte interiores para inmovilizado de la enzima.	1	10.900 €	10.900 €
0024	Ud.	Tanque de fermentación vertical de 105 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 4,8 m. y una altura de 13,8 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono. Con camisa refrigeradora y aislante.	12	49.900 €	598.800 €

0025	Ud.	Tanque de almacenamiento vertical de 85 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,4 m. y una altura de 9,4 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	1	47.600 €	47.600 €
0026	Ud.	Tanque de almacenamiento vertical de 45 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 2,8 m. y una altura de 7,3 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	1	31.500 €	31.500 €
0027	Ud.	Tanque de almacenamiento vertical de 7 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 1,5 m. y una altura de 4,0 m. soportado sobre 4 patas de acero al carbono.	2	10.900 €	21.800 €
0028	Ud.	Tanque de almacenamiento vertical de 105 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,6 m. y una altura de 10,3 m. soportado sobre 6 patas de acero al carbono.	2	49.900 €	99.800 €
0029	Ud.	Tanque pulmón vertical de 250 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 4,8 m. y una altura de 13,8 m. soportado sobre ocho patas de acero al carbono.	5	102.900 €	514.500 €
0030	Ud.	Tanque pulmón vertical de 125 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 4 m. y una altura de 10 m. soportado sobre SEIS patas de acero al carbono.	1	51.200 €	51.200 €

0031	Ud.	Tanque pulmón vertical de 90 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,5 m. y una altura de 9,3 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	1	48.600 €	48.600 €
0032	Ud.	Tanque pulmón vertical de 85 m ³ , construido en acero inoxidable AISI 316L, con un diámetro de 3,3 m. y una altura de 8,5 m. soportado sobre seis patas de acero al carbono.	1	47.600 €	47.600 €

4.3 Cerrajería.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	Nº UD.	PRECIO	TOTAL
0041	m	Barandilla de escalera de 90 cm. de altura, con pasamanos de 50x40 mm., pilastras de 40x40 mm., cada 70 cm., barandal superior de 12 cm. del pasamanos e inferior a 3cm., en perfil de 40x40 mm, y barrotes verticales de 30x15 mm. a 10 cm.	420	58,1 €	24.402 €
0042	m ²	Cercado con enrejado metálico galvanizado en caliente de malla simple torsión, trama 40/14 y postes de tubo de acero galvanizado por inmersión, de 48 mm. de diámetro y tornapuntas de tubo de acero galvanizado de 32 mm. de diámetro, totalmente montada y recibido con mortero de cemento y arena de río 1/4 tensores, grupillas y accesorios.	12.500	8,3 €	103.750 €

4.4. Cimentación y cubetos.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	Nº UD.	PRECIO	TOTAL
0051	m ²	Desbroce y limpieza de terreno por medios mecánicos, sin carga ni transporte y con p.p. de costes indirectos.	12.500	4,9 €	61.250 €
0052	m ³	Hormigón armado HA-30/B/40 Ila N/mm ² , con tamaño máximo del árido de 40 mm., consistencia blanda, elaborado en central en relleno de zapatas de cimentación, y armadura B-500 S (40 kg/m ³), encofrado y desencofrado, vertido por medio de camión-bomba, vibrado y colocación. Según EHE.	6.000	155,7 €	934.200 €

4.5. Red de tuberías.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	Nº UD.	PRECIO	TOTAL
0061	m	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 6" y p.p. de accesorios, curvas, tés, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y totalmente instalada.	1.300	31,9 €	41.470 €
0062	m	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 3" y p.p. de accesorios, curvas, tés, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y totalmente instalada.	500	25,9 €	12.950 €

0063	m	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 2" y p.p. de accesorios, curvas, tés, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y totalmente instalada.	40	20,9 €	836,0 €
0064	Ud.	Codo de 90° de 6" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	77	31,3 €	2.410,1 €
0065	Ud.	Codo de 90° de 3" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	69	25,3 €	1.745,7 €
0066	Ud.	Codo de 90° de 2" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	4	20,3 €	81,2 €
0067	Ud.	Té de 6" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	33	31,3 €	1.032,9 €
0068	Ud.	Té de 3" de diámetro, imprimación antioxidante, completamente instalado.	2	25,3 €	50,6 €
0069	Ud.	Válvula de globo de 6", husillo ascendente, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	52	114,9 €	5.974,8 €
0070	Ud.	Válvula de globo de 3", husillo ascendente, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	30	106,9 €	3207,0 €
0071	Ud.	Válvula reductora de presión GD-45 para vapor, aire y gases no corrosivos. Cuerpo de acero A536 y válvula de acero AISI 420.	8	100,9 €	807,2 €

0072	Ud.	Válvula con controlador, accionador, con señal eléctrica, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	37	250,9 €	9.283,3 €
0073	Ud.	Válvula de seguridad tipo “safety”, tarada para una presión de 15 bar, con juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	16	199,9 €	3.199,2 €
0074	Ud.	Grupo de presión para 150 m ³ /h a 65 m.c.a. compuesto por, electrobomba principal de 15 CV, colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, completamente instalado.	6	375,5 €	2.253,0 €
0075	Ud.	Grupo de presión para 150 m ³ /h a 65 m.c.a. compuesto por, electrobomba principal de 4,5 CV, colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, completamente instalado.	16	250,5 €	4.008,0 €
0076	Ud.	Grupo de presión para 144 m ³ /h a 65 m.c.a. compuesto por, electrobomba principal de 15 CV, colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, completamente instalado.	18	200,9 €	3.616,2 €

4.6. Sistemas de control.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	Nº UD.	PRECIO	TOTAL
0081	Ud.	Sensor de temperatura KOBOLD modelo TDD, se utiliza para la medida y monitorizado económicos de la temperatura. Adecuados para aplicaciones donde la temperatura se controla con un alto grado de precisión de conmutación. Tiene un indicador LED de 3 dígitos. Tiene una precisión de 0,5 °C. Rango de medición: -50 °C ... +125 °C.	19	113,7 €	2.160,3 €
0082	Ud.	Sensor de presión KOBOLD con precisión SEN-33. Estos sensores de presión tienen un grado de exactitud de 0,1% como estándar siendo 0,05% una opción. Son particularmente adecuados para el uso en Ingeniería de Prueba y Calibración. Perfecto para ambientes industriales hostiles. Rango de medición: -1 hasta 0 ... 0 hasta 1000 bar.	26	239,8 €	6.234,8 €
0083	Ud.	Sensor capacitivo de detección del nivel relleno KFS. Trabaja según el principio de medición de 3 electrodos. Con este principio el depósito o un electrodo adicional sirve como contraelectrodo. Puede tener hasta 3 valores límites de consigna.	32	134,9 €	4.316,8 €

0084	Ud.	Medidor de oxígeno disuelto InPro 6880I, adecuado para caldos de fermentación. Rango de presión en el que trabaja de 0,2 a 6 bar y rango de temperaturas a la que trabaja de 5 a 60 °C.	12	149,5 €	1.794,0 €
0085	Ud.	Electrodo estándar combinado para medidas generales del pH. El sistema de descarga Ag/AgCl se ha diseñado como cartucho. La versión combinada del electrodo con el diafragma de anillo PTFE es especialmente conveniente para condiciones duras de servicio, por ejemplo, servicio en plantas de la clarificación o en medios aceitosos y muy usados. El electrodo puede resistir presiones de hasta 10 bar. Sus dimensiones son 120 x 12 mm (DIN 19263). Rango de medida: 0-12.	12	159,8 €	1.917,6 €
0086	Ud.	Instrumento de medición KOBOLD tipo DWD es un transmisor de caudal con indicación digital del caudal instantáneo, salida analógica de 4-20 mA y dos relés, a todo o nada, ajustables indicando el punto de conmutación, para monitorizar valores límite. Rango de medida: 1-10 l/min ... 360-3.600 m ³ /h.	12	145,9 €	1.750,8 €
0087	Ud.	Panel de control, software diseñado para el control en planta de procesos, con modificación de distintas variables.	1	10.690 €	10.690 €

4.7. Protección contra incendios.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	Nº UD.	PRECIO	TOTAL
0091	Ud.	Extintor de polvo ABC con eficacia 144B para extinción de fuego de materias sólidas, líquidas, productos gaseosos e incendio de equipos eléctricos, de 9 kg. de agente extintor con soporte, manómetro y boquilla con difusor según norma UNE-23110, totalmente instalado. Certificado por AENOR.	15	55,7 €	835,5 €
0092	Ud.	Armario extintor de 6/9 kg., en chapa galvanizada pintado en rojo, con puesta con cristal, totalmente instalado.	15	47,9 €	719,2 €
0093	Ud.	Boca de incendio equipada, BIE, formada por cabina de chapa de acero de 650x500x160 mm., pintada en rojo, marco en acero inoxidable con cerradura y cristal, rótulo romper en caso de incendio, devanadera circular cromada, lanza de tres efectos con racor, válvula de 1" ½ de latón con racor, 25 m. de manguera sintética de 45mm. y manómetro de 0 a 16 kg/cm ² , según norma UNE 23403, certificado de AENOR, totalmente instalada.	11	235,5 €	2.590,5 €
0094	m	Tubería de acero DIN 2440 en clase negra de 4" i/p.p. de accesorios, curvas, tés, elementos de sujeción, imprimación antioxidante y esmalte en rojo, totalmente instalada.	500	22,5 €	11.250 €

0095	Ud.	Válvula de compuerta de 4", husillo ascendente, con bridas, juntas y tornillos i/p.p. de accesorios, totalmente instalada.	10	429,8 €	4.298 €
0096	Ud.	Grupo de presión contra incendios de 24 m ³ /h a 65 m.c.a. según norma UNE 23-500 compuesto por, electrobomba principal de 15 CV., bomba jockey de 3 CV., acumulador de 50 l., colectores de aspiración e impulsión, válvulas de seccionamiento, corte y retención, circuito de pruebas, manómetro y válvulas de seguridad, bancada monobloc, completamente instalado.	3	5.402,9 €	16.208,9 €
0097	Ud.	Pulsador de alarma tipo rearmable, con tapa de plástico basculante, i/p.p. de tubos y cableado, conexionado y probado.	1	9,5 €	9,5 €
0098	Ud.	Cuadro de alarma exterior óptico/acústico con sirena y piloto a 24 V., autoprotegible, autoalimentada y juego de baterías (2x12 V.), i/p.p. tubos y cableado, conexionada y probada.	1	86,5 €	86,5 €

4.8. Salud y seguridad.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	Nº UD.	PRECIO	TOTAL
0101	m	Cinta corrida de balizamiento plástica, pintada a dos colores roja y blanca, incluso colocación y desmontado.	100	0,09 €	9,0 €
0102	Ud.	Cartel indicativo de uso obligatorio de casco de 400x300 mm., sin soporte metálico, incluso colocación y desmontado.	5	5,9 €	29,5 €
0103	Ud.	Cartel indicativo de prohibido el paso a la obra de 400x300 mm., sin soporte metálico, incluso colocación y desmontado.	5	5,9 €	29,5 €
0104	Ud.	Cartel indicativo de peligro por zonas de obra de 400x300 mm., sin soporte metálico, incluso colocación y desmontado.	5	5,9 €	29,5 €
0105	Ud.	Casco de seguridad con desudador, homologado CE.	20	8,9 €	178,0 €
0106	Ud.	Gafas contra impacto antirrayadura, homologadas CE.	20	11,5 €	230,0 €
0107	Ud.	Mono de trabajo, homologado CE.	20	14,9 €	299,0 €
0108	Ud.	Protectores auditivos tipo orejeras, para entornos exigentes, homologados CE.	20	7,9 €	150,0 €
0109	Ud.	Par de guantes para soldador, forrado ignífugo, largo de 34 cm., homologados CE.	20	12,5 €	250,0 €

0110	Ud.	Par de botas de seguridad S3 piel, negra, con puntera y platilla metálica, homologadas CE.	20	46,1 €	92,0 €
------	-----	--	----	--------	--------

4.9. Obra civil.

ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	Nº UD.	PRECIO	TOTAL
0121	m ²	Parcela	12.500	49,5 €	618.750 €
0122	m ²	Oficinas	175	475,9 €	83.282,5 €
0123	m ²	Vestuarios	175	475,9 €	83.282,5 €
0124	m ²	Laboratorios	175	475,9 €	83.282,5 €
0125	m ²	Almacén	200	475,9 €	95.180,0 €
0126	m ²	Cerramiento	725	49,9 €	36.177,5 €
0127	m ²	Pavimento	9.000	14,9 €	134.550 €

5. BALANCE ENERGÉTICO.

5.1. Consumo energético.

Los equipos que van a consumir energía calorífica son, las columnas de destilación, a las cuales se les debe proporcionar vapor, mediante un generador de vapor, y la caldera, que va a utilizar directamente gas natural. En este sentido el vapor que consume las columnas de destilación, es vapor generado en las calderas, de manera que ese vapor no hay que comprarlo. Como consecuencia el gasto energético, se refiere al gasto de gas natural que es necesario para las calderas.

El precio del gas natural está publicado en el BOE, y su precio de venta es de 1,59 céntimos/kWh. Así que, conociendo los kW que se necesitan para las calderas y el tiempo que están trabajando, se puede calcular el coste anual de estas, sabiendo que la planta trabajará 365 días al año.

Equipo	Caldera 1	Caldera 2
Potencia (kW)	1.267,18	1.262,20
Tiempo (h)	1,7	15,0
Energía (kWh)	2.154,21	18.933,00
Coste diario (€/día)	34,47	302,93
Coste anual (€/año)	12.581,6	110.569,5

5.2. Consumo eléctrico.

Para calcular el consumo eléctrico que se tiene en la planta de proceso, hay que tener en cuenta los equipos que consumen energía eléctrica, que son las bombas, los agitadores y la centrífuga.

El precio de la electricidad se compone de dos tarifas, una tarifa fija que depende de la energía que se contrate, es decir, el término de potencia, y el término de energía, que depende de la cantidad de electricidad que consumen los equipos.

En la siguiente tabla se muestra la energía consumida por cada bomba durante un año.

Bomba	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Energía (kWh)
Mezclador-Hidrólisis	1,12	1	1,12
Hidrólisis-Fermen. 1-4	3,36	1	3,36
Hidrólisis-Fermen. 5-8	3,36	1	3,36
Hidrólisis-Fermen. 9-12	3,36	1	3,36
Fermen. 1-4-Centrífuga	3,36	2,43	8,16
Fermen. 5-8-Centrífuga	3,36	2,43	8,16
Fermen. 9-12-Centrífuga	3,36	2,43	8,16
Centríf.-Pervaporación	3,36	2,43	8,16
Pervaporación- T.P. 1	3,36	2,43	8,16
T.P. 1-Destilación 1	1,12	2,43	2,72
Destilación 1-T.A. Ace.	1,12	2,43	2,72
Destilación 1-T.A. But.	1,12	2,43	2,72
Pervaporación-T.P. 2	11,19	2,43	27,19
T.P. 2-Caldera 1	3,36	2,4	8,06
Caldera 1-Caldera 2	3,36	2,2	7,39
Caldera 1-T.P. 3	3,36	2,2	7,39
T.P. 3-Destilación 2	3,36	1	3,36
Destilación 2- T.A. agua	3,36	1	3,36
Destilaci. 2-Destilaci. 3	1,12	1	1,12
Destilación 3-T.A. Ace.	1,12	1	1,12
Destilación 3-Dest. 3	1,12	1	1,12
Caldera 2-Intercambiad.	3,36	2,43	8,16
Caldera 2-Mezclador	11,19	2,61	29,21

Intercam.-T.A. agua	11,19	2,43	27,19
Mezclador-T.A. agua	11,19	2,61	29,21
Caldera 2-T.P. 4	1,12	15	27,19
T.P. 4-Destilación 4	1,12	1	1,12
Destilación 4-T.A. agua	1,12	1	1,12
Destilac. 4-Destilaci. 5	1,12	1	1,12
Destilaci. 5-T.A. Ac. A.	1,12	1	1,12
Destilaci. 5-T.A. Ac. B.	1,12	1	1,12
T.A. Ace.-Embotellado.	1,12	1	1,12
T.A. Ac. A.-Embotella.	1,12	1	1,12
T.A. Ac. B.-Embotella.	1,12	1	1,12

En la siguiente tabla se muestra la energía consumida por los agitadores durante un año.

Agitador	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Energía (kWh)
Mezclador	48,47	2,61	126,51
Fermentador 1-12	48,47 x 12	24	13.959,36

La centrífuga tiene una potencia de 41,39 kW y trabaja 2,43 h al día, por lo que la energía que consume es de 100,58 kWh.

En resumen, el consumo de las bombas, agitadores y centrífuga se muestra en la siguiente tabla:

Equipo	Consumo (kWh/año)	Término de potencia (€/mes)	Término de energía (€/kWh)	Gasto anual eléctrico (€/año)
Bombas	250,2	11,015	0,052	145,19
Agitadores	5.131.745,5			266.982,95
Centrífuga	36.711,7			2.041,19

El gasto eléctrico anual es la suma del gasto de las bombas, los agitadores y la centrífuga, lo que hace un total de 269.169,33 €/año.

6. BALANCE ECONÓMICO.

La planta de proceso proporcionará de una serie de beneficios que se obtendrán de la venta del producto principal, biobutanol, y de los subproductos obtenidos, acetona, ácido acético, ácido butírico, agua destilada y vapor de agua. Asimismo, como toda planta de proceso también implicará costes para su funcionamiento como son, el coste de la inversión inicial, que es muy importante, los costes de las materias primas, los costes de energía y electricidad y los costes de la mano de obra.

A continuación se mostrará un resumen de las partidas económicas que participan en la planta de proceso.

6.1. Beneficios.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los beneficios obtenidos para una determinada producción, esta producción puede modificarse en función de las necesidades del mercado debido a que al ser una planta multiproducto se puede optimizar su capacidad de producción de cada producto, en especial de la cantidad de agua destilada y vapor de agua.

PRODUCTO	PRODUCCIÓN DIARIA (L)	PRODUCCIÓN ANUAL (L)	PRECIO (€/L)	BENEFICIO ANUAL
Biobutanol	10.093,75	3.684.218,8	0,71	2.615.795 €
Acetona	5.272,50	1.924.421,5	3,00	5.773.387 €
Ac. acético	503,75	183.868,8	5,50	1.011.278 €
Ac. butírico	247,50	90.337,5	5,50	496.856 €
Agua destil.	116.685	42.590.025	0,15	6.388.504 €
Vapor	224.299 kg ($1,22 \cdot 10^8$ kcal)	81.869.135 Kg ($4,45 \cdot 10^{10}$ kcal)	10,517 €/10 ⁶ Kcal	467.533 €

6.2. Coste de la inversión inicial.

PARTIDAS	COSTE (€)
Equipos de proceso	1.974.425
Tanques de fermentación y almacenamiento	1.848.500
Cerrajería	128.152
Cimentación y cubetos	995.450
Red de tuberías	92.925,2
Sistemas de control	28.864,3
Protección contra incendio	35.997,95
Salud y seguridad	2.126,5
Obra civil	1.134.514
Coste inmovilizado (C. Inm.) = 6.240.954,95 €	
Instalación (0,10*C. Inm.)	624.095,49
Sistema eléctrico (0,12*C. Inm.)	748.914,59
Costes directos (C. D.) = 7.613.965,00 €	
Proyecto básico (0,09*C.D.)	685.256,85
Ingeniería de detalle (0,10*C.D.)	761.396,50
Imprevistos (0,10*C.D.)	761.396,50
Retribuciones contractuales (0,05*C.D.)	380.698,25
Coste indirectos (C.I.) = 2.588.748,10 €	
Capital directo a invertir (C.D. + C.I.) = 10.202.713,10 €	

6.3. Requerimiento y coste de la mano de obra.

En este apartado se estima el coste anual que constituye la mano de obra necesaria para el correcto funcionamiento de las instalaciones. En este sentido el número de operarios por turno es de 5, por lo que, teniendo en cuenta que la jornada se divide en 3 turnos consecutivos, son necesarias 120 horas diarias de mano de obra, lo que suponen un total de 43.800 horas de trabajo al año.

Además, será necesaria la figura del gerente o director que también se encargará de la función comercial y ventas, y que sólo se encontrará presente en la planta durante un turno de 8 horas, si sus labores comerciales no lo requieren en otra ubicación.

Por último, se contará con los servicios de 2 técnicos mecánicos para las labores de mantenimiento diarias de la planta, y un ingeniero de procesos, para los cuales también se dividirán en 3 turnos diarios consecutivos.

	Salario (€/h)	Número por turno	Turnos	Total (€/año)
Operario	9,97	5	3 (8h/turno)	436.686
Técnico	10,35	2	3 (8h/turno)	181.332
Ingeniero	14	1	3 (8h/turno)	122.640
Gerente	18	1	1 (8h/turno)	52.560

6.4. Coste de las materias primas

El coste de las materias primas son fundamentalmente cuatro, el azúcar bruta necesario, el agua de la red, las enzimas para la reacción de hidrólisis y los microorganismos que llevan a cabo la fermentación.

	Cantidad anual	Coste	Total (€/año)
Azúcar	1,533·10 ⁷ Kg	0,35 €/kg	5.365.500
Agua	127.750 m ³	2,016 €/m ³	257.544
Enzimas	1.000 matrices	138,5 €/matriz	138.500
Microorganismos	47 liófilos	70 €/liófilo	3.290

6.4. Coste energético.

A continuación, en las dos tablas siguientes, se resumen los consumos energéticos de los equipos tanto de gas natural como de electricidad.

Equipo	Caldera 1	Caldera 2
Potencia (kW)	1.267,18	1.262,20
Tiempo (h)	1,7	15,0
Energía (kWh)	2.154,21	18.933,00
Coste diario (€/día)	34,47	302,93
Coste anual (€/año)	12.581,6	110.569,5

Equipo	Consumo (kWh/año)	Término de potencia (€/mes)	Término de energía (€/kWh)	Gasto anual eléctrico (€/año)
Bombas	250,2	11,015	0,052	145,19
Agitadores	5.141.342,6			266.982,95
Centrífuga	36.711,7			2.041,19

7. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.

Capital directo a invertir	10.202.713,10 €
Coste de operación anual	6.950.227,2 €
Cantidad de productos	Biobutanol: 3.684.218,8 L/año
	Acetona: 1.924.371,3 L/año
	Ácido acético: 183.868,8 L/año
	Ácido butírico: 90.337,5 L/año
	Agua destilada: 42.590.025 L/año
	Vapor: 81.869.135 Kg/año (4,45·10 ¹⁰ kcal)
Precios de venta	Biobutanol: 0,71 €/L
	Acetona: 3 €/L
	Ácido acético: 5,5 €/L
	Ácido butírico: 5,5 €/L
	Agua destilada: 0,15 €/L
	Vapor: 10,517 €/10 ⁶ kcal
Ingresos por ventas	16.753.353 €/año
Coste de producción	Biobutanol: 1,85 €/L
	Acetona: 0,007 €/L
	Ácido acético: 0,66 €/L
	Ácido butírico: 1,37 €/L
	Agua destilada: 0,003 €/L
	Vapor: 2,77 €/10 ⁶ kcal
Beneficio bruto	Biobutanol: -4.236.851,6 €/año
	Acetona: 5.759.643,3 €/año
	Ácido acético: 889.926,0 €/año
	Ácido butírico: 374.900,6 €/año
	Agua destilada: 6.260.733,7 €/año
	Vapor: 344.741,5 €/año
	9.393.094 €/año

Impuestos aplicables	* (IVA 16%)
Beneficio neto	5 primeros años: 9.393.094 €/año
	Posterior a 5 años: 7.890.199 €/año
Rentabilidad bruta marginal	56,07%
Retorno de la inversión	92,06%

* Según las ayudas ofrecidas por el ministerio, las plantas de recursos renovables quedarán exentas de impuestos durante un periodo de 5 años tras su puesta en marcha.

Puerto Real, a Junio de 2008

El Ingeniero Químico: Fco. José Vela Aragón

