

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN RESULTANTES DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA

Autor: Miguel FELIPE ALCÁNTARA

Fecha: Junio 2011





RESUMEN

1. Introducción

Del petróleo se obtienen determinados compuestos que son la base de diversas cadenas productivas que acaban en una amplia gama de productos denominados petroquímicos, que después se utilizan en las industrias de fertilizantes, plásticos, alimenticia, farmacéutica, química y textil, etc.

La conversión de hidrocarburos en productos químicos se llama petroquímica y es una de las piedras angulares de la industria y la tecnología actual. Esta industria ha hecho posible muchos de los productos que hoy se consideran normales y necesarios, como componentes electrónicos, tejidos, juguetes, etc.

La utilización del petróleo y el gas natural como fuentes de productos petroquímicos ha sido posible gracias al desarrollo de técnicas de transformación de su estructura molecular. El crecimiento de la demanda de los productos petroquímicos se ha debido al desplazamiento de las materias primas tradicionales por las nuevas materias sintéticas:

- Industria textil: Fibras sintéticas que suplen a la lana, el algodón y nuevos tintes con mayores posibilidades que los pigmentos anteriormente conocidos.
- Industria del caucho: nuevos productos con iguales propiedades y, a veces, superiores a las del caucho natural.
- Industria de envases y embalajes: el polietileno como alternativa al cristal y al celofán de la construcción, plásticos para la construcción, por su gran resistencia a la corrosión y a las inclemencias del tiempo, por su ligereza y flexibilidad.

Una cadena fundamental en la industria petroquímica se basa en los aromáticos BTX (benceno, tolueno y xilenos). El benceno es el tercer producto base más importante de la actual Industria química, siendo la base de producción de ciclohexano por medio de un proceso de hidrogenación. El ciclohexano a su vez sirve como materia prima para la producción de compuestos intermedios en el proceso de obtención de nylon

6 y nylon 6,6. Gracias a estos dos compuestos es posible obtener a día de hoy una extensa gama de prendas de vestir, alfombras, material aislante de cables eléctricos, gomas de neumáticos, etc, productos que facilitan el día a día del ser humano y que son necesarios para la actividad diaria de cada uno.

2. Objeto

El presente Proyecto Fin de Carrera tiene como objeto el diseño de una columna estabilizadora que trate una corriente proveniente de una unidad de reacción, la cual será ubicada dentro de los límites pertenecientes a la Refinería de CEPSA Gibraltar situada en el término municipal de San Roque (Cádiz). La columna queda enmarcada dentro del proceso global de Hidrodesalquilación Térmica de Tolueno (Proceso HDA) siendo la unidad principal de la Planta de Estabilización, la cual se puede observar en la figura 1. El proceso HDA persigue la transformación de tolueno a benceno, usando un reactor no catalítico con una relación hidrógeno/tolueno 5/1.

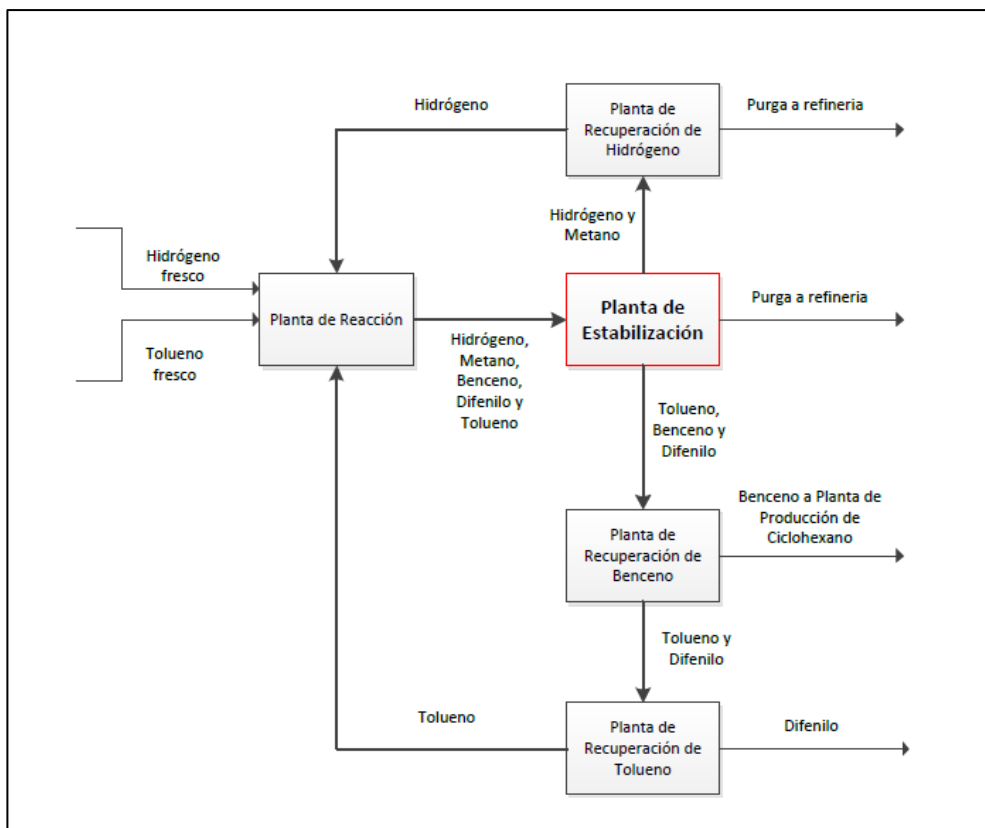


Figura 1 Proceso HDA

La selección de este emplazamiento va ligada a la necesidad extra de benceno en dicha Refinería, que tiene su raíz en la inclusión de una nueva línea de producción de Ciclohexano, diseñada y defendida por D^a. Esther Camacho Monje y D^a. Rocío Parrado Bolaños (Diseño de un proceso para la obtención de ciclohexano, Junio 2009).

3. Proceso

El proceso llevado a cabo en el presente Proyecto se puede dividir en cuatro secciones fundamentales, como se puede observar en la figura 2:

1. Sección de acondicionamiento de la alimentación y producción de vapor.
 - a. Esta parte del proceso es la encargada de enfriar la alimentación hasta la temperatura de entrada a un separador de fases gas-líquido. Está compuesto por 3 evaporadores Kettle en serie más un condensador parcial.
2. Sección de separación de fases.
 - a. Dentro de esta sección encontramos el separador de fases gas-líquido.
3. Sección de estabilización.
 - a. Esta sección es el corazón del proceso de estabilización, dentro de ella se encuentra la columna estabilizadora junto con su calderín. La columna consiste en un absorbedor multicomponente con reboiler.
4. Sección de almacenamiento.
 - a. Esta sección comprende el sistema de tanques necesarios para proceder al almacenamiento del producto obtenido, junto con el sistema de impulsión necesario para llevarlo a cada tanque.

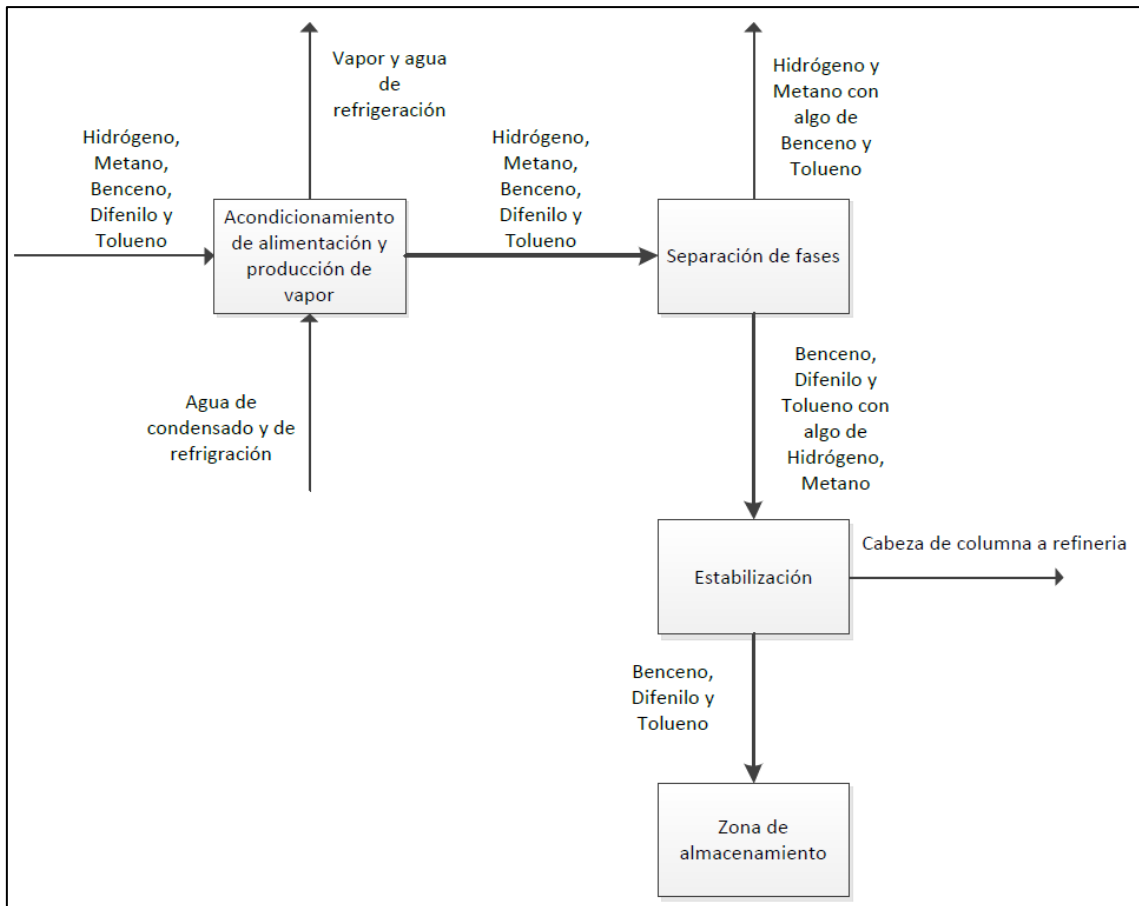


Figura 2 Esquema del proceso de productivo

El proceso diseñado presenta las siguientes unidades:

- ✚ Intercambiadores de calor.
- ✚ Condensador de agua.
- ✚ Separador de fases.
- ✚ Columna de absorción de platos.
- ✚ Sistemas de tuberías, válvulas, bombas y accesorios.
- ✚ Tanques de almacenamiento.

Estas unidades y elementos se encuentran repartidos entre las cuatro zonas de las que consta el proceso.

3.1 Sección de acondicionamiento de la alimentación y producción de vapor

Al proceso llega una corriente gaseosa a razón de 19707,92 m³/h y con una temperatura de 537,85 °C, esta corriente va a ser enfriada en primera instancia mediante un tren de tres intercambiadores tipo Kettle en serie hasta llegar a una temperatura de 110 °C produciendo como subproducto vapor de agua, el cual será vendido a la refinería. Una vez alcanzada dicha temperatura la corriente es aprovechada en el reboiler de la zona de estabilización, de manera que vuelva a una temperatura igual a 92,18 °C a la cual entrará en el condensador parcial para ser enfriada hasta 25 °C usando para ello agua de refrigeración de 7 °C.

La corriente saliente del condensador presenta ya dos fases, una líquida y la otra gaseosa, y será llevada a la zona de separación de fases para llevar a cabo una primera separación de los componentes presentes en la misma.

3.2 Sección de separación de fases

Esta sección se compone por un separador horizontal gas-líquido, al cual llega una alimentación bifásica a razón de 6786,0947 m³/h y con una fracción de vapor igual a 0,8371. De esta unidad salen dos corrientes, una de ellas rica en hidrógeno y metano (la gaseosa) es conducida hasta la zona de estabilización para llevar a cabo el enfriamiento del producto de colas de columna, la otra corriente (líquida) rica en benceno y tolueno se lleva a la zona de estabilización para proceder a la eliminación del hidrógeno y metano disueltos en la misma.

3.3 Sección de estabilización

El primer y principal equipo con el que se encuentra la corriente líquida que sale del separador de fases, a razón de 161,7 m³/h, es la columna estabilizadora. El objetivo de la columna estabilizadora es llevar a cabo la eliminación del hidrógeno y metano residuales que quedan aún presentes en el líquido, y los cuales no han sido posibles eliminar mediante el separador de fases. La columna consiste en un absorbedor con reboiler,

compuesta por 5 platos de campana de borbotado con un diámetro de 2,134 m. En la columna se obtiene por cabezas una corriente rica en metano hidrógeno y benceno, que será conducida a la red de fuel gas de la refinería, a su vez por colas de columna se consigue una corriente rica en benceno y tolueno la cual será conducida al calderín de manera que parte de la misma se vaporice y retorne a columna, siendo el líquido sin vaporizar el producto final deseado. En este calderín se aprovecha como fluido calefactor la propia alimentación al sistema proveniente del evaporador Ev-3 y por lo tanto se favorece la integración energética del proceso con el consiguiente ahorro de vapor de agua.

Antes de que se mande el líquido a la zona de almacenamiento es necesario reducir su temperatura desde los 91,91 °C hasta los 60 °C, para ello se va a usar un intercambiador de calor en el que el fluido refrigerante será la corriente gaseosa procedente del separador de fases de la zona de separación de fases.

3.3 Sección de almacenamiento

El producto procedente de la zona de estabilización ya enfriado a 60 °C se va a dirigir impulsado a razón de 162,2 m³/h mediante una bomba centrífuga a su tanque de almacenamiento. La zona de almacenamiento se compone por dos tanques “colchón” situados dentro de un cubeto de retención, estos tanques son de fondo plano con techo flotante cubierto y se han diseñado de acuerdo con la norma API 650, presentando un volumen 8896,93 m³.

Los tanques han sido diseñados para el almacenamiento de la mezcla de benceno, tolueno y difenilo, la cual a no ser un producto con interés comercial y ser de alimentación a otras unidades de proceso no necesita de un volumen útil de almacenamiento superior a un día de producción.

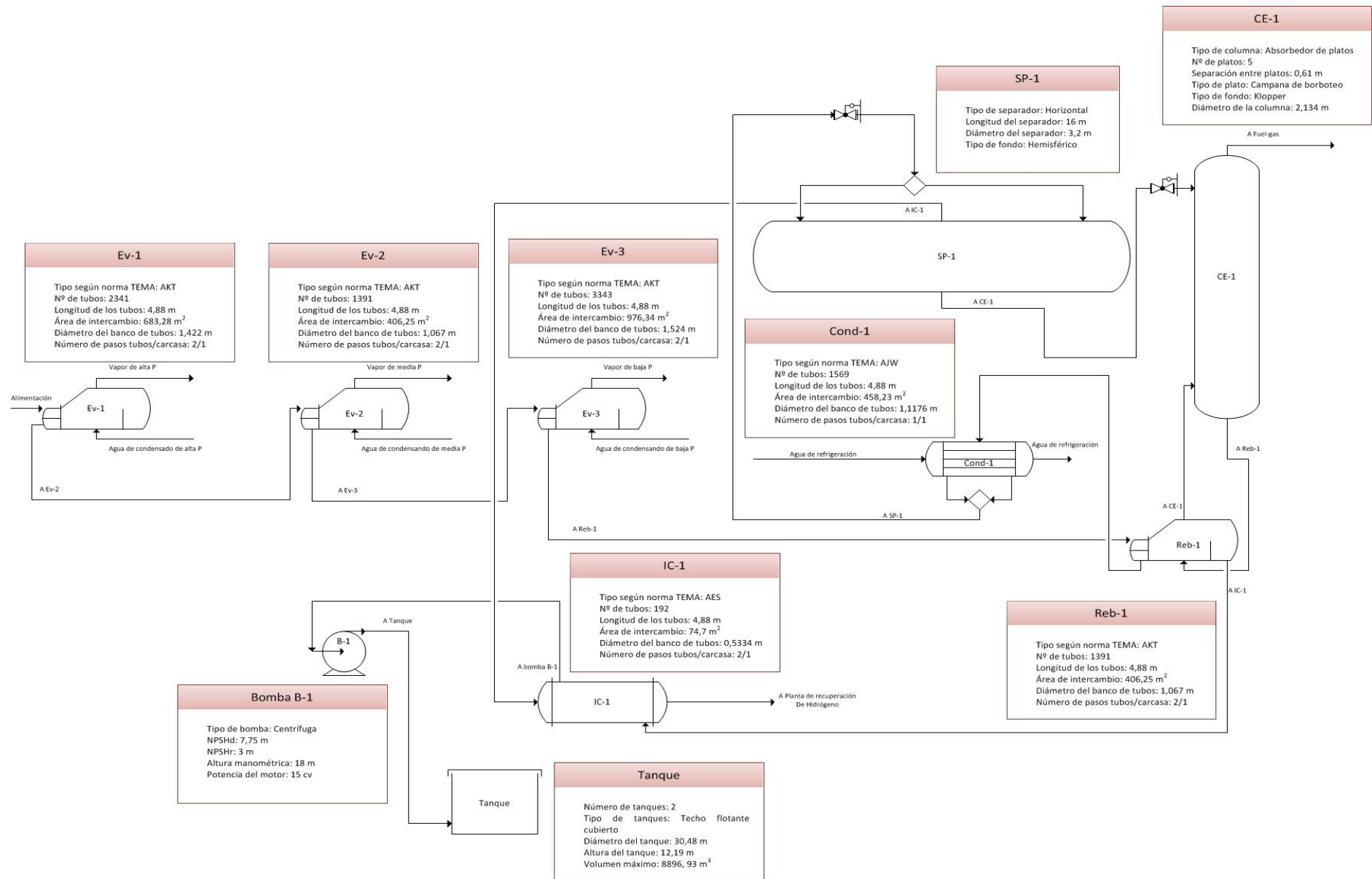


Figura 3 Diagrama de flujo con características de las unidades

DOCUMENTOS DEL PROYECTO

- **DOCUMENTO 1: MEMORIA**
 - MEMORIA DESCRIPTIVA
 - ANEXOS A LA MEMORIA

- **DOCUMENTO 2: PLANOS**

- **DOCUMENTO 3: PLIEGO DE CONDICIONES**

- **DOCUMENTO 4: PRESUPUESTO**

DOCUMENTO 1:
MEMORIA

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	11
1.1. Gas Natural.....	11
1.2. Olefinas ligeras.....	12
1.3. Aromáticos	13
1.4. La industria petroquímica española	15
1.5. Nylon 6 y Nylon 6,6.....	16
1.6. Productos derivados del benceno	18
1.7. Planteamiento general	21
1.8. Proceso de Hidrodesalquilación Térmica (Proceso HDA)	22
1.9. Implantación.....	24
1.10. Justificación.....	26
CAPÍTULO 2: BASES DE DISEÑO	27
2.1. Capacidad de la planta.....	27
2.2. Especificaciones de las corrientes principales del sistema	27
2.2.1. Alimentación	27
2.3. Especificaciones de las corrientes auxiliares del sistema	28
2.3.1. Condensado de alta presión.....	28
2.3.2. Condensado de media	29
2.3.3. Condensado de baja.....	29
2.3.4. Agua de refrigeración de baja temperatura	29
2.4. Especificaciones esperadas de los productos	30
2.4.1. Alimentación planta de hidrógeno	30
2.4.2. Alimentación planta de benceno	31
2.4.3. Vapor de alta presión	31
2.4.4. Vapor de media presión	32
2.4.5. Vapor de baja presión.....	33
2.4.6. Alimentación red de fuel-gas	33
CAPÍTULO 3: VIABILIDAD DEL PROYECTO	35

3.1. Viabilidad técnica.....	35
3.1.1. Método de estabilización y selección de alternativas	35
3.1.1.1. Estudio sobre el uso de una columna de rectificación	35
3.1.1.2. Estudio sobre el uso de una columna de absorción con reboiler ...	37
3.1.2. Selección de la mejor alternativa	38
3.2. Viabilidad económica.....	39
3.3. Viabilidad legal	40
3.3.1. Legislación	40
3.3.2. Normativa.....	42
CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	43
4.1. Introducción	43
4.2. Descripción del proceso	43
4.2.1. Sección de acondicionamiento de la alimentación y producción de vapor	44
4.2.2. Sección de separación de fases	46
4.2.3. Sección de estabilización	47
4.2.4. Sección de almacenamiento	48
CAPÍTULO 5: UBICACIÓN DE LA PLANTA	49
5.1. Selección de la ubicación	49
5.2. Suministros a la planta	50
5.2.1. Suministro de energía.....	50
5.2.2. Suministro de agua	50
5.3. Consideraciones ambientales	51
5.3.1. Temperaturas	51
5.3.2. Vientos	51
5.3.3. Lluvias	51
5.3.4. Suelo	52
CAPÍTULO 6: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	53

6.1. Restricciones y limitaciones en la implantación de las unidades del proceso	53
6.2. División de la planta.....	54

CAPÍTULO 7: CRITERIOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS	55
7.1. Criterios de diseño de equipos de transferencia de calor	55
7.1.1. Intercambiadores de calor convencionales	55
7.1.2. Principales tipos de intercambiadores presentes en refinería	56
7.1.2.1. Intercambiadores de doble tubo	56
7.1.2.2. Intercambiadores de calor enfriados por aire	57
7.1.2.3. Intercambiadores de calor de placas	58
7.1.2.4. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos	58
7.1.3. Elección del tipo de intercambiador para cada servicio.....	64
7.1.3.1. Elección del tipo del tren de intercambiadores (Ev-1, Ev-2 y Ev-3)	65
7.1.3.2. Elección del condensador parcial (Cond-1).....	65
7.1.3.3. Elección del rehervidor de la columna (Reb-1)	66
7.1.3.4. Elección del enfriador del producto final a tanque (IC-1)	66
7.1.3.5. Criterios de selección del fluido que va por tubos y del fluido que va por carcasa.....	66
7.2. Criterios de diseño de equipos de transferencia de materia.....	67
7.2.1. Separador de fases	67
7.2.1.1. Selección del tipo de separador.....	67
7.2.2. Columna estabilizadora	69
7.2.2.1. Selección del tipo de platos de la columna estabilizadora	69
7.2.2.2. Selección del tipo de paso de la columna estabilizadora	71
7.3. Criterios de diseño de los depósitos de almacenamiento	72
7.3.1. Normativa aplicada a los tanques.....	74
7.4. Criterios de diseño de equipos de impulsión de fluidos	75
7.5. Criterios de selección de materiales	76

7.5.1. Zona de alta temperatura	77
7.5.2. Zona de baja temperatura	77
CAPÍTULO 8: SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE VAPOR	79
8.1. Introducción	79
8.2. Evaporador Ev-1	80
8.2.1. Datos del intercambiador de calor	80
8.2.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa.....	80
8.2.1.2. Características principales del intercambiador de calor.....	81
8.2.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor	82
8.2.1.4. Hoja de especificación del cambiador	83
8.3. Evaporador Ev-2	84
8.3.1. Datos del intercambiador de calor	84
8.3.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa.....	84
8.3.1.2. Características principales del intercambiador de calor.....	85
8.3.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor	86
8.3.1.4. Hoja de especificación del cambiador	87
8.4. Evaporador Ev-3	88
8.4.1. Datos del intercambiador de calor	88
8.4.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa.....	88
8.4.1.2. Características principales del intercambiador de calor.....	89
8.4.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor	90
8.4.1.4. Hoja de especificación del cambiador	91
CAPÍTULO 9: PROCESO DE SEPARACIÓN	93
9.1. Introducción	93
9.2. Condensador parcial Cond-1	94
9.2.1. Datos del intercambiador de calor	95
9.2.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa.....	95
9.2.1.2. Características principales del intercambiador de calor.....	95
9.2.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor	97

9.2.1.4 Hoja de especificación del cambiador	97
9.3. Separador de fases SP-1	98
9.3.1. Diseño del separador horizontal.....	99
9.3.1.1. Tiempo de retención del líquido	99
9.3.1.2. Velocidad crítica del vapor	99
9.3.1.3. Dimensionamiento del separador.....	100
9.3.1.4. Datos del equipo.....	100
9.3.2. Diseño mecánico del separador horizontal	100
9.3.2.1. Diseño de la cubierta.....	102
9.3.2.2. Diseño de los fondos	103
9.3.2.3. Diseño de las faldillas	103
9.3.2.4. Accesorios externos	103
9.3.2.5. Aislamiento del recipiente.....	105
9.3.2.6. Apoyo del recipiente	105
9.3.3. Tabla resumen	106
9.4. Columna estabilizadora CE-1	107
9.4.1. Introducción	107
9.4.2. Características de las corrientes	107
9.4.2.1. Corrientes de entrada.....	108
9.4.2.1.1. Alimentación	108
9.4.2.1.2. Vapor de reflujo	109
9.4.2.2. Corrientes de salida	109
9.4.2.2.1. Corriente de colas.....	109
9.4.2.2.1. Gas de cabeza.....	109
9.4.3. Diseño de la columna	109
9.4.3.1. Diseño mecánico de la columna.....	110
9.4.3.1.1. Diseño de la cubierta.....	110
9.4.3.1.2. Diseño de los fondos	110
9.4.3.1.3. Diseño de las faldillas	111
9.4.3.1.4. Accesorios externos	111
9.4.3.1.5. Aislamiento del recipiente.....	113

9.4.3.1.6. Apoyo del recipiente	113
9.4.4. Tabla resumen	115
9.5. Rehervidor Reb-1	116
9.5.1. Datos del intercambiador de calor	116
9.5.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa.....	116
9.5.1.2. Características principales del intercambiador de calor.....	117
9.5.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor	118
9.5.1.4. Hoja de especificación del cambiador	119
9.6. Intercambiador de calor IC-1	120
9.6.1. Datos del intercambiador de calor	120
9.6.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa.....	120
9.6.1.2. Características principales del intercambiador de calor.....	121
9.6.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor	123
9.6.1.4. Hoja de especificación del cambiador	123
CAPÍTULO 10: SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	125
10.1. Diseño de los depósitos de producto final	126
10.1.1. Diseño del cubeto de retención	128
CAPÍTULO 11: SISTEMA DE TUBERÍAS, BOMBAS, COMPRESORES, VÁLVULAS Y ACCESORIOS	129
11.1. Introducción	129
11.2. Diseño de tuberías	129
11.2.1. Colores de las tuberías	132
11.2.2. Uniones.....	133
11.2.3. Accesorios de tuberías.....	134
11.2.4. Aislamiento de las tuberías	135
11.3. Válvulas.....	135
11.3.1. Tipos de válvulas.....	135
11.3.2. Tipos de válvulas usadas en la línea de proceso	142
11.4. Bombas	142

11.4.1. Bombas centrífugas	142
11.4.2. Bomba B-1	143
CAPÍTULO 12: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	144
12.1. Sistemas de control.....	144
12.1.1. Introducción	144
12.1.2. Nomenclatura	144
12.1.3. Instrumentación.....	145
12.1.3.1. Medidores más comunes	146
12.1.3.1.1. Medidores de temperatura.....	147
12.1.3.1.2. Medidores de presión	148
12.1.3.1.3. Medidores de nivel.....	149
12.1.3.1.4. Medidores de caudal	149
12.2. Descripción de los lazos de control.....	150
CAPÍTULO 13: EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	164
13.1. Introducción	164
13.1.1 Metodología en la elaboración del estudio de Impacto Ambiental	164
13.2. Estudio del proyecto y su entorno.....	166
13.2.1. Análisis general del proyecto	166
13.2.1.1. Definición de la planta	166
13.2.1.2. Localización	166
13.2.1.3. Descripción de trabajos a realizar durante la construcción de la planta.....	166
13.2.1.4. Descripción de la maquinaria a utilizar en la fase de construcción	167
13.2.1.5. Descripción de materias primas y productos	168
13.2.1.6. Descripción del proceso	168
13.2.1.7. Vertido de residuos	168
13.2.1.7.1. Usos del agua	169
13.2.1.7.2. Características de los residuos	169

13.2.2. Definición del entorno del proyecto.....	169
13.2.3. Descripción general del entorno.....	169
13.2.3.1. Medio Físico.....	170
13.2.3.2. Medio Socio-económico	170
13.3. Identificación de los efectos que el proyecto generará sobre el medio	171
13.3.1. Identificación de efectos	171
13.3.2. Matriz de identificación de efectos	174
13.3.3. Matriz de impactos	178
13.4. Valoración de los impactos	180
13.4.1. Introducción	180
13.4.2. Fundamentos de la valoración.....	180
13.4.2.1. Método de Leopold	180
13.4.2.2. Importancia de los impactos.....	181
13.4.2.2.1. Signo.....	181
13.4.2.2.10. Efecto (EF)	185
13.4.2.2.11. Periodicidad (PR)	186
13.4.2.2.12. Importancia del impacto (I).....	186
13.4.2.2.13. Casillas verdes.....	188
13.4.2.2.14. Casillas rojas	188
13.4.2.2.2. Intensidad (I)	181
13.4.2.2.3. Extensión (EX)	182
13.4.2.2.4. Momento (MO)	182
13.4.2.2.5. Persistencia (PE)	182
13.4.2.2.6. Reversibilidad (RV)	184
13.4.2.2.7. Recuperabilidad (MC).....	184
13.4.2.2.8. Sinergia (SI)	185
13.4.2.2.9. Acumulación (AC)	185
13.4.2.3. Magnitud de los impactos	188
13.4.2.4. Valoración de los impactos	189

13.4.2.4.1. Matriz de Leopold. Matriz de valoración de los impactos durante la fase de construcción de la planta	189
13.4.2.4.2. Matriz de Leopold. Matriz de valoración de los impactos durante la fase de funcionamiento de la planta.....	190
13.5. Establecimiento de medidas correctoras	192
13.5.1. Corrección de emisión de polvo.....	192
13.5.2. Corrección de la erosión del suelo	192
13.5.3. Corrección de aguas residuales	192
13.5.4. Corrección de vertidos líquidos	192
13.5.5. Corrección de ruidos	193
13.5.6. Incendios y explosiones	193
13.5.7. Valoración de los impactos tras el establecimiento de las medidas correctoras.....	194
13.6. Programa de vigilancia ambiental	196
13.6.1. Efluentes líquidos.....	196
13.6.2. Ruidos.....	196
13.6.3. Monitorización en continuo	196
13.6.4. Libro de registro	196
CAPÍTULO 14: ESTUDIO DE SEGURIDAD E HIGIENE	197
14.1. Introducción	197
14.2. Objeto del estudio.....	198
14.3. Marco legal de la seguridad e higiene en el trabajo.....	198
14.4. Evaluación de riesgos en el presente proyecto.....	202
14.4.1. Riesgo químico.....	203
14.4.1.1. Riesgo químico en la línea de proceso.....	207
14.4.2. Riesgo de explosión e incendio.....	208
14.4.2.1. Tetraedro del fuego	208
14.4.2.2. Explosiones	209
14.4.2.3. Riesgo de explosión e incendio en la línea de proceso.....	212
14.4.3. Riesgo físico.....	212

14.4.3.1. Ruido	213
14.4.3.2. Ambiente térmico	214
14.4.3.3. Radiaciones	217
14.4.3.4. Riesgo físico en la línea de proceso	222
14.4.4. Riesgo eléctrico	222
14.4.4.1. Riesgo eléctrico en la línea de proceso	225
14.4.5. Riesgo en la manipulación de máquinas y herramientas	226
14.4.6. Riesgo en el almacenamiento de sustancias químicas	226
14.5. Medidas preventivas a aplicar	227
14.5.1. Medidas preventivas riesgo químico	227
14.5.2 Medidas a tomar para minimizar riesgos de explosión e incendio	228
14.5.3 Medidas a tomar para minimizar riesgos físicos	230
14.5.4. Medidas a tomar para minimizar el riesgo eléctrico	230
14.5.5. Medidas para prevenir el riesgo en la manipulación de máquinas y herramientas	231
14.5.6. Medidas para prevenir el riesgo en el almacenamiento de sustancias químicas	231
CAPÍTULO 15: BIBLIOGRAFÍA	233

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Además de los combustibles, del petróleo se obtienen derivados que permiten la producción de compuestos químicos que son la base de diversas cadenas productivas que terminan en una amplia gama de productos conocidos genéricamente como productos petroquímicos, que se utilizan en las industrias de fertilizantes, plásticos, alimenticia, farmacéutica, química y textil, entre otras.

Las principales cadenas petroquímicas son:

- Gas Natural.
- Olefinas ligeras (etileno, propileno y butenos).
- Aromáticos.

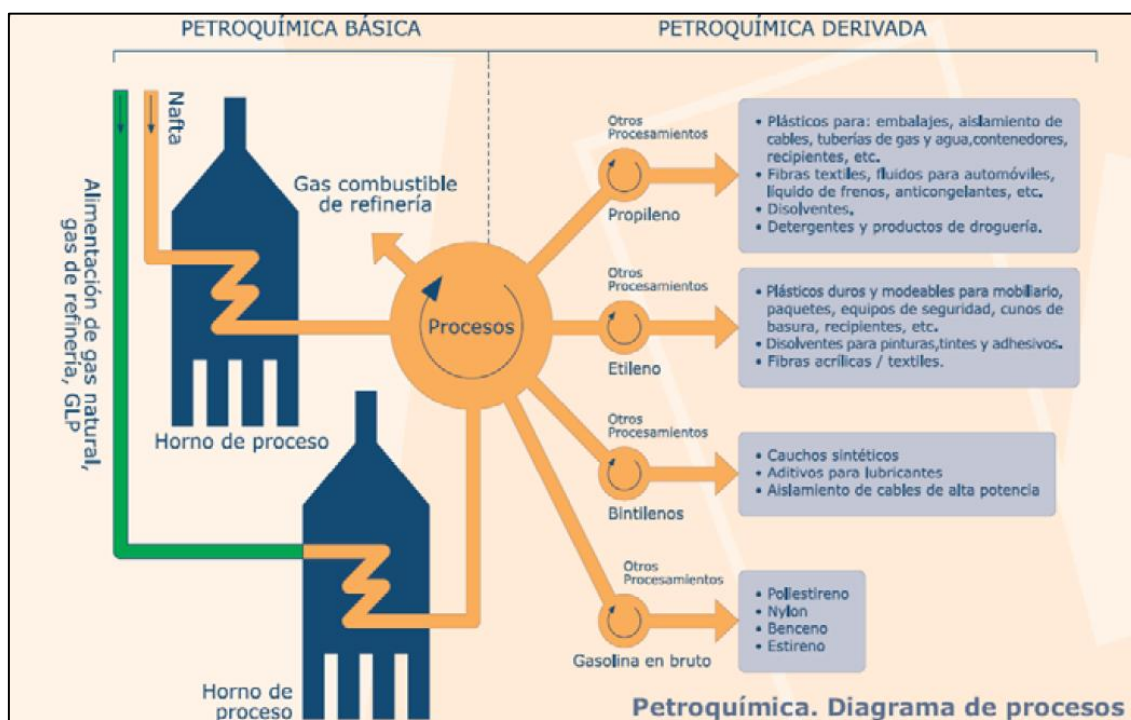


Figura 1.1 Diagrama de procesos de Petroquímica

1.1. Gas Natural

La cadena del gas natural se inicia con el proceso de reformación con vapor por medio del cual el metano reacciona catalíticamente con agua para

producir el llamado gas de síntesis, que consiste en una mezcla de hidrógeno y óxidos de carbono.

El descubrimiento de este proceso permitió la producción a gran escala de hidrógeno, haciendo factible la producción posterior de amoníaco por su reacción con nitrógeno, separado del aire. El amoníaco es la base en la producción de fertilizantes.

También a partir de los componentes del gas de síntesis se produce metanol, materia prima en la producción de metil-terbutil-éter y teramil-metil-éter, componentes de la gasolina; otra aplicación es su uso como solvente en la industria de pinturas.

1.2. Olefinas ligeras

La cadena del etileno se inicia a partir del etano recuperado del gas natural en las plantas criogénicas, el cual se somete a un proceso de descomposición térmica para producir etileno principalmente, aunque también se forma hidrógeno, propano, propileno, butano, butilenos, butadieno y gasolina pirolítica.

Del etileno se producen un gran número de derivados, como las diferentes clases de polietilenos cuyas características dependen del proceso de polimerización; su aplicación se encuentra en la producción de plásticos, recubrimientos, moldes, etc.

Por otro lado, el etileno puede reaccionar con cloro para producir dicloroetano y posteriormente monómero de cloruro de vinilo, un componente fundamental en la industria del plástico, y otros componentes clorados de uso industrial.

La oxidación del etileno produce óxido de etileno y glicoles, componentes básicos para la producción de poliéster, así como de otros componentes de gran importancia para la industria química, incluyendo las resinas PET (poli etilén tereftalato), actualmente usadas en la fabricación de botellas para refresco, medicinas, etc.

El monómero de estireno, componente fundamental de la industria del plástico y el hule sintético, se produce también a partir del etileno, cuando éste se somete, primero a su reacción con benceno para producir etilbenceno y después a la deshidrogenación de este compuesto. El acetaldehído, componente básico en la producción de ácido acético y otros productos químicos, también se produce a partir del etileno.

Otra olefina ligera, el propileno, que se produce ya sea por deshidrogenación del propano contenido en el gas LP, como subproducto en las plantas de etileno o en las plantas de descomposición catalítica fluida FCC de refinerías, es la base para la producción de polipropileno a través de plantas de polimerización. Otro producto derivado del propileno y del amoníaco es el acrilonitrilo, de importancia fundamental en la industria de las fibras sintéticas.

Del propileno se puede producir alcohol isopropílico de gran aplicación en la industria de solventes y pinturas, así como el óxido de propileno; otros derivados del propileno son el ácido acrílico, la acroleína, compuestos importantes en la industria del plástico.

Como derivado de la deshidrogenación de los butenos o bien como subproducto del proceso de fabricación del etileno, se obtiene el 1,3 butadieno, que es una materia prima fundamental en la industria de los elastómeros, llantas para toda clase de vehículos, juntas, sellos, etc.

1.3. Aromáticos

Una cadena fundamental en la industria petroquímica se basa en los aromáticos (benceno, tolueno y xilenos). La nafta virgen obtenida del petróleo crudo contiene parafinas, nafténicos y aromáticos en el intervalo de 6 a 9 átomos de carbono.

Esta fracción del petróleo, después de un hidrotreamiento para eliminar compuestos de azufre, se somete al proceso de Reformación BTX, el cual promueve fundamentalmente las reacciones de ciclación de

parafinas y de deshidrogenación de nafténicos, con lo cual se obtiene una mezcla de hidrocarburos rica en aromáticos.

Un esquema general de la rama de los aromáticos se puede observar en la figura 1.2:

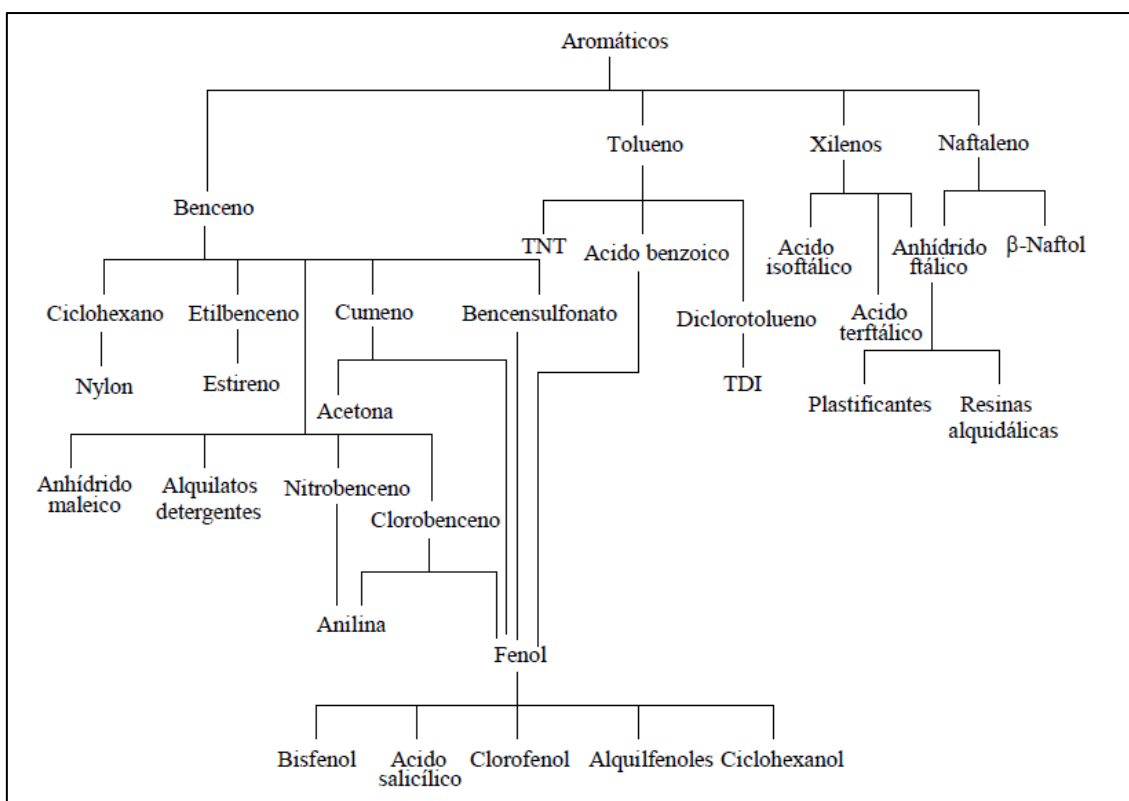


Figura 1.2 Productos derivados de los aromáticos

La fracción BTX se separa, primero del resto de los hidrocarburos a través de un proceso de extracción con solvente, y después entre ellos, por medio de diversos esquemas de separación.

En procesos ulteriores se ajusta la proporción relativa de los aromáticos a la demanda del mercado, por ejemplo, convirtiendo tolueno en benceno por hidrodealquilación, o bien en la isomerización de xilenos, para aumentar la producción de orto-xileno.

Otro proceso fundamental es la desproporcionalización de los aromáticos pesados para incrementar la producción de benceno, tolueno y

xilenos. Una vez separados los aromáticos, se inicia la cadena petroquímica de cada uno de ellos.

El benceno es la base de producción de ciclohexano y de la industria del nylon, así como del cumeno para la producción industrial de acetona y fenol; el tolueno participa de una forma importante en la industria de los solventes, explosivos y en la elaboración de poliuretanos. Los xilenos son el inicio de diversas cadenas petroquímicas, principalmente la de las fibras sintéticas.

1.4. La industria petroquímica española

La industria petroquímica española ha tenido un importante avance en los últimos años, favorecida en gran parte por el desarrollo de los plásticos. Ello ha animado a las empresas, tanto españolas como extranjeras, a invertir en esta industria, lo que se ha traducido en la ejecución de grandes proyectos en España.

Otro sector que destaca dentro del mercado nacional es la producción de fibras sintéticas, destacando las variedades de nylon, y en concreto el nylon 6 y nylon 6,6, cuya producción deriva de una serie de productos intermedios obtenidos a partir del ciclohexano, el cual se obtiene a su vez a partir de benceno.

En el panorama actual de la industria petroquímica española destacan entre otras las empresas recogidas en la tabla 1.2.

Actualmente en España tan solo hay dos empresas que fabrican benceno: CEPSA y Repsol YPF. CEPSA dedica la mayor parte de su producción de benceno a la fabricación de detergentes (LAB y LABS), dentro de su filial Petresa, y a la producción de ciclohexano en la refinería de Huelva. Repsol YPF por su parte destina la producción de benceno en su mayoría a la producción de Estireno. En la tabla 1.1 se muestra la capacidad de producción a nivel nacional de Benceno.

Tabla 1.1 Capacidad de producción de benceno a nivel español

Fabricante	Producción (tm/año)
CEPSA	275.000
Repsol YPF	350.000
<i>Producción Total</i>	615.000

Tabla 1.2 Principales empresas Petroquímicas

Empresa	(M€)	Plantilla	Lugar	Productos
CEPSA	18.400	10.900	Ca, H	Benceno. Tolueno. Xilenos. Propileno. Ciclohexano. Anhídrido ftálico y málico. Ácido fumárico.
Cepsa Química ✓ Ertisa ✓ Interquisa ✓ Petresa	1.400	1.000	Ca, H	Fenol. Acetona. Cumeno. Metil-estireno. Dimetil-formamida. Dimetil-acetamida. Ácido tereftálico. Tereftalato de dimetilo. Ácido isoftálico. LAB. LABS. Parafinas lineales.
Dow Chemical Ibérica	1.350	900	Ta	Etileno. Propileno. Isobutileno, Fracción C4.
Repsol YPF	49.400	35.200	Ta, CR	Etileno. Propileno. Benceno. Fracción C4. MTBE.
Repsol Química	2.250	1.360	Ta, CR	Butadieno. Acrilonitrilo. Aceto-cianhidrina. Metacrilato de metilo. Estireno. Óxido de propileno. Propilenglicol.

Nota: Ca = Cádiz, H= Huelva, Ta= Tarragona, CR= Ciudad Real.

A día de hoy en España existen únicamente dos empresas que fabrican ciclohexano: CEPSA y Quality Chemicals. El ciclohexano producido en España se destina en su gran mayoría a la exportación a distintos países donde se transforma principalmente en ciclohexanona (precursor del Nylon 6 y Nylon 6,6).

1.5. Nylon 6 y Nylon 6,6

Los nylons son las más resistentes y duras de todas las fibras y también son estables al calor, de modo que es posible hilarlas por fusión.

Se trata de sustancias hidrofóbicas por lo que secan con rapidez después de someterlas a procesos de lavado.

En la actualidad el nylon 6,6 y el nylon 6 constituyen la casi totalidad del nylon producido para la obtención de fibras con destino a la industria textil.

En cuanto a su nomenclatura, cuando la poliamida se expresa con un solo número, el nylon procede de una lactama-o o de un ω -aminoácido (cadena hidrocarbonada con un grupo amino en el extremo y un grupo carboxilo en el otro). Si se expresa con dos números separados por una coma, se obtiene por la reacción de una diamina con diácido o un dihaluro de ácido o un diéster, la primera cifra se corresponde con el número de carbonos de la diamida y la segunda con el número de carbonos del segundo monómero.

El nylon 6,6 constituye la primera de las fibras totalmente sintéticas y junto con el nylon 6 todavía conserva la principal parte del mercado del nylon.

El nylon 6,6 se obtiene a partir de dos monómeros como son el ácido adípico y la hexametileno diamina.

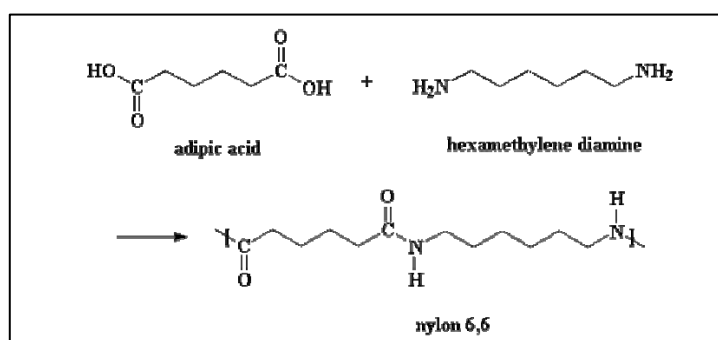


Figura 1.3 Estructura de la molécula de nylon 6,6

Por otro lado, el nylon 6 se obtiene por autocondensación de una única molécula, la caprolactama.

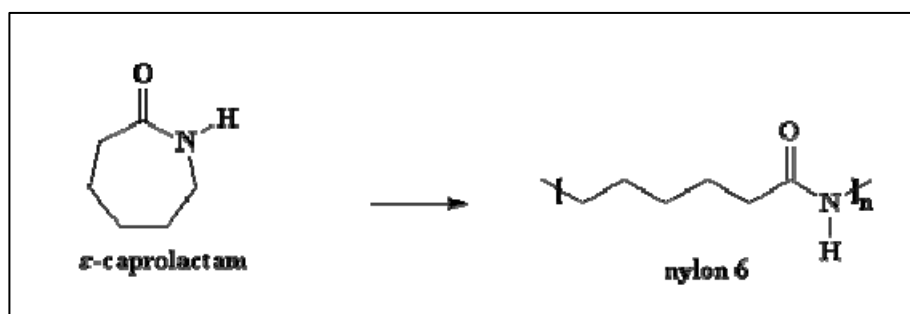


Figura 1.4 Estructura de la molécula de nylon 6

1.6. Productos derivados del benceno

El benceno es el producto químico aromático más importante, sólo es superado por el etileno como materia prima básica para la síntesis de productos químicos orgánicos. Tiene multitud de usos. Los principales derivados son monómeros de estireno, ciclohexano (nylon), fenol, alquilbencenos, anilina y anhídrido maleico. Otro uso importante es la fabricación de clorobencenos.

Estireno

La fabricación de estireno es con mucho el mayor uso del benceno. El monómero de estireno se obtiene por cracking catalítico de etilbenceno. Los principales usos del estireno son para plásticos, pinturas y recubrimientos de látex de caucho sintético, poliésteres, y recubrimientos alquidálicos a base de poliestireno. En estos usos el poliestireno se polimeriza para formar homopolímeros o copolímeros de acrilonitrilo, butadieno, anhídrido maleico y glicoles.

Ciclohexano

El ciclohexano, que se usa principalmente para fabricar nylon, es el segundo mayor consumidor de benceno. El nylon 6,6 es el de mayor importancia, se obtiene a partir de ácido adípico y hexametildiamina. El nylon 6 se deriva de la caprolactama. Aunque estos tipos de intermediarios para nylon se obtienen a partir de ciclohexano, existen también otros métodos. Por ejemplo, el ácido adípico puede obtenerse por oxidación de

butileno además de la oxidación de ciclohexano; la hexametildiamina puede prepararse a partir de butadieno además del método de ciclohexano y la caprolactama puede sintetizarse no sólo a partir de ciclohexano, sino también de fenol.

Fenol

El fenol sintético es el tercer mercado en importancia del benceno. Se utilizan cinco procesos diferentes, cumeno, sulfonación, clorobenceno, Rasching (de la hulla) y ácido benzoico. Más del 60% se fabrica por el proceso de cumeno. Todos estos métodos, excepto el de ácido benzoico, parten de benceno como materia prima. El proceso de ácido benzoico usa tolueno como compuesto aromático de partida.

Las *resinas fenólicas* son el mayor consumidor de fenol. Sus principales usos son los adhesivos para maderas terciadas y como resinas de moldeo.

El *bisfenol A* se usa en la producción de resinas de policarbonato y epoxi. Se obtiene a partir de fenol y acetona. El consumo de bisfenol A es de aproximadamente un 64% para resinas espóxicas, 15% en resinas de policarbonato y el resto en otros usos.

Entre los otros productos del fenol se incluyen la aspirina, fenoles alquilados, fenoles clorados y caprolactama.

Alquilatos detergentes

Los alquilbencenos son intermediarios en la fabricación de detergentes, los principales son dodecilbenceno y tridecilbenceno. Para preparar detergentes sintéticos se hacen reaccionar olefinas- α u olefinas internas con benceno para formar el alquilbenceno, éste se sulfona, se neutraliza, se mezcla con aditivos y se seca en escamas.

Anhídrido maleico

Este se usa para preparar resinas poliéster, alquidálicas, productos químicos agrícolas, aceites secantes para encolado de papel y resinas de estireno-anhídrido maleico.

Anilina

Esta se obtiene por tres procesos; dos parten de nitrobenceno como intermediario ($H_2/cat.$ y Fe/HCl) y el tercero a partir de clorobenceno.

En la actualidad, casi el 50% de la anilina se consume en la fabricación de productos de caucho como los derivados de tiazol. El uso de anilinas en los isocianatos depende de la fabricación de poliuretanos rígidos, en especial para aislamientos. Otros usos importantes de la anilina son los colorantes, las medicinas y productos medicinales veterinarios.

Otros derivados del benceno

Otros productos derivados del benceno de gran importancia son clorobenceno, diclorobenceno, nitrobenceno y resorcinol. El nitrobenceno se utiliza en la obtención de anilina y como disolvente.

El clorobenceno y diclorobenceno se preparan por cloración directa o por oxiclорación. El clorobenceno se usa en la fabricación de colorantes de azufre como el negro de azufre, medicamentos, perfumes y como disolvente. El *o*-diclorobenceno se usa principalmente como disolvente o agente de limpieza, en especial para desengrasado de metales. Cuando se purifica y estabiliza, es útil como fluido de transferencia de calor en el intervalo 150-260° C. El *p*-diclorobenceno se usa como protector de la lana contra la polilla y en las pastillas sanitarias. Su presión de vapor y su olor agradable lo hacen muy adecuado para este propósito.

El resorcinol se obtiene por el proceso de sulfonación-hidrólisis y por oxidación de *m*-diisopropil-benceno. Se usa en la industria de fabricación de neumáticos automotrices en forma de una resina de resorcinol-formaldehído para adherir las cuerdas al caucho. Este es un

adhesivo especialmente efectivo para cuerdas de poliéster y fibra de vidrio. Otros usos de esta resina son como adhesivo para madera que se utiliza principalmente para laminados. Se usa algo de resorcinol en la síntesis de absorbentes ultravioleta, colorantes y algunos productos farmacéuticos tales como ungüentos para la piel, jabones medicinales y preparaciones antisépticas para la boca o garganta.

1.7. Planteamiento general

La planta objeto de proyecto se enmarca dentro de un proceso global llamado Hidrodesalquilación térmica de tolueno (Proceso HDA), cuyo objetivo principal es la obtención de benceno a partir de tolueno.

Dentro del proceso HDA esta planta se va a dedicar a estabilizar los productos de reacción procedentes de un reactor situado en una planta anexa a la diseñada, mediante la estabilización se obtienen dos corrientes principales, una gaseosa rica en hidrógeno y metano que alimentará a otra planta no objeto de este proyecto, y otra rica en benceno y tolueno que irá dirigida a una planta de obtención de benceno, además, se obtendrán tres corrientes de vapor, una de alta presión otra de media presión y una última de baja presión, así como una última corriente gaseosa sin valor comercial que irá dirigida a la red de fuel gas de refinería para su aprovechamiento energético.

El proceso productivo se basa fundamentalmente en tres pilares:

- Aprovechamiento energético de la alimentación gaseosa a la planta para producir vapor en las distintas presiones de trabajo de una refinería.
- Separación de los compuestos volátiles de la alimentación para obtener una corriente rica en hidrógeno y metano.
- Separación del hidrógeno y metano residuales en la corriente líquida del proceso para obtener una corriente libre de compuestos volátiles.

La alimentación de la que se parte consiste en una mezcla gaseosa a alta temperatura de hidrógeno, metano, benceno, tolueno y difenilo. Para entender mejor de donde viene esta alimentación se va a proceder a realizar un pequeño resumen de que consiste el proceso llevado a cabo en la planta de reacción.

1.8. Proceso de Hidrodesalquilación Térmica (Proceso HDA)

La hidrodesalquilación térmica es un proceso desarrollado por Atlantic Refining Co. conjuntamente con Hydrocarbon Research Inc. Su reactor es isotérmico y no catalítico, con conversiones que varían entre un 35 y un 98% bajo condiciones de operación de 41 bares de presión y 950 – 980 K de temperatura.

Las plantas comerciales pueden subdividirse en cinco partes, tal y como puede observarse en la figura 1.5 del presente capítulo:

- **Zona de Reacción:**

En esta planta anexa a la diseñada se lleva a cabo la reacción de hidrodesalquilación térmica, en un reactor tubular no catalítico, obteniéndose una mezcla gaseosa de hidrógeno, metano, tolueno, benceno y difenilo. El diseño de esta planta va a ser llevado a cabo por D^a. M^a del Pilar Moyano Molina, cuyo proyecto “Diseño de un reactor químico para la síntesis de benceno” fue aprobado por la Comisión de Proyectos Fin de Carrera del día 21 de diciembre de 2010.

- **Zona de estabilización:**

Es la zona diseñada en este proyecto, y el objetivo principal llevado a cabo en la misma es pre tratamiento de la alimentación para que pueda ser llevada a la planta de benceno. El pretratamiento de la alimentación consiste en un tren de enfriamiento compuesto por cuatro intercambiadores de calor, seguido de un separador de fases horizontal que separa la mayor parte de hidrógeno y metano de la alimentación, siendo la corriente líquida del separador introducida en una columna estabilizadora que terminará de

eliminar el hidrógeno y metano residuales y no admisibles para alimentar la planta de benceno.

- Zona de obtención de benceno:

Es la zona encargada de separar el benceno de la mezcla benceno tolueno y difenilo que sale de la planta objeto de este proyecto. La unidad principal de esta planta es una columna de rectificación en la cual se obtiene por cabezas benceno de muy alta pureza y por colas una mezcla de tolueno y difenilo. El diseño de esta planta va a ser llevado a cabo por D^a. Juliana Jiménez Tocino, cuyo proyecto “Diseño de una una columna de rectificación para la separación de benceno a partir de una mezcla benceno-tolueno-difenilo” fue aprobado por la Comisión de Proyectos Fin de Carrera del día 14 de diciembre de 2009.

- Zona de recuperación de tolueno:

En esta zona se separa el tolueno del difenilo, de manera que pueda ser llevado de nuevo a la zona de reacción para su reaprovechamiento en el reactor. En esta planta la unidad principal vuelve a ser una columna de rectificación, en la cual se obtiene una corriente rica en tolueno por cabeza de columna y una corriente rica en difenilo por colas de columna. El diseño de esta planta ha sido llevado a cabo y defendido en la convocatoria de Diciembre de 2010 por D. Ignacio Gutiérrez Gamero, siendo el título del proyecto: “Diseño de una columna de rectificación para la purificación de tolueno a partir de una mezcla tolueno-difenilo-benceno”.

- Zona de recuperación de hidrógeno:

El hidrógeno es un producto con mucho valor dentro de una refinería, por lo que es necesario realizar un reaprovechamiento del mismo. En la planta de recuperación de hidrógeno, se eliminan los componentes residuales mediante diferentes métodos de separación, obteniéndose una corriente rica en hidrógeno y otra corriente destinada a su reaprovechamiento energético. Esta planta puede ser objeto de un nuevo proyecto fin de carrera.

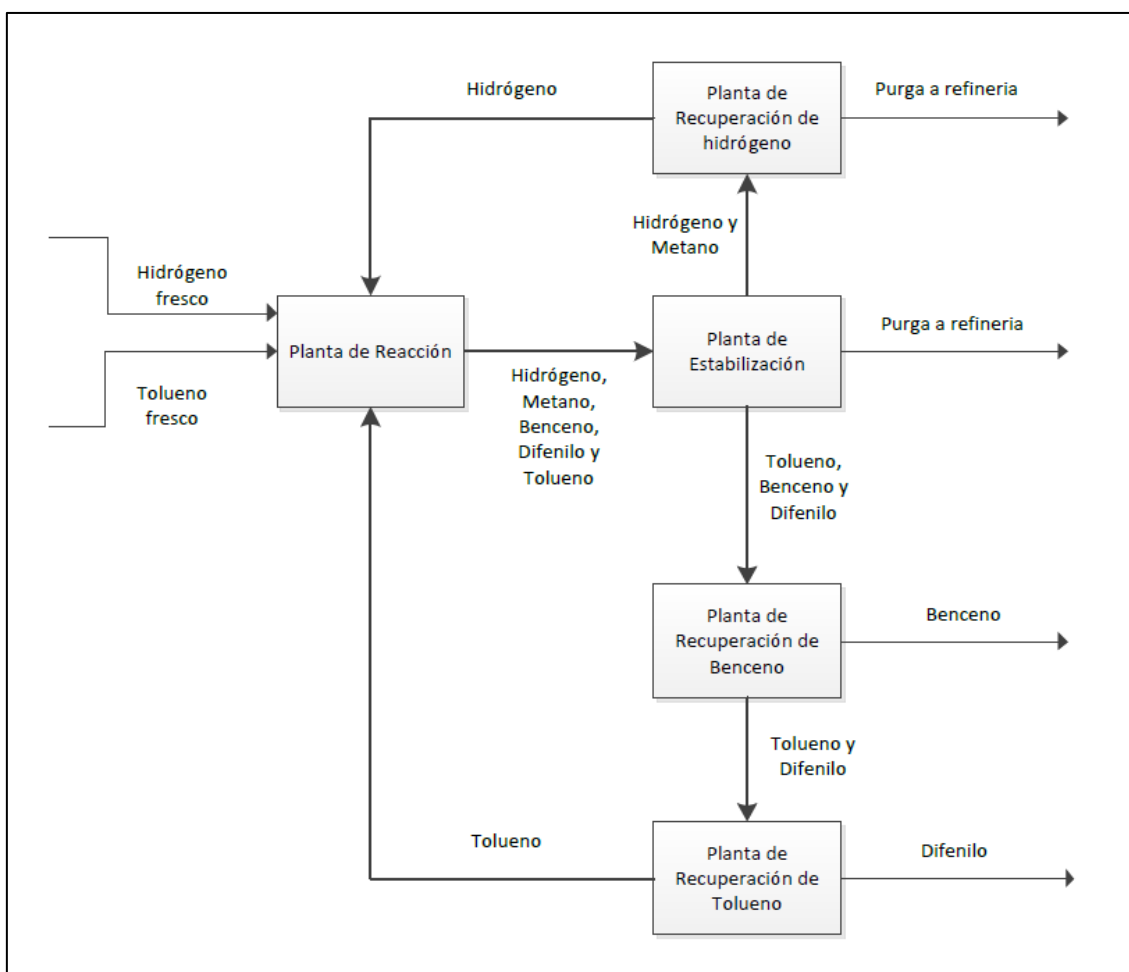


Figura 1.5 Proceso HDA

1.9. Implantación

Es aconsejable situar la planta cerca de la refinería CEPSA en el término municipal de San Roque (Cádiz) debido a cuatro factores fundamentales:

1. El tolueno se obtiene directamente del refino del petróleo y por lo tanto se proporciona directamente desde la planta de aromáticos de una refinería.
2. Los subproductos obtenidos durante el proceso pueden ser vendidos a la propia refinería obteniendo un plus de beneficios.
3. Al estar situada cerca de la costa, la salida y entrada de productos por barco es de gran interés comercial.

4. Es necesario un aporte extra de Benceno en dicha refinería para alimentar la planta de producción de ciclohexano, diseñada por D^a. Esther Camacho Monje y D^a. Rocío Parrado Bolaños.

Otras consideraciones a la hora de situar la planta son:

- A. Debe haber mano de obra cualificada en la zona para construir la factoría y trabajar en ella.
- B. Se tiene que tener en cuenta la presencia de posibles clientes en la zona.
- C. Las comunicaciones por carretera, mar y ferrocarril deben ser buenas.
- D. Hay que considerar las posibles ventajas económicas y fiscales que se pueden conseguir de las autoridades locales y del gobierno.
- E. Posibles quejas debido a los ruidos y al riesgo de explosión en la factoría.

Además, la construcción de una planta industrial origina muchos puestos de trabajo relacionados con ella, además de que otras empresas de servicios y abastecimiento pueden crecer, beneficiándose de la nueva implantación.

Después de considerar todos estos factores, y teniendo en cuenta la disponibilidad del terreno, se ha decidido que la planta se va a situar en el término municipal de San Roque (Cádiz), integrada dentro de la refinería que CEPSA dispone en el mismo.

El polígono se encuentra al sur de la localidad, pegado a la costa.

La elección se justifica por:

- **Importante zona industrial:** La refinería de Gibraltar es uno de los motores de la industria de la bahía de Algeciras.
- **Proximidad a la zona donde se obtiene la alimentación y al lugar donde se puede descargar en caso de que se importe otra refinería.**

- **Excelentes comunicaciones y transportes:** buena comunicación por carretera (A-7 y A-381 para dar salida por carretera dirección Málaga y dirección Jerez - Sevilla). La propia refinería dispone de un puerto donde descargar y cargar mercancías.
- **Disponibilidad de servicios:** La refinería dispone de red de agua potable e industrial, saneamiento, red eléctrica, etc.
- **Disponibilidad de terrenos:** hay suficiente espacio libre para llevar a cabo la implantación.
- **Disponibilidad de mano de obra:** al ser una zona con fuerte presencia industrial, hay suficiente mano de obra cualificada disponible.

1.10. Justificación

Como ya se pudo ver en el apartado 1.4 del capítulo primero de la presente memoria, la mayor parte del benceno producido por CEPSA se destina a la producción de detergentes. La necesidad del presente proyecto queda justificada por la inclusión de una nueva línea de producción de ciclohexano dentro de la refinería CEPSA situada en el término municipal de San Roque (Cádiz), dicha planta de producción de ciclohexano queda recogida íntegramente en el proyecto fin de carrera “Diseño de un proceso para la obtención de ciclohexano”, defendido por D^a. Esther Camacho Monje y D^a. Rocío Parrado Bolaños en la convocatoria de Junio 2009.

Para evitar importar benceno desde el exterior, se requiere de un proceso que aumente la producción del benceno dentro de la propia planta y por lo tanto queda justificada la implantación del proceso HDA.

CAPÍTULO 2: BASES DE DISEÑO

2.1. Capacidad de la planta

La planta de estabilización ha sido diseñada para conseguir una producción máxima de 527.567 toneladas anuales de benceno al 48,8 % de concentración, sin embargo, la capacidad útil de la misma es de 478.134,59 toneladas anuales debido a que la producción máxima considera una operación continua de 24h/día los 365 días del año, lo cual desde el punto de vista de producción sería lo idóneo, pero desde el punto de vista de seguridad no es factible. Con esta producción anual queda asegurado el suministro de la planta productora de ciclohexano, diseñada por D^a. Esther Camacho Monje y D^a. Rocío Parrado Bolaños, el cual asciende a 464.150,31 toneladas de benceno anuales.

El factor de operación de la planta es de 7.920 horas, lo que supone que va a funcionar durante 330 días al año, dejando los 35 restantes para operaciones de mantenimiento y posibles paradas debido a averías. Además, la planta funcionará durante las 24 horas del día. Esto hace que la producción sea de 60,4 tm/h de benceno al 48,8 %.

2.2. Especificaciones de las corrientes principales del sistema

2.2.1. Alimentación

Como ya se ha explicado brevemente en el apartado anterior, la alimentación viene directamente de la planta de reacción (diseñada por D^a M^a del Pilar Moyano Molina), sin tener por medio ningún depósito intermedio, debido a que en las condiciones de presión y temperatura a las que llega es inviable la realización del mismo.

Las principales características que presenta la alimentación, como son la presión, temperatura, fracción molar de vapor, caudal másico y molar, así como su composición en fracción molar, pueden ser consultadas en la siguiente tabla (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Especificaciones de la alimentación al sistema

	<i>Alimentación</i>
Presión (bar)	35
Temperatura (°C)	537,85
Fracción molar de vapor	1
Caudal másico (kg/h)	173214,0554
Caudal molar (kmol/h)	10190,9856
<i>Fracción molar por componente</i>	
Metano	0,119864
Benceno	0,078986
Tolueno	0,080134
Difenilo	0,000439
Hidrógeno	0,720576

* Las fichas de seguridad de los distintos componentes se encuentran en el Anexo 13.

2.3. Especificaciones de las corrientes auxiliares del sistema

2.3.1. Condensado de alta presión

Esta corriente de agua de condensado de alta presión viene directamente de la refinería y presenta las siguientes características:

Tabla 2.2 Datos de la corriente de condensado de alta presión

	Condensado de alta presión
Presión (bar)	46,09
Temperatura (°C)	258,87
Fracción molar de vapor	0
Caudal másico (kg/h)	97643,7309
Caudal volumétrico (m ³ /h)	125,1323
Caudal molar (kmol/h)	5420,1351

2.3.2. Condensado de media

Esta corriente de agua de condensado de media presión viene directamente de la refinería CEPSA en San Roque (Cádiz) y presenta las siguientes características:

Tabla 2.3 Datos de la corriente de condensado de media presión

	Condensado de media presión
Presión (bar)	10,3
Temperatura (°C)	181,17
Fracción molar de vapor	0
Caudal másico (kg/h)	20316,8470
Caudal volumétrico (m ³ /h)	22,8440
Caudal molar (kmol/h)	1127,7739

2.3.3. Condensado de baja

Esta corriente de agua de condensado de baja presión viene directamente de la refinería y presenta las siguientes características:

Tabla 2.4 Datos de la corriente de condensado de baja presión

	Condensado de baja presión
Presión (bar)	1
Temperatura (°C)	99,63
Fracción molar de vapor	0
Caudal másico (kg/h)	31160,6122
Caudal volumétrico (m ³ /h)	32,5240
Caudal molar (kmol/h)	1729,7037

2.3.4. Agua de refrigeración de baja temperatura

Esta corriente de agua de refrigeración viene de la red de agua de refrigeración de baja temperatura directamente de la refinería y presenta las características recogidas en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Datos de la corriente de agua de refrigeración

	Agua de refrigeración
Presión (bar)	2,5
Temperatura (°C)	7
Fracción molar de vapor	0
Caudal másico (kg/h)	2273920,2394
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2274,7962
Caudal molar (kmol/h)	126223,7157

2.4. Especificaciones esperadas de los productos

2.4.1. Alimentación planta de hidrógeno

El gas que sale del separador de fases, es conducido hasta la planta de recuperación de hidrógeno pasando antes por un intercambiador de calor y presentando las siguientes características:

Tabla 2.6 Especificaciones de la alimentación planta recuperación
Hidrógeno

	<i>Alimentación planta rec. H₂</i>
Presión (bar)	31,24
Temperatura (°C)	54,36
Fracción molar de vapor	1
Caudal másico (kg/h)	36866,0778
Caudal molar (kmol/h)	8530,3910
<i>Fracción molar por componente</i>	
Metano	0,140810
Benceno	0,003125
Tolueno	0,001032
Difenilo	0
Hidrógeno	0,855034

2.4.2. Alimentación planta de benceno

El producto de colas de la columna estabilizadora se corresponde con el principal del proceso, y después de ser enfriado será conducido hasta un depósito de almacenamiento, el cual alimentará a la posterior planta de benceno. Las características de esta corriente son las siguientes:

Tabla 2.7 Especificaciones de la alimentación planta de benceno

	<i>Alimentación planta benceno</i>
Presión (bar)	1
Temperatura (°C)	60
Fracción molar de vapor	0
Caudal másico (kg/h)	135342
Caudal molar (kmol/h)	1583,5072
<i>Fracción molar por componente</i>	
Metano	0,000007
Benceno	0,509101
Tolueno	0,488063
Difenilo	0,002827
Hidrógeno	0,000002

2.4.3. Vapor de alta presión

Este es un subproducto obtenido gracias al aprovechamiento de energía que se lleva a cabo en la planta. Su valor es tanto económico como medioambiental, ya que se utiliza gran parte de la energía que antes se desechaba.

El vapor de alta presión que se va a producir en la planta tiene una presión próxima a los 46,10 bares. Para su obtención se bombea agua de la red de condensado de alta presión de refinería en un intercambiador de calor diseñado para dicho fin.

Las características del vapor de alta presión que se recogen en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Datos del vapor de alta presión

Caudal (kg/h)	97646,73
Temperatura (°C)	258,9
Presión (bar)	46,09
Fracción de vapor	1
Calor latente (kJ/kg)	1664,1
Calor específico (kJ/kg °K)	4,965
Densidad (kg/m ³)	22,48
Viscosidad (Pa·s)	$1,939 \cdot 10^{-5}$

2.4.4. Vapor de media presión

Este es un subproducto obtenido gracias al aprovechamiento de energía que se lleva a cabo en la planta y debido a que con el vapor de alta sigue siendo necesario enfriar aún más el vapor de alimentación a la planta.

El vapor de media presión que se va a producir en la planta tiene una presión próxima a los 13 bares. Para su obtención se bombea agua de la red de condensado de media presión de refinería en un intercambiador de calor diseñado para dicho fin.

Las características del vapor de media presión que se obtiene son:

Tabla 2.9 Datos del vapor de media

Caudal (kg/h)	20316,8470
Temperatura (°C)	181,17
Presión (bar)	10,3
Fracción de vapor	1
Calor latente (kJ/kg)	2014,1
Calor específico (kJ/kg °K)	2,606
Densidad (kg/m ³)	5,19
Viscosidad (Pa·s)	$1,562 \cdot 10^{-5}$

2.4.5. Vapor de baja presión

Este es un subproducto obtenido gracias al aprovechamiento de energía que se lleva a cabo en la planta y debido a que con el vapor de media sigue siendo insuficiente el del vapor de alimentación a la planta.

El vapor de baja presión que se va a producir en la planta tiene una presión próxima un bar. Para su obtención se bombea agua de la red de condensado de baja presión de refinería en un intercambiador de calor diseñado para dicho fin.

Las características del vapor de baja presión que se obtiene son:

Tabla 2.10 Datos del vapor de baja presión

Caudal (kg/h)	31160,61
Temperatura (°C)	99,6
Presión (bar)	1
Fracción de vapor	1
Calor latente (kJ/kg)	2262,2
Calor específico (kJ/kg °K)	2,026
Densidad (kg/m ³)	0,586
Viscosidad (Pa·s)	1,216·10 ⁻⁵

2.4.6. Alimentación red de fuel-gas

Este es un subproducto obtenido en la columna estabilizadora, que se compone principalmente por metano, hidrógeno y en menor medida de tolueno y benceno. Al no presentar un valor comercial dicha corriente se va a proceder a su envío a la red de fuel-gas de refinería para proceder a su aprovechamiento energético.

Las características de esta corriente se pueden ver en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Datos de la alimentación a la red de fuel-gas

	<i>Alimentación red fuel-gas</i>
Presión (bar)	1
Temperatura (°C)	26,04
Fracción molar de vapor	1
Caudal másico (kg/h)	1007,3890
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1914,6938
Caudal molar (kmol/h)	77,1030
<i>Fracción molar por componente</i>	
Metano	0,264117
Benceno	0,070658
Tolueno	0,021835
Difenilo	0
Hidrógeno	0,643390

CAPÍTULO 3: VIABILIDAD DEL PROYECTO

En este capítulo se va a contemplar la viabilidad desde tres puntos de vista fundamentales:

- Viabilidad técnica
- Viabilidad económica
- Viabilidad legal
 - Legislación
 - Normativa

3.1. Viabilidad técnica

3.1.1. Método de estabilización y selección de alternativas

En lo que respecta a la columna estabilizadora esta puede presentar dos configuraciones distintas:

- Columna de rectificación.
- Absorbedor con reboiler.

En la bibliografía (J.M Douglas, 1988) el proceso descrito hace uso de una columna de rectificación para la estabilización de la corriente líquida que sale de un proceso previo de separación de fases. En el presente proyecto se pretende estudiar si es viable la selección de un absorbedor con reboiler en unas condiciones menos severas que las llevadas a cabo en el proceso de rectificación.

3.1.1.1. Estudio sobre el uso de una columna de rectificación

La destilación es una operación unitaria de transferencia de materia entre una fase líquida y otra gaseosa por la que mediante vaporización se consigue separar de una mezcla de dos líquidos el componente más volátil.

La rectificación es el tipo de destilación más empleado en la práctica para separar líquidos volátiles y el más importante en la industria, debido a

la facilidad con que se consigue el enriquecimiento progresivo del vapor y del líquido en los componentes respectivos.

En esencia, el dispositivo de rectificación consta de la columna, un calderín en su base donde hierve continuamente la mezcla de los componentes a separar, da vapor ascendente, y un condensador en la cabeza de la columna que suministra el líquido descendente (reflujo).

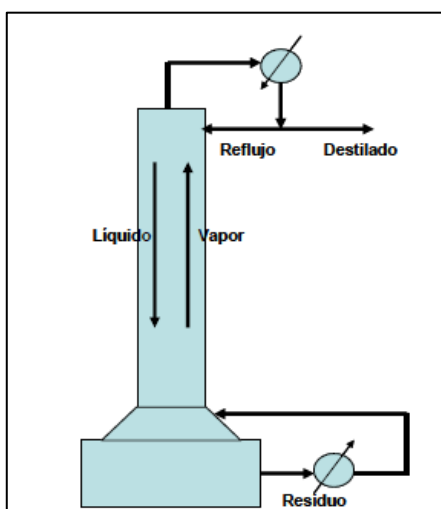


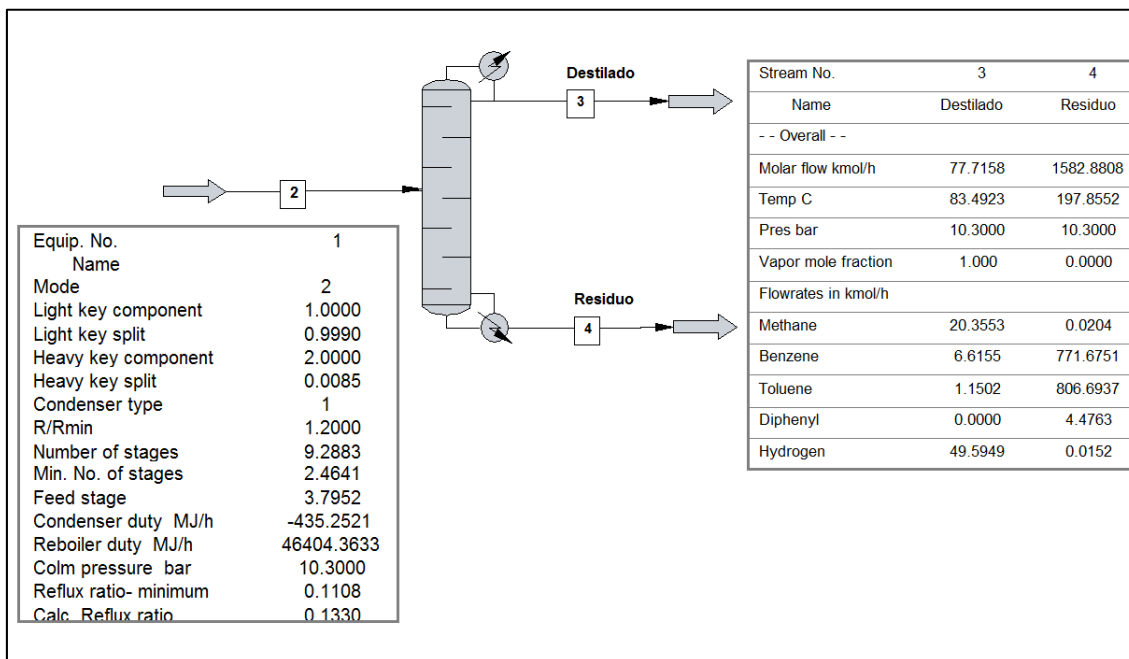
Figura 3.1 Esquema de una columna de rectificación

El fundamento de la rectificación es el contacto sucesivo del vapor ascendente con el líquido descendente cuya concentración no está en equilibrio con el vapor, de forma que para alcanzarlo ha de condensar parte de los componentes menos volátiles del vapor.

Para el caso del sistema estudiado en el presente proyecto se va a proceder a realizar un estudio previo mediante el simulador “CHEMCAD”, donde se obtenga un valor estimado de las variables más importantes de del sistema.

Usando el método aproximado de destilación multicomponente conocido por las siglas FUG, se obtienen los resultados que se muestran a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Resultados FUG (Simulador “CHEMCAD”)



Las variables introducidas en el entorno de simulación simulador han sido obtenidas de la bibliografía presente sobre este proceso (J.M Douglas, ,1988), así como se pueden verse los cálculos justificativos de las distintas unidades predecesoras a la columna estabilizadora en los Anexos de la memoria del presente proyecto fin de carrera.

3.1.1.2. Estudio sobre el uso de una columna de absorción con reboiler

El fundamento de esta unidad es el mismo que el de la columna de rectificación, con la salvedad de que esta columna no presenta un condensador, siendo la alimentación introducida en el plato superior de la columna y siendo el vapor del reboiler el encargado de arrastrar en cada etapa, o plato de contacto, a los compuestos más volátiles de la alimentación. Este tipo de columna funciona básicamente como la sección de agotamiento de una columna de rectificación, o lo que es lo mismo, la sección de columna que queda por debajo del plato de alimentación a columna.

El estudio y diseño de este tipo de columna queda recogido en el anexo 3 del presente proyecto fin de carrera, obteniendo los siguientes resultados que se pueden observar en las tablas 3.2 y 3.3.

Tabla 3.2 Datos del sistema

Corriente	Alimentación	Cabeza	Colas
Temperatura (°C)	25,56	26,04	91,91
Entalpía (MJ/h)	48952	-986,35	65242
<i>Caudales Molares (kmol/h)</i>			
<i>Hidrogeno</i>	49,6102	49,6072	0,0029
<i>Metano</i>	20,38	20,3642	0,0113
<i>Benceno</i>	778,29	5,4479	778,52
<i>Tolueno</i>	807,84	1,6836	765,90
<i>Difenilo</i>	4,4763	0	4,4763
<i>Total</i>	1660,5946	77,1030	1583,4916

* La corriente llamada Colas en este caso representa la salida del último plato de la columna y no la salida del calderín de la misma. El valor de la salida del producto final se puede ver en el Anexo 1 del presente proyecto.

Tabla 3.3 Datos de la columna estabilizadora

Variable	
Número de etapas	3
Calor aportado al reboiler (MJ/h)	15303
Caudal de vapor que sale del reboiler (kmol/h)	323,559
Presión de trabajo (bar)	1

3.1.2. Selección de la mejor alternativa

Como se ha demostrado en los puntos 3.1.1.1. y 3.1.1.2. las condiciones de trabajo de cada alternativa son muy diferentes, siendo el producto final de una calidad similar en ambas. Por lo tanto el mejor método para llevar a cabo la estabilización de la corriente líquida procedente del separador de fases es usar un absorbedor con reboiler, ya

que permite trabajar en unas condiciones menos severas de presión y temperatura además de presentar un menor número de etapas teóricas con el consiguiente ahorro en el coste de inmovilizado de la columna. Otro ahorro presente por el uso del absorbedor es la eliminación del condensador de cabezas, lo que repercute en un ahorro de costes de inmovilizado y una supresión de coste anual de consumo de agua de refrigeración.

3.2. Viabilidad económica

En cualquier proceso productivo existen una serie de costes y beneficios, estos van a quedar recogidos en el documento nº4 del presente proyecto (Presupuesto).

Para la realización del análisis de los costes, se han tenido en cuenta las siguientes partidas:

- Costes de fabricación:
 - Compra de materias primas (Coste de la alimentación a la planta).
 - Servicios auxiliares (Agua de condensando y de refrigeración, electricidad, etc.).
- Honorarios de proyecto.
- Costes de inmovilizado: Los costes debidos a las unidades del proceso incluyendo el coste de su montaje.

En cuanto a los beneficios generados por la planta, estos serán los correspondientes al valor que le da refinería a la alimentación de la planta de hidrogeno y de la planta de benceno, más los beneficios por la venta de vapor producido en la planta.

Para justificar económicamente la planta, esta debe presentar una rentabilidad superior al 15%, la cual se supera ampliamente, como se puede ver en el presupuesto.

3.3. Viabilidad legal

La viabilidad legal viene determinada por la legislación y normativa que el proyecto debe cumplir, tanto a nivel de los productos, como a nivel del proceso de obtención de benceno.

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

3.3.1. Legislación

La legislación aplicable en el presente Proyecto Fin de Carrera es:

- **Ley 31/1995**, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- **Real Decreto 1299/2006**, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro. BOE núm. 302 de 19 de diciembre.
- **Real Decreto 1244/1979**, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión.
- **Real Decreto 1942/1993**, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios.
- **Real Decreto 2267/2004**, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales.
- **Real Decreto 400/1996**, de 1 de marzo. Aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- **Real Decreto 485/1997**, de 14 de abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

- **Real Decreto 773/1997**, de 30 de mayo. Disposiciones mínimas sobre utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- **Real Decreto 1254/1999**, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes.
- **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.
- **Real Decreto 614/2001**, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la seguridad y salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- **Real Decreto de 842/2002**, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- **Decreto 3151/68**, de 28 de noviembre., reglamento de la Línea de Alta tensión.
- **Real Decreto 681/2003**, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- **Reglamento (CE) 1907/2006** del Parlamento Europeo y el Consejo, de 18 de diciembre, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH).
- **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 374/2001**, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- **Real Decreto 1124/2000**, de 16 de Junio, por el que se modifica el Real Decreto 665/1992, de 12 de Mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a

agentes cancerígenos durante el trabajo (B.O.E. núm. 145 de 17 de Junio de 2000).

3.3.2. Normativa

La normativa que se aplica al proyecto ha sido la siguiente:

- Código ASME: En sus diferentes secciones.
- Norma API 650.
- Normas UNE.
- Normas ANSI.
- Normas ISO.

CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

4.1. Introducción

El proceso global del de Hidrodesalquilación térmica del tolueno, está explicado con gran detalle en la bibliografía (J.M Douglas, 1988), de la cual va a ser extraída la parte de interés para la realización del presente proyecto.

El proceso de estabilización de una corriente tiene como objetivo eliminar la presencia de elementos no deseables en la misma, normalmente elementos muy volátiles (gases disueltos). Es en sí un proceso de separación ligado a dos separaciones más, siguiendo la siguiente cronología:

1. Separación de la fase gaseosa de una corriente y la fase líquida en equilibrio a una temperatura y presión dadas mediante un separador de fases.
2. Introducción de la corriente líquida del separador en una columna estabilizadora.
3. Separación o separaciones sucesivas de los distintos componentes presentes en la corriente de interés de la columna estabilizadora mediante el tipo de separador que se requiera para los mismos.

El objeto del presente proyecto se corresponde con el diseño de la columna estabilizadora junto con el separador de fases y las demás unidades auxiliares necesarias.

4.2. Descripción del proceso

El esquema que sigue el proceso puede verse en la figura 4.1, (mayor detalle e la plano nº 1 del presente proyecto).

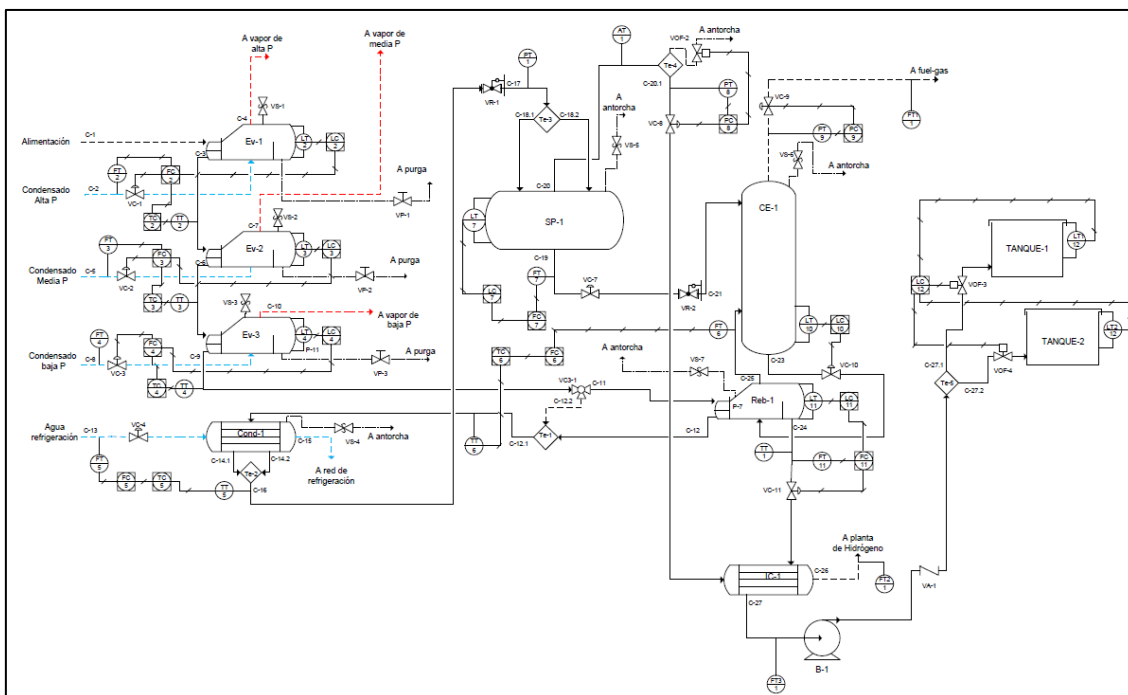


Figura 4.1 Diagrama P&Id del proceso

El proceso global se puede dividir en diferentes secciones:

1. Sección de acondicionamiento de la alimentación y producción de vapor.
2. Sección de separación de fases.
3. Sección de estabilización.
4. Sección de almacenamiento.

4.2.1. Sección de acondicionamiento de la alimentación y producción de vapor

La alimentación al proceso, como se puede observar en la tabla 4.1, se corresponde a una mezcla de vapores de reacción a muy alta temperatura, esta mezcla como tal no es un producto con interés comercial, y por lo tanto es necesario llevar a cabo su acondicionamiento térmico para proceder a separar los distintos componentes de interés presentes en la misma.

Tabla 4.1 Corriente de alimentación

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-1</i>
Presión (bar)	35
Temperatura (°C)	537,85
Fracción molar de vapor	1
Caudal másico (kg/h)	173214,0554
Caudal volumétrico (m ³ /h)	19707,9200
Caudal molar (kmol/h)	10190,9856
<i>Fracción molar por componente</i>	
Metano	0,119864
Benceno	0,078986
Tolueno	0,080134
Difenilo	0,000439
Hidrógeno	0,720576

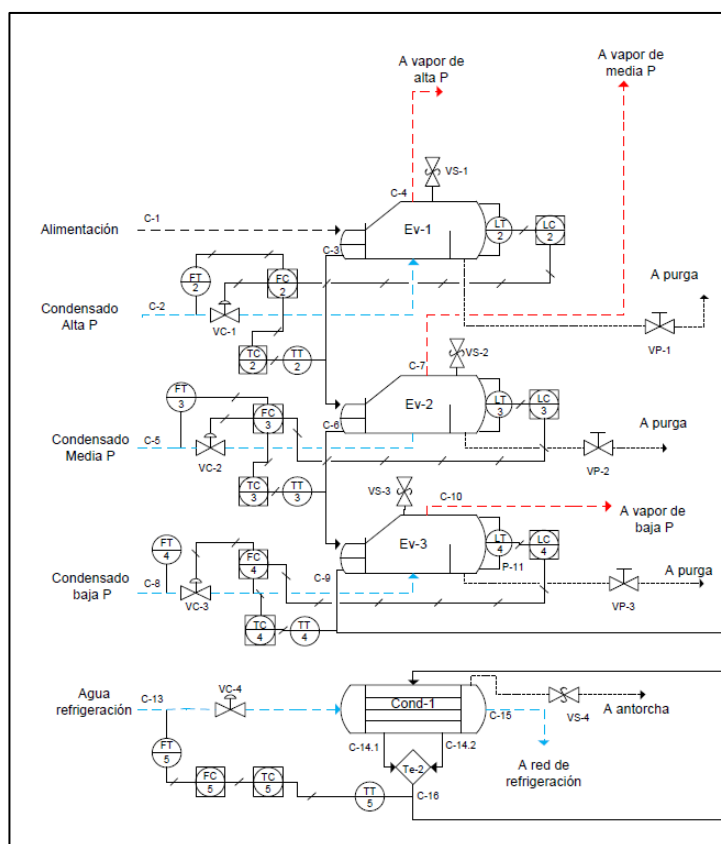


Figura 4.2 Tren de intercambiadores

Para llevar a cabo esto es necesario un tren de intercambiadores (ver figura 4.2) que nos lleven el producto desde una temperatura de 537,85 °C hasta una temperatura de 25 °C.

Este tren está compuesto por tres evaporadores que producen vapor de alta, media y baja presión, más un condensador parcial que usa agua de refrigeración a 7 °C para bajar la temperatura de la alimentación hasta los 25 °C y hacer que condensen gran parte de los compuestos condensables de la alimentación.

4.2.2. Sección de separación de fases

La salida de la alimentación del condensador parcial es conducida hasta un separador de fases, siendo descomprimida ligeramente hasta llevarla a los 32 bares de operación del separador.

Este separador consiste en un depósito con un tiempo de residencia suficientemente grande para lograr la separación de la fase vapor de la fase líquida.

Del separador de fases salen dos corrientes, una líquida (C-19) y otra gaseosa (C-20).

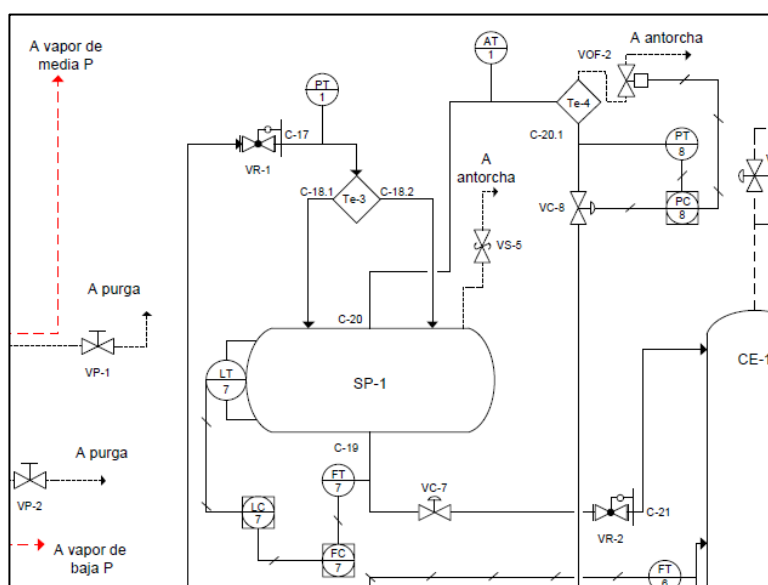


Figura 4.3 Separador de fases

4.2.3. Sección de estabilización

La corriente líquida que sale del separador de fases es rica en benceno y tolueno, pero contiene cierta cantidad de hidrógeno y metano, los cuales saldrían por cabeza de columna junto al benceno en una hipotética columna de separación de benceno-tolueno. Como el benceno tiene unas especificaciones de pureza del 99,9% es inadmisibles la presencia de estos compuestos en el mismo, y por lo tanto se procederán a eliminar en una columna estabilizadora.

De esta columna se van a sacar dos corrientes, una rica en metano e hidrógeno por cabezas (con algo de benceno) y otra corriente rica en benceno y tolueno exenta casi en su totalidad de hidrógeno y metano.

Como equipos anexos a la columna se pueden encontrar bombas de impulsión, reboilers de cualquier tipo y condensadores parciales o totales, esto dependerá del tipo de diseño que se seleccione para llevar a cabo la columna.

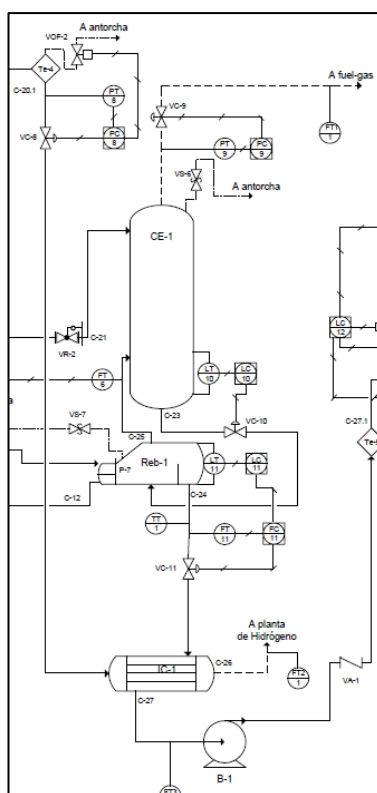


Figura 4.4 Columna estabilizadora

4.2.4. Sección de almacenamiento

En esta sección se encontrarán los tanques de almacenamiento de producto. Estos tanques no serán excesivamente grandes, ya que el producto estabilizado no es en sí un producto comercial, sino un producto que alimenta a otra unidad la cual no es objeto de este proyecto fin de carrera.

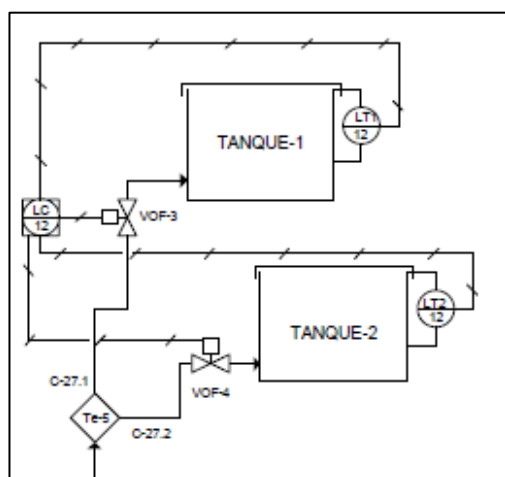


Figura 4.5 Tanques de almacenamiento

CAPÍTULO 5: UBICACIÓN DE LA PLANTA

5.1. Selección de la ubicación

Como ya se abordó en el capítulo 1 de la presente memoria, la ubicación idónea de la planta debe ser anexa a la refinería Gibraltar- San Roque del grupo CEPSA, situada en la bahía de Algeciras.



Figura 5.1 Vista satélite de la refinería Gibraltar-San Roque
(Google Maps)

Las comunicaciones del sitio elegido son muy satisfactorias, ya que la disponibilidad de un muelle de carga y descarga de productos le da una gran versatilidad a la salida de los mismos hacia el exterior y por lo tanto abre una puerta al mercado exterior. Por su parte la comunicación por carretera de cara al comercio interior es también muy satisfactoria, debido a la cercanía de la autovía del mediterráneo A-7 y la autovía A-381 Jerez-Los Barrios que une con la autopista A-4 Cádiz-Sevilla. Por último cabe destacar que CEPSA está en contacto con RENFE para intentar que en un futuro próximo llegue una línea férrea a la propia refinería.

5.2. Suministros a la planta

El proceso completo de Hidrodesalquilación térmica estará integrado dentro de la refinería, siendo la planta de reacción aquella que suministre la alimentación a la planta diseñada en este proyecto.

Por su parte la propia refinería se encargará de aportar las líneas auxiliares necesarias, así como de recibir los productos secundarios del proceso descrito en este proyecto.

5.2.1. Suministro de energía

Por las características propias del proceso tratado en este proyecto, el único suministro que necesitará esta planta es del tipo eléctrico, ya que las necesidades térmicas las suple el propio proceso y no es necesario aporte de combustible ya que no se dispone de ningún horno de proceso.

El suministro eléctrico por lo tanto estará garantizado por la propia refinería, la cual dispone de los medios necesarios de producción eléctrica mediante plantas de cogeneración y una planta de ciclo combinado anexa a las instalaciones de la refinería.

5.2.2. Suministro de agua

En el presente proyecto es necesario disponer de cuatro tipos diferentes de agua, estas son las siguientes:

- Agua de condensando de alta presión.
- Agua de condensando de media presión.
- Agua de condensando de baja presión.
- Agua de refrigeración de 7 °C.

La propia refinería será la encargada de aportar y garantizar el suministro de esas cuatro corrientes de aporte al sistema.

5.3. Consideraciones ambientales

En general, el clima de la zona del Campo de Gibraltar se puede definir como templado, de transición entre el mediterráneo y el oceánico, caracterizado por unas condiciones de temperaturas suaves y regulares y por precipitaciones irregulares, influenciadas por el régimen de vientos.

5.3.1. Temperaturas

El clima de la zona elegida es bastante bueno para situar una planta química, ya que no presenta cambios bruscos de temperaturas, presentando la siguiente distribución de temperaturas a lo largo del año:

Tabla 5.1 Temperaturas medias mensuales año 2010
(Mancomunidad Gibraltar)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura diaria máxima (°C)	16.1	16.7	17.8	18.9	21.7	24.4	27.2	27.8	26.1	21.7	18.9	16.7	21.2
Temperatura diaria mínima (°C)	11.1	11.1	12.2	13.3	15.6	17.8	20.0	20.6	20.0	16.7	13.9	12.2	15.4
Precipitación total (mm)	121.9	106.7	106.7	66.0	38.1	10.2	0.0	2.5	25.4	76.2	149.9	132.1	835.7

Como se observa en la tabla 5.1 las temperaturas son bastante suaves, sin ser demasiado calurosas en verano ni muy frías en invierno, con el consiguiente ahorro energético.

5.3.2. Vientos

Los dos vientos predominantes en el estrecho de Gibraltar son el levante y el poniente, siendo sus velocidades medias normalmente inferiores a los 80 km/h, aunque se han llegado a dar rachas de 180 km/h, por lo tanto se tendrá en cuenta a la hora del diseño de las unidades.

5.3.3. Lluvias

Como puede verse en la tabla 5.1 las precipitaciones acumuladas en el año 2010 fueron de 835,7 mm. El área de la bahía de Algeciras no es una

zona muy lluviosa y por lo tanto esto no será un problema en el diseño del proyecto.

5.3.4. Suelo

Los dos tipos de suelos más característicos de la zona son la tierra parda forestal, en la zona de las Sierras, y el lehm margoso, que ocupa la zona de las colinas. En general, los suelos de la zona presentan un grado de erosión moderado.



Figura 5.2 Vista a helicóptero del campo de Gibraltar

CAPÍTULO 6: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

6.1. Restricciones y limitaciones en la implantación de las unidades del proceso

La posición de los equipos entre sí se hace atendiendo a unas restricciones particulares dadas por la propia CEPSA, estas restricciones se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 6.1. Distancias mínimas entre equipos especificaciones de CEPSA

Distancia (m)	Compresores	Reactores y recipientes	Intercambiadores de calor	Aéreos	Bombas
Compresores	3	-	-	-	-
Reactores y recipientes	9	*	-	-	-
Intercambiadores de calor	9	*	1,5	-	-
Aéreos	9	6	4,5	-	-
Bombas	9	3	3	3	2

* Para diámetros de equipo inferiores a 3 metros estarán como mínimo a 2,5 metros de cualquier otro equipo. Para diámetros de 3 a 5 metros la distancia mínima será de 3 metros. Por último para diámetros superiores a 5 metros la distancia mínima será de 4 metros.

Respecto a los tanques de almacenamiento, la distancia mínima entre un tanque y otro adyacente será como mínima igual al diámetro mayor del tanque. La distancia a cualquier otra zona de proceso será como mínimo de 9 metros, y la distancia mínima desde el tanque al muro del cubeto será como mínimo igual al radio del tanque.

6.2. División de la planta

Con motivo de las restricciones anteriores se va a proceder a dividir la planta en cuatro secciones principales en función de las dimensiones de las unidades presentes:

- **Tren de enfriamiento de la alimentación:**

Este tren de intercambiadores está compuesto por tres reboilers tipo Kettle y un condensador parcial, cada uno de ellos situados a una distancia de 1,5 metros de cada uno.

- **Zona del separador de fases:**

El separador de fases es la unidad más grande del proceso y por lo tanto ocupa una gran extensión, la zona del separador de fases estará a una distancia horizontal de 3 metros del tren de intercambiadores de calor y otros tres metros de la zona de la columna estabilizadora.

- **Zona de la columna estabilizadora:**

En esta zona se encuentra la columna estabilizadora, junto a dos intercambiadores de calor, el reboiler encargado de vaporizar parcialmente la salida de la columna y un intercambiador de calor encargado de enfriar el producto a almacenar en los tanques. La distancia entre esta zona y la del separador de fases será de 3 metros, siendo la distancia de la columna estabilizadora con cada intercambiador de calor igual a 2,5 metros.

- **Zona de almacenamiento:**

Esta es la zona donde irán colocados los tanques, la distancia entre el cubeto y la zona de la columna estabilizadora será de 9 metros.

Todas estas medidas están recogidas dentro de los planos del segundo documento (Plano nº 3) del presente proyecto.

CAPÍTULO 7: CRITERIOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

7.1. Criterios de diseño de equipos de transferencia de calor

En el presente proyecto por sus características no son necesarios el uso de hornos de proceso y por lo tanto sólo se considerarán los intercambiadores de calor convencionales.

7.1.1. Intercambiadores de calor convencionales

Un Intercambiador de Calor es un equipo utilizado para enfriar un fluido que está más caliente de lo deseado, transfiriendo este calor a otro fluido que está frío y necesita ser calentado. La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos.

Las aplicaciones de los intercambiadores de calor son muy variadas y reciben diferentes nombres:

- *Intercambiador de Calor*: Realiza la función doble de calentar y enfriar dos fluidos.
- *Condensador*: Condensa un vapor o mezcla de vapores.
- *Enfriador*: Enfría un fluido por medio de agua u otro líquido refrigerante.
- *Calentador*: Aplica calor sensible a un fluido.
- *Rehervidor, reboiler ó calderín*: Es un tipo de cambiador conectado a la base de una torre fraccionadora proporciona el calor de necesario para evaporar parte del líquido que sale de la torre y vuelve a entrar en forma de vapor a la misma. (Los hay de termosifón, de circulación forzada, de tipo kettle,...).
- *Vaporizador*: Un calentador que vaporiza parte del líquido.

7.1.2. Principales tipos de intercambiadores presentes en refinería

En este punto se realiza una descripción de los tipos fundamentales de intercambiadores que se pueden encontrar de forma mayoritaria en una refinería:

- Intercambiadores de doble tubo.
- Intercambiadores enfriados por aire (Aéreos).
- Intercambiadores de tipo placa.
- Intercambiadores de carcasa y tubos.

7.1.2.1. Intercambiadores de doble tubo

Consiste en un tubo o varios tubos pequeños que se encuentran introducidos dentro de un tubo mayor, circulando un fluido por la parte interna y otro por la parte externa del cambiador.

El tubo interior puede presentar una superficie aleteada para mejorar la transferencia de calor.

Estos intercambiadores se utilizan cuando los requisitos de área de transferencia son pequeños.

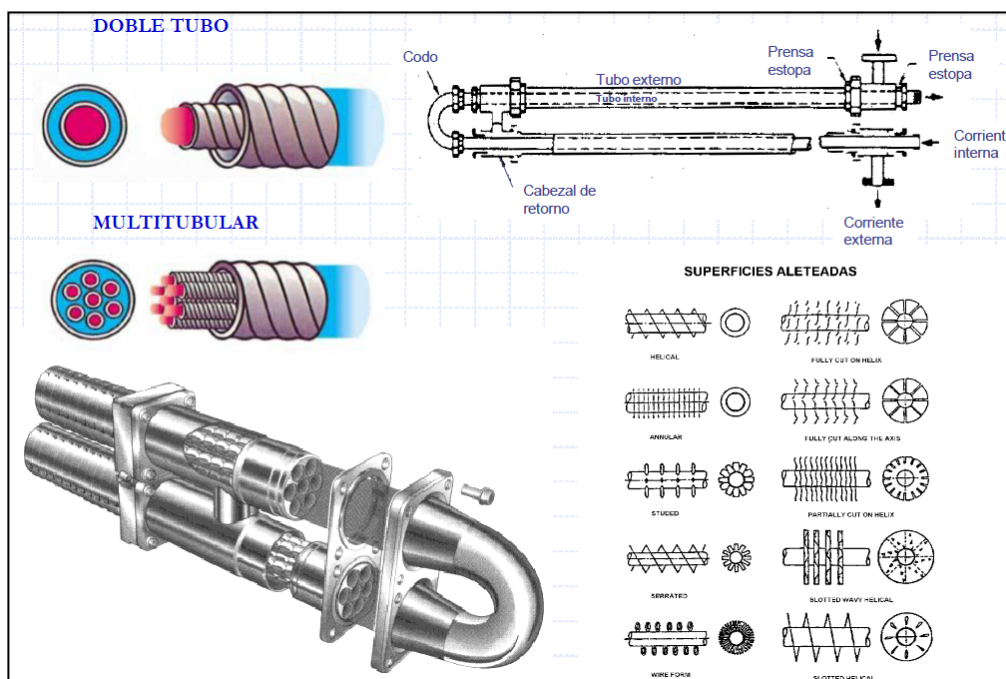


Figura 7.1 Intercambiador de calor de doble tubo

7.1.2.2. Intercambiadores de calor enfriados por aire

Consisten en una serie de tubos situados en una corriente de aire, que puede ser forzada con ayuda de un ventilador para mejorar la transferencia de calor. Los tubos suelen tener aletas para aumentar el área de transferencia de calor.

Estos cambiadores pueden presentar unas longitudes de 40 ft (12 m) de largo y de 8 a 16 ft (2,5 a 5 m) de ancho.

La selección de un intercambiador enfriado por aire frente a uno enfriado por agua es una cuestión económica o de requerimientos del proceso, hay que considerar gastos de enfriamiento del agua, potencia de los ventiladores y la temperatura de salida del fluido a refrigerar.

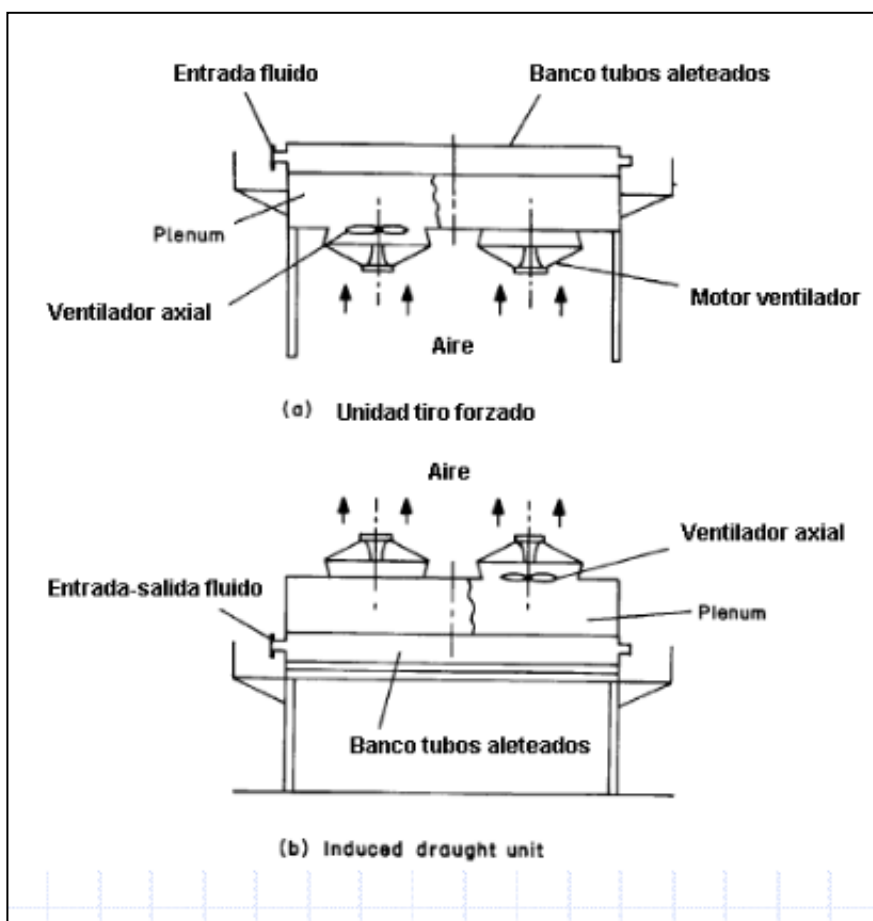


Figura 7.2 Intercambiador aerorrefrigerado

7.1.2.3. Intercambiadores de calor de placas

Los intercambiadores de calor de placas, también llamados intercambiadores compactos, pueden ser principalmente de dos tipos:

- Intercambiadores de tipo placa y armazón (*plate-and-frame*) similares a un filtro prensa.
- Intercambiadores de aleta de placa con soldadura (*plate fin*).

Admiten una gran variedad de materiales de construcción, tiene una elevada área de intercambio en una disposición muy compacta. Por la construcción están limitados a presiones pequeñas.

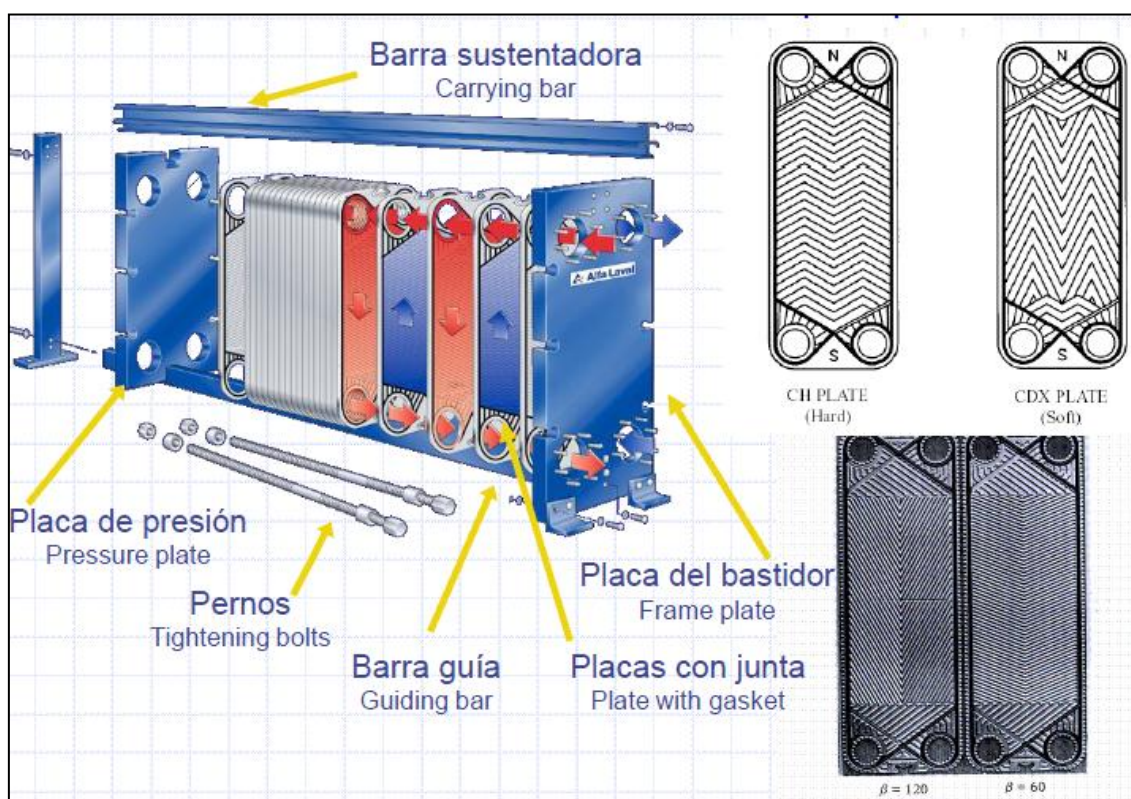


Figura 7.3. Intercambiador de calor de tipo placa y armazón

7.1.2.4. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos

Son los intercambiadores más ampliamente utilizados en la industria química y con las consideraciones de diseño mejor definidas. Consisten en una estructura de tubos pequeños colocados en el interior de un casco de mayor diámetro (carcasa).

Las consideraciones de diseño están estandarizadas por The Tubular Exchanger Manufacturers Association (**TEMA**).

Un intercambiador de calor de casco y tubo conforme a la norma TEMA se identifica con tres letras, el diámetro en pulgadas del casco y la longitud nominal de los tubos en pulgadas.

- La primera letra es la indicativa del tipo del cabezal estacionario. Los tipos **A** (Canal y cubierta desmontable) y **B** (Casquete) son los más comunes.
- La segunda letra es la indicativa del tipo de casco. La más común es la **E** (casco de un paso) la **F** de dos pasos es más complicada de mantener. Los tipos **G**, **H** y **J** se utilizan para reducir las pérdidas de presión en el casco. El tipo **K** es el tipo de rehervidor de caldera utilizado en torres de fraccionamiento.
- La tercera letra indica el tipo de cabezal del extremo posterior, los de tipo **S**, **T** y **U** son los más utilizados. El tipo **S** (cabezal flotante con dispositivo de apoyo) el diámetro del cabezal es mayor que el del casco y hay que desmontarlo para sacarlo. El tipo **T** (Cabezal flotante sin contrabrida) puede sacarse sin desmontar, pero necesita mayor diámetro de casco para la misma superficie de intercambio.

Un ejemplo de cómo se nombra un cambiador de calor según la norma TEMA se puede observar en la figura 7.4.

Entre los distintos tipos de cambiadores de la norma TEMA se va a proceder a destacar los tipos más usuales, siendo la leyenda numérica, la mostrada en tabla 7.1.

Tabla 7.1 Leyenda numérica norma TEMA (Norma TEMA)

1. Cabezal estacionario, canal	21. Cubierta del cabezal flotador, exterior
2. Cabezal estacionario, casquete	22. Faldón de lámina de cierre tubular del flotador
3. Pestaña de cabezal estacionario, canal o casquete	23. Brida del prensaestopas
4. Cubierta de canal	24. Empaque
5. Tobera de cabezal estacionario	25. Anillo seguidor de empaque
6. Lámina estacionaria de tubo	26. Anillo de cierre hidráulico
7. Tubos	27. Bielas y espaciadores
8. Casco	28. Desviadores transversales o placas de apoyo
9. Cubierta del casco	29. Desviador de choque
10. Brida del casco, extremo del cabezal estacionario	30. Desviador longitudinal
11. Brida del casco, extremo del cabezal posterior	31. Separación de paso
12. Tobera del casco	32. Conexión de ventila
13. Brida de la cubierta del casco	33. Conexión de drenaje
14. Junta de expansión	34. Conexión de instrumentos
15. Lámina de cierre tubular del flotador	35. Albardilla de soporte
16. Cubierta del cabezal flotador	36. Talón elevador
17. Brida del cabezal flotador	37. Ménsula de soporte
18. Dispositivo de apoyo del cabezal flotador	38. Vertedero
19. Anillo de cizalla dividida	39. Conexión de nivel de líquido
20. Brida de apoyo dividida	

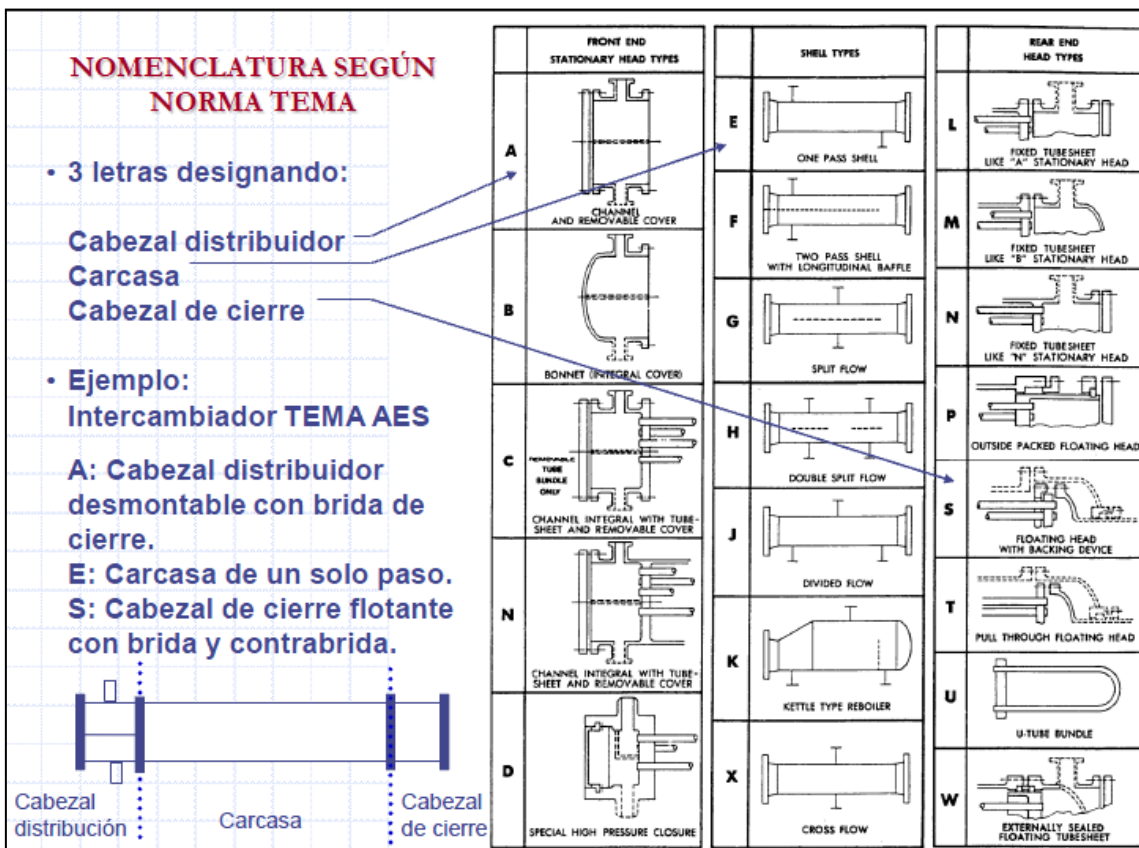


Figura 7.4 Nomenclatura según norma TEMA

Intercambiador de cabezal flotante interno tipo AES

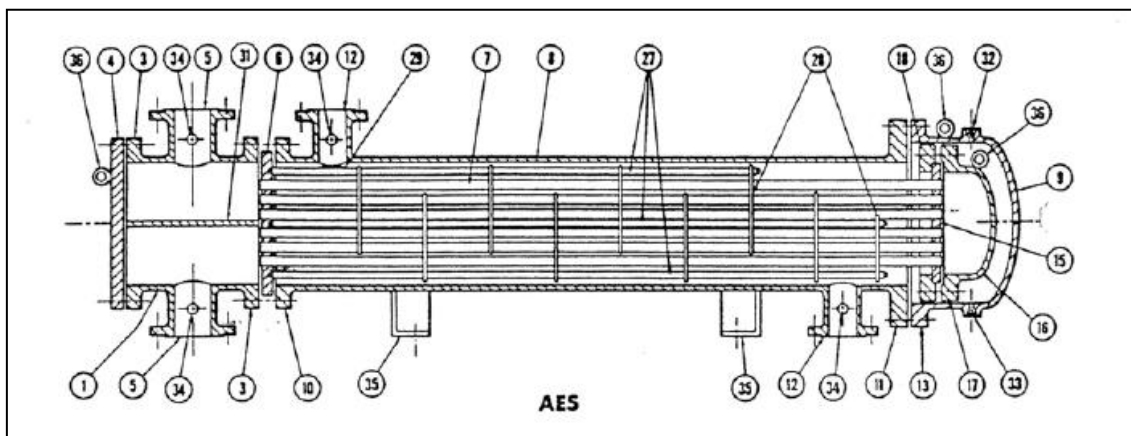


Figura 7.5 Intercambiador tipo AES (TEMA)

Es el modelo más común, tiene casco de un paso, tubos de doble paso con canal y cubierta desmontable, cabezal flotante con dispositivo de apoyo. Presenta desviadores transversales y placas de apoyo.

Sus características son:

- 1.- Permite la expansión térmica de los tubos respecto al casco.
- 2.- Permite el desmontaje
- 3.- Posibilidad de tener 4,6 u 8 pasos por tubo.
- 4.- Los desviadores transversales, con el porcentaje de paso y su separación modifican la velocidad en el casco y su pérdida de carga.
- 5.- El flujo es a contracorriente y a favor de corriente en la mitad de los tubos.

Intercambiador de lámina y tubo fijo tipo BEM

Sus características más importantes son las siguientes:

1. No presenta apenas diferencia entre ambos extremos, es de un solo paso en tubo y casco, lo que limita la velocidad dentro de los tubos, reduciendo por consiguiente el coeficiente de transmisión de calor.
2. Tiene junta de expansión en casco.
3. Imposibilidad de apertura para limpieza en lado del casco.

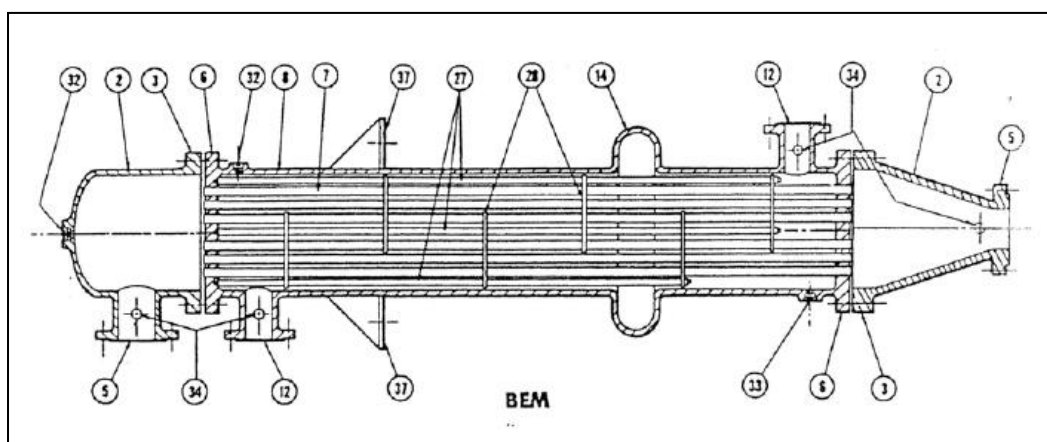


Figura 7.6 Intercambiador tipo BEM (TEMA)

Intercambiador de cabezal flotante exterior tipo AEP

Este modelo permite cierto movimiento del cabezal flotante y puede desmontarse para limpieza. Tiene el inconveniente de necesitar más mantenimiento para mantener el empaquetado y evitar las fugas.

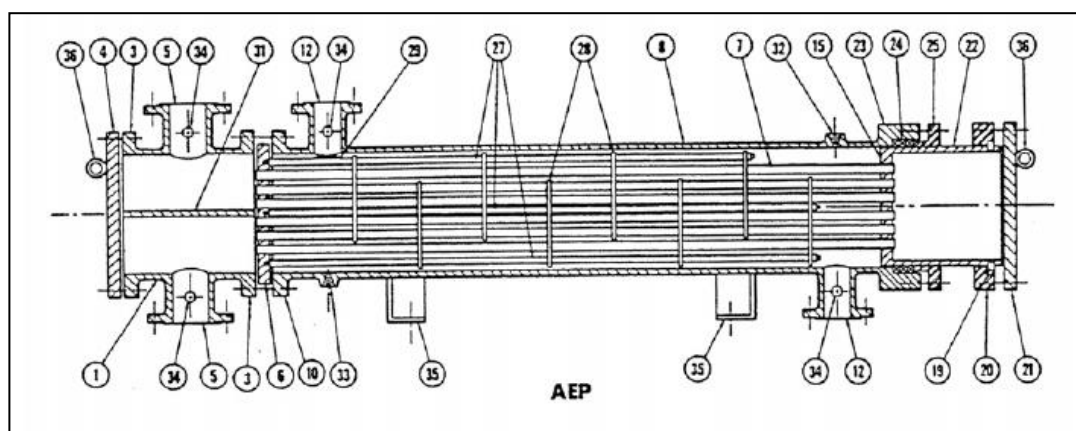


Figura 7.7 Intercambiador tipo AEP (TEMA)

Intercambiador de cabezal y tubos integrados tipo CFU

Entre sus características principales pueden encontrarse las siguientes:

1. Tiene el conjunto de tubos en U lo que permite un fácil desmontaje del conjunto de tubos.

2. Presenta el inconveniente de la dificultad a la hora de sustituir un tubo dañado.
3. Tiene el desviador central unido a la placa de tubos.

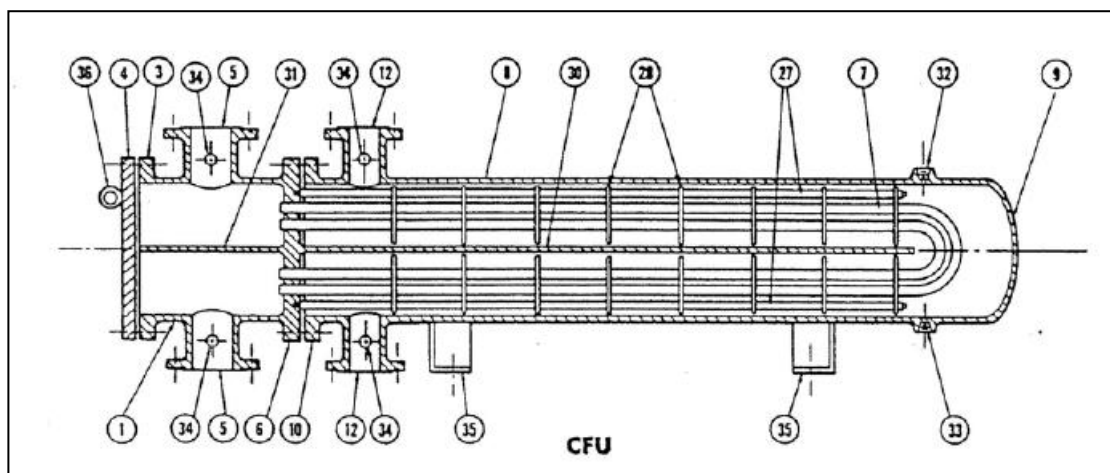


Figura 7.8 Intercambiador tipo CFU (TEMA)

Rehervidor de caldera tipo AKT

Este cambiador se usa tanto como servicio de reboiler en una columna de destilación o absorción, como para enfriar corrientes que están a muy alta temperatura produciendo vapor en el proceso.

Por su configuración presenta unas características idóneas para que se produzca la separación vapor-líquido hirviente.

Presenta la desventaja de que su precio es más elevado que el de resto de cambiadores.

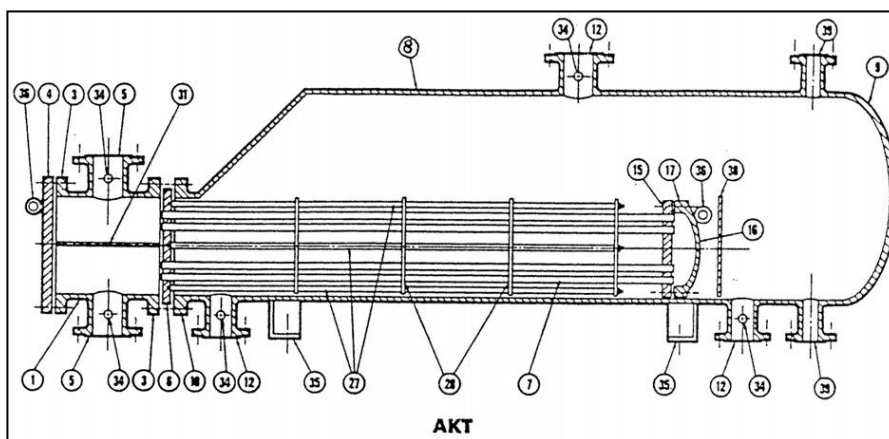


Figura 7.9 Intercambiador tipo AKT (TEMA)

Condensador de flujo dividido tipo AJW

Este cambiador se usa para condensar vapores de manera parcial o total, pues disminuye la pérdida de carga enormemente. La parte de la carcasa se usa para el fluido que va a condensar, siendo el paso por tubos usado por el fluido refrigerante.

Este cambiador presenta un desviador central que divide el flujo en dos.

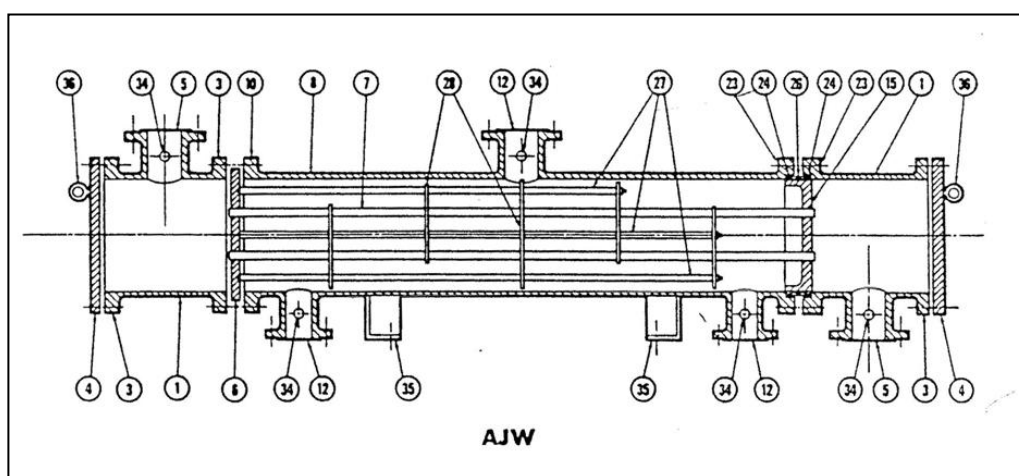


Figura 7.10 Intercambiador tipo AJW (TEMA)

7.1.3. Elección del tipo de intercambiador para cada servicio

Tabla 7.2 Tabla comparativa intercambiadores de calor

Tipo	Presión máx. (bar)	T ^a (°C)	Área (m ²)
<i>Carcas y Tubos</i>	Carcasa: 300 Tubos: 1400	-200 a 600	10-1000
<i>Doble Tubo</i>	Carcasa: 300 Tubos: 1400	-100 a 600	0,25-200
<i>Placas</i>	25-40	-40 a 200	1-2500
<i>Aerorrefrigerado</i>	500	Máx. 600	3-350

El intervalo de presiones del sistema de la planta se encuentra en el intervalo de los 46 bares hasta 1 bar, siendo el de temperaturas un intervalo comprendido entre los 538 °C y los 25 °C. Con estas características y

considerando que los intercambiadores de calor en una refinería son en la mayor parte del tipo carcasa y tubos, se optará por el diseño de intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

El diseño de los cambiadores se recoge en los anexos del presente proyecto y se comprueba para cada uno que el área de intercambio necesaria se encuentra dentro de los valores de la tabla 7.1.

7.1.3.1. Elección del tipo del tren de intercambiadores (Ev-1, Ev-2 y Ev-3)

Estos tres evaporadores son los encargados de enfriar preliminarmente la alimentación, desde 537,85 °C hasta los 110 °C a los que entran al condensador parcial Cond-1.

Se eligen tres evaporadores tipo AKT según la norma TEMA, la selección de estos cambiadores está justificada en que es una manera de producir un producto secundario del proceso como es el vapor de agua en su diferente rango de presiones, otorgándole un valor añadido a la planta considerada. El motivo que sean tres cambiadores es debido a que es inviable enfriar la corriente en un solo cambiador desde 537,85 °C a 110 °C, además el área de intercambio se hace mínima cuando sólo se aprovecha el calor latente del refrigerante, ya sea en forma de condensación o de evaporación.

7.1.3.2. Elección del condensador parcial (Cond-1)

Este servicio necesita establecer una temperatura de salida de la mezcla líquido-vapor de 25 °C por especificación de la planta de Hidrógeno en cuanto al contenido de tolueno y benceno en la corriente, como se puede ver en el capítulo 2 y en el anexo 2 del presente proyecto, la temperatura de entrada de la alimentación al separador de fases es muy influyente en la cantidad de benceno y tolueno que escapa con la fase gaseosa, por lo tanto es inviable el uso de un condensador aéreo ya no sería posible cumplir con las especificaciones esperadas.

Dicho esto el intercambiador de calor elegido por presentar las mejores características para condensar parcialmente una corriente, es el intercambiador de carcasa y tubos tipo AJW.

7.1.3.3. Elección del rehervidor de la columna (Reb-1)

Para este servicio se va a usar un reboiler tipo Kettle (AKT según la norma TEMA), ya que es el más indicado para este servicio por las características que presenta.

7.1.3.4. Elección del enfriador del producto final a tanque (IC-1)

Para este cambiador se ha optado por usar el modelo básico y más usado de todos, ya que cumple las características necesarias para el servicio, este es el cambiador de carcasa y tubos tipo AES.

7.1.3.5. Criterios de selección del fluido que va por tubos y del fluido que va por carcasa

Como condiciones generales se presentan las siguientes:

1. El fluido a mayor presión va por los tubos.
2. El fluido más corrosivo va en los tubos.
3. Los fluidos con mayor capacidad de ensuciamiento va por los tubos.
4. El fluido que requiera de una menor pérdida de presión va por la carcasa.
5. El fluido que condensa va por la carcasa.

Como condiciones particulares para intercambiadores del tipo AKT se presentan la siguiente:

- El fluido a evaporar va por la carcasa.

Como condiciones particulares para intercambiadores del tipo AJW se presentan la siguiente:

- El fluido a condensar siempre por la carcasa.

7.2. Criterios de diseño de equipos de transferencia de materia

7.2.1. Separador de fases

Un separador de fases gas-líquido no es más que un recipiente de proceso con un tiempo de residencia del fluido suficiente para que este se separe en dos fases que están en equilibrio.

7.2.1.1. Selección del tipo de separador

Los separadores de dos fases se pueden orientar de manera vertical u horizontal, presentando las siguientes ventajas y desventajas:

- Separadores Horizontales:
 - Ventajas:
 - Dirección de caída del líquido perpendicular al flujo en lugar de a contra-corriente.
 - Mayor capacidad de líquido.
 - Mejor control de la turbulencia.
 - Mejor uso del volumen de retención.
 - Más fácil de mantener.
 - Mejor para líquidos espumosos.
 - Desventajas:
 - Necesidad de mayor área de la planta.
 - No es bueno si hay gran cantidad de sólidos en el líquido.
 - Los eliminadores de humedad se pueden taponar y romper.
- Separadores verticales:
 - Ventajas:
 - Necesidad de menor superficie que el horizontal.
 - Fácil de limpiar.
 - Bueno para manejo de sólidos en suspensión.
 - Desventajas:
 - Menor capacidad de líquido.

- El líquido fluye a contracorriente del vapor.
- No es bueno para líquidos espumosos.
- Problemas de instalación si es muy alto.

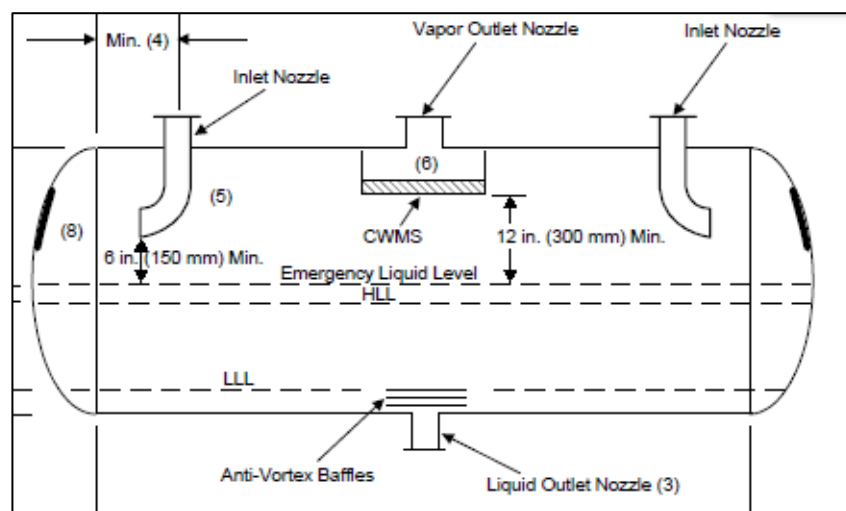


Figura 7.11 Esquema de un separador de fases horizontal

En el presente proyecto sólo se dispone de un separador de fases (SP-1), la selección del tipo de separador se ha hecho mediante las siguientes consideraciones:

1. Por ser un servicio crítico en el que no se puede permitir que llegue líquido a la planta de hidrógeno, se debe instalar un separador de niebla (CWMS).
2. El tiempo de retención entre el nivel de emergencia de líquido (ELL) y el nivel alto de líquido (HLL) será de 10 minutos para este servicio.
3. El tiempo de retención entre HLL y el nivel bajo de líquido (LLL) será de quince minutos, ya que el líquido que sale del separador alimenta a una columna estabilizadora.
4. Por tratar un volumen de alto de líquido (mayor a $2,25 \text{ m}^3/\text{h}$) es necesario usar un separador horizontal.
5. Para mejorar el rendimiento el líquido se dividirá en dos tuberías las cuales entrarán a cada lado del separador.

Las consideraciones previas están hechas en base a unas buenas prácticas de diseño de separadores de fases de CEPESA, así mismo se han usado para llevar a cabo el diseño íntegro del separador en el anexo 2 del presente proyecto.

7.2.2. Columna estabilizadora

En el presente proyecto, se dispone de una sola columna estabilizadora siendo los parámetros más relevantes, a la hora del diseño de la columna, el tipo de plato elegido y el paso.

7.2.2.1. Selección del tipo de platos de la columna estabilizadora

Los platos más comúnmente usados en columnas son los siguientes:

- Platos de orificios: Son los más baratos y se caracterizan por su versatilidad y disponibilidad.

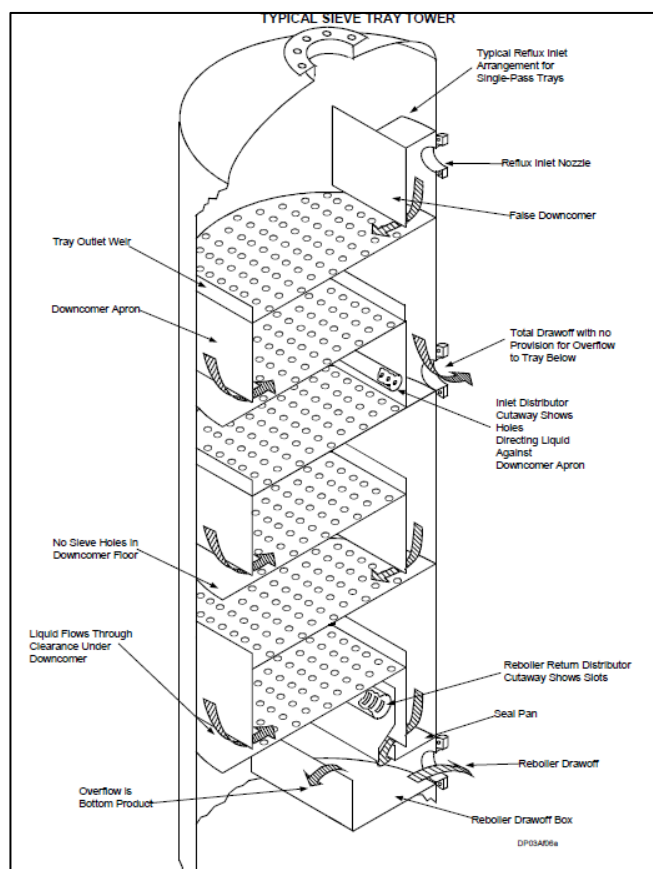


Figura 7.12 Columna típica de platos perforados

- Platos de válvulas: Presentan un bajo bloqueo por vapor y son un 10% caros que los platos de orificios.

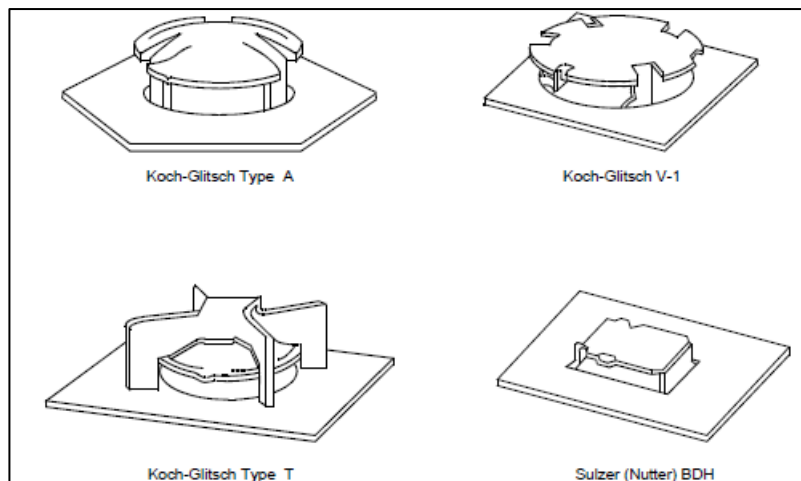


Figura 7.13 Tipos de válvula más comunes

- Platos de campana (Bubble-Cap): Su coste es el más elevado de los tres, se usan en servicios que requieran de un bajo bloqueo y en condiciones en las que no se pueda evitar el lloriqueo en una columna.

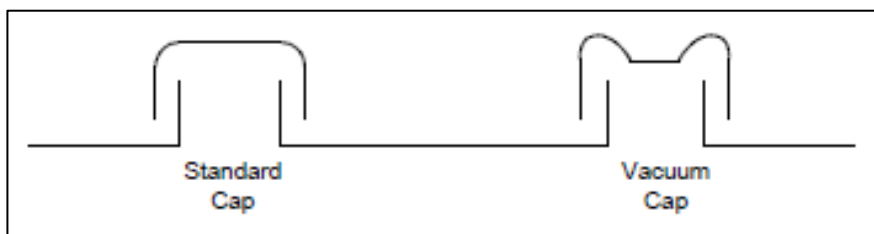


Figura 7.14 Platos de campana normales y para servicios de vacío

En el anexo 3 del presente proyecto se ha procedido a realizar el diseño de la columna estabilizadora. En primera instancia siempre es recomendable usar platos perforados, ya que son los más versátiles y baratos, pero desarrollando el diseño de los mismos se encontró que no era viable, y por lo tanto debido a las condiciones de lloriqueo y de bajo caudal de vapor de la columna, se ha optado por usar platos de campana.

En el presente proyecto, es objeto del mismo el diseño de la columna estabilizadora junto con el separador de fases y los acondicionadores de la alimentación.

7.2.2.2. Selección del tipo de paso de la columna estabilizadora

El tipo de paso establece el método de contacto entre el líquido y el vapor de la columna, siendo el paso de tipo cruzado el más utilizado en la industria. En las columnas de paso cruzado el líquido se mantiene sobre el plato con las perforaciones del tipo que se hayan elegido, entrando en contacto con el vapor que pasa a través de las mismas. El líquido cae de un plato a otro a través del vertedero y en función del caudal del líquido puede ser necesario el uso de más de un vertedero.

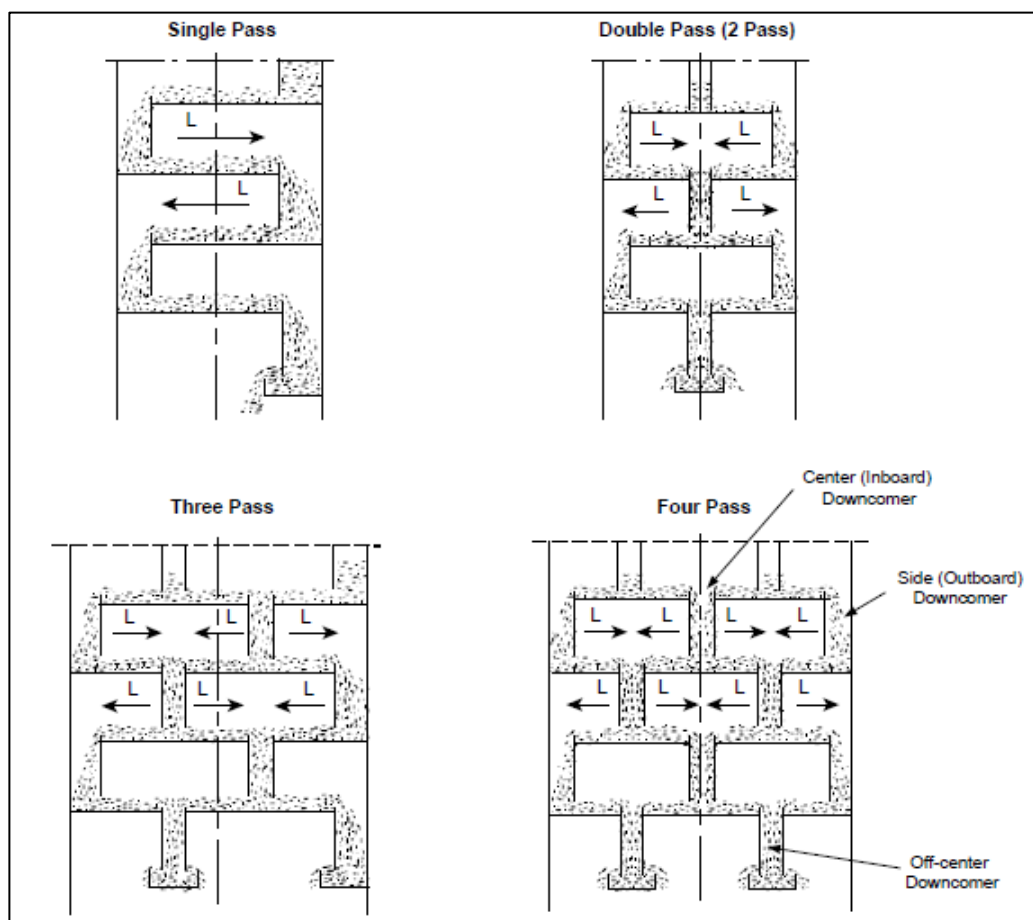


Figura 7.15 Configuración de los platos en función del número de pasos

En el presente proyecto el caudal de líquido que circula por la columna no es excesivamente grande y por lo tanto se diseñará la columna con un solo paso cruzado.

7.3. Criterios de diseño de los depósitos de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento se clasifican en:

- Tanques cilíndricos horizontales.
- Tanques cilíndricos verticales.
- Tanques esféricos.

Para saber el tanque que se debe usar para cada servicio se va a recurrir a la siguiente tabla:

Tabla 7.3 Clasificación de hidrocarburos
(Reglamento de instalaciones petrolíferas R.D. 2085/1994)

		Clasificación de productos petrolíferos		Producto
CLASE A	PV > 1kg/cm ²	A1	T < 0°C	Propano Propileno
		A2		Butano
CLASE B	PI < 55°C (PV < 1 kg/cm ²)	B1	PI < 38°C	Nafta Gasolina Pentano
		B2	PI > 38°C	Disolventes Keronaftas
CLASE C		PI 55° a 100°C (PV despreciable)		Gasoil Fuel-oil Queroseno
CLASE D		PI > 100°C (PV despreciable)		Asfaltos Parafinas Lubricantes

El producto a almacenar es una mezcla de tolueno y benceno principalmente y por lo tanto pertenece a la clase B y dentro de esta clase a la subclase B1, ya que la presión de vapor a la temperatura de

almacenamiento es de $0,37 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ (ver Anexo 11) y el punto de inflamación del benceno y del tolueno es igual a $-11 \text{ }^\circ\text{C}$ y $4 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente (Fichas de seguridad Anexo 13).

Según especificaciones de CEPSA los productos de clase B1 se almacenan en techos de tanque flotante.

El uso de tanques de techo flotante en la refinería está justificado por que dan una solución cómoda y eficaz a las pérdidas por evaporación.

El tanque presenta un techo móvil que se desliza verticalmente dentro del cuerpo del tanque, flotando directamente sobre el producto almacenado, con lo que sigue las variaciones de nivel del líquido. En estas condiciones, la fase vapor que se desprende del líquido es prácticamente despreciable.

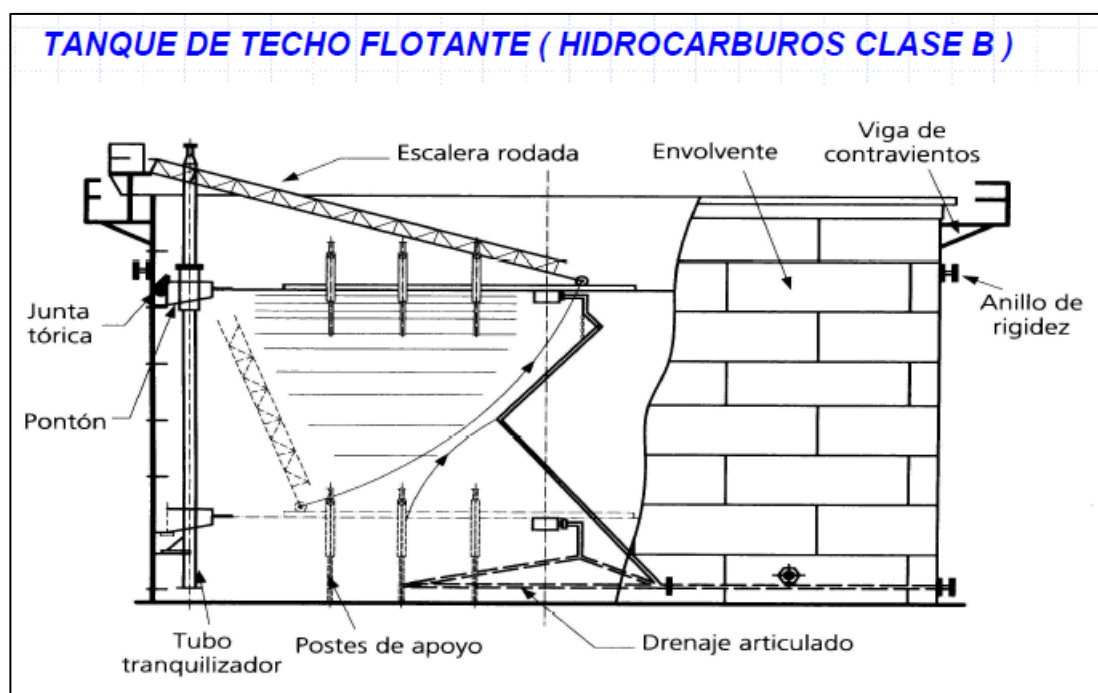


Figura 7.16 Representación de un tanque de techo flotante

El techo flotante también puede ser interno, en cuyo caso existe un techo fijo en el tanque.

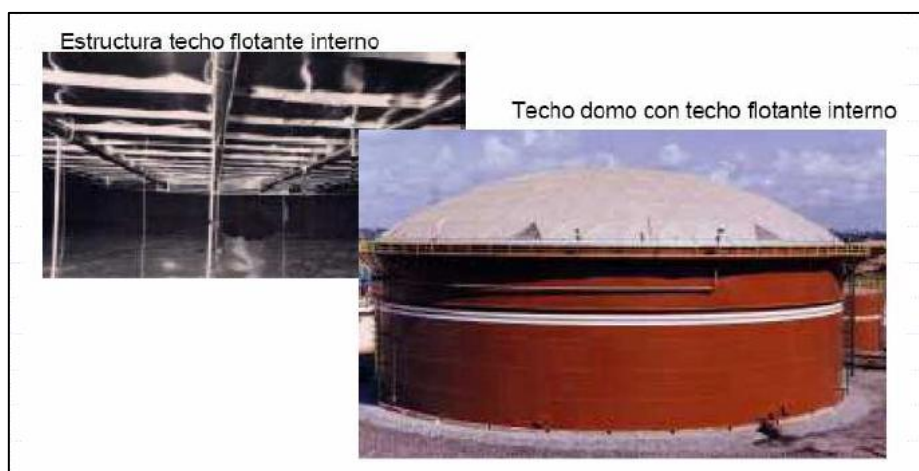


Figura 7.17 Tanque de techo flotante interno

En el presente proyecto sólo son necesarios dos tanques, para el almacenamiento del producto final (mezcla de tolueno benceno y difenilo) y se opta por el uso de dos depósitos verticales de techo flotante, ya que como se ha explicado hasta aquí, es el tipo de depósito más recomendable para el servicio.

7.3.1. Normativa aplicada a los tanques

En España los tanques de almacenamiento de las plantas petrolíferas se diseñan según las normas API (American Petroleum Institute) que hace referencia a los materiales fijados por las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), y se siguen las normas de seguridad dadas por la NFPA (National Fire Protection Association).

La norma API 650 regula los requisitos mínimos para diseño, fabricación, instalación, materiales e inspección de tanques cilíndricos verticales, para almacenar hidrocarburos donde la presión manométrica interna no exceda de 15 psig y cuya temperatura máxima de almacenamiento no exceda a su vez los 93 °C. Se denominan por tanto tanques atmosféricos.

7.4. Criterios de diseño de equipos de impulsión de fluidos

Por las características que presenta el sistema de tuberías (véase Anexo 11), sólo se va a requerir del uso de una bomba.

Para la selección de esta bomba se ha hecho uso de la figura A.11.10. del anexo 11, siendo del tipo centrífuga. Las bombas centrífugas son las más empleadas en la industria gracias a su gran versatilidad, bajo coste y a una operación y mantenimiento sencillos.

Las bombas centrífugas constan de las siguientes partes:

- Tubería de aspiración (D).
- Rodete o impulsor (B), formado por una serie de álabes que giran dentro de una carcasa circular. El rodete se encuentra unido al eje y es la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete que es accionado por un motor, experimentando un cambio de dirección y absorbiendo un trabajo.
- La carcasa o voluta (C) está dispuesta en forma de caracol de tal manera que la separación entra la carcasa y el rodete es mínima en la parte superior y va aumentando hasta que el seno del líquido se encuentra frente a la abertura de impulsión.
- Tubería de impulsión (E).

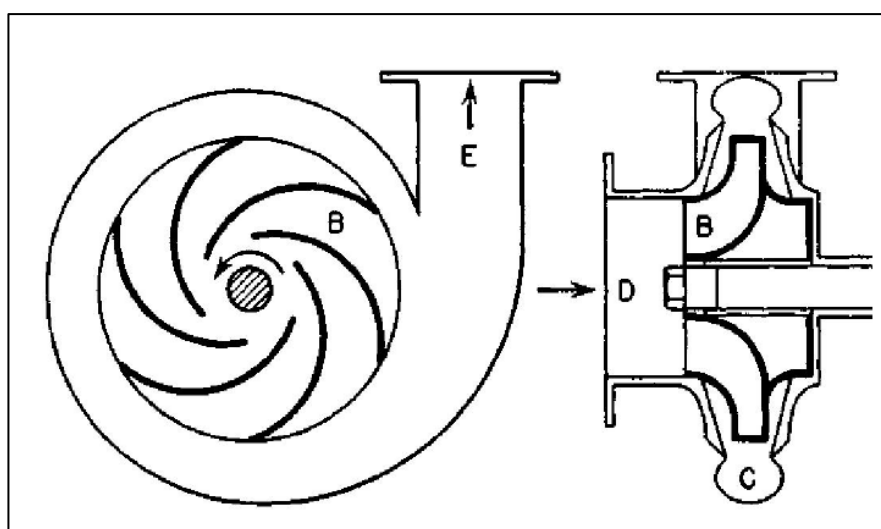


Figura 7.18 Esquema bomba centrífuga

7.5. Criterios de selección de materiales

En la presente planta se usan distintos materiales para la fabricación de equipos de procesos, así como de tuberías y accesorios, principalmente los materiales usados son de dos tipos:

- Acero al carbono.
- Aceros inoxidables.

El uso de uno u otro dependerá de potencia corrosiva que presente el fluido en contacto con dicho material, siendo el criterio económico el que impere en el caso de que no existan problemas por corrosión. Es por esto que ante un fluido que no presente problemas por corrosión se optará por usar acero al carbono, ya que es el material más barato, sin embargo si se presentan problemas por corrosión habrá que evaluar el material más conveniente.

Para el caso de ambientes corrosivos se opta por usar aceros inoxidables de la serie SS 300, que son los más comunes, y entre ellos se pueden diferenciar los siguientes:

Tabla 7.4 Aceros de la serie AISI 300

AISI 304:	(acero 18/8)
AISI 304L:	(acero 18/8 bajo en carbono ;<0,3 %C) El contenido bajo en carbono mejora la soldabilidad del material al disminuir la formación de carburo de cromo en los bordes de grano.
AISI 321:	acero 304 estabilizado con Ti
AISI 347:	acero 304 estabilizado con Nb
AISI 316:	Se añade Mo para mejorar la resistencia a la corrosión en ambientes reductores (cloruros,)
AISI 316L:	316 con bajo contenido en C
AISI 309/310:	Con contenidos en Cr > 25%, dan alta resistencia a corrosión, pero aumenta la debilidad.

Se pueden clasificar en función de su resistencia a la corrosión:

Tabla 7.5 Resistencia específica a la corrosión AISI 300

304	304L	321	316	316L	310
1.0	1.1	1.1	1.25	1.3	1.6

Respecto a la selección de materiales, se diferencian dos zonas:

- Zona de alta temperatura ($T^a > 150$ °C).
- Zona de baja temperatura ($T^a < 150$ °C).

7.5.1. Zona de alta temperatura

Dentro de esta zona se encuentran los tres evaporadores que refrigeran la alimentación a la planta estabilizadora. Esta zona es la más sensible a la corrosión, debido a que se trabaja con fluidos corrosivos y a altas presiones y temperaturas, por lo tanto van a requerir de los siguientes materiales para los fluidos de proceso:

- Agua de condensando en todas sus temperaturas y presiones: Esta agua está especialmente tratada por la refinería y no presenta problemas por corrosión, por lo tanto los materiales en contacto con ella serán hechos de acero al carbono.
- Vapor de agua de alta, media y baja presión: El vapor no presenta problemas por corrosión y por lo tanto los materiales en contacto con el mismo serán de acero al carbono.
- Mezcla gaseosa de benceno, tolueno, difenilo, hidrógeno y metano (alimentación a la planta estabilizadora): Esta mezcla es muy corrosiva, debido a que presenta una gran temperatura, presión y tiene entre sus componentes benceno e hidrógeno, éste último provoca un fenómeno llamado fractura por hidrogeno en los aceros al carbono, y por lo tanto requiere de un acero especial. El material en contacto con este fluido, al presentar una temperatura en la zona considerada mayor a los 150 °C será conformado con acero inoxidable AISI 316L.

7.5.2. Zona de baja temperatura

Dentro de esta zona se encuentran el resto de equipos de la planta. El criterio seguido para los distintos fluidos presentes en la misma es el siguiente:

- Mezcla gaseosa de benceno, tolueno, difenilo, hidrógeno y metano: En esta zona la temperatura de este fluido es ya inferior a los 150 °C, entrando en el separador de fases SP-1 a 25 °C , por lo tanto los materiales en contacto con dicho fluido serán constituidos por acero inoxidable AISI 316.
- Alimentación a la planta de hidrogeno: Esta corriente está formada en su gran mayoría por hidrógeno y metano, la cantidad de benceno es muy pequeña y por lo tanto se optará por usar materiales conformados por acero inoxidable AISI 304L.
- Corrientes con alto contenido en benceno (El resto de corrientes presentes en esta zona): Los materiales en contacto con estas corrientes deberán ser construidos con acero inoxidable AISI 316.

CAPÍTULO 8: SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE VAPOR

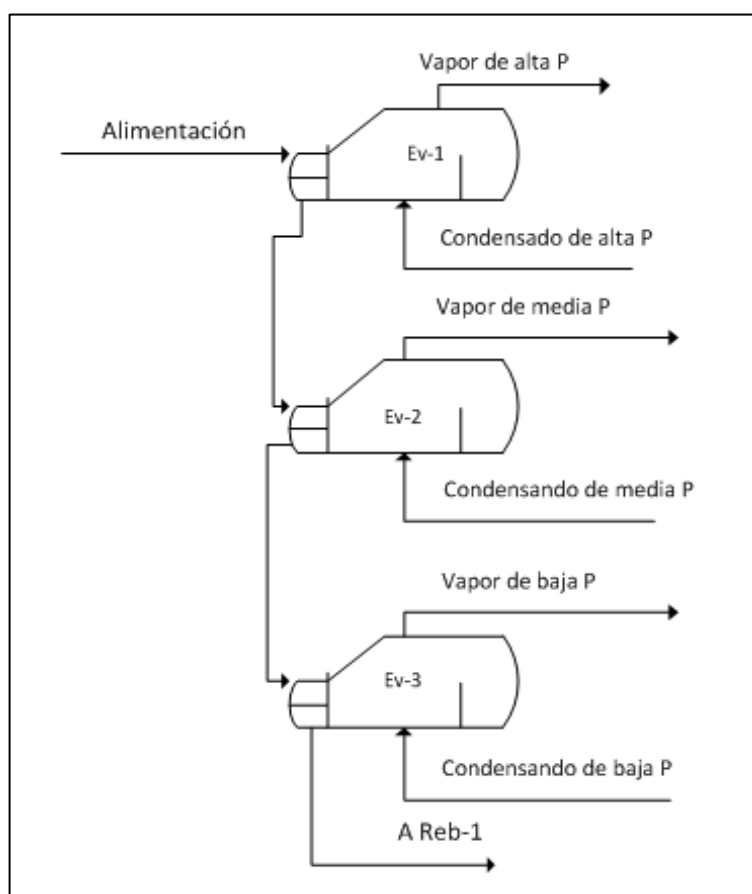


Figura 8.1 Sistema de Producción de vapor

8.1. Introducción

La alimentación al proceso, como ya se ha descrito en el capítulo 2 de la presente memoria, es una mezcla de vapores que provienen de la zona de reacción, esta mezcla se encuentra a una temperatura de 537,85 °C por lo tanto es necesario refrigerarla antes de proceder a la separación de los distintos componentes.

Como ya se justificó en el apartado 7.2.1.2 del capítulo 7, se han seleccionado 3 rehervidores del tipo Kettle (AKT según norma TEMA) como se observa en la figura 8.1.

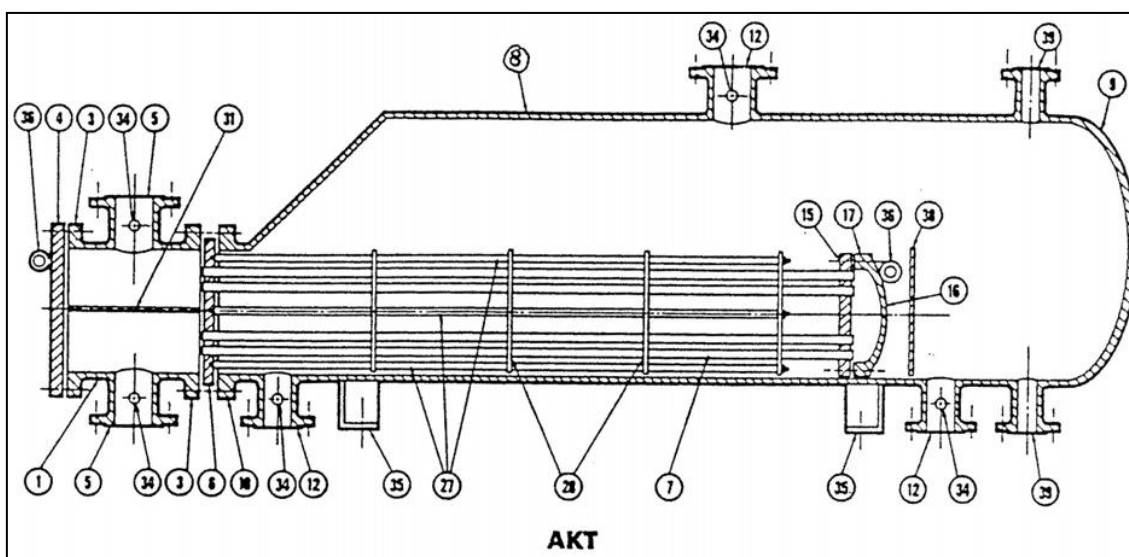


Figura 8.2 Intercambiador tipo AKT

8.2. Evaporador Ev-1

En este intercambiador de calor se procede a refrigerar la alimentación mediante el uso de agua de condensado de alta presión, la cual en el proceso de intercambio de calor pasará a estado gaseoso refrigerando la corriente que alimenta la planta.

8.2.1. Datos del intercambiador de calor

En este apartado va a procederse a exponer las principales características del evaporador, las cuales han sido calculadas en el Anexo 4 de la presente memoria.

8.2.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa

Siguiendo los criterios del apartado 7.1.3. del Capítulo 7 de la presente memoria:

- La alimentación procedente de la planta de reacción es el fluido que circula por los tubos, ya que es el fluido más corrosivo.
- El agua de condensando de alta presión es el fluido que circula por la carcasa, ya que al usar un intercambiador de calor del tipo AKT, el fluido que circula por carcasa es el que pasa a estado gaseoso.

8.2.1.2. Características principales del intercambiador de calor

Las características fundamentales en cualquier intercambiador de calor son las siguientes:

Carcasa

El diámetro de la carcasa va en función del número de tubos que se necesiten en el intercambiador, la carcasa presenta un diámetro de 56 pulgadas. El espesor de la carcasa va en función del material del que está construida, así como de la presión de diseño y para su cálculo se usan las expresiones dadas por el código ASME. El material de construcción de la carcasa es Acero al carbono SA-285, ya que presenta buena resistencia a la temperatura de diseño y no presenta problemas por corrosión con el agua de condensado. La carcasa irá provista de 6 placas deflectoras de tipo segmentadas con un espaciamiento entre ellas de 35,6 pulgadas (0,9 m).

Tubos

Para este cambiador se han usado tubos con un diámetro externo de 0,75 pulgadas, siendo el diámetro interno igual a 0,532 pulgadas (calculado mediante el código ASME) equivalente a un espesor comercial de 12 BWG. La longitud de los tubos es la estándar de 16 pies (4,88 m), presentando una disposición estándar triangular. El cálculo del número de tubos se recoge en el Anexo 4 de la presente memoria, y es igual a 2341 tubos. El material de construcción de los tubos es Acero AISI TP316L, ya que la corriente que pasa a través de los mismos es muy corrosiva y se encuentra a muy alta temperatura, por lo tanto se requiere del uso de acero inoxidable del tipo 316L.

Número de pasos

El número de pasos por tubos es 2, ya que es el más común y no supone una pérdida de carga excesiva. El número de pasos por carcasa al ser del tipo Kettle es igual a uno.

Pitch

Para la selección del Pitch se ha optado por usar el valor estándar proporcionado por la bibliografía (S.M Walas.) este valor es para un pitch triangular igual a 1 pulgada.

Cabezal de distribución

Este elemento recibe el fluido que circula por los tubos y se encarga de distribuirlo y recolectarlo para mandarlo fuera del intercambiador de calor. El tipo de cabezal elegido es el denominado por la letra A según la norma TEMA, un cabeza de canal y carcasa desmontable.

Cabezal de cierre

Este cabezal es el encargado de devolver el fluido de nuevo hacia el cabezal de distribución o mandarlo fuera del cambiador en el caso de que sólo haya un paso por tubos. El cabezal elegido para el cambiador es del tipo T según la norma TEMA, cabezal flotante sin contrabrida.

Envolvente

El tipo de envolvente es el denominado Kettle, tipo K según la norma TEMA.

8.2.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor

Debido a que la unidad presenta una temperatura mayor a los 65 °C, es necesario llevar a cabo su aislamiento para evitar en la medida de lo posible las pérdidas de calor al exterior, así como por seguridad. El material seleccionado es el estándar de lana de roca, ya que cubre las necesidades técnicas del equipo y es el más económico.

El cálculo del espesor de aislante queda recogido en el Anexo 4 del presente proyecto, siendo este de 80 mm para la envolvente y de 150 mm para el cabezal de distribución.

8.2.1.4. Hoja de especificación del cambiador

En este apartado se va a proceder a dar una tabla con los valores más importantes del diseño del cambiador, la cual se ve en la siguiente página:

Tabla 8.1 Hoja de especificaciones Ev-1

Tipo de intercambiador	Carcasa y Tubos
Denominación según norma TEMA	AKT
Características principales	
<i>Tubos</i>	
Material	Acero inoxidable AISI TP316L
Diámetro externo	0,0191 m
Diámetro interno	0,0135 m
Espesor comercial	12 BWG
Longitud	4,88 m
Tipo de Pitch	Triangular
Pitch	0,0254 m
Número de tubos necesarios	2178,64
Número de tubos	2341
Número de pasos por tubo	2
Área de transferencia necesaria	636,28 m ²
Área de transferencia	683,7 m ²
<i>Carcasa</i>	
Material	Acero al carbono SA-285
Diámetro interior	1,422 m
Diámetro rehervidor (d _k)	1,874 m
Espesor comercial	76,30 mm
Número de pasos por carcasa	1
Altura de la barrera (h _w)	1,524 m

Tabla 8.1 Cont.

<i>Deflectores</i>	
Tipo	Segmentados
Número de deflectores	6
Espaciamiento entre deflectores	0,8 m
Espesor deflectores	9,5 mm
<i>Aislamiento</i>	
Tipo de material usado	Lana de roca
Espesor envolvente	80 mm
Espesor cabezal distribución	150 mm

8.3. Evaporador Ev-2

En este intercambiador de calor se procede a refrigerar la alimentación mediante el uso de agua de condensado de media presión, la cual en el proceso de intercambio de calor pasará a estado gaseoso refrigerando la corriente que alimenta la planta.

8.3.1. Datos del intercambiador de calor

En este apartado se van a exponer las principales características del evaporador, las cuales han sido calculadas en el Anexo 5 de la presente memoria.

8.3.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa

Siguiendo los criterios del apartado 7.1.3 del Capítulo 7 de la presente memoria:

- La alimentación procedente del evaporador Ev-1 es el fluido que circula por los tubos, ya que es el fluido más corrosivo.
- El agua de condensando de media presión es el fluido que circula por la carcasa, ya que al usar un intercambiador de calor del tipo AKT, el fluido que circula por carcasa es el que pasa a estado gaseoso.

8.3.1.2. Características principales del intercambiador de calor

Las características fundamentales en cualquier intercambiador de calor son las siguientes:

Carcasa

El diámetro de la carcasa va en función del número de tubos que se necesiten en el intercambiador, la carcasa presenta un diámetro de 42 pulgadas. El espesor de la carcasa va en función del material del que está construida, así como de la presión de diseño y para su cálculo se usan las expresiones dadas por el código ASME. El material de construcción de la carcasa es Acero al carbono SA-285, ya que presenta buena resistencia a la temperatura de diseño y no presenta problemas por corrosión con el agua de condensado. La carcasa irá provista de 5 placas deflectoras de tipo segmentadas con un espaciamiento entre ellas de 41,2 pulgadas (1,05 m).

Tubos

Para este cambiador se han usado tubos con un diámetro externo de 0,75 pulgadas, siendo el diámetro interno igual a 0,532 pulgadas (calculado mediante el código ASME) equivalente a un espesor comercial de 12 BWG. La longitud de los tubos es la estándar de 16 pies (4,88 m), presentando una disposición estándar triangular. El cálculo del número de tubos se recoge en el Anexo 5 de la presente memoria, y es igual a 1391 tubos. El material de construcción de los tubos es Acero AISI TP316L, ya que la corriente que pasa a través de los mismos es muy corrosiva y se encuentra a alta temperatura, por lo tanto se requiere el uso de acero inoxidable del tipo 316L.

Número de pasos

El número de pasos por tubos es 2, ya que es el más común y no supone una pérdida de carga excesiva. El número de pasos por carcasa al ser la misma del tipo Kettle es igual a uno.

Pitch

Para la selección del Pitch se ha optado por usar el valor estándar proporcionado por la bibliografía (S.M Walas, 1990) este valor es para un pitch triangular igual a 1 pulgada.

Cabecal de distribución

Este elemento recibe el fluido que circula por los tubos y se encarga de distribuirlo y recolectarlo para mandarlo fuera del intercambiador de calor. El tipo de cabecal elegido es el denominado por la letra A según la norma TEMA, un cabeza de canal y carcasa desmontable.

Cabecal de cierre

Este cabecal es el encargado de devolver el fluido de nuevo hacia el cabecal de distribución o mandarlo fuera del cambiador en el caso de que sólo haya un paso por tubos. El cabecal elegido para el cambiador es del tipo T según la norma TEMA, cabecal flotante sin contrabrida.

Envolvente

El tipo de envolvente es el denominado Kettle, tipo K según la norma TEMA.

8.3.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor

Debido a que la unidad presenta una temperatura mayor a los 65 °C, es necesario llevar a cabo su aislamiento para evitar en la medida de lo posible las pérdidas de calor al exterior, así como por seguridad. El material seleccionado es el estándar de lana de roca, ya que cubre las necesidades técnicas del equipo y es el más económico.

El cálculo del espesor de aislante queda recogido en el Anexo 5 del presente proyecto, siendo este de 80 mm para una temperatura máxima de operación entre 180 y 310 °C.

8.3.1.4. Hoja de especificación del cambiador

En este apartado se va a proceder a dar una tabla con los valores más importantes del diseño del cambiador:

Tabla 8.2 Hoja de especificaciones Ev-2

Tipo de intercambiador	Carcasa y Tubos
Denominación según norma TEMA	AKT
Características principales	
<i>Tubos</i>	
Material	Acero inoxidable AISI TP316L
Diámetro externo	0,0191 m
Diámetro interno	0,0135 m
Espesor comercial	12 BWG
Longitud	4,88 m
Tipo de Pitch	Triangular
Pitch	0,0254 m
Número de tubos necesarios	1252,71
Número de tubos	1391
Número de pasos por tubo	2
Área de transferencia necesaria	365,86 m ²
Área de transferencia	406,25 m ²
<i>Carcasa</i>	
Material	Acero al carbono SA-285
Diámetro interior	1,067 m
Diámetro rehervidor (d _k)	1,521 m
Espesor comercial	14,30 mm
Número de pasos por carcasa	1
Altura de la barrera (h _w)	1,168 m

Tabla 8.2 Cont.

<i>Deflectores</i>	
Tipo	Segmentados
Número de deflectores	6
Espaciamiento entre deflectores	0,80 m
Espesor deflectores	9,5 mm
<i>Aislamiento</i>	
Tipo de material usado	Lana de roca
Espesor	80 mm

8.4. Evaporador Ev-3

En este intercambiador de calor se procede a refrigerar la alimentación mediante el uso de agua de condensado de baja presión, la cual en el proceso de intercambio de calor pasará a estado gaseoso refrigerando la corriente que alimenta la planta.

8.4.1. Datos del intercambiador de calor

En este apartado se van a exponer las principales características del evaporador, las cuales han sido calculadas en el Anexo 6 de la presente memoria.

8.4.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa

Siguiendo los criterios del apartado 7.1.3. del Capítulo 7 de la presente memoria:

- La alimentación procedente del evaporador Ev-2 es el fluido que circula por los tubos, ya que es el fluido más corrosivo.
- El agua de condensando de baja presión es el fluido que circula por la carcasa, ya que al usar un intercambiador de calor del tipo AKT, el fluido que circula por carcasa es el que pasa a estado gaseoso.

8.4.1.2. Características principales del intercambiador de calor

Las características fundamentales en cualquier intercambiador de calor son las siguientes:

Carcasa

El diámetro de la carcasa va en función del número de tubos que se necesiten en el intercambiador, la carcasa presenta un diámetro de 60 pulgadas. El espesor de la carcasa va en función del material del que está construida, así como de la presión de diseño y para su cálculo se usan las expresiones dadas por el código ASME. El material de construcción de la carcasa es Acero al carbono SA-285, ya que presenta buena resistencia a la temperatura de diseño y no presenta problemas por corrosión con el agua de condensado. La carcasa irá provista de 6 placas deflectoras de tipo segmentadas con un espaciamiento entre ellas de 36 pulgadas (0,91 m).

Tubos

Para este cambiador se han usado tubos con un diámetro externo de 0,75 pulgadas, siendo el diámetro interno igual a 0,532 pulgadas (calculado mediante el código ASME) equivalente a un espesor comercial de 12 BWG. La longitud de los tubos es la estándar de 16 pies (4,88 m), presentando una disposición estándar triangular. El cálculo del número de tubos se recoge en el Anexo 6 de la presente memoria, y es igual a 3343 tubos. El material de construcción de los tubos es Acero AISI TP316L, ya que la corriente que pasa a través de los mismos es muy corrosiva y se encuentra a alta temperatura, por lo tanto es un requisito el uso de acero inoxidable del tipo 316L.

Número de pasos

El número de pasos por tubos es 2, ya que es el más común y no supone una pérdida de carga excesiva. El número de pasos por carcasa al ser la misma del tipo Kettle es igual a uno.

Pitch

Para la selección del Pitch se ha optado por usar un pitch triangular igual a 15/16 pulgadas.

Cabezal de distribución

Este elemento recibe el fluido que circula por los tubos y se encarga de distribuirlo y recolectarlo para mandarlo fuera del intercambiador de calor. El tipo de cabezal elegido es el denominado por la letra A según la norma TEMA, un cabeza de canal y carcasa desmontable.

Cabezal de cierre

Este cabezal es el encargado de devolver el fluido de nuevo hacia el cabezal de distribución o mandarlo fuera del cambiador en el caso de que sólo haya un paso por tubos. El cabezal elegido para el cambiador es del tipo T según la norma TEMA, cabezal flotante sin contrabrida.

Envolvente

El tipo de envolvente es el denominado Kettle, tipo K según la norma TEMA.

8.4.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor

Debido a que la unidad presenta una temperatura mayor a los 65 °C, es necesario llevar a cabo su aislamiento para evitar en la medida de lo posible las pérdidas de calor al exterior, así como por seguridad. El material seleccionado es el estándar de lana de roca, ya que cubre las necesidades técnicas del equipo y es el más económico.

El cálculo del espesor de aislante queda recogido en el Anexo 5 del presente proyecto, siendo este de 80 mm para una temperatura máxima de operación entre 180 y 310 °C.

8.4.1.4. Hoja de especificación del cambiador

En este apartado se va a proceder a dar una tabla con los valores más importantes del diseño del cambiador:

Tabla 8.3 Hoja de especificaciones Ev-3

Tipo de intercambiador	Carcasa y Tubos
Denominación según norma TEMA	AKT
Características principales	
<i>Tubos</i>	
Material	Acero inoxidable AISI TP316L
Diámetro externo	0,0191 m
Diámetro interno	0,0135 m
Espesor comercial	12 BWG
Longitud	4,88 m
Tipo de Pitch	Triangular
Pitch	0,0238 m
Número de tubos necesarios	3103,94
Número de tubos	3343
Número de pasos por tubo	2
Área de transferencia necesaria	906,52 m ²
Área de transferencia	976,34 m ²
<i>Carcasa</i>	
Material	Acero al carbono SA-285
Diámetro interior	1,524 m
Diámetro rehervidor (d_k)	1,972 m
Espesor comercial	7,90 mm
Número de pasos por carcasa	1
Altura de la barrera (h_w)	1,626 m

Tabla 8.3 Cont.

<i>Deflectores</i>	
Tipo	Segmentados
Número de deflectores	6
Espaciamiento entre deflectores	0,8 m
Espesor deflectores	9,5 mm
<i>Aislamiento</i>	
Tipo de material usado	Lana de roca
Espesor cabezal distribuidor	80 mm
Espesor envolvente	50 mm

CAPÍTULO 9: PROCESO DE SEPARACIÓN

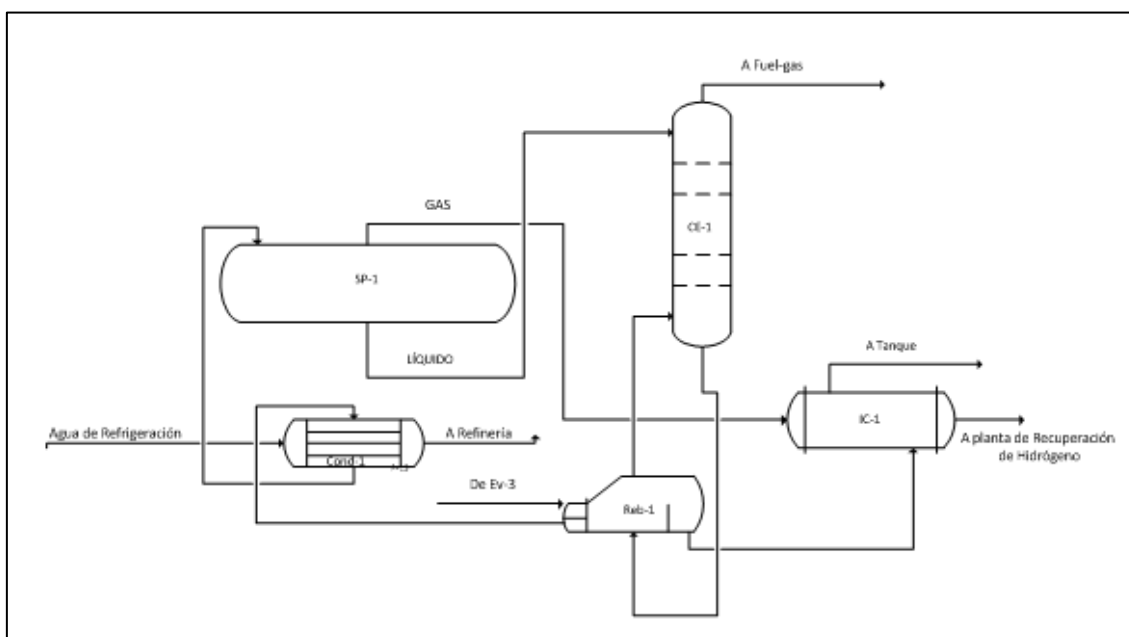


Figura 9.1 Proceso de Separación

9.1. Introducción

Una vez se ha llevado a cabo el aprovechamiento entálpico de la corriente que alimenta al sistema para producir vapor, se va a proceder a llevar a cabo la separación del metano e hidrógeno del resto de componentes, para esto se van a seguir las tres etapas:

1. Acondicionamiento final de la alimentación:

En esta etapa se va a proceder al enfriamiento de la alimentación hasta los 25 °C de manera que condensen la gran mayoría de compuestos condensables. Las unidades encargadas de esto son el condensador parcial Cond-1 y el reboiler de la columna estabilizadora Reb-1.

2. Separación de fases:

Esta etapa va a usar un separador Gas-Líquido horizontal (SP-1) en el cual se van a separar la gran mayoría del hidrógeno y metano presentes en la alimentación, obteniendo una corriente gaseosa rica en hidrógeno y metano, que irá a la planta de hidrógeno, y una corriente líquida rica

en benceno, tolueno y difenilo, la cual será conducida a la columna estabilizadora

3. *Estabilización del producto líquido:*

Llegados a este punto se tiene una corriente líquida procedente del separador de fases SP-1 que contiene en su mayoría benceno y tolueno. El problema de esta corriente es que contiene disueltos cierta cantidad de hidrógeno y metano, lo que llevaría a una contaminación inadmisibles del benceno si se procediera a separarlo del tolueno y difenilo sin llevar a cabo el tratamiento de estabilización. Para proceder a la estabilización de la columna se va a usar una columna estabilizadora, que consiste en un absorbedor con reboiler.

Por lo tanto en el presente capítulo se va a proceder a describir las unidades que se pueden ver a continuación.

- Condensador parcial Cond-1.
- Separador de fases SP-1.
- Columna estabilizadora CE-1.
- Reboiler inundado Reb-1.
- Intercambiador de calor IC-1.

9.2. Condensador parcial Cond-1

En este intercambiador de calor se procede a refrigerar la alimentación procedente de la salida de tubos del reboiler inundado Reb-1 mediante el uso de agua de refrigeración, de manera que condense la gran mayoría de benceno, tolueno y difenilo.

El cambiador es un condensador del tipo AJW según la norma TEMA como ya se justificó en el capítulo 7 apartado 7.1.2.2, siendo el más indicado para el servicio.

9.2.1. Datos del intercambiador de calor

En este apartado se van a exponer las principales características del evaporador, las cuales han sido calculadas en el Anexo 7 de la presente memoria.

9.2.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa

Siguiendo los criterios del apartado 7.1.3. del Capítulo 7 de la presente memoria:

- La alimentación procedente de la salida de tubos del rehervidor Reb-1 es el fluido que circula por la carcasa, ya que es el fluido a condensar.
- El agua de refrigeración por lo tanto es el fluido que circula por los tubos.

9.2.1.2. Características principales del intercambiador de calor

Las características fundamentales en cualquier intercambiador de calor son las siguientes:

Carcasa

El diámetro de la carcasa va en función del número de tubos que se necesiten en el intercambiador, la carcasa presenta un diámetro de 44 pulgadas. El espesor de la carcasa va en función del material del que está construida, así como de la presión de diseño y para su cálculo se usan las expresiones dadas por el código ASME. El material de construcción de la carcasa es Acero inoxidable SA-240 AISI 316, ya el fluido que circula por la misma es una mezcla de líquido y vapor con hidrógeno y benceno, los cuales presentan problemas por corrosión. La carcasa irá provista de 6 placas deflectoras de tipo segmentadas con un espaciamiento entre ellas de 34,4 pulgadas (0,87 m).

Tubos

Para este cambiador se han usado tubos con un diámetro externo de 0,75 pulgadas, siendo el diámetro interno igual a 0,56 pulgadas (calculado mediante el código ASME) equivalente a un espesor comercial de 13 BWG. La longitud de los tubos es la estándar de 16 pies (4,88 m), presentando una disposición estándar triangular. El cálculo del número de tubos se recoge en el Anexo 7 de la presente memoria, y es igual a 1569 tubos. El material de construcción de los tubos es Acero AISI TP316, ya que la corriente de la carcasa es muy corrosiva y por lo tanto requiere del uso de acero inoxidable 316.

Número de pasos

El número de pasos por tubos para este cambiador es 1. El número de pasos por carcasa al ser la misma del tipo J es igual a uno siendo el flujo dividido.

Pitch

Para la selección del Pitch se ha optado por usar un pitch triangular de 1 pulgada.

Cabezal de distribución

Este elemento recibe el fluido que circula por los tubos y se encarga de distribuirlo y recolectarlo para mandarlo fuera del intercambiador de calor. El tipo de cabezal elegido es el denominado por la letra A según la norma TEMA, un cabeza de canal y carcasa desmontable.

Cabezal de cierre

Este cabezal es el encargado de mandar fuera del intercambiador al fluido que circula por tubos. El cabezal elegido para el cambiador es del tipo W según la norma TEMA, cabezal espejo flotante sellado externamente.

Envolvente

El tipo de envolvente es del tipo J según la norma TEMA, envolvente de flujo dividido.

9.2.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor

Debido a que la unidad presenta una temperatura de entrada a la carcasa mayor a los 65 °C, es necesario llevar a cabo su aislamiento para evitar en la medida de lo posible las pérdidas de calor al exterior, así como por seguridad. El material seleccionado es el estándar de lana de roca, ya que cubre las necesidades técnicas del equipo y es el más económico.

El cálculo del espesor de aislante queda recogido en el Anexo 7 del presente proyecto, siendo este de 50 mm para una temperatura máxima de operación entre 75 y 160 °C.

9.2.1.4. Hoja de especificación del cambiador

En este apartado se va a proceder a dar una tabla con los valores más importantes del diseño del cambiador.

Tabla 9.1 Hoja de especificaciones Cond-1

Tipo de intercambiador	Carcasa y Tubos
Denominación según norma TEMA	AJW
Características principales	
<i>Tubos</i>	
Material	Acero inoxidable AISI TP316
Diámetro externo	0,0191 m
Diámetro interno	0,0142 m
Espesor comercial	13 BWG
Longitud	4,88 m
Tipo de Pitch	Triangular
Pitch	0,0254 m

Tabla 9.1 Cont.

Número de tubos necesarios	1555,64
Número de tubos	1569
Número de pasos por tubo	1
Área de transferencia necesaria	454,33 m ²
Área de transferencia	458,23 m ²
<i>Carcasa</i>	
Material	Acero SA-240 AISI 316
Diámetro carcasa	1,1176 m
Espesor comercial	23,80 mm
Número de pasos por carcasa	1
<i>Deflectores</i>	
Tipo	Segmentados
Número de deflectores	6
Espaciamiento entre deflectores	0,8 m
Espesor deflectores	9,5 mm
<i>Aislamiento</i>	
Tipo de material usado	Lana de roca
Espesor	50 mm

9.3. Separador de fases SP-1

Al separador de fases llega una mezcla de líquido y vapor procedentes de la salida de carcasa del condensador parcial Cond-1, esta mezcla será separada en dos corrientes distintas, correspondientes a la fase líquida y fase gaseosa presentes en la alimentación inicial. El separador de fases será horizontal como ya se postuló en el apartado 7.2.1.1 del capítulo séptimo de la presente memoria.

9.3.1. Diseño del separador horizontal

Para el diseño del separador de fases se ha usado una Guía de diseño de separadores Líquido-Vapor de CEPESA, los pasos a seguir han sido recogidos en el Anexo 2 de la memoria del presente proyecto fin de carrera.

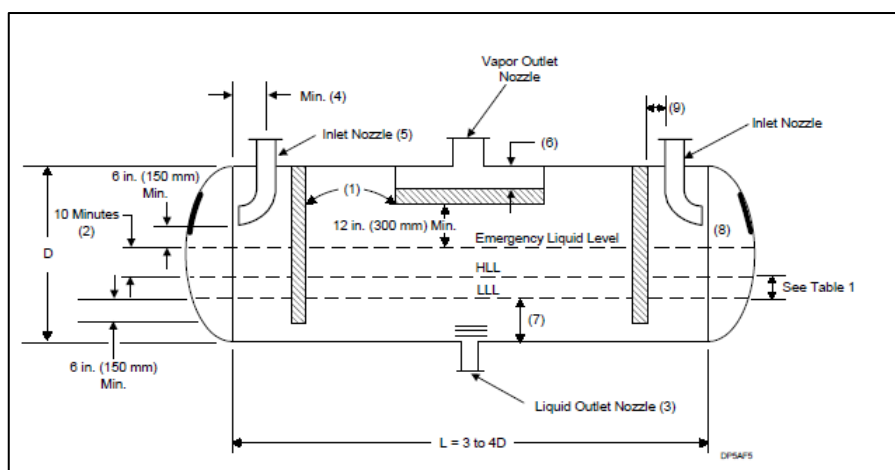


Figura 9.2 Esquema de un separador de fases horizontal

9.3.1.1. Tiempo de retención del líquido

El tiempo de retención entre Nivel de líquido de emergencia (ELL) y HLL será de 10 minutos para el servicio llevado a cabo.

El tiempo de retención entre HLL y LLL será de 15 minutos.

9.3.1.2. Velocidad crítica del vapor

La velocidad crítica se calcula mediante una fórmula empírica como puede verse en el Anexo 2, y esta nos especifica la máxima velocidad superficial de vapor a través del separador.

El área usada para el cálculo de la velocidad del vapor en un separador horizontal se corresponde con el área vertical de la sección disponible entre la parte alta del separador y el nivel de líquido de emergencia ELL, por lo tanto conocida la velocidad crítica, se puede conocer el área que satisface dicha velocidad.

9.3.1.3. Dimensionamiento del separador

Para calcular el diámetro del separador se debe usar un método de prueba y error. En primer lugar hay que asumir un valor de diámetro inicial y junto con la relación L/D (para el caso del presente proyecto, esta relación es igual a 5 según la tabla A.2.3. del anexo 2) se obtienen los parámetros característicos del separador, hasta que se obtenga el área disponible entre la parte alta y el nivel de líquido de emergencia (ELL), el procedimiento se detiene una vez que se ha encontrado el separador más pequeño que satisface el criterio de velocidad crítica.

9.3.1.4. Datos del equipo

En la siguiente tabla quedan recogidos los valores de las dimensiones características del equipo:

Tabla 9.2 Dimensiones características de la unidad SP-1

$h_{\text{Btm-HLL (HLL)}}$	1312 mm
$h_{\text{Btm-ELL (ELL)}}$	1840 mm
h_{LL}	405 mm
h_0	908,5 mm
$h_{\text{CWMS-ELL}}$	301,5 mm
Diámetro del separador	3200 mm
Longitud del separador	16000 mm

9.3.2. Diseño mecánico del separador horizontal

Todo recipiente a presión está formado por la envolvente, dispositivos de sujeción o apoyo del propio equipo, conexiones por las que entran y salen los fluidos, elementos en el interior y accesorios en el exterior del recipiente. A continuación se procede a describir brevemente cada una de estas partes.

Envolvente

Es una envoltura metálica que forma propiamente el recipiente. Como ya se ha indicado, los aparatos cilíndricos son los más utilizados, y en ellos la envolvente está formada, básicamente, por dos elementos: la parte cilíndrica o cubierta (carcasa) y los fondos o cabezales. Si la cubierta está constituida por varios cilindros de diversos diámetros, la unión entre ellos se realiza generalmente por figuras troncocónicas que realizan la transición.

Cubierta

La cubierta está formada por una serie de virolas soldadas unas con otras, entendiéndose por virola un trozo de tubería o una chapa que convenientemente curvada y soldada forma un cilindro sin soldaduras circunferenciales.

La unión de varias virolas forma la cubierta, de forma que la suma de las alturas de los cilindros obtenidos por las virolas sea la requerida por la cubierta.

Las soldaduras de una virola son axiales o longitudinales, ya que están realizadas siguiendo la generatriz del cilindro, al contrario, las soldaduras que unen virolas, o los cabezales con la cubierta, son circunferenciales o transversales, por estar realizadas siguiendo una circunferencia situada, obviamente, en un plano perpendicular al eje del cilindro.

Cuando el diámetro de cubierta es menor de 30 pulgadas se utiliza, normalmente, tubería, y en diámetros superiores se realiza a partir de chapa.

Cuando los espesores requeridos para la cubierta son muy grandes se procede a realizarla con material forjado, o con varias cubiertas de menor espesor embebidas en caliente.

Cabezales

Los cabezales o fondos son las tapas que cierran la carcasa. Normalmente son bombeados, existiendo una gran diversidad de tipos entre ellos, y como excepción existen los fondos cónicos y planos, de muy reducida utilización.

Todos estos fondos se realizan a partir de chapa, a la que mediante estampación se le da la forma deseada, salvo el caso de fondos cónicos y planos.

Tabla 9.3 Características de los fondos típicos

Tipo de Cabezal	Toriesférica ASME	Elipsoidal	Hemisférico
Volumen	$0,08089 D^3$	$0,13075 D^3$	$0,26103 D^3$
Área	$0,931 D_0^2$	$1,08 D_0^2$	$1,57 D_0^2$
Altura	$0,169 D$	$D/4$	$D/2$

* D= diámetro interior, D_0 = diámetro exterior

En todos los fondos se realiza la transición de una figura bombeada a una cilíndrica, que es la cubierta; esta línea de transición, denominada justamente línea de tangencia, está sometida a grandes tensiones axiales que se traducen en fuertes tensiones locales, y éste es el punto más débil del recipiente; por esta razón no es aconsejable realizar la soldadura de unión fondo-cubierta a lo largo de esta línea. Para evitar esta coincidencia, los fondos bombeados se construyen con una parte cilíndrica, denominada pestaña o faldilla, cuya altura mínima h varía según la Norma o Código de cálculo empleado.

9.3.2.1. Diseño de la cubierta

El material usado para la cubierta es acero inoxidable SA-240 AISI 316, ya que es el más indicado para el servicio.

Para el cálculo del espesor de la cubierta se ha seguido el procedimiento dado por el código ASME para recipientes cilíndricos sometidos a presión interna.

9.3.2.2. Diseño de los fondos

Al ser un recipiente horizontal no hay distinción entre fondo superior e inferior, siendo el fondo elegido el de tipo hemisférico, ya que es el más recomendado para altas presiones.



Figura 9.3 Fondo de tipo hemisférico

9.3.2.3. Diseño de las faldillas

Las faldillas tienen un espesor que coincide con el espesor del fondo, así como un diámetro idéntico al de la envolvente o cuerpo principal. En cuanto a la altura de la faldilla se debe tomar el mayor de los valores calculados mediante ecuaciones que relacionan la altura de la misma con el diámetro exterior de la faldilla y el espesor, teniendo en cuenta que la faldilla no puede sobrepasar los 100 mm de altura.

9.3.2.4. Accesorios externos

Soportes de instalación del aislamiento

Cuando la temperatura del fluido interior es superior a 60° C, o bien es un recipiente de proceso sensible a las variaciones de temperatura, se

debe instalar un aislante para impedir la pérdida de calor o evitar el calentamiento del interior, así como por protección personal. Para poder aplicar el aislamiento se sueldan unos anillos que servirán de soporte de las mantas de aislamiento.

Anclajes para aplicación de protección contra incendios

Si un equipo está instalado en una zona donde existe peligro de incendio, se aplica a su parte inferior (soporte normalmente) un cemento que los protege del fuego. Para aplicar este cemento se sueldan unos anclajes que sirven de soporte del cemento antifuego.

Soportes de escalera y plataformas

Cuando se prevé instalar escaleras y plataformas, se sueldan unas pequeñas placas en la envolvente (clips), a las que se atornillan estas escaleras y plataformas para su sujeción.

Al ser un equipo horizontal con un diámetro de 3,2 m, no se necesita la instalación de ninguna escalera.

Soportes para tubería

De igual forma que en el caso de que existiesen para las escaleras, se instalan unos clips para la sujeción de las tuberías que bajan a lo largo del recipiente.

Pescantes

Si el recipiente contiene elementos pesados en su interior, como platos, rellenos, etc., es necesario instalar un pescante en la parte superior del equipo para facilitar la instalación y la retirada de dichos elementos.

El separador horizontal no dispone de relleno ni de platos y por lo tanto no necesita instalación de pescantes.

Boca de hombre

Según el código ASME VIII div 1, los recipientes sometidos a presión y con un diámetro suficiente tal que permita la entrada de una persona deberán disponer de una boca de hombre para que se pueda acceder al interior del recipiente para inspeccionarlo. En este caso al ser el diámetro de recipiente mayor a 36 pulgadas se dispondrá de una boca de hombre de tamaño estándar de 24 pulgadas.

9.3.2.5. Aislamiento del recipiente

Se va a proceder a cubrir el recipiente con un espesor mínimo de lana de roca de 40 mm, para proceder a mantener una temperatura constante de 25 ° C en su interior.

9.3.2.6. Apoyo del recipiente

Los recipientes horizontales se apoyan en el suelo o en la estructura portante por medio de silletas, que pueden ser de acero o de cemento. Las habitualmente utilizadas son las primeras y solamente en casos especiales se instalan silletas de cemento.

Desde los puntos de vista estático y económico, se prefiere el uso de dos silletas únicamente a diferencia del sistema de varios soportes, y esto es válido aun cuando sea necesario usar anillos atiesadores. La ubicación de las silletas la determina a veces la situación de aberturas, resumideros, etc., en el fondo del recipiente. Si no es tal el caso, las silletas pueden situarse en los puntos estáticamente óptimos. Los recipientes de pared delgada y diámetro grande se soportan mejor cerca de las cabeceras, para utilizar el efecto atiesador de las mismas. Respecto a los recipientes largos de pared gruesa, se aconseja soportarlos en donde el esfuerzo flexionante máximo longitudinal sobre las silletas sea casi igual al esfuerzo sobre la mitad del claro. Este punto varía con el ángulo de contacto de las silletas. La distancia entre la línea tangente a la cabeza y la silleta, en ningún caso debe ser mayor de 0,2 la longitud del recipiente.

Con el objeto de no crear tensiones en el equipo, es necesario que éste pueda dilatarse libremente según el eje principal, por lo cual una de las cunas tendrá libre el movimiento en la dirección del eje, mientras que la otra estará fija por los pernos de anclaje.

9.3.3. *Tabla resumen*

Se va a proceder a realizar una tabla resumen con las principales características mecánicas del separador de fases.

Tabla 9.4 Características del separador de fases SP-1

Material del separador	Acero inoxidable SA-240 AISI 316
Características principales	
<i>Cubierta</i>	
Diámetro interno	3200 mm
Espesor comercial	63,50 mm
Longitud	16000 mm
<i>Fondo (Cada uno)</i>	
Tipo	Hemisférico
Diámetro del fondo	3200 mm
Espesor comercial	63,50 mm
Diámetro exterior del fondo	3263,5
Área del fondo	16,72 m ²
Volumen del fondo	8,55 m ³
Altura del fondo	1600 mm
<i>Otros</i>	
Soportes del separador horizontal	Silletas
Boca de hombre	24 pulgadas

9.4. Columna estabilizadora CE-1

9.4.1. Introducción

En el presente proyecto se ha diseñado una columna estabilizadora, cuyo objetivo es separar el hidrógeno y metano que todavía quedan presentes en la fase líquida del separador de fases.

Como ya se comentó en los capítulos 2 y 6, la columna consiste en un absorbedor de platos con reboiler, siendo los platos de tipo campana.

La carga a la columna está formada por la corriente líquida que sale del separador de fases SP-1, la cual ha sido adaptada a la presión de trabajo de la columna estabilizadora, esta carga es en su mayoría una mezcla de benceno y tolueno, que contiene cierta cantidad de difenilo y de metano e hidrógeno (compuestos que se pretenden eliminar).

9.4.2. Características de las corrientes

Para el caso de un absorbedor con reboiler se presenta el siguiente esquema:

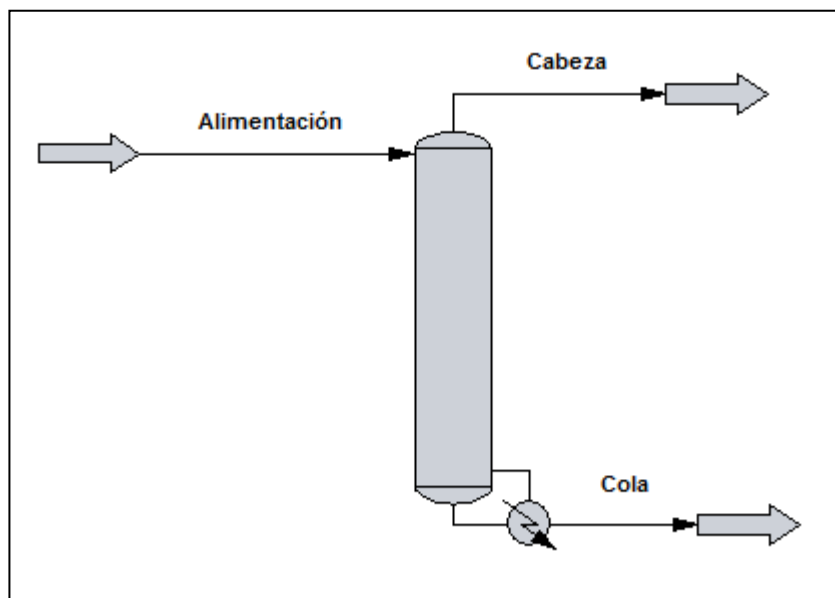


Figura 9.4 Absorbedor con reboiler (Simulador “CHEMCAD”)

Tabla 9.5 Corrientes columna estabilizadora

<i>Corriente/Dato</i>	<i>Alimentación</i>	<i>Vapor de reflujo</i>	<i>Gas de cabeza</i>	<i>Corriente de colas</i>
Presión (bar)	1,1	1	1	32
Temperatura (°C)	25,57	91,91	26,04	73,93
Fracción molar de vapor	0,04423	1	1	0
Caudal másico (kg/h)	136348	26540,2743	1007,3890	161882,1415
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1811,6450	9530,3568	1914,6938	197,4623
Caudal molar (kmol/h)	1660,5948	323,5588	77,1030	1907,0660
<i>Fracción molar por componente</i>				
Metano	0,012270	0,002967	0,264117	0,000509
Benceno	0,468681	0,696009	0,070658	0,523344
Tolueno	0,486478	0,299602	0,021835	0,473557
Difenilo	0,002696	0,000013	0	0,002349
Hidrógeno	0,029875	0,001409	0,643390	0,000241

Se va a proceder a realizar una descripción de cada corriente que sale o entra a la columna.

9.4.2.1. Corrientes de entrada

9.4.2.1.1. Alimentación

La alimentación al sistema como ya se ha comentado antes es una mezcla de hidrocarburos, principalmente benceno y tolueno, pero que contiene también difenilo y gases disueltos como metano e hidrógeno. Por las características que presente un absorbedor con reboiler, la alimentación entra por el primer plato de la columna, o parte alta de la misma.

La alimentación se introduce a la presión de trabajo de la columna y a la temperatura de operación del separador de fases, ya que como se muestra en el anexo 3 del presente proyecto, el aumento de la temperatura es perjudicial para el sistema.

9.4.2.1.2. Vapor de reflujo

El vapor de reflujo proviene del calderín Reb-1, y entra a la columna a través del último plato de la misma, parte baja. Este vapor es el encargado de arrastrar los gases disueltos (metano e hidrógeno) de manera que los elimine del seno del líquido de alimentación.

9.4.2.2. Corrientes de salida

9.4.2.2.1. Gas de cabeza

La corriente gaseosa que sale por cabeza de columna (parte alta) se compone en su mayoría por hidrógeno y metano teniendo además cierta cantidad de benceno y tolueno. Este gas no tiene ningún interés comercial y será conducido a la red de fuel gas de refinería.

9.4.2.2.1. Corriente de colas

La corriente que sale por el fondo de columna es llevada directamente al reboiler Reb-1, en donde será parcialmente vaporizada, de manera que se divida en dos corrientes, una gaseosa (Vapor de reflujo) y otra líquida (Producto final).

El producto final que sale del rehervidor Reb-1 ya presenta una composición óptima e irá al sistema de almacenamiento, en donde se acondicionará su temperatura para su almacenamiento en tanque.

9.4.3. Diseño de la columna

Para llevar a cabo el diseño de la columna se ha seguido el manual del simulador junto con la propia ayuda disponible en el propio entorno de simulación.

Los pasos seguidos para el cálculo del número de etapas así como del diseño hidrodinámico de la columna están recogidos en el anexo 3 de la memoria del presente proyecto fin de carrera obteniéndose los resultados reflejados en la tabla 9.5.

Tabla 9.5 Resumen diseño hidrodinámico de la columna estabilizadora

Variable	
<i>Diámetro interno de la columna</i>	2,134 m
Separación entre platos	0,61 m
<i>Número de pasos</i>	1
<i>Número de platos</i>	5
<i>Área del plato</i>	3,575 m ²
<i>Área activa</i>	2,689 m ²
<i>Ancho de parte activa</i>	1,975 m
<i>Longitud de parte activa</i>	1,359 m
<i>Altura de la presa</i>	0,051 m
<i>Ancho de la presa</i>	1,645 m
<i>Ancho del vertedero</i>	0,387 m
<i>Longitud del vertedero</i>	1,645 m
<i>Área del vertedero</i>	0,443 m ²
<i>Espesor del plato</i>	4 mm

9.4.3.1. Diseño mecánico de la columna

9.4.3.1.1. Diseño de la cubierta

El material usado para la cubierta es acero inoxidable SA-240 AISI 316, ya que es el más indicado para el servicio llevado a cabo.

Para el cálculo del espesor de la cubierta se ha seguido el procedimiento dado por el código ASME para recipientes cilíndricos sometidos a presión interna, habiéndose calculado también el espesor debido al viento, ya que la posición del recipiente es vertical.

9.4.3.1.2. Diseño de los fondos

El fondo elegido para la zona superior e inferior de la columna es del tipo Kloppler, ya que la columna trabaja a presión inferior a 7 bar, la

temperatura de diseño es inferior a 350 °C y la relación altura/diámetro no es superior a 10.

Para el caso de fondos toriesféricos de tipo Klopper el diámetro de curvatura es igual al diámetro de la torre. El espesor del fondo se calcula en función de las expresiones dadas por el código ASME para fondos toriesféricos y está recogido en el anexo 3 de la presente memoria.



Figura 9.5 Fondo tipo Klopper

9.4.3.1.3. Diseño de las faldillas

Las faldillas tienen un espesor que coincide con el espesor del fondo, así como un diámetro idéntico al de la envolvente o cuerpo principal. En cuanto a la altura de la faldilla se debe tomar el mayor de los valores calculados mediante ecuaciones que relacionan la altura de la misma con el diámetro exterior de la faldilla y el espesor, teniendo en cuenta que la faldilla no puede sobrepasar los 100 mm de altura.

9.4.3.1.4. Accesorios externos

Soportes de instalación del aislamiento

Cuando la temperatura del fluido interior es superior a 60° C, o bien es un recipiente de proceso sensible a las variaciones de temperatura, se debe instalar un aislante para impedir la pérdida de calor o evitar el calentamiento del interior, así como por protección personal. Para poder

aplicar el aislamiento se sueldan unos anillos que servirán de soporte de las mantas de aislamiento.

Anclajes para aplicación de protección contra incendios

Si un equipo está instalado en una zona donde existe peligro de incendio, se aplica a su parte inferior (soporte normalmente) un cemento que los protege del fuego. Para aplicar este cemento se sueldan unos anclajes que sirven de soporte del cemento antifuego.

Soportes de escalera y plataformas

Cuando se prevé instalar escaleras y plataformas, se sueldan unas pequeñas placas en la envolvente (clips), a las que se atornillan estas escaleras y plataformas para su sujeción.

Soportes para tubería

De igual forma que en el caso de que existiesen para las escaleras, se instalan unos clips para la sujeción de las tuberías que bajan a lo largo del recipiente.

Pescantes

Si el recipiente contiene elementos pesados en su interior, como platos, rellenos, etc., es necesario instalar un pescante en la parte superior del equipo para facilitar la instalación y la retirada de dichos elementos.

La columna estabilizadora contiene platos en su interior y por lo tanto deberá llevar instalada un pescante con una capacidad no inferior a 500 kg.

Boca de hombre

La distancia máxima recomendada para bocas de hombres en torres de platos es de 6 metros aproximadamente, la columna presenta una altura de 5,6 metros, por lo tanto se dispondrá de dos bocas de hombre de 24

pulgadas, una situado en el plato de alimentación (Plato n° 1) y la siguiente situada en el último plato de la columna (Plato n° 5).

9.4.3.1.5. Aislamiento del recipiente

Se va a proceder a cubrir el recipiente con un espesor de lana de roca de 50 mm, el recomendado por CEPSA (Ver tabla A.12.9 del anexo 12) para una temperatura de operación dentro del intervalo 75 – 160 °C.

9.4.3.1.6. Apoyo del recipiente

Los dispositivos de apoyo para recipientes verticales pueden ser de los siguientes tipos:

- Patas.
 - Faldón cilíndrico o cónico.
 - Ménsulas.
1. Patas: Con este tipo de dispositivo de sujeción el recipiente se apoya en 3 o 4 patas soldadas a la cubierta. Estas patas son perfiles en L-U-I soldados por encima de la línea de soldadura, bien directamente a la cubierta o bien a una placa de refuerzo soldada sobre el recipiente; la primera solución se utiliza para cubiertas en acero al carbono y de pequeño peso, mientras que la segunda se utiliza para cubiertas en acero aleado o recipientes de gran peso; en esta segunda solución el material de la placa es igual al de la cubierta y las patas son de acero al carbono. Cada pata está fijada al suelo por un perno de anclaje que resiste las cargas de tracción.

La sujeción por medio de patas se utiliza en recipientes de altura no superior a 5 m y diámetros no superiores a 2,4 m, siempre que los esfuerzos a transmitir no sean excesivos, o dicho de otro modo, siempre que el peso no sea muy grande, en cuyo caso se utilizará como apoyo el faldón cilíndrico.
 2. Faldón cilíndrico o cónico: En los recipientes que no pueden ser soportados por patas, bien sea por su tamaño o por tener que transmitir

esfuerzos grandes, se utilizan los faldones cilíndricos, consistentes en un cilindro soldado al fondo. Con este tipo de apoyo la carga se reparte uniformemente a lo largo del perímetro de la circunferencia de soldadura, evitando concentraciones de esfuerzos en la envolvente y disminuyendo la presión transmitida al suelo.

Los pernos de anclaje se sitúan a lo largo del perímetro de la circunferencia de apoyo y a una distancia entre 400 y 600 mm, según el tamaño y el número requerido. En todo caso, el número de pernos deberá ser múltiplo de 4 (4, 8, 12, 20,24). Si la presión transmitida sobre el suelo es muy grande o el número requerido de pernos no cabe en la circunferencia del faldón, se realiza un faldón cónico que aumenta el tamaño de esta. El semiángulo del cono no debe ser mayor a 6°. Para evitar momentos debidos al peso del recipiente se debe realizar el faldón de forma que su diámetro medio coincida con el diámetro medio de la cubierta.

Este tipo de apoyo es el más utilizado para torres, reactores y recipientes de tamaño medio y grande. Al diseñar los faldones debe tener en cuenta que ha de incluirse un acceso a su interior (dimensiones mínimas de 600 mm de diámetro) y unas ventilaciones para evitar la acumulación de gases en su parte interna.

3. Ménsulas: Es el tipo de apoyo utilizado en recipientes verticales que deben soportarse en estructuras portantes, cuando las dimensiones y cargas no son muy grandes. El número de ménsulas utilizadas son 2, 4,8 y raramente mayor, pero si así fuera necesario, su número deberá ser múltiplo de 4. Al igual que las patas, pueden ser soldadas directamente a la cubierta o a una placa de refuerzo soldada al recipiente. Las razones que conducen a la adopción de uno u otro sistema son las mismas a las expuestas en el caso de apoyos del tipo de patas.

Dicho todo esto la mejor opción es usar un faldón, el cual irá soldado al fondo inferior de forma de que los diámetros medios del faldón y la envolvente coincidan, midiendo el faldón 1,5 metros. Se dispondrá además de una sola abertura de acceso al interior del mismo para inspecciones ya que el diámetro de la columna es inferior a 2,5m.

No se permitirán uniones bridadas o roscadas en el interior del los faldones. Las tuberías del fondo del recipiente llevarán un codo de 90° y una tubería horizontal de prolongación hasta el exterior del faldón terminada en brida.

Para diámetros de recipientes mayores de 1 metro deben colocarse 4 ventilaciones. Éstas consisten en nipples de 4 pulgadas de diámetro en la parte superior del faldón, para ventear el espacio situado debajo de su inserción con el fondo inferior.

Con respecto a la tubería que va del fondo de la torre al reboiler Reb-1, así como cualquier otra tubería que atravesase el faldón, se utilizará un collarín para no debilitar la función de soporte. Estos collarines tendrán el tamaño suficiente para admitir el calorifugado y la expansión térmica.

9.4.4. Tabla resumen

Se va a proceder a realizar una tabla resumen con las principales características mecánicas de la columna estabilizadora.

Tabla 9.6 Resumen diseño mecánico de la columna estabilizadora

Material seleccionado	Acero inoxidable SA-240 AISI 316
Características principales	
<i>Cubierta</i>	
Diámetro interno	2134 mm
Espesor comercial	4,8 mm
Fondos superior e inferior	
Tipo	Toriesférico Klopper

Tabla 9.6 Cont.

Radio de curvatura	2142 mm
Espesor comercial	4,8 mm
Radio de esquina interno	214,2 mm
Altura de la cúpula	426,8 mm
Otros	
Soportes de la columna	Faldón 1,5 m
Bocas de hombre	24 pulgadas (Platos 1 y 5)

9.5. Rehervidor Reb-1

En este intercambiador de calor se procede a vaporizar parcialmente la salida de colas de la columna estabilizadora mediante el uso de la mezcla líquido-vapor procedente de la salida por tubos del evaporador Ev-3, de manera que se aproveche energéticamente antes de su introducción al condensador parcial y así se ahorre tanto en agua de refrigeración en dicho condensador, como en un fluido calefactor para el rehervidor Reb-1.

9.5.1. Datos del intercambiador de calor

En este apartado se van a exponer las principales características del evaporador, las cuales han sido calculadas en el Anexo 8 de la presente memoria.

9.5.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa

Siguiendo los criterios del apartado 7.1.3. del Capítulo 7 de la presente memoria:

- La alimentación al cambiador procedente de la salida de colas de la columna estabilizadora CE-1 es el fluido que circula por la carcasa tubos, ya que al usar un intercambiador de calor del tipo AKT, el fluido que circula por carcasa es el que pasa a estado gaseoso.
- La mezcla líquido-vapor que procede de la salida de tubos del evaporador Ev-3 será la que circule por los tubos.

9.5.1.2. Características principales del intercambiador de calor

Las características fundamentales en cualquier intercambiador de calor son las siguientes:

Carcasa

El diámetro de la carcasa va en función del número de tubos que se necesiten en el intercambiador, en este caso la carcasa tiene un diámetro de 42 pulgadas. El espesor de la carcasa va en función del material del que está construida, así como de la presión de diseño y para su cálculo se usan las expresiones dadas por el código ASME. El material de construcción de la carcasa es Acero inoxidable SA-240 AISI 316, ya que el fluido que circula por la carcasa lleva benceno, el cual resulta corrosivo para el acero al carbono. La carcasa irá provista de 6 placas deflectoras de tipo segmentadas con un espaciamiento entre ellas de 34,1 pulgadas (0,87 m).

Tubos

Para este cambiador se han usado tubos con un diámetro externo de 0,75 pulgadas, siendo el diámetro interno igual a 0,532 pulgadas (calculado mediante el código ASME) equivalente a un espesor comercial de 12 BWG. La longitud de los tubos es la estándar de 16 pies (4,88 m), presentando una disposición estándar triangular. El cálculo del número de tubos se recoge en el Anexo 8 de la presente memoria, y es igual a 1391 tubos. El material de construcción de los tubos es Acero AISI TP316, ya que la corriente que pasa a través de los mismos es muy corrosiva y por lo tanto requiere del uso de acero inoxidable del tipo 316.

Número de pasos

El número de pasos por tubos es 2, ya que es el más común y no supone una pérdida de carga excesiva. El número de pasos por carcasa al ser la misma del tipo Kettle es igual a uno.

Pitch

Para la selección del Pitch se ha optado por usar un pitch triangular de una pulgada.

Cabezal de distribución

Este elemento recibe el fluido que circula por los tubos y se encarga de distribuirlo y recolectarlo para mandarlo fuera del intercambiador de calor. El tipo de cabezal elegido es el denominado por la letra A según la norma TEMA, un cabeza de canal y carcasa desmontable.

Cabezal de cierre

Este cabezal es el encargado de devolver el fluido de nuevo hacia el cabezal de distribución o mandarlo fuera del cambiador en el caso de que sólo haya un paso por tubos. El cabezal elegido para el cambiador es del tipo T según la norma TEMA, cabezal flotante sin contrabrida.

Envolvente

El tipo de envolvente es el denominado Kettle, tipo K según la norma TEMA.

9.5.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor

Debido a que la unidad presenta una temperatura mayor a los 65 °C, es necesario llevar a cabo su aislamiento para evitar en la medida de lo posible las pérdidas de calor al exterior, así como por seguridad. El material seleccionado es el estándar de lana de roca, ya que cubre las necesidades técnicas del equipo y es el más económico.

El cálculo del espesor de aislante queda recogido en el Anexo 8 del presente proyecto, siendo este de 50 mm para una temperatura máxima de operación entre 75 y 160 °C.

9.5.1.4. Hoja de especificación del cambiador

En este apartado se va a proceder a dar una tabla con los valores más importantes del diseño del cambiador.

Tabla 9.7 Hoja de especificaciones Reb-1

Tipo de intercambiador	Carcasa y Tubos
Denominación según norma TEMA	AKT
Características principales	
<i>Tubos</i>	
Material	Acero inoxidable AISI TP316
Diámetro externo	0,0191 m
Diámetro interno	0,0135 m
Espesor comercial	12 BWG
Longitud	4,88 m
Tipo de Pitch	Triangular
Pitch	0,0254 m
Número de tubos necesarios	1315
Número de tubos	1391
Número de pasos por tubo	2
Área de transferencia necesaria	384,18 m ²
Área de transferencia	406,25 m ²
<i>Carcasa</i>	
Material	Acero inoxidable SA-240 AISI 316
Diámetro interior	1,067 m
Diámetro rehervidor (d_k)	1,521 m
Espesor comercial	4,80 mm
Número de pasos por carcasa	1
Altura de la barrera (h_w)	1,168 m

Tabla 9.7 Cont.

<i>Deflectores</i>	
Tipo	Segmentados
Número de deflectores	6
Espaciamiento entre deflectores	0,8 m
Espesor deflectores	9,5 mm
<i>Aislamiento de lana de roca</i>	
Espesor	50 mm

9.6. Intercambiador de calor IC-1

En este intercambiador de calor se procede a refrigerar el producto ya estabilizado antes de su almacenamiento en tanque, este producto es el procedente de la salida de carcasa del reboiler inundado Reb-1, para llevar a cabo su enfriamiento se va a aprovechar la corriente de gas que sale del separador de fases, ya que presenta un caudal y temperatura adecuados y así se favorece la eficiencia energética y se ahorra agua de refrigeración o potencia de accionamiento de un ventilador en el caso de un aéreo.

El cambiador es del tipo AES según la norma TEMA, ya que es el más común y su uso cubre las necesidades del servicio.

9.6.1. Datos del intercambiador de calor

En este apartado se van a exponer las principales características del evaporador, las cuales han sido calculadas en el Anexo 9 de la presente memoria.

9.6.1.1. Selección del fluido que circula por tubos y por carcasa

Siguiendo los criterios del apartado 7.1.3. del Capítulo 7 de la presente memoria:

- La mezcla de tolueno, benceno y difenilo estabilizada procedente de la salida de carcasa del rehervidor Reb-1 es el fluido que circula por la carcasa, ya que es el que circula a menor presión y respecto a la

corrosión presenta características similares al fluido que circulará por los tubos.

- La corriente gaseosa que sale del separador de fases va a circular por tanto por el interior de los tubos del cambiador.

9.6.1.2. Características principales del intercambiador de calor

Las características fundamentales en cualquier intercambiador de calor son las siguientes:

Carcasa

El diámetro de la carcasa va en función del número de tubos que se necesiten en el intercambiador, en este caso la carcasa tiene un diámetro de 21 pulgadas, con este diámetro se podría usar tubería en vez de chapas soldadas para conformar la carcasa, pero para un diámetro nominal de 24 pulgadas y un diámetro interno 20,938 pulgadas, el espesor de pared sería de 1,531 pulgadas y como se verá más adelante estaría demasiado sobredimensionado. Por lo tanto el espesor de la carcasa irá en función del material del que está construida (en este caso vuelve a ser chapa de acero inoxidable), así como de la presión de diseño y para su cálculo se usan las expresiones dadas por el código ASME. El material de construcción de la carcasa es Acero inoxidable SA-240 AISI 316, ya que el fluido que circula por la misma contiene benceno a la temperatura de ebullición de mezcla y esto presentan un riesgo grande por corrosión. La carcasa irá provista de 5 placas deflectoras de tipo segmentadas con un espaciamiento entre ellas de 38,4 pulgadas (0,97 m).

Tubos

Para este cambiador se han usado tubos con un diámetro externo de 1 pulgadas, siendo el diámetro interno igual a 0,782 pulgadas (calculado mediante el código ASME) equivalente a un espesor comercial de 12 BWG. La longitud de los tubos es la estándar de 16 pies (4,88 m), presentando una disposición estándar triangular. El cálculo del número de

tubos se recoge en el Anexo 9 de la presente memoria, y es igual a 192 tubos. El material de construcción de los tubos es Acero AISI TP316, ya que tanto la corriente de la carcasa como la que circula por su interior presentan problemas por corrosión y por lo tanto se requiere del uso de acero inoxidable 316.

Número de pasos

El número de pasos por tubos para este cambiador es igual a dos, siendo de un solo paso por carcasa.

Pitch

Para la selección del Pitch se ha optado por usar un pitch triangular de 1,25 pulgadas.

Cabecal de distribución

Este elemento recibe el fluido que circula por los tubos y se encarga de distribuirlo y recolectarlo para mandarlo fuera del intercambiador de calor. El tipo de cabecal elegido es el denominado por la letra A según la norma TEMA, un cabeza de canal y cubierta desmontable.

Cabecal de cierre

Este cabecal es el encargado de mandar de vuelta el fluido que circula por los tubos hacia el cabecal de distribución del intercambiador. El cabecal elegido para el cambiador es del tipo S según la norma TEMA, cabecal flotante con dispositivo de apoyo.

Envolvente

El tipo de envolvente es del tipo E según la norma TEMA, coraza de un paso.

9.6.1.3. Aislante usado en el intercambiador de calor

Debido a que la unidad presenta una temperatura de entrada a la carcasa mayor a los 65 °C, es necesario llevar a cabo su aislamiento para evitar en la medida de lo posible las pérdidas de calor al exterior, así como por seguridad. El material seleccionado es el estándar de lana de roca, ya que cubre las necesidades técnicas del equipo y es el más económico.

El cálculo del espesor de aislante queda recogido en el Anexo 7 del presente proyecto, siendo este de 50 mm para una temperatura máxima de operación entre 75 y 160 °C.

9.6.1.4. Hoja de especificación del cambiador

En este apartado se va a proceder a dar una tabla con los valores más importantes del diseño del cambiador.

Tabla 9.8 Hoja de especificaciones IC-1

Tipo de intercambiador	Carcasa y Tubos
Denominación según norma TEMA	AES
Características principales	
<i>Tubos</i>	
Material	Acero inoxidable AISI TP316
Diámetro externo	0,0254 m
Diámetro interno	0,0199 m
Espesor comercial	12 BWG
Longitud	4,88 m
Tipo de Pitch	Triangular
Pitch	0,0318 m
Número de tubos necesarios	170,1
Número de tubos	192
Número de pasos por tubo	2
Área de transferencia necesaria	66,3 m ²

Tabla 9.8 Cont.

Área de transferencia	74,4 m ²
<i>Carcasa</i>	
Material	Acero SA-240 AISI 316
Diámetro carcasa	0,5334 m
Espesor comercial	4,80 mm
Número de pasos por carcasa	1
<i>Deflectores</i>	
Tipo	Segmentados
Número de deflectores	5
Espaciamiento entre deflectores	0,97 m
Espesor deflectores	6,4 mm
<i>Aislamiento</i>	
Tipo de material usado	Lana de roca
Espesor	50 mm

CAPÍTULO 10: SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

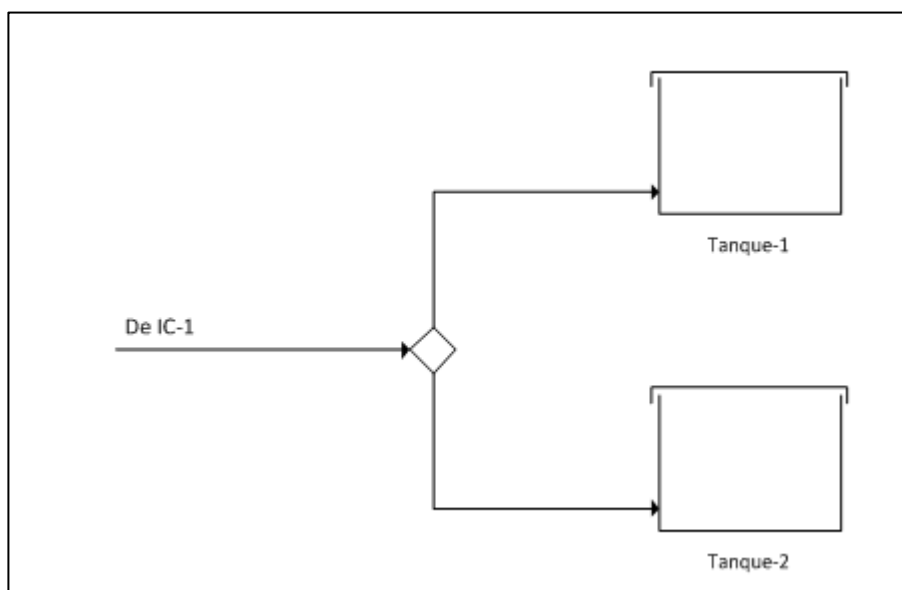


Figura 10.1 Tanques de almacenamiento

El sistema diseñado en el presente proyecto presenta dos características esenciales de cara al almacenamiento de productos:

- Carencia de depósito de alimentación.
- El producto final no es un producto comercial.

La primera característica viene de la imposibilidad de almacenar una corriente a alta presión y temperaturas, debido a las características de las mismas, la planta de estabilización debe funcionar siempre en línea con la planta de reacción, sin tener ningún tanque intermedio entre ambas.

La segunda característica es debida a que la presente planta alimenta a otras anexas, que en este caso son las de hidrógeno y benceno, a la planta de hidrógeno le llega directamente la corriente gaseosa del separador de fases, con la posibilidad de reconducir dicha corriente a la red de fuel gas en caso de problemas aguas abajo en la planta. Respecto a la corriente líquida que sale del reboiler Reb-1 esta se acondiciona a una temperatura de 60 °C y es almacenada en tanques, para el caso de una corriente de estas características y siguiendo especificaciones de CEPSA, los tanques de

almacenamientos colchón se diseñarán para una capacidad igual a un día de producción.

10.1. Diseño de los depósitos de producto final

En el presente proyecto se diseñan dos tanques “colchón”, con una capacidad cada uno para aguantar un día de producción con un caudal másico de 135,342 tm/h y volumétrico de 162,203 m³/h. Teniendo en cuenta el tiempo de almacenamiento fijado y un volumen de llenado del 50% por seguridad, cada tanque deberá tener un volumen total de 7785,68 m³, siendo el tanque comercial disponible según la norma API 650 un tanque con un volumen de 235032 U.S Gal (8896,93 m³).

Las características que presenta este tanque son las siguientes:

1. Tipo de tanque:
 - a. El tanque es del tipo cilíndrico vertical de fondo plano y techo flotante cubierto, ya que es el más adecuado para el proceso, como ya se estableció en el apartado 7.3 del capítulo 7 de la presente memoria.
2. Material de construcción del tanque
 - a. Al presentar una fracción molar de 0,488 de benceno, se requiere el uso de un material resistente, como es el acero inoxidable SA-240 AISI 316, además por especificaciones de la norma API 650, el material de construcción de un tanque de almacenamiento debe presentar para la temperatura de diseño una resistencia mínima de 20000 psi.
3. Sistema de venteo
 - a. Los depósitos llevarán integrado un sistema de venteo consistente en una válvula presión-vacío situada en el techo del tanque, con el fin de evitar deformaciones del techo o de las paredes como consecuencia de las variaciones de presión.
4. Sistema de soporte de los tanques

- a. Los tanques irán montados en una cimentación de hormigón de 0,5 metros de altura según las especificaciones de CEPESA.
5. Bocas de hombre
 - a. Según la norma API 650 los tanques con un diámetro inferior a 61 metros, deben tener como mínimo dos bocas de hombre, por lo tanto cada tanque dispondrá de dos bocas de hombre de 24 pulgadas.
 6. Escaleras de acceso
 - a. Debido a las dimensiones de los tanques de almacenamiento, es necesario instalar unas escaleras de acceso que permitan al personal situarse en cualquier zona del tanque que requiera de inspección de mantenimiento.
 7. Accesorios
 - a. El depósito dispondrá de un dispositivo de toma de muestras para realizar controles rutinarios.

Se va a proceder a llevar a cabo una tabla resumen con las características de ambos depósitos.

Tabla 10.1 Características de los depósitos de almacenamiento

Tipo de tanque	Techo flotante cubierto
Material de construcción	Acero inox. SA-240 AISI 316
Volumen máximo	8896,93 m ³
Volumen de llenado normal	3892,84 m ³
Diámetro interior	30,48 m
Altura del tanque	12,19 m
Espesor de carcasa y fondos	38,10 mm
Espesor del techo flotante	2,76 mm
Soporte del tanque	Soporte de hormigón de 0,5 m

Tabla 10.1 Cont.

Accesorios	2 Bocas de hombre
	Sistema de toma de muestras
	Sistema de venteo
	Escalera de acceso

10.1.1. Diseño del cubeto de retención

El recinto donde se sitúan los tanques de almacenamiento debe estar rodeado por un cubeto de retención que sirva, para en caso de fallo de un tanque, como sistema de contención de líquido.

Según las especificaciones de la refinería CEPSA ESP-0200-1, la distancia mínima horizontal entre el tanque y la pared del cubeto será igual a la altura del de mayor dimensión (12,192 m). En cuanto a la capacidad del cubeto, será como mínimo igual al volumen del mayor de los tanques. La altura del cubeto queda recogida en el apartado A.10.1.4. (1 m).

CAPÍTULO 11: SISTEMA DE TUBERÍAS, BOMBAS, COMPRESORES, VÁLVULAS Y ACCESORIOS

11.1. Introducción

En el presente apartado se va a proceder a describir el sistema de tuberías, bombas, compresores, válvulas y accesorios. Las variables que se han estudiado respecto a las tuberías son las siguientes:

- Diámetro de tubería.
- Espesor de tubería.
- Material de construcción de la tubería.
- Variación de presión que sufre el fluido que circula por el interior de la tubería.
- Sistema de unión de tuberías, entre sí y con equipos.

Respecto al sistema de bombeo, se estudiará la pérdida de presión en cada conducción objeto del proyecto y se estimará si es admisible o no, requiriendo en este último caso de la instalación de una bomba que impulse al fluido, o de un compresor ó soplante en el caso de que el fluido esté en estado gaseoso.

Las válvulas y accesorios serán descritos en función de su necesidad en la línea de proceso.

11.2. Diseño de tuberías

Las tuberías se identifican por su diámetro externo y su espesor. El espesor se expresa por el número de lista (Schedule). En la tabla 11.1 se pueden ver como se relaciona el número de lista con la presión de diseño de la tubería.

Tabla 11.1 Norma ASA (American Standards Association)

ASA Pressure Class (psi)	Presión equivalente (bar)	Schedule No. Of pipe
≤ 250	≤ 17	40
300-600	20 - 40	80
900	60	120
1500	100	160
2500 (1/2 in – 6 in)	170 (1/2 – 6 in)	XXS
2500 (≥ 8 in)	170 (≥ 8 in)	169

Las tolerancias del espesor de tuberías suelen ser generalmente del 12,5%, por lo tanto una tubería puede tener un espesor del 87,5% del nominal.

Las principales variables de selección de tuberías son:

A. Corrosión

- a. Es lo primero que se debe considerar, ya que la elección del material de construcción de la tubería debe ir en función del fluido que circula por la tubería y la resistencia que ésta presente a la corrosión.

B. Temperatura de trabajo

- a. La temperatura de trabajo condiciona también la selección de material, ya que este puede presentar malas propiedades mecánicas o de resistencia a la corrosión a las temperaturas de trabajo, la temperatura de trabajo también da un valor de espesor de aislante necesario (Véase Anexo 11).

C. Presión de trabajo

- a. Esta variable es la que nos va a dar el espesor de tubería necesario, al que habrá que sumarle un sobre espesor por corrosión.

D. Costo de la tubería

- a. Esta es la última variable a considerar, ya que entra en juego solamente si para un mismo servicio se tienen varios

materiales que cumplan de igual forma, seleccionándose en ese caso el material más barato.

E. Velocidad del fluido que circula por la tubería

- a. Esta velocidad admisible es la que nos va a permitir llevar a cabo el cálculo del diámetro de tubería necesario

F. Pérdida de presión

- a. La pérdida de presión nos dará para una tubería calculada una idea de si es admisible su uso o no.

En el anexo 11 de la memoria del presente proyecto ha sido llevado a cabo el diseño de las conducciones principales del sistema, este diseño ha seguido unas pautas presentes en la bibliografía (DEI) que están basadas en normas americanas (ANSI, ASME, ASTM).

En la tabla 11.2 quedan recogidas todas las tuberías del proceso, salvo las auxiliares que no son objeto del presente proyecto. Respecto al cálculo de la pérdida de carga total de la tubería únicamente se han calculado para las tuberías objeto del proyecto, quedando fuera las tuberías de vapor, tuberías de condensado, de agua de refrigeración y conducciones secundarias.

Tabla 11.2 Resumen sistema de tuberías

Tubería	Diámetro Nominal Interno (in)	Diámetro Nominal Externo (in)	Espesor (in)	Pérdida de carga unitaria (Pa/m)	Pérdida de carga total (Pa)	Espesor de aislante (mm)
C-1	18,5	20	0,75	167,75	-	150
C-2	7,981	8,625	0,322	66,97	-	90
C-3	15	16	0,5	301,75	10253,5	80
C-4	14,75	16	0,625	86,26	-	80
C-5	3,76	4	0,12	123,68	-	50
C-6	15	16	0,5	262,81	8930,3	60
C-7	15,5	16	0,25	13,67	-	60
C-8	4,26	4,5	0,12	146,41	-	40
C-9 y C-11	22,876	24	0,610	10,86	2728,1	60

Tabla 11.2. Cont

C-10	23,5	24	0,25	35,82	-	60
C-12 y C-12.1	23	24	0,5	8,75	891,2	60
C-13	19,5	20	0,25	279,46	-	60
C-14.1	13,25	14	0,375	19,88	295,6	50
C-14.2	13,25	14	0,375	19,88	295,6	50
C-15	19,5	20	0,25	282,35	-	60
C-16	19,126	20	0,437	12,46	1154,2	60
C-17	19,126	20	0,437	12,51	419,7	60
C-18.1	15,25	16	0,375	10,42	143,2	50
C-18.2	15,25	16	0,375	10,42	143,2	50
C-19	6,065	6,625	0,28	413,22	64086,9	-
C-20	12,09	12,75	0,33	157,5	4576,4	-
C-20.1	12,09	12,75	0,33	157,5	22398,2	-
C-21	12,42	12,75	0,165	15,81	854,1	-
C-22	8,407	8,625	0,109	8,69	-	-
C-23	10,482	10,75	0,134	35,87	-4279,8	50
C-24	10,482	10,75	0,134	25,64	3151,9	50
C-25	19,5	20	0,25	10,61	-	60
C-26	12,09	12,75	0,33	172,06	-	-
C-27	6,407	6,625	0,109	288,7	24459,6	-
C-27.1	6,407	6,625	0,109	288,7	21912,6	-
C-27.2	6,407	6,625	0,109	288,7	21912,6	-

11.2.1. Colores de las tuberías

Para la identificación de las distintas tuberías y de los productos que circulan por el interior de las mismas, las tuberías estarán coloreadas de la siguiente forma

Tabla 11.3 Norma UNE 1063

FLUIDO	COLOR
Agua	Verde oscuro
Agua potable	Verde/azul/verde
Agua contra incendios	Verde/bermellón/verde
Vapor de agua saturado	Rojo
Vapor de agua recalentado	Rojo/blanco/rojo
Aire a presión	Azul/rojo/azul
Fluido peligroso	Negro/naranja/negro
Líquidos y gases químicos	Gris medio

11.2.2. Uniones

La conexión entre los distintos tramos de tuberías, así como de las tuberías con válvulas, bombas y accesorios presentes en el sistema se llevará a cabo por medio de bridas, siendo en el caso de elementos de instrumentación uniones roscadas.

Las bridas están constituidas por un par de discos iguales o anillos de metal unidos entre sí mediante tornillos que comprimen una junta situada entre sus carcas, permitiendo la conexión de la tubería con otro tramo o elemento.

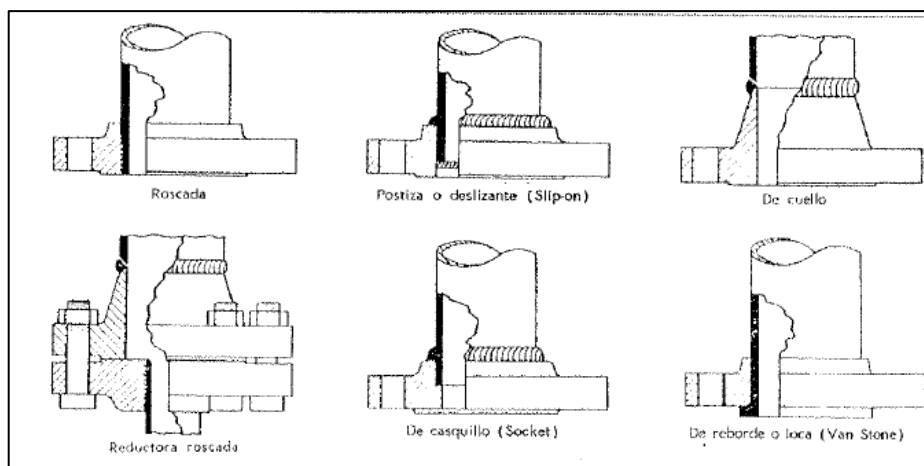


Figura 11.1 Tipos de Brida

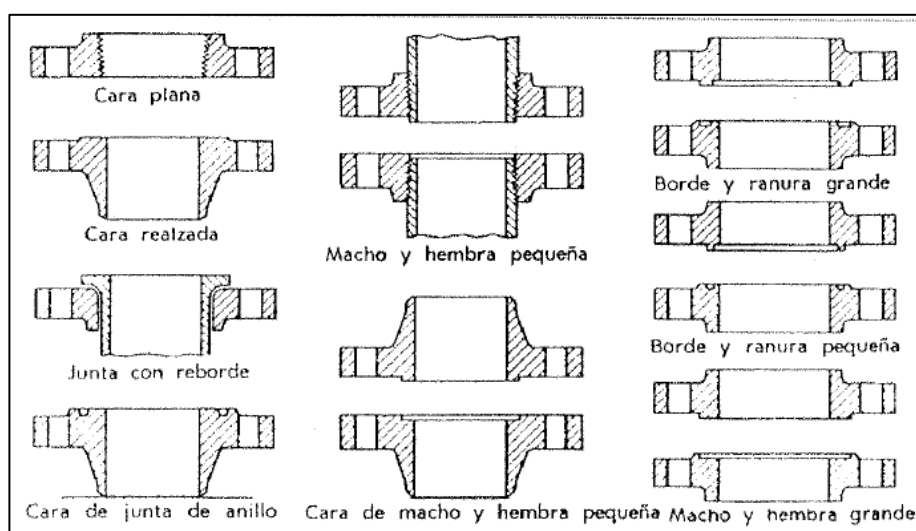


Figura 11.2 Tipos de asientos de bridas

Las uniones bridadas, al no ser herméticas presentan la ventaja de facilitar las labores de mantenimiento de la red de tuberías, así como la sustitución de las mismas.

11.2.3. Accesorios de tuberías

La función de los accesorios es muy variada, pero en el presente proyecto solo se van a considerar dos tipos:

A. Codos

- a. Los codos son accesorios que tienen como misión cambiar la dirección de flujo. Se fabrican de 45° o 90° con radios pequeños, medios o grandes. Para el presente proyecto se ha optado por seleccionar codos de 90° de radio largo, ya que son los que presentan menores pérdidas de carga y menos problemas por corrosión.

B. Ramificaciones: té y crucetas

- a. Tienen como misión la de dividir una corriente en varias, o la de unir varias corrientes en una. En el presente proyecto se requieren del uso de seis té, siendo dos de unión de corrientes y el resto de separación de corrientes, en función de lo que requiere el proceso.

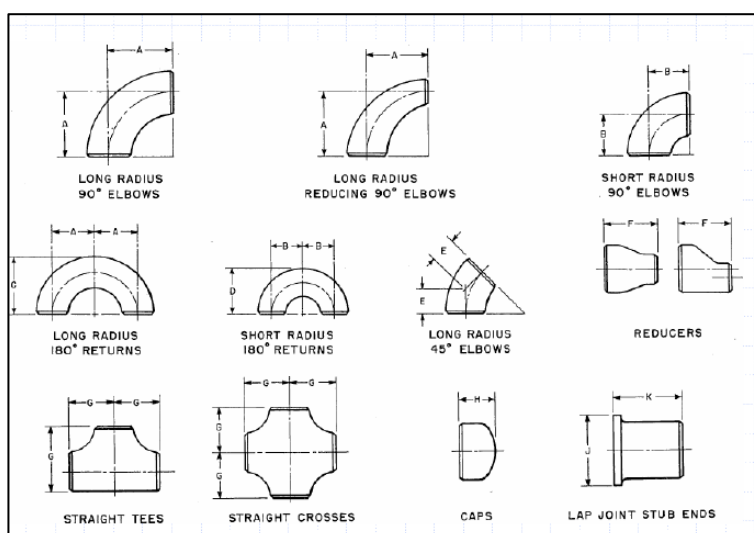


Figura 11.3 Accesorios más comunes

11.2.4. Aislamiento de las tuberías

Para las tuberías cuya temperatura lo requiera se dispondrá de aislamiento de lana de roca cubierta con chapa de aluminio, como queda recogido en la tabla 11.4 del presente capítulo.

11.3. Válvulas

Las válvulas son los dispositivos utilizados para controlar, interrumpir, regular o dar paso al flujo de fluidos por tuberías.

En general, las válvulas pueden conectarse a las tuberías de las siguientes formas:

- Roscadas: Para pequeños tamaños y bajas presiones
- Enchufe y soldadura: Para diámetros menos a dos pulgadas
- Bridas y juntas: Para diámetros superiores a dos pulgadas

Las válvulas roscadas y de enchufe y soldadura se clasifican como los accesorios correspondientes, mientras que las del tercer tipo y las bridas de unión, se clasifican por la presión primaria de servicio, existiendo el siguiente estándar: 150 lb; 300 lb; 600 lb; 900 lb; 1500 lb y 2500 lb. Esta presión primaria de servicio indica la presión a la que puede trabajar la válvula o la brida, en continuo, a la temperatura límite superior del material. A temperaturas inferiores, las válvulas resisten presiones más elevadas.

Con esta normalización, cualquier válvula o brida de un determinado diámetro y presión primera es intercambiable con la de otro fabricante.

Se va a proceder en el siguiente apartado a dar una pequeña clasificación de los tipos de válvula existentes y las que han sido usadas en el presente proyecto.

11.3.1. Tipos de válvulas

Se puede realizar la siguiente clasificación de las válvulas:

Válvulas de corte

Este tipo de válvula tiene como misión permitir o impedir el paso de un fluido, también se las conoce con el nombre de válvulas ON-OFF o todo o nada. Dentro de este tipo es posible diferenciar las siguientes:

- *Válvula de compuerta*: Es un tipo de válvula que principalmente se usa para el flujo de fluidos limpios y sin interrupción. Cuando la válvula está totalmente abierta, el área de flujo coincide con el diámetro nominal de la tubería, por lo que las pérdidas de carga son relativamente pequeñas. La operación de abertura/cierre es lenta y debido al desgaste producido por la fricción no se recomienda en instalaciones donde su uso sea frecuente.

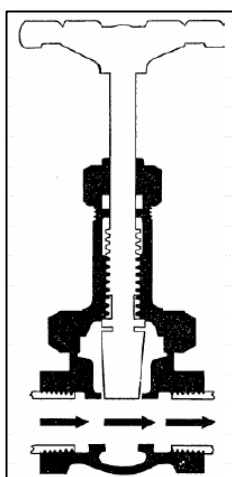


Figura 11.4 Válvula de compuerta

- *Válvula de globo*: Las válvulas de globo son de uso frecuente gracias a su poca fricción y pueden controlar el fluido con la estrangulación al grado deseado. Presentan una pérdida de carga importante. Respecto a las válvulas de compuerta presentan un movimiento lineal del eje más corto y por lo tanto duran más al sufrir menos desgaste.

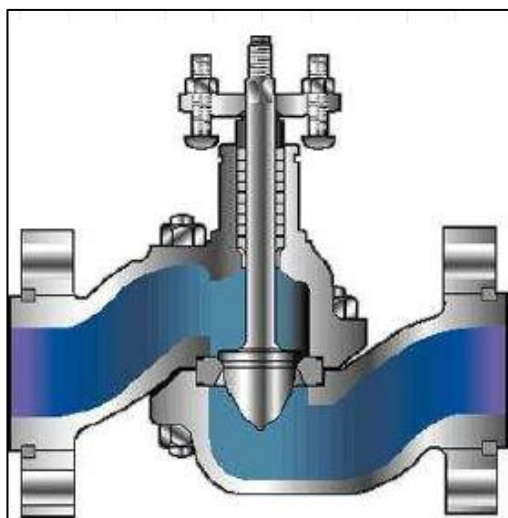


Figura 11.5 Válvula de globo

- *Válvula de bola o esférica:* En la válvula de bola un macho esférico agujereado controla la circulación del líquido. El sellado en válvulas de bola es excelente, la bola contacta de forma circunferencial y uniforme en el asiento, el cual suele ser de materiales blandos. El uso de la válvula queda limitado por la resistencia a la temperatura y presión del material del asiento. Este tipo de válvula es usada exclusivamente en servicios de cierre mediante giro de palanca de 90° en sentido horario, ya que trabajar en posiciones intermedias implica un desgaste prematuro del asiento y bola.



Figura 11.6 Válvula de bola

- *Válvula de macho*: Las válvulas de macho también son conocidas por su nombre inglés “Plug valves” por el obturador. El obturador puede ser cilíndrico o cónico. Estas válvulas se usan exclusivamente en servicios de ON/OFF

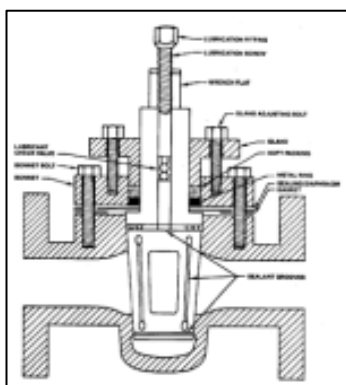


Figura 11.7 Válvula de macho

- *Válvulas de diafragma*: Se usan para servicios de apertura o cierre total o cuando se está trabajando a bajas presiones, también es recomendable su uso cuando el fluido es especialmente corrosivo o viscoso. Entre una de sus principales ventajas está su bajo costo junto a la imposibilidad de que existan fugas por el vástago, y su principal desventaja es que requiere un par de torsión elevado para cerrar cuando el diafragma se encuentra en su posición más elevada.

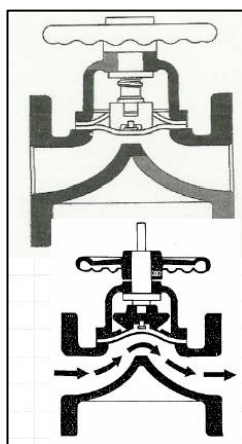


Figura 11.8 Válvula de diafragma

Válvulas de anti retorno (o retentoras)

Este tipo de válvulas se utilizan como medida de seguridad para evitar que el flujo retroceda en la tubería. También se usa para mantener la tubería llena cuando una bomba no está funcionando.

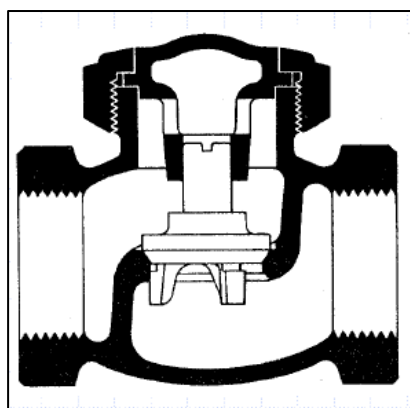


Figura 11.9 Válvula de retención

La presión del fluido circulante abre la válvula y el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión del flujo la cierra.

Válvulas de conmutación

Este tipo de válvulas se emplean generalmente para mezclar fluidos (válvulas mezcladoras) o para derivar un flujo de entrada en dos salidas (válvulas divisoras). Las válvulas de conmutación son muy usadas en el control de temperatura de intercambiadores de calor.

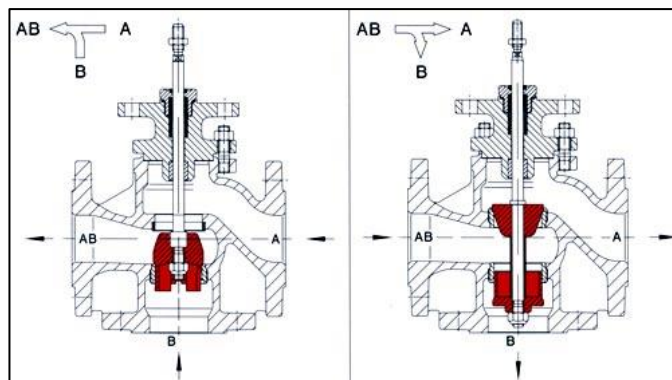


Figura 11.10 Válvula de 3 vías

Válvulas de seguridad

Este tipo de válvulas se usan para evitar sobrepresiones que puedan generar problemas de seguridad en los equipos. Suelen llevar un disco de ruptura que está tarado a una presión menor que la de diseño del equipo, por lo tanto si esta se supera, el disco de ruptura rompe y deja escapar el fluido, al aire en caso de fluidos no peligrosos (vapor de agua) o a la red de antorcha de una refinería en caso de ser fluidos más peligrosos.

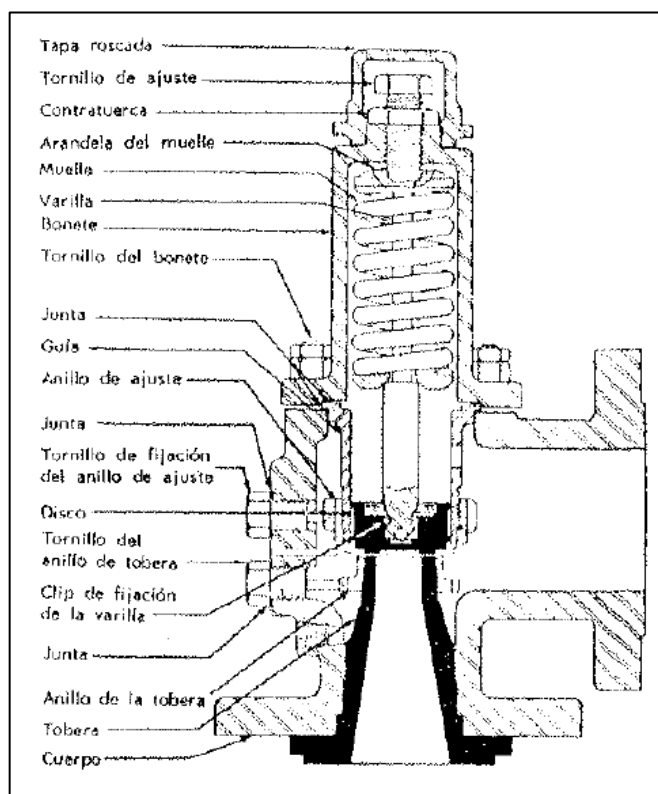


Figura 11.11 Válvula de seguridad

Válvulas de control

Este tipo de válvulas son las encargadas de hacer que la planta funcione dentro de unos parámetros óptimos. Las válvulas de control pueden ser de cualquier tipo de los antes mencionado, salvo en el caso de las de seguridad y retención, y lo que las diferencia es que en este caso el vástago de la válvula no es accionado mediante un par de torsión por una

manivela, sino que hay un sistema hidráulico o mecánico controlado eléctricamente mediante un lazo de control automático.

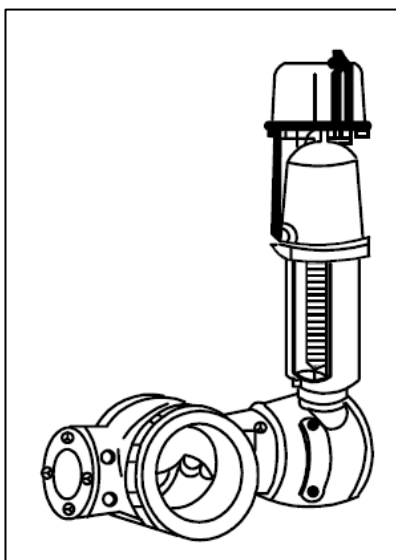


Figura 11.12 Válvula de bola automática

Válvulas de reducción de presión

Este tipo de válvulas se usan para reducir la presión de un fluido antes de su entrada en un equipo, como un separador de fases o una columna de platos.

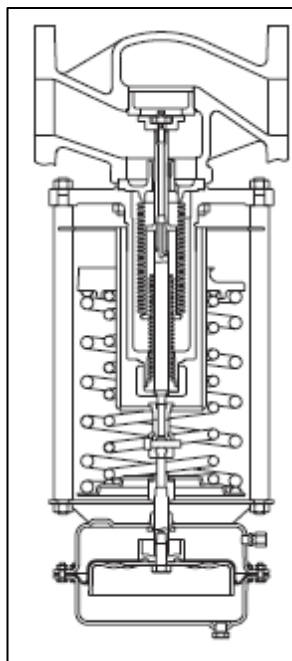


Figura 11.13 Válvula reductora de presión (Spirax Sarco)

11.3.2. Tipos de válvulas usadas en la línea de proceso

Los tipos de válvula usados en el presente proyecto son los siguientes:

Tabla 11.4 Tipos de válvula usadas en el presente proyecto

Tipo de válvula	Cantidad
Válvula de control de globo	11
Válvula de macho automática	3
Válvula de bola manual	3
Válvula de seguridad	7
Válvula de control de tres vías	1
Válvula de retención	1

11.4. Bombas

En el presente proyecto fin de carrera solo se ha requerido del uso de una bomba, esto es debido a que el sistema trabaja a alta presión (desde 35 bar de la alimentación a 32 bares del separador de fases) hasta la llegada a la columna estabilizadora (1 bar), y por lo tanto no se requiere del uso de ningún sistema de impulsión, en este caso se prescinde del uso de compresores en la línea de proceso.

La bomba B-1, como puede verse en el plano número 2 del segundo documento del presente proyecto, está situada a la salida de carcasa del cambiador IC-1, y su función es la de impulsar el líquido hasta la zona de tanques de almacenamiento.

Más del 80% de la población mundial de bombas son del tipo centrífugo, siendo este porcentaje aún mayor en refinería. Para la selección del tipo de bomba se ha requerido el uso de un gráfico en el anexo 11.

11.4.1. Bombas centrífugas

El principio de funcionamiento de una bomba centrífuga es el movimiento circular del rodete, el cual hace que el fluido se deslice por los

alabes imprimiéndole a éste una fuerza centrífuga que lo despiden a alta velocidad contra el difusor o voluta cuyo aumento progresivo de sección hace que se reduzca la velocidad y que aumente la presión.

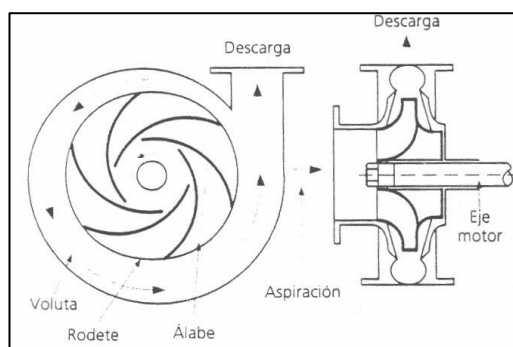


Figura 11.14 Bomba centrífuga

11.4.2. Bomba B-1

Los pasos seguidos en la selección de la bomba están incluidos en el apartado A.11.3 del anexo 11 del presente proyecto, obteniéndose el siguiente resultado:

Tabla 11.5 Bomba B-1

Variable	
h_s (altura manométrica necesaria)	16,672 m
Tipo de bomba	Centrífuga
$NPSH_d$	7,75 m
<i>Bomba elegida</i>	B&G 4BC 1510 1750 rpm
$NPSH_r$	3 m
Altura manométrica de la bomba	18 m
Potencia del motor	15 cv

El cálculo de estas propiedades queda recogido en el anexo 11 como ya se especificó antes, en el caso de la altura manométrica y el $NPSH_r$ se ha calculado mediante el uso de tablas proporcionadas por el fabricante.

CAPÍTULO 12: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

12.1. Sistemas de control

12.1.1. Introducción

Los sistemas de control son necesarios para conseguir un buen funcionamiento del proceso. Se utilizan para que las variables de estudio permanezcan en los valores fijados de manera automática, ya sea para lograr la producción deseada o para mantener la seguridad en la planta. Un lazo de control estará formado por un medidor (puede ser de temperatura, presión, caudal, etc.), un transmisor, un procesador que se encarga de interpretar la información recogida (Controlador PID) y un actuador (suele ser una válvula de control eléctrica o neumática).

Los equipos a los que van acoplados lazos de control están integrados dentro de la estructura de control de la refinería, de manera que cada lazo será visible por un panelista en la zona de control.

En el anexo 14 del presente proyecto se han incluido un catálogo de los accesorios a usar en la presente planta.

12.1.2. Nomenclatura

Los instrumentos de los lazos de control se representan con un círculo en cuyo interior se colocan las letras de designación del instrumento, así como un número identificativo del lazo al que pertenece (todos los instrumentos de un lazo se identificarán con el mismo número).

La identificación del tipo de instrumento se realiza mediante dos o más letras: la primera letra indica el tipo de variable que se mide, se indica, se transmite o se controla; la segunda letra expresa la función que realiza el instrumento en el lazo. Cuando el instrumento desempeña dos funciones simultáneamente se incluyen las dos letras que correspondan.

En la tabla siguiente se incluye la lista de variables y funciones más comunes, junto con las letras identificativas, según la nomenclatura ISA:

Tabla 12.1 Nomenclatura ISA (International Society of Automation)

Letra	Primera letra	Letras sucesivas
A	Análisis	Alarma
C	Conductividad	Control
D	Densidad	--
E	Voltaje	Elemento Primario
F	Caudal	--
H	--	Alto
I	Intensidad	Indicador
K	Tiempo	Estación de control
L	Nivel	Bajo
M	Humedad	Medio
P	Presión	Punto
R	Radioactividad	Registro o impresión
S	Velocidad	Interruptor
T	Temperatura	Transmisión
V	Viscosidad	Válvula
W	Peso	--
Y	--	Función especial o calculador
Z	Posición	Servo

12.1.3. Instrumentación

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

La instrumentación requerida para llevar a cabo estas funciones se puede clasificar en cuatro tipos:

- Instrumentos de medida o dispositivos para medir las variables controladas u otras variables que utilice el sistema de control.

- Actuadores capaces de mover las variables manipuladas del proceso en la dirección adecuada.
- Sistemas de transmisión de información capaces de llevar las señales medidas a los controladores y las señales de control a los actuadores.
- Controladores capaces de determinar las actuaciones necesarias a partir de la información obtenida del proceso y del comportamiento deseado.

El proceso de medida de una variable consiste en la comparación de la misma con una unidad estándar o patrón de medida. En algunos casos, la comparación se hace de forma directa, pero en otras se realiza de manera indirecta, utilizando algún principio físico-químico que permita relacionar la magnitud de la variable que se quiere medir con la magnitud de la otra variable, de otro tipo, de medida más sencilla.

Los elementos que conforman el sistema de medida de una variable son:

- Elemento primario o sensor: dispositivo que está en contacto con la variable del proceso que se mide
- Transductor: es el elemento que modifica la naturaleza de la señal que proporciona el sensor para que sea más fácilmente procesable o medible
- Transmisor: es el dispositivo que convierte la señal que proporciona el transductor en una señal estándar que se transmite fácilmente y que, al estar normalizada, es compatible con cualquier instrumento de control

12.1.3.1. Medidores más comunes

Entre los medidores más comunes se encuentran los de temperatura, caudal, presión y nivel.

12.1.3.1.1. Medidores de temperatura

- **Objetivo:** control de la temperatura en el interior de los equipos o conducciones.
- **Variable medida:** temperatura de funcionamiento del equipo.
- **Variable manipulada:** corriente de fluido calefactor/refrigerante, bypass de una corriente, etc. .
- **Elementos de control empleados:**
 - Elemento de medida: medida de temperatura con termopar tipo J o K.
 - Elemento de registro: ordenador central de control de la planta. Registro de la temperatura medida.
 - Elemento de control: Contralor PID asociado.
 - Elemento de manipulación: válvula de control neumática o controlador de caudal.
- **Elementos de seguridad:**
 - Alarma asociada: TAH/TAL.

Los sensores de temperatura más utilizados en las plantas de químicas son: termopares, termistores y termómetros bimetálicos. Hay siete combinaciones de metales estándar que se utilizan en los termopares, y cada una de ellas se designa mediante una letra. (ej. tipo B, E, J, K, etc.) El **tipo J** cubre la mayoría de las aplicaciones que son necesarias en una planta, aunque el **tipo K** se utiliza en aplicaciones donde se producen altas temperaturas (cámara de combustión, “waste heat boiler”).

Las características de algunos termopares son:

Tabla 12.2 Tipos de termopares

Tipo	Rango nominal de temperaturas	Identificación del material
B	0 a 1820°C	Platino-30% Rodio vs. Platino-6% Rodio
E	-270 a 1000 °C	Níquel-10% Cromo vs. Cobre-Níquel

Tabla 12.2 Cont.

J	-210 a 760 °C	Hierro vs. Cobre-Níquel
K	-270 a 1372°C	Níquel-10% Cromo vs. Níquel-5% Aluminio, Silicio
R	-50 a 1768 °C	Platino-13% Rodio vs. Platino
S	-50 a 1768°C	Platino-10% Rodio vs. Platino
T	-270 a 400°C	Cobre vs. Cobre-Níquel

12.1.3.1.2. Medidores de presión

- **Objetivo:** control de la presión en el interior del equipo o dentro de una línea de proceso.
- **Variable medida:** presión en el interior del equipo o en la conducción de salida del mismo.
- **Variables manipuladas:**
 - Corriente en bypass a antorcha.
 - Corriente de salida del compuesto del equipo.
- **Elementos de control empleados:**
 - Elemento de medida: medida de presión con galgas extensiométricas.
 - Elemento de registro: ordenador central de control de la planta. Registro de la presión de funcionamiento del equipo que se quiere controlar.
 - Elemento de control: Controlador de presión asociado al sensor.
 - Elemento de manipulación: válvula de control neumática y de todo o nada.
- **Elementos de seguridad:**
 - Alarma asociada: PAH/PAL

Será necesario colocar juntas herméticas para evitar la corrosión de los elementos de medida. Por ello se colocan en todas las aplicaciones con

potencial corrosivo. Sin embargo, cuando hay aire, agua, vapor, agua de refrigeración o agua de proceso no es necesaria su colocación. Estas juntas vienen en una gran variedad de materiales, incluyendo metales, PTFE y elastómeros. Metales como 304 SS, 316 SS, aleación C – 276, tantalio, Carpenter 20, Niquel 200, Monel 400 u otros están disponibles. También se usan materiales elastómeros tales como el vitón, neopreno, etc.

12.1.3.1.3. Medidores de nivel

- **Objetivo:** control del nivel en los distintos equipos de la planta.
- **Variable medida:** nivel de líquido en el interior de los equipos.
- **Variable manipulada:** corriente de entrada o salida de líquido de los equipos.
- **Elementos de control empleados:**
 - Elemento de medida: medida de nivel por medio de un sensor dependiendo del tipo de equipo.
 - Elemento de control: Controlador asociado de nivel.
 - Elemento de manipulación: válvula de control neumática o controlador de caudal.
- Elementos de seguridad:
 - Alarma asociada: LAH/LAL.

12.1.3.1.4. Medidores de caudal

- **Objetivo:** control del caudal paso, entrada o salida de algún equipo o sección del proceso para el óptimo funcionamiento de la planta.
- **Variable medida:** caudal de la corriente que se quiere controlar.
- **Variable manipulada:** corriente del compuesto sobre la que se quiere ejercer el control del caudal.
- **Elementos de control empleados**
 - Elemento de medida: Medidores de caudal de distintos tipos.
 - Elemento de registro: ordenador central de control de la planta. Registro del caudal que se quiere controlar.

- Elemento de control: Controlador asociado de caudal.
- Elemento de manipulación: válvula de control neumática.
- *Elementos de seguridad*
 - Alarma asociada: FAL/FAH

12.1.3.2. Elementos finales de control

En la planta proyectada, las variables que se manipulan en los lazos de control son caudales de corrientes del proceso. Para manipular estos caudales de corrientes líquidas y gaseosas, el elemento final de control utilizado es la válvula de control o de regulación automática.

Válvula de regulación automática

La válvula de control es el elemento final de un lazo de control. Su misión consiste en ejecutar las órdenes procedentes del controlador u otros instrumentos. Estos miden y controlan las variables de proceso, como pueden ser la presión, la temperatura o el caudal, y según la desviación entre el dato real de la variable medida y el valor fijado, mandan una señal correctora a la válvula, que se cerrará o abrirá, interrumpiendo o dejando pasar el fluido en función de la señal recibida.

12.2. Descripción de los lazos de control

En el presente apartado se va a proceder a dar una breve descripción de los lazos de control presentes en la planta y de la función que desempeñan cada uno:

- **Lazo de control nº 1: Elementos de medida**
 - Variables medidas:
 - Presión a la salida de la válvula VR-1.
 - Concentración de los componentes gaseosos del separador de fases.

- Caudal de gases que van a la planta de hidrógeno y a la red de fuel gas.
- Temperatura de salida del líquido del calderín Reb-1.
- Caudal de líquido mandado a tanque y densidad del mismo.

Este lazo de control tiene una finalidad meramente informativa, ya que no actúa sobre ninguna variable del sistema, simplemente da al operador de panel una visión de algunas variables.

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de presión (PT).
- Medidor/Transmisor de temperatura (TT).
- Medidor/Transmisor de caudal de tipo vortice (FT1 y FT2).
- Medidor/Transmisor de composición (cromatógrafo de gases en línea) (AT).
- Medidor/Transmisor de caudal y densidad tipo coriolis (FT3).

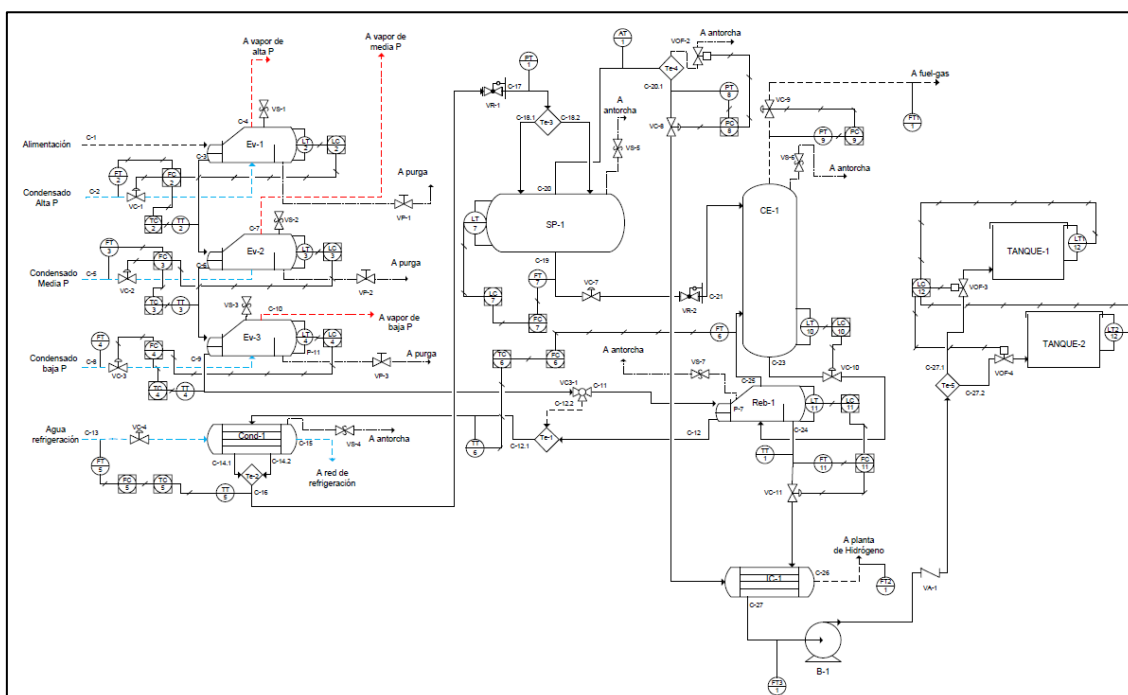


Figura 12.1 Diagrama P&Id de la planta

▪ **Lazo de control n° 2: Control de buena operación del evaporador Ev-1.**

- Variables controladas: Temperatura de salida de tubos y nivel de líquido en el evaporador.
- Variable manipulada: flujo de entrada de agua de condensando de alta presión.

El segundo lazo de control servirá para garantizar el buen funcionamiento del evaporador Ev-1. Este control es del tipo override junto a otro de cascada. En el control en cascada el controlador de temperatura (TC) fija la consigna del controlador de caudal (FC) y este actúa abriendo o cerrando la válvula (VC-1), de manera que si llegado a un caso extremo se alcanzase un nivel elevado dentro del evaporador Ev-1, entraría en juego el control override, y la consigna del controlador de caudal pasaría a ser manejada por el controlador de nivel (LC).

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de temperatura (TT) y su respectivo controlador (TC).
- Medidor/Transmisor de caudal de tipo vortice (FT) y su respectivo controlador (FC).
- Medidor/Transmisor de nivel (LT) junto a su respectivo controlador (LC).
- Válvula de control (VC-1).

Otros elementos de control del evaporador Ev-1

- Otro requerimiento de seguridad para evitar grandes aumentos de presión es una válvula de seguridad con un disco de ruptura en la parte superior del evaporador (VS-1).

- Habrá una conducción auxiliar que permita purgar agua del interior de la carcasa, mediante una válvula manual de purgado (VP-1).

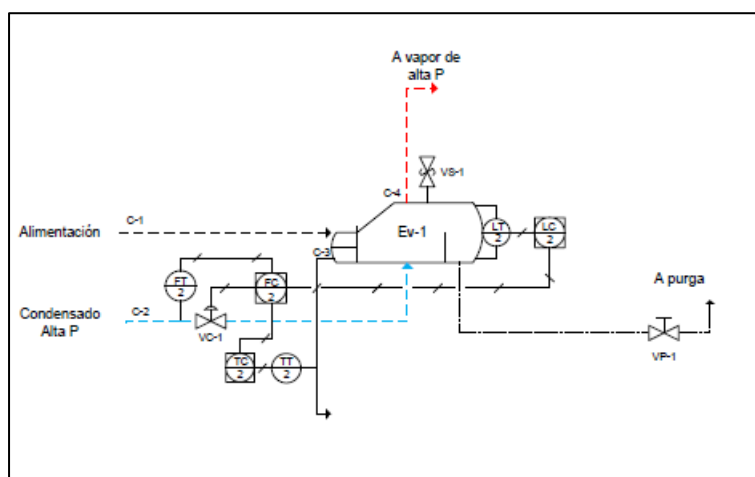


Figura 12.2 Control evaporador Ev-1

- **Lazo de control nº 3: Control de buena operación del evaporador Ev-2.**
 - Variables controladas: Temperatura de salida de tubos y nivel de líquido en el evaporador.
 - Variable manipulada: flujo de entrada de agua de condensando de media presión.

El tercer lazo de control servirá para garantizar el buen funcionamiento del evaporador Ev-2. Este control es del tipo override junto a otro de cascada. En el control en cascada el controlador de temperatura (TC) fija la consigna del controlador de caudal (FC) y este actúa abriendo o cerrando la válvula (VC-2), de manera que si llegado a un caso extremo se alcanzase un nivel elevado dentro del evaporador Ev-1, entraría en juego el control override, y la consigna del controlador de caudal pasaría a ser manejada por el controlador de nivel (LC).

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de temperatura (TT) y su respectivo controlador (TC).
- Medidor/Transmisor de caudal de tipo vortice (FT) y su respectivo controlador (FC).
- Medidor/Transmisor de nivel (LT) junto a su respectivo controlador (LC) .
- Válvula de control (VC-2).

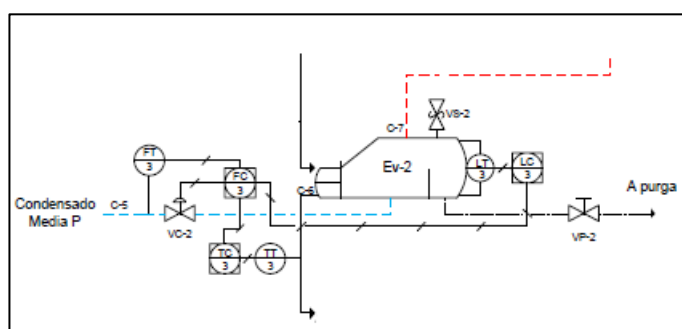


Figura 12.3 Control evaporador Ev-2

Otros elementos de control del evaporador Ev-2

- Otro requerimiento de seguridad para evitar grandes aumentos de presión es una válvula de seguridad con un disco de ruptura en la parte superior del intercambiador de calor (VS-2).
 - Habrá una conducción auxiliar que permita purgar agua del interior de la carcasa, mediante una válvula manual de purgado (VP-2).
- **Lazo de control nº 4: Control de buena operación del evaporador Ev-3.**
- Variables controladas: Temperatura de salida de tubos y nivel de líquido en el evaporador.

- Variable manipulada: flujo de entrada de agua de condensando de baja presión.

El cuarto lazo de control servirá para garantizar el buen funcionamiento del evaporador Ev-3. Este control es del tipo override junto a otro de cascada. En el control en cascada el controlador de temperatura (TC) fija la consigna del controlador de caudal (FC) y este actúa abriendo o cerrando la válvula (VC-3), de manera que si llegado a un caso extremo se alcanzase un nivel elevado dentro del evaporador Ev-3, entraría en juego el control override, y la consigna del controlador de caudal pasaría a ser manejada por el controlador de nivel (LC).

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de temperatura (TT) y su respectivo controlador (TC).
- Medidor/Transmisor de caudal de tipo vortice (FT) y su respectivo controlador (FC).
- Medidor/Transmisor de nivel (LT) junto a su respectivo controlador (LC).
- Válvula de control (VC-3).

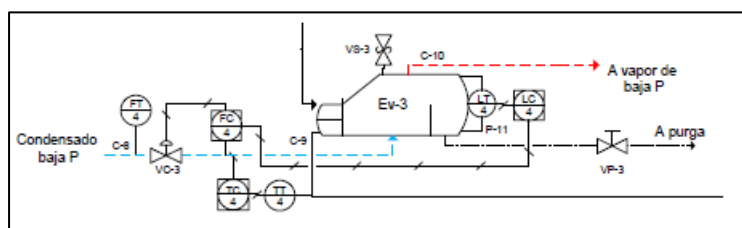


Figura 12.4 Control evaporador Ev-3

Otros elementos de control del evaporador Ev-3

- Otro requerimiento de seguridad para evitar grandes aumentos de presión es una válvula de seguridad con un disco de ruptura en la parte superior del evaporador (VS-3).

- Habrá una conducción auxiliar que permita purgar agua del interior de la carcasa, mediante una válvula manual de purgado (VP-3).
- **Lazo de control nº 5: Control de temperatura del condensador parcial Cond-1.**
 - Variables controladas: Temperatura de salida de carcasa.
 - Variable manipulada: flujo de entrada de agua de condensando de baja presión.

El quinto lazo de control servirá para controlar la temperatura de salida de carcasa del condensador parcial Cond-1. Este control de tipo cascada. En el control en cascada el controlador de temperatura (TC) fija la consigna del controlador de caudal (FC) y este actúa abriendo o cerrando la válvula (VC-4).

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de temperatura (TT) y su respectivo controlador (TC).
- Medidor/Transmisor de caudal de tipo magnético (FT) y su respectivo controlador (FC).
- Válvula de control (VC-4).

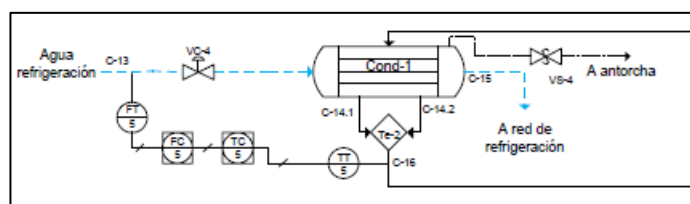


Figura 12.4 Control condensador parcial Cond-3

Otros elementos de control del condensador parcial Cond-1

- Otro requerimiento de seguridad para evitar grandes aumentos de presión es una válvula de seguridad con un disco de ruptura en la parte superior del intercambiador de calor (VS-4).

▪ Lazo de control nº 6: Control de vapor del reboiler Reb-1.

- Variables controladas: Caudal de vapor que retorna a columna por la conducción C-25.
- Variable manipulada: flujo de bypass en la válvula de 3 vías.

El sexta lazo de control servirá para controlar el caudal de vapor que retorna a la columna estabilizadora CE-1. Este control es de tipo override. En este tipo de control el controlador de caudal (FC) actúa directamente sobre la válvula VC3-1 hasta un cierto valor límite de temperatura de salida de la Te-1 en el cual pasa a controlar la válvula el controlador de temperatura (TC).

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de temperatura (TT) y su respectivo controlador (TC).
- Medidor/Transmisor de caudal de tipo Annubar (FT) y su respectivo controlador (FC).
- Válvula de control de 3 vías (VC3-1).

Para este lazo de control ver Plano nº 1 del presente proyecto.

Otros elementos de control del reboiler Reb-1

- Otro requerimiento de seguridad para evitar grandes aumentos de presión es una válvula de seguridad con un disco de ruptura en la parte superior del intercambiador (VS-7).

▪ **Lazo de control nº 7: Control de operación del separador de fases SP-1.**

- Variables controladas: Caudal de salida de líquido a la columna estabilizadora CE-1.
- Variable manipulada: flujo de salida de líquido del separador.

El séptimo lazo de control servirá para controlar el correcto funcionamiento del separador de fases SP-1. Este control es de tipo override. En este tipo de control el controlador de caudal (FC) actúa directamente sobre la válvula VC-7, en caso de que se alcance un nivel de emergencia, de líquido alto o de líquido bajo, pasará a controlar la apertura de la válvula el controlador de nivel (LC).

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de caudal de tipo vórtice (FT) y su respectivo controlador (FC).
- Medidor/Transmisor de nivel de tipo continuo con interruptor (LT) y su respectivo controlador (LC).
- Válvula de control (VC-7).

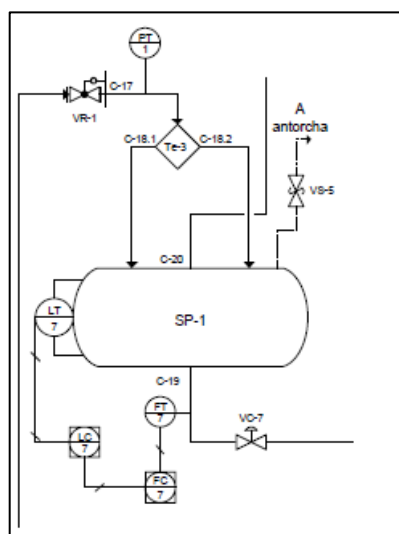


Figura 12.5 Control SP-1

▪ **Lazo de control n° 8: Control de presión del separador de Fases SP-1.**

- Variables controladas: Presión en el interior del separador.
- Variable manipulada: Apertura de la válvula VC-8 y apertura de la válvula de macho VOF-2.

El octavo lazo de control servirá para controlar la presión dentro del separador de fases SP-1. Este control es de tipo rango partido. En este tipo de control el controlador de presión (FC) actúa directamente sobre la válvula VC-8 hasta un cierto valor límite de presión en la salida del separador de fases, a partir del cual el controlador pasa a abrir la válvula de descarga a antorcha (VOF-2).

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de presión (PT) y su respectivo controlador (PC).
- Válvula de control (VC-8).
- Válvula de macho de todo o nada (VOF-2).

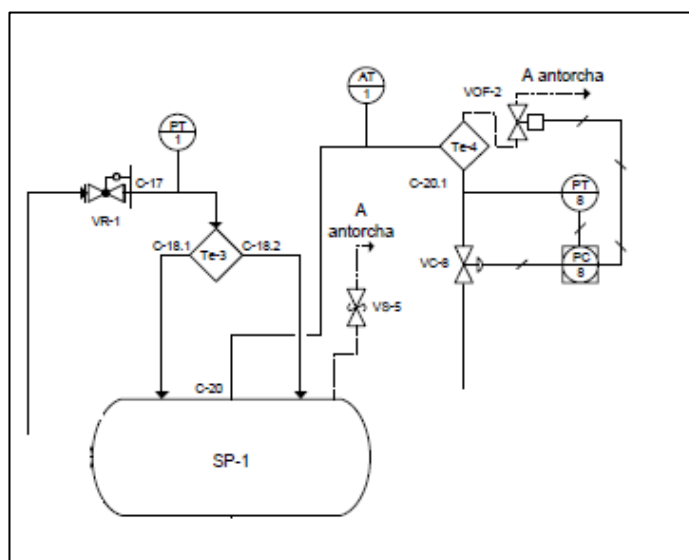


Figura 12.6 Control de presión SP-1

Otros elementos de control del separador de fases SP-1

- Otro requerimiento de seguridad para evitar grandes aumentos de presión es una válvula de seguridad con un disco de ruptura en la parte superior del separador (VS-5).

- **Lazo de control n° 9: Control de presión de la columna estabilizadora CE-1.**
 - Variables controladas: Presión en el interior de la columna estabilizadora.
 - Variable manipulada: Apertura de la válvula VC-9.

El noveno lazo de control servirá para controlar la presión dentro de la columna estabilizadora. Este control es del tipo simple de presión. En este tipo de control el controlador de presión (PC) actúa directamente sobre la válvula VC-7 según el punto de consigna establecido.

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de presión (PT) y su respectivo controlador (PC).
- Válvula de control (VC-9).

Otros elementos de control de la presión de la columna estabilizadora

- Otro requerimiento de seguridad para evitar grandes aumentos de presión es una válvula de seguridad con un disco de ruptura en la parte superior de la columna (VS-5).

- **Lazo de control n° 10: Control nivel de líquido en el fondo de la columna estabilizadora CE-1.**
 - Variables controladas: Nivel de líquido en el fondo.
 - Variable manipulada: Apertura de la válvula VC-10.

El décimo lazo de control servirá para controlar el nivel de líquido existente en el fondo de la columna estabilizadora. Este control es del tipo simple de nivel. En este tipo de control el controlador de nivel (LC) actúa directamente sobre la válvula VC-10 según el punto de consigna establecido.

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de nivel del tipo sonda (LT) y su respectivo controlador (LC).
- Válvula de control (VC-10).

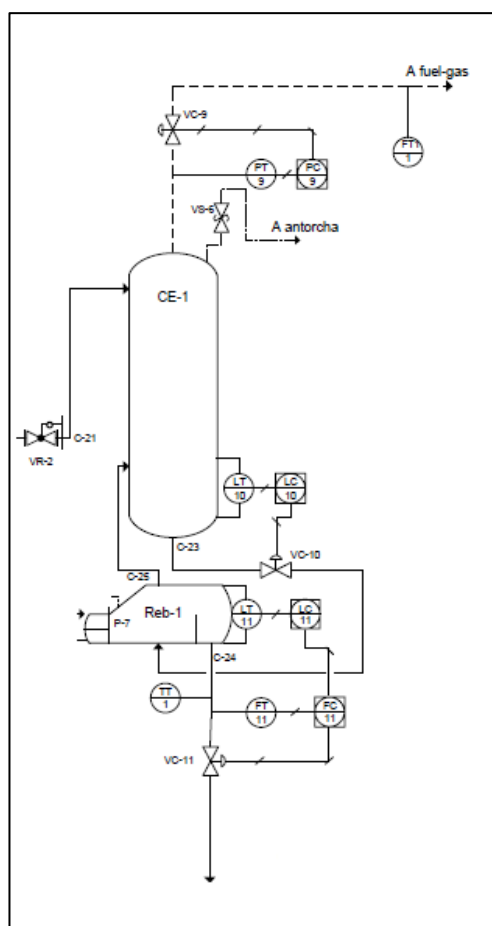


Figura 12.7 Control CE-1 y Reb-1

▪ **Lazo de control nº 11: Control de caudal de salida del líquido del reboiler Reb-1.**

- Variables controladas: Caudal de salida del líquido del reboiler Reb-1.
- Variable manipulada: apertura de la válvula VC-11.

El undécimo lazo de control servirá para un caudal constante de salida de líquido del calderín Reb-1. Este control es del tipo override. En este tipo de control el controlador de caudal (FC) actúa directamente sobre la válvula VC-11, en caso de que se alcance un nivel de emergencia, de líquido alto o de líquido bajo dentro del calderín, pasará a controlar la apertura de la válvula el controlador de nivel (LC).

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de caudal de tipo vortice (FT) y su respectivo controlador (FC).
- Medidor/Transmisor de nivel (LT) junto a su respectivo controlador (LC).
- Válvula de control (VC-11).

▪ **Lazo de control nº 12: Control de llenado de los tanques.**

- Variables controladas: Nivel de líquido del tanque.
- Variable manipulada: Apertura todo o nada de las válvulas VOF-3 y VOF-4.

El duodécimo lazo de control servirá como elemento de seguridad en el llenado de los tanques. Este control será de tipo rango partido. En este tipo de control el controlador de nivel (LC) actúa directamente sobre la válvula VOF-3, que es de apertura todo o nada, hasta un valor máximo de nivel del tanque número uno, a partir del cual el controlador cierra la válvula VOF-3

y pasa a abrir la válvula VOF-4 para que el producto vaya al tanque número dos.

El lazo se compone de la siguiente instrumentación:

- Medidor/Transmisor de nivel (LT1 y LT2) del tipo sonda y su respectivo controlador (LC).
- Válvulas de macho todo o nada (VOF-3 y VOF-4).

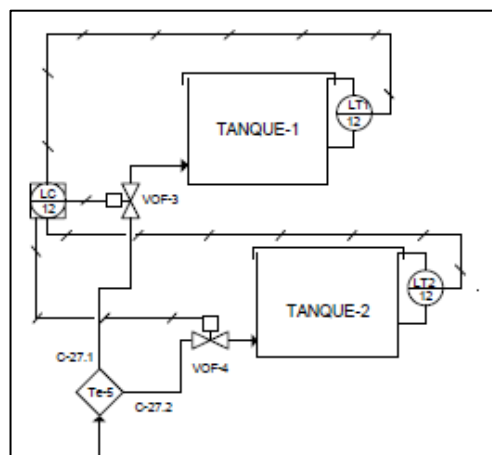


Figura 12.8 Control llenado de tanques

CAPÍTULO 13: EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

13.1. Introducción

El término impacto se aplica a la alteración que introduce una actividad humana en su “entorno”; este último concepto identifica la parte del medio ambiente afectada por la actividad, o más ampliamente, que interacciona con ella. Por tanto el impacto ambiental se origina en una acción humana y se manifiesta según tres facetas sucesivas:

- La modificación de alguno de los factores ambientales o del conjunto del sistema ambiental.
- La modificación del valor del factor alterado o del conjunto del sistema ambiental.
- La interpretación o significado ambiental de dichas modificaciones, y en último término, para la salud y bienestar humano. Esta tercera faceta está íntimamente relacionada con la anterior ya que el significado ambiental de la modificación del valor no puede desligarse del significado ambiental del valor que se parte.

Por tanto, las evaluaciones de impacto ambiental son estudios realizados para identificar, predecir e interpretar, así como para prevenir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones, planes, programas o proyectos pueden causar a la salud y al bienestar humano, y al entorno.

13.1.1 Metodología en la elaboración del estudio de Impacto Ambiental

Este proceso queda recogido en el R.D.L. 9/2000, en el cual se hace referencia a la necesidad de evaluar el impacto ambiental en un grupo de proyectos, englobados en dos anexos. La planta estabilizadora que es objeto del estudio puede encuadrarse en el Anexo 2, lo que justifica el Informe Ambiental que se realiza a continuación.

El Reglamento de E.I.A. señala un contenido para los estudios de impacto ambiental que define la estructura del estudio y señala las pautas para la elaboración de la metodología; es el siguiente.

- Análisis del proyecto y sus acciones.
- Examen de alternativas técnicamente viables y justificación de la solución adoptada.
- Definición del entorno del proyecto y posterior descripción y estudio del mismo.
- Previsiones de los efectos que el proyecto generará sobre el medio.
- Identificación de las acciones del proyecto potencialmente impactantes.
- Identificación de los factores del medio potencialmente impactados.
- Identificación de relaciones causa-efecto entre acciones del proyecto y factores del medio. Elaboración de la matriz de Importancia.
- Predicción de la magnitud del impacto sobre cada factor.
- Establecimiento de medidas protectoras y correctoras.
- Programa de vigilancia ambiental.
- Documento de síntesis.

Como marco de referencia, el estudio adoptará las exigencias del Reglamento de E.I.A., el cual señala lo siguiente:

- La evaluación de impacto ambiental –y por tanto, el estudio de impacto ambiental que la soporta- debe comprender, al menos, la estimación de los efectos sobre la población humana, la fauna, la flora, la vegetación, la gea, el suelo, el agua, el aire, el clima, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada. Asimismo, debe comprender la estimación de la incidencia que el proyecto, obra o actividad tiene sobre los elementos que componen el Patrimonio Histórico español, sobre las relaciones sociales y las condiciones de sosiego público,

tales como ruidos, vibraciones, olores y emisiones luminosas, y la de cualquiera otra incidencia ambiental derivada de su ejecución.

13.2. Estudio del proyecto y su entorno

13.2.1. Análisis general del proyecto

13.2.1.1. Definición de la planta

La planta objeto de este proyecto fin de carrera ha sido proyectada para una producción útil de 478134,59 tm/año de benceno al 48,8 %. Además se obtienen, como producto secundario, una corriente gaseosa rica en hidrogeno y metano, y vapor de agua en sus distintos niveles de presión.

Habrà que tener en cuenta todas las actividades que se van a desarrollar desde la fase de construcción de la planta hasta la fase de puesta en funcionamiento de la misma, considerando todo el tipo de material, maquinaria y equipo que se vaya a utilizar, así como los riesgos de accidentes, la contaminación y otros parámetros de interés que surjan durante el proceso de construcción hasta la puesta en funcionamiento de la planta.

13.2.1.2. Localización

La planta estará localizada en la Refinería Gibraltar CEPSA dentro del término municipal de San Roque (Cádiz).

13.2.1.3. Descripción de trabajos a realizar durante la construcción de la planta

Los trabajos que se van a realizar durante la fase de construcción de la planta serán los siguientes:

- Desbroce por medios mecánicos.
- Movimiento de tierras.
- Defensa de hundimientos y desprendimientos de terrenos.

- Excavación mecánica. Zanjás.
- Hormigonado de cimientos por vertido directo.
- Estructura de hormigón armado y en masa. Cubilote.
- Estructuras metálicas. Colocación de perfiles.
- Estructuras metálicas. Colocación de cerchas y correas.
- Muros de carga.
- Zunchos perimetrales y jácenas.
- Forjados de viguetas y bovedillas.
- Albañilería.
- Carpintería metálica y barandillas.
- Pintura.
- Falsos techos.
- Formación de cubiertas.
- Cubiertas con placas.
- Solados.
- Fontanería y bajantes.
- Saneamientos.
- Instalación eléctrica.
- Iluminación.

13.2.1.4. Descripción de la maquinaria a utilizar en la fase de construcción

Durante el transcurso de la fase de construcción de la planta está previsto que se utilice la siguiente maquinaria:

- Movimiento de tierras:

Retroexcavadora, pala cargadora, excavadora de draga de arrastre, zanjadora continua.

- Transporte horizontal:

Carretilla transportadora, motovolquete (dúmpér pequeño), camión basculante, camión cisterna, dúmpér (grande).

- Maquinaria de elevación:

Grúa torre.

- Maquinaria para hormigones:

Hormigonera, bomba de hormigón, camión hormigonera, vibrador de agujas.

- Maquinaria para compactación y pavimentación:

Extendedora, compactadora, explanadora, camión bituminador, pisón mecánico.

- Maquinaria transformadora de energía:

Grupo electrógeno, motor eléctrico, compresor.

- Máquinas herramientas:

Martillo neumático, taladro columna, esmeriladora de pie, tronzadora de metal, tronzadora de cerámica, tronzadora de madera, ingleteadora, tupí, sierra de cinta, amasadora, pulidora, fresadora.

- Herramientas

Taladro percutor, martillo rotativo, pistola clavadora, lijadora, disco radial, máquina de cortar terrazo y azulejo, rozadora, herramientas manuales.

13.2.1.5. Descripción de materias primas y productos

Véase capítulo 2 de la presente memoria.

13.2.1.6. Descripción del proceso

Véase capítulo 4 de la presente memoria.

13.2.1.7. Vertido de residuos

En operación normal, la planta no genera ningún residuo del tipo gaseoso o sólido.

13.2.1.7.1. Usos del agua

El agua se usa como agua de refrigeración y como agua de lavado de los equipos en las operaciones de limpieza.

13.2.1.7.2. Características de los residuos

Los residuos que se producen en la planta son de distintos tipos:

- Aguas residuales:

Se pueden clasificar en dos tipos, una como los efluentes del proceso de fabricación (purgado de evaporadores) y otra como las aguas que provienen del saneamiento de la planta, procesos de limpieza de equipos y de la planta propiamente dicha.

- Vertidos líquidos:

Son los vertidos que provienen de posibles escapes, fugas y roturas de los tanques de almacenamiento, de las líneas de proceso o de algún equipo de la planta.

13.2.2. Definición del entorno del proyecto

La delimitación geográfica del ámbito afectado se puede reducir básicamente a la ocupación que se va a producir del terreno por la construcción de la planta, y por extensión, de la zona de refinería donde se va a situar la planta, ya que el posible impacto que se pueda producir por los efluentes del proceso sobre los acuíferos subterráneos queda eliminado previo tratamiento de los efluentes en la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales, y su posterior vertido a vías fluviales.

El posible impacto producido por ruidos, olores, incendios y riesgos de explosiones puede hacer que este entorno se vea aumentado, pero se tomarán todas las medidas posibles para su minimización.

13.2.3. Descripción general del entorno

Aquí se va a evaluar el medio receptor del proyecto, con objeto de definir el estado preoperacional de referencia que permita determinar las

alteraciones potenciales que ocasionará la puesta en marcha del proyecto, estableciendo las características de ese medio receptor y su capacidad de acogida.

13.2.3.1. Medio Físico

El entorno donde se va a situar el proyecto tiene un clima mediterráneo, con inviernos y veranos suaves y húmedos (ver capítulo 5).

El tratamiento de aguas residuales se hace mediante la planta de tratamiento de la propia refinería, la cual después de tratarlas las manda a un colector submarino directo al estrecho de Gibraltar.

La flora del entorno es del tipo mediterráneo, mientras que la fauna no tiene relevancia, ya que al situarse el proyecto en un polígono industrial, y más si cabe dentro de la propia refinería, ésta es inexistente, tanto terrestre como acuática.

El paisaje que se va a ver afectado por la construcción y funcionamiento de la planta es mínimo, ya que las construcciones van a estar dentro de una refinería y no van a modificar de forma importante el paisaje ya existente.

13.2.3.2. Medio Socio-económico

El medio socio-económico del entorno afectado va a ser mínimo, ya que la construcción y puesta en funcionamiento de la planta no va a repercutir de forma negativa en un medio que se dedica fundamentalmente a la industria del refino de petróleo, petroquímica e industria energética. En cualquier caso, la repercusión que va a tener la implantación de la planta será positiva, ya que proporcionará trabajo temporal a empresas de la zona durante la fase de construcción y trabajo a personas y empresas durante el funcionamiento de la planta.

13.3. Identificación de los efectos que el proyecto generará sobre el medio

13.3.1. Identificación de efectos

Una vez que se conoce el proyecto, el entorno que le rodea y la capacidad de acogida de este sobre aquél, se desarrolla una primera aproximación al estudio de acciones y efectos, de forma que una primera visión de los efectos que se producirán sobre el medio, se podrá prever qué consecuencias acarrearán las acciones emprendidas para la consecución del proyecto, sobre los parámetros medioambientales, así como vislumbrar aquellos factores que serán los más afectados.

Se distingue entre fase de construcción y fase de funcionamiento de la planta; de acuerdo con esto, se observa la siguiente clasificación:

1) Acciones impactantes:

a) Fase de construcción:

- A₁: Accesos y viales
- A₂: Desbroce y tala
- A₃: Movimiento de tierras
- A₄: Infraestructuras
- A₅: Vertidos
- A₆: Pavimentaciones o recubrimientos de superficie
- A₇: Acopio de materiales
- A₈: Maquinaria pesada y utillaje productor de ruidos y vibraciones
- A₉: Emisión de polvo
- A₁₀: Tráfico de vehículos
- A₁₁: Desmonte y rellenos
- A₁₂: Excavaciones
- A₁₃: Instalaciones provisionales
- A₁₄: Construcción propiamente dicha
- A₁₅: Señalización y vallas

- A₁₆: Incremento de la mano de obra
- A₁₇: Presupuesto
- b) Fase de funcionamiento:
 - A₁₈: Nivel de ocupación
 - A₁₉: Infraestructuras
 - A₂₀: Inversión
 - A₂₁: Maquinaria
 - A₂₂: Transporte de líquidos inflamables y combustibles. Descarga camiones cisterna
 - A₂₃: Alimentación a los tanques
 - A₂₄: Tanques de almacenamiento
 - A₂₅: Circulación vehículos pesado y tráfico
 - A₂₆: Producción anual prevista
 - A₂₇: Producción diaria prevista
 - A₂₈: Utilización y consumo de materias primas
 - A₂₉: Humos
 - A₃₀: Subestaciones de transformación
 - A₃₁: Ruido y vibraciones
 - A₃₂: Emisión de polvo
 - A₃₃: Tráfico
 - A₃₄: Barreras y vallados
 - A₃₅: Explosiones
 - A₃₆: Incendios
 - A₃₇: Escapes y fugas
 - A₃₈: Fallos de funcionamiento
 - A₃₉: Vertido de efluentes
 - A₄₀: Impermeabilización
 - A₄₁: Dirección más frecuente en el transporte de contaminantes atmosféricos
 - A₄₂: Red de vigilancia y control
 - A₄₃: Características meteorológicas de la zona

- A₄₄: Coste de funcionamiento

2) Factores impactados:

2.1.) Medio natural:

a) Aire:

- Calidad del aire
- Microclima
- Contaminación sonora

b) Tierra y suelo:

- Erosión
- Contaminación
- Suelo

c) Agua:

- Recursos hídricos
- Calidad del agua
- Temperatura

d) Flora:

- Especies endémicas
- Especies interesantes

e) Fauna:

- Especies endémicas
- Aves migratorias
- Insectos
- Especies interesantes

f) Medio perceptual:

- Vistas
- Naturalidad
- Singularidad

2.2.) Medio socioeconómico:

g) Usos del territorio:

- Actividades industriales

h) Valores culturales y humanos:

- Bienestar
- Salud y seguridad
- Calidad de vida

i) Infraestructuras:

- Transportes y comunicaciones
- Red de abastecimiento
- Red de saneamiento
- Equipamiento

j) Economía y población:

- Dependencia energética
- Consumo energético
- Costes e inversiones
- Beneficios
- Economía local

13.3.2. Matriz de identificación de efectos

La matriz de identificación de efectos, que es del tipo causa-efecto, consistirá en un cuadro de doble entrada en cuyas columnas figurarán las acciones impactantes y dispuestos en filas los factores medioambientales susceptibles de recibir impactos.

Se ha creído conveniente determinar previamente la matriz de identificación de efectos, tanto para la fase de construcción como para la fase de funcionamiento, lo que permite identificar las acciones que puedan causar impactos sobre una serie de factores del medio (Ver Tablas 13.1 y 13.2).

Una vez que se han determinado las matrices de identificación de efectos, de éstas se han eliminado ciertas acciones impactantes y factores

medioambientales, ya que no revisten gran relevancia, quedando ya las matrices de identificación de efectos definitivas, que van a ser la base del desarrollo del estudio de impacto ambiental (Ver tablas 13.3 y 13.4).

Se han eliminado dentro de los factores impactados la flora, la fauna y el medio perceptual, ya que al estar la planta ubicada dentro de una refinería en uso, estos tres factores son prácticamente inexistentes, ya sea desde el punto de vista de la flora (inexistente), de la fauna (también inexistente) o desde el punto de vista perceptual, ya que la alteración paisajística debida a la implantación de la planta en suelo destinado específicamente para ello y que ya se encuentra parcialmente ocupado, aunque siempre presente, es mínima.

Dentro de las acciones impactantes que se han eliminado en la fase de construcción están el desbroce y tala, pavimentaciones o recubrimientos de superficie, acopio de materiales, instalaciones provisionales y señalización y vallas, ya que si bien son acciones impactantes inevitables, representan un impacto despreciable dentro de un polígono industrial o bien son temporales durante la fase de construcción y reversibles una vez terminada esta fase.

En cuanto a las acciones impactantes que se han eliminado dentro de la fase de funcionamiento de la planta, como son el nivel de ocupación, humos, subestaciones de transformación, barreras y vallados, impermeabilización, dirección más frecuente en el transporte de contaminantes atmosféricos, red de vigilancia y control y características meteorológicas de la zona, se han eliminado por ser prácticamente despreciables para el tipo de planta que se va implantar y estar dentro de un polígono industrial.

Tabla 13.1 Matriz de identificación de efectos (Fase de construcción)

FACTORES DEL MEDIO		ACCIONES DE LA ACTIVIDAD																	
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇	
MEDIO FÍSICO	Aire	Calidad del aire									X								
		Microclima																	
		Contaminación sonora	X	X	X						X		X	X	X		X		
	Tierra y suelo	Erosión	X	X	X						X		X	X	X		X		
		Contaminación					X												
		Suelo	X		X			X						X	X	X			
	Agua	Recursos hídricos					X												
		Calidad del agua					X												
		Temperatura																	
	Flora	Especies endémicas		X							X	X	X	X	X		X		
		Especies interesantes																	
	Fauna	Especies endémicas		X			X				X		X	X	X		X		
		Aves migratorias									X								
		Insectos		X								X	X		X		X		
Medio Perceptual	Especies interesantes										X		X			X			
	Vistas														X	X	X		
	Naturalidad	X	X	X	X		X		X				X	X	X	X	X		
	Singularidad															X			
MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	Usos del territorio	Actividades industriales	X			X											X		
		Bienestar																	X
	Valores Culturales y Humanos	Salud y seguridad					X					X	X				X		
		Calidad de vida															X		
	Infraestructura	Transportes y comunicaciones	X			X							X						
		Red abastecimiento				X												X	
		Red saneamiento				X												X	
		Equipamiento				X												X	
	Economía y Población	Dependencia energética				X												X	
		Consumo energético				X												X	
		Costes e inversiones				X		X									X		X
Beneficios		X	X	X		X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	
Economía local		X	X	X		X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	

Tabla 13.2 Matriz de identificación de efectos (Fase de funcionamiento)

FACTORES DEL MEDIO		ACCIONES DE LA ACTIVIDAD																											
		A ₁₈	A ₁₉	A ₂₀	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₆	A ₂₇	A ₂₈	A ₂₉	A ₃₀	A ₃₁	A ₃₂	A ₃₃	A ₃₄	A ₃₅	A ₃₆	A ₃₇	A ₃₈	A ₃₉	A ₄₀	A ₄₁	A ₄₂	A ₄₃	A ₄₄	
MEDIO FÍSICO	Aire	Calidad del aire									X				X		X	X	X					X	X	X			
		Microclima									X				X		X	X	X					X	X	X			
		Contaminación sonora				X			X				X		X		X												
	Tierra y suelo	Erosión																X	X			X		X		X			
		Contaminación					X	X	X		X	X			X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X		
		Suelo	X								X	X		X				X	X					X					
	Agua	Recursos hídricos		X			X				X							X	X										
		Calidad del agua		X			X	X	X		X							X	X				X	X	X	X	X	X	
		Temperatura																X	X				X	X					
	Flora	Especies endémicas		X			X			X	X		X		X		X	X	X		X		X		X				
		Especies interesantes																											
	Fauna	Especies endémicas		X			X			X	X		X		X		X	X	X		X		X		X				
		Aves migratorias								X																			
		Insectos		X			X			X	X		X		X		X	X	X		X		X		X		X		
Medio Perceptual	Especies interesantes					X			X	X		X		X		X	X	X		X		X		X					
	Vistas	X	X														X												
	Naturalidad	X	X														X												
	Singularidad	X	X														X												
MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	Usos del territorio	Actividades industriales	X	X																									
		Bienestar											X	X	X		X	X	X										
	Valores Culturales y Humanos	Salud y seguridad				X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X							
		Calidad de vida													X	X	X	X	X		X								
	Infraestruct.	Transportes y comunicaciones	X			X			X							X	X	X											
		Red abastecimiento	X	X					X	X	X							X				X							
		Red saneamiento	X	X		X			X	X	X							X			X	X							
		Equipamiento	X	X					X	X	X							X			X					X			
	Economía y Población	Dependencia energética				X			X	X	X	X								X									X
		Consumo energético	X	X		X			X	X	X	X						X	X	X		X							X
		Costes e inversiones	X	X	X				X	X	X	X					X	X	X	X	X					X		X	X
Beneficios		X	X					X	X	X										X								X	
Economía local		X	X					X	X								X	X	X	X					X		X	X	

Tabla 13.3 Matriz de identificación de efectos modificada
(Fase de construcción)

FACTORES DEL MEDIO			ACCIONES DE LA ACTIVIDAD														
			A ₁	A ₃	A ₄	A ₅	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₄	A ₁₆	A ₁₇			
MEDIO FÍSICO	Aire	Calidad del aire							X								
		Microclima															
		Contaminación sonora	X	X				X		X	X	X	X				
	Tierra y suelo	Erosión	X	X				X		X	X	X	X				
		Contaminación				X											
		Suelo	X	X								X	X				
	Agua	Recursos hídricos				X											
Calidad del agua					X												
MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	Usos del territorio	Actividades industriales	X		X										X		
		Bienestar														X	
	Valores Culturales y Humanos	Salud y seguridad				X			X	X					X	X	
		Calidad de vida														X	
		Transportes y comunicaciones	X		X						X						
	Infraestructura	Red abastecimiento			X											X	
		Red saneamiento			X											X	
		Equipamiento			X											X	
		Dependencia energética			X											X	
	Economía y Población	Consumo energético			X											X	
		Costes e inversiones			X											X	X
		Beneficios	X	X		X	X					X	X	X	X	X	X
		Economía local	X	X		X	X					X	X	X	X	X	X

Tabla 13.4 Matriz de identificación de efectos modificada
(Fase de funcionamiento)

FACTORES DEL MEDIO			ACCIONES DE LA ACTIVIDAD																					
			A ₁₉	A ₂₀	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₆	A ₂₇	A ₂₈	A ₃₁	A ₃₂	A ₃₃	A ₃₅	A ₃₆	A ₃₇	A ₃₈	A ₃₉	A ₄₄			
MEDIO FÍSICO	Aire	Calidad del aire												X	X	X	X							
		Microclima												X	X	X	X							
		Contaminación sonora			X				X			X		X	X									
	Tierra y suelo	Erosión													X	X								
		Contaminación				X	X	X			X			X	X	X	X			X				
		Suelo										X		X	X									
	Agua	Recursos hídricos	X			X					X							X		X				
Calidad del agua		X			X	X	X			X							X		X					
Temperatura																	X		X					
MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	Usos del territorio	Actividades industriales	X														X							
		Bienestar											X	X	X	X	X	X						
	Valores Culturales y Humanos	Salud y seguridad			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
		Calidad de vida										X	X	X	X	X	X			X				
		Transportes y comunicaciones	X			X				X					X	X	X							
	Infraest.	Red abastecimiento	X	X						X	X	X				X				X				
		Red saneamiento	X	X		X				X	X	X				X				X	X			
		Equipamiento	X	X						X	X					X				X				
		Dependencia energética			X					X	X	X								X	X			
	Economía y Población	Consumo energético	X		X					X	X	X				X	X			X	X			
		Costes e inversiones	X	X	X					X	X					X	X			X	X			
		Beneficios	X	X						X	X	X								X	X			
		Economía local	X	X						X	X					X	X	X	X	X	X			

13.3.3. Matriz de impactos

Para la determinación de la matriz de impactos y poder determinar de forma cualitativa el impacto que produce una determinada acción sobre un determinado factor medioambiental se va a hacer una medición de cada impacto de 0 a 5, según sea la importancia y la magnitud del mismo de la siguiente forma:

Tabla 13.5 Escala de importancia de impactos

Importancia impacto	Valor
Nula	0
Baja	1
Media	2
Alta	3
Muy alta	4
Total	5

Se ha optado por esta forma de valoración ya que, aunque muchos de los impactos producidos por las acciones son cuantificables y perfectamente medibles, otros muchos son medibles a través de un indicador, otros son subjetivos y otros directamente son no medibles.

Por lo tanto, de esta forma se consigue unificar la valoración y se puede obtener valores que indiquen cuales son los factores que sufren un mayor impacto.

Esta forma de valoración es orientativa y no sirve como valoración definitiva, sino como aproximación para ver cuáles son los factores más impactados y las acciones más impactantes para su posterior estudio (Ver tablas 13.6 y 13.7).

Tabla 13.6 Matriz de impactos (Fase de construcción)

		ACCIONES IMPACTANTES															Total fase
		A ₁	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₆	A ₁₇	
MEDIO FÍSICO	Aire	Calidad aire	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4
		Microclima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Contaminación sonora	2	2	0	0	4	0	3	1	1	3	0	0	0	0	16
		Total	2	2	0	0	4	4	3	1	1	3	0	0	0	0	20
	Tierra y suelo	Erosión	2	1	0	0	2	0	2	4	4	1	0	0	0	16	
		Contaminación	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
		Suelo	2	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	7	
		Total	4	2	0	3	2	0	2	4	7	2	0	0	0	26	
	Agua	Recursos hídricos	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
		Calidad agua	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
Total		0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6		
TOTAL IMPACTO DEL SUBSISTEMA		6	4	0	9	6	4	5	5	8	5	0	0	0	52		
MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	Usos del territorio	Actividades industriales	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	
		Total	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	
	Valores culturales y humanos	Bienestar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
		Salud y seguridad	0	0	0	3	0	2	1	0	0	2	0	0	0	8	
		Calidad de vida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
		Total	0	0	0	3	0	2	1	0	0	4	0	0	0	10	
	Infraestructura	Transporte y comunicaciones	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	
		Red abastecimiento	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	
		Red saneamiento	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	
		Equipamiento	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	
		Total	1	0	4	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	9	
	Economía y población	Dependencia energética	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	
		Consumo energético	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	
		Costes e inversiones	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	
		Beneficios	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	9	
		Economía local	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	9	
		Total	2	2	3	2	2	0	0	2	2	7	3	3	3	28	
	TOTAL IMPACTO DEL SUBSISTEMA		4	2	8	5	2	2	2	2	2	15	3	3	50		

Tabla 13.7 Matriz de impactos (Fase de funcionamiento)

		ACCIONES IMPACTANTES																		Total fase		
		A ₁₉	A ₂₀	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₆	A ₂₇	A ₂₈	A ₃₁	A ₃₂	A ₃₃	A ₃₅	A ₃₆	A ₃₇	A ₃₈	A ₃₉		A ₄₄	
MEDIO FÍSICO	Aire	Calidad aire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	4	3	0	0	13	
		Microclima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	4	3	0	0	13	
		Contaminación sonora	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	2	0	3	4	0	0	0	0	13	
		Total	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	2	4	3	12	8	6	0	0	39	
	Tierra y suelo	Erosión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3	
		Contaminación	0	0	0	2	2	1	0	0	0	2	0	0	2	2	1	0	3	0	17	
		Suelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	4	
		Total	0	0	0	2	2	1	0	0	0	2	2	0	2	5	4	1	0	3	24	
	Agua	Recursos hídricos	1	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	4	0	0	17	
		Calidad agua	1	0	0	4	2	2	0	0	4	0	0	0	0	4	0	4	0	0	21	
Temperatura		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	8		
Total	2	0	0	8	2	2	0	0	0	8	0	0	0	0	12	0	12	0	46			
TOTAL IMPACTO DEL SUBSISTEMA		2	0	1	10	4	3	3	0	10	4	4	5	17	12	19	0	15	0	109		
MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	Usos del territorio	Actividades industriales	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	
		Total	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	
	Valores culturales y humanos	Bienestar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	3	3	2	0	0	0	12	
		Salud y seguridad	0	0	1	3	2	2	1	1	1	2	2	1	1	3	3	2	2	3	0	30
		Calidad de vida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	3	3	2	0	3	0	15	
		Total	0	0	1	3	2	2	1	1	1	2	6	3	3	9	9	6	2	6	0	57
	Infraestructura	Transportes y comunicaciones	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	9	
		Red abastecimiento	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	10	
		Red saneamiento	2	2	0	2	0	0	1	1	1	0	0	0	2	0	0	1	3	0	15	
		Equipamiento	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	10	
		Total	8	6	0	3	0	0	1	3	3	2	0	0	1	9	2	0	3	3	0	44
	Economía y población	Dependencia energética	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	7	
		Consumo energético	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	2	10	
		Costes e inversiones	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	4	4	0	1	2	2	18	
		Beneficios	1	1	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	10	
		Economía local	1	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	2	1	0	1	11	
		Total	4	4	3	0	0	0	6	6	3	0	0	0	6	6	2	5	2	9	56	

13.4. Valoración de los impactos

13.4.1. Introducción

Una vez que se han identificado las acciones y los factores del medio que, presumiblemente serán impactados por aquellas, se hace preciso una previsión y valoración de posibles alteraciones.

Habrà que hacer un análisis enunciando, describiendo y analizando los factores más importantes constatados, justificando el por qué merecen una determinada valoración.

13.4.2. Fundamentos de la valoración

13.4.2.1. Método de Leopold

Es un método del tipo matiz causa-efecto, cualitativo y que consiste en un cuadro de doble entrada –matriz- en el que se disponen como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones que vayan a tener lugar y que serán causa de los posibles impactos.

Cada cuadrícula de interacción se dividirá en dos casillas, haciendo constar en la casilla izquierda la importancia, I, precedida del signo + o -, según el impacto sea positivo o negativo.

En la casilla derecha constará la magnitud, M. Ambas estimaciones se realizan desde un punto de vista subjetivo, pero si los estudios presentan un buen nivel de detalle, la manera de operar será bastante objetiva.

El sumatorio por filas indicará las incidencias del conjunto sobre cada factor ambiental y por tanto, su fragilidad ante el proyecto. La suma por columnas dará una valoración relativa del efecto que cada acción produciría en el medio, y por tanto, su agresividad.

Para la elaboración de la matriz de evaluación de Leopold se toman como factores del medio y acciones de la actividad las que se han obtenido en la matriz de impactos (apartado 13.3.3 del presente capítulo) tanto para

la fase de construcción de la planta como para la fase de funcionamiento de la misma.

13.4.2.2. Importancia de los impactos

En esta valoración, se medirá el impacto, en base al grado de manifestación cualitativa del efecto que quedará reflejado en lo que se define como importancia del impacto.

La importancia del impacto es pues, el ratio mediante el cual se mide cualitativamente el impacto ambiental, en función, tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativo, tales como extensión, tipo de efecto, plazo de manifestación, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación y periodicidad.

13.4.2.2.1. Signo

El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van actuar sobre los distintos factores considerados.

Existe la posibilidad de incluir, en casos concretos, un tercer carácter: previsible pero difícil de cualificar o sin estudios específicos (x), que reflejaría efectos cambiantes difíciles de predecir.

13.4.2.2.2. Intensidad (I)

Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que se actúa. El baremo de valoración estará comprendido entre 1 y 12, en el que 12 expresará una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto, y el 1 una afección mínima. Los valores comprendidos entre esos dos términos reflejarán situaciones intermedias.

13.4.2.2.3. Extensión (EX)

Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% de área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto).

Si la acción produce un efecto muy localizado, se considerará que el impacto tiene un carácter Puntual (1). Si, por el contrario, el efecto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del proyecto, teniendo una influencia generalizada en todo él, el impacto será Total (8), considerando las situaciones intermedias, según su gradación, como impacto Parcial (2) y Extenso (4).

En el caso de que el efecto sea puntual pero se produzca en un lugar crítico, se le atribuirá un valor de cuatro unidades por encima del que le correspondería en función del porcentaje de extensión en que se manifiesta.

13.4.2.2.4. Momento (MO)

El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción (t_0) y el comienzo del efecto (t_j) sobre el factor del medio considerado.

Así pues, cuando el tiempo transcurrido sea nulo, el momento será Inmediato, y si es inferior a un año, Corto Plazo, asignándole en ambos casos un valor (4). Si es un período de tiempo que va de 1 a 5 años, Medio plazo (2), y si el efecto tarda en manifestarse más de cinco años, Largo Plazo, con valor asignado (1).

Si concurriese alguna circunstancia que hiciese crítico el momento del impacto, cabría atribuirle un valor de una o cuatro unidades por encima de las especificadas.

13.4.2.2.5. Persistencia (PE)

Se refiere al tiempo que, supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las

condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras.

Si la permanencia del efecto tiene lugar durante menos de un año, se considera que la acción produce un efecto Fugaz, asignándole un valor (1). Si dura entre 1 y 10 años, Temporal (2); y si el efecto tiene una duración superior a los 10 años, se considera el efecto como Permanente asignándole un valor (4).

La persistencia, es independiente de la reversibilidad. Los efectos fugaces y temporales son siempre reversibles o recuperables. Los efectos permanentes pueden ser reversibles o irreversibles, y recuperables o irre recuperables.

Siendo:

t_0 = momento de aparición de la acción

t_f = momento de finalización de la acción

t_j = momento en que se inicia la manifestación del efecto

t_r = momento de retorno (desaparición del efecto)

t_{MC} = momento de introducción de las MC

t_{rMC} = momento de retorno con MC

El tiempo de permanencia teórico genérico del efecto, respondería a la expresión

$$t_p = t_r - t_j \quad \text{Ec. 13.1}$$

El tiempo de permanencia (tiempo de reconstrucción) a partir de la introducción de medidas correctoras sería:

$$t_{pMC} = t_{rMC} - t_{MC} \quad \text{Ec. 13.2}$$

El tiempo de permanencia de un efecto permanente es por definición

$$t_p = t_r - t_j > 10 \text{ años}$$

Ahora bien, si es reversible, el tiempo de permanencia a partir del cese de la acción

$$t_{pR} = t_r - t_j < 10 \text{ años}$$

Si por el contrario, el efecto es irreversible

$$t_{pI} = t_r - t_j > 10 \text{ años}$$

13.4.2.2.6. Reversibilidad (RV)

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.

Si es a Corto Plazo, se le asigna un valor (1), si es a Medio Plazo (2) y si el efecto es Irreversible se le asigna el valor (4). Los intervalos de tiempo que comprende estos períodos, son los mimos asignados en el parámetro anterior.

A efectos de reversibilidad la permanencia del efecto, responde a la siguiente expresión

$$t_{pR} = t_r - t_j$$

13.4.2.2.7. Recuperabilidad (MC)

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).

Si el efecto es totalmente Recuperable, se le asigna un valor (1) o (2) según lo sea de manera inmediata o a medio plazo, si lo es parcialmente, el efecto es Mitigable, y toma un valor (4). Cuando el efecto es Irrecuperable se le asigna un valor (8). En el caso de ser irrecuperables, pero existe la posibilidad de introducir medidas compensatorias, el valor adoptado será (4).

El tiempo de reconstrucción respondería a la ecuación:

$$t_R = t_{tMC} - t_{MC} \quad \text{Ec. 13.3}$$

Es posible, mediante la aplicación de medidas correctoras, disminuir el tiempo de retorno a las condiciones iniciales previas a la implantación de la actividad por medios naturales, o sea acelerar la reversibilidad, y lo que es lo mismo disminuir la persistencia.

13.4.2.2.8. Sinergia (SI)

Este parámetro contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente no simultánea.

Cuando una acción actuando sobre un factor, no es sinérgica con otras acciones que actúan sobre el mismo factor, el atributo toma el valor (1), si presenta un sinergismo moderado (2) y si es altamente sinérgico (4).

Cuando se presenten casos de debilitamiento, la valoración del efecto presentará valores de signo negativo, reduciendo al final el valor de la Importancia del Impacto.

13.4.2.2.9. Acumulación (AC)

Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

Cuando una acción no produce efectos acumulativos, el efecto se valora como (1). Si el efecto producido es acumulativo el valor se incrementa a (4).

13.4.2.2.10. Efecto (EF)

Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

El efecto puede ser *directo* o primario, siendo en este caso la repercusión de la acción consecuencia directa de ésta.

En el caso de que el efecto sea *indirecto* o secundario, su manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando éste como una acción de segundo orden.

Este parámetro toma el valor 1 en el caso de que el efecto sea secundario y el valor 4 cuando sea directo.

13.4.2.2.11. Periodicidad (PR)

La Periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo).

A los efectos continuos se les asigna un valor (4), a los periódicos (2) y a los de aparición irregular, que deben evaluarse en términos de probabilidad de ocurrencia, y a los discontinuos (1).

13.4.2.2.12. Importancia del impacto (I)

La importancia del impacto viene representada por un número que se deduce del siguiente cuadro, en función del valor asignado a los símbolos considerados.

$$I = \pm [3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC] \quad \text{Ec. 13.4}$$

Tabla 13.8 Resumen valoración de impactos

NATURALEZA		INTENSIDAD (I) (Grado de destrucción)	
Impacto beneficioso Impacto perjudicial	+	Baja	1
		Media	2
		Alta	4
	-	Muy alta	8
		Total	12
EXTENSIÓN (EX) (Área de influencia)		MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	(+4)
Crítica	(+4)		

Tabla 13.8 Cont.

PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto)		REVERSIBILIDAD (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
SINERGIA (SI) (Regularidad de la manifestación)		ACUMULACIÓN (AC) (Incremento progresivo)	
Sin sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
EFEECTO (EF) (Relación causa-efecto)		PERIODICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación)	
Indirecto	1	Irregular o aperiódico y discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos)		IMPORTANCIA (I)	
Recuperable de manera inmediata	1	$I = \pm [3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$	
Recuperable a medio plazo	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

La importancia del impacto toma valores entre 13 y 100, y presenta valores intermedios (entre 40 y 60) cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Intensidad total, y afección mínima de los restantes parámetros.
- Intensidad muy alta o alta, y afección alta o muy alta de los restantes parámetros.
- Intensidad alta, efecto irrecuperable y afección muy alta de alguno de los restantes parámetros.
- Intensidad media o baja, efecto irrecuperable y afección muy alta de al menos dos de los restantes parámetros.

Los impactos con valores de importancia inferiores a 25 son irrelevantes o compatibles. Los impactos moderados presentan una importancia entre 25 y 50. Serán severos cuando la importancia se encuentre entre 50 y 75 y críticos cuando el valor sea superior a 75.

13.4.2.2.13. Casillas verdes

Aquellas casillas de cruce que correspondan a los impactos moderados, con valores de importancia entre 25 y 50, llevarán el fondo de color verde, para llamar la atención sobre el efecto y buscar las distintas medidas correctoras que se han de introducir para que el efecto sea eliminado o bien sea mínimo sobre el medio ambiente.

13.4.2.2.14. Casillas rojas

Aquellas casillas de cruce que correspondan a los impactos más importantes, con valores de importancia entre 50 y 75, llevarán el fondo de color rojo, para llamar la atención sobre el efecto y buscar las distintas medidas correctoras que se han de introducir para que el efecto sea eliminado o bien sea mínimo sobre el medio ambiente.

13.4.2.3. Magnitud de los impactos

La predicción cuantificada de la magnitud del efecto que provoca una acción determinada sobre un factor es un proceso difícil y siempre desde un punto de vista subjetivo. Para su valoración se ha tomado una escala del 0 al 10 distribuida de la siguiente forma:

Tabla 13.9 Magnitud de los impactos

Magnitud del impacto	Valor
Nulo	0
Bajo	1
Medio	2
Alto	4
Muy alto	8
Total	10

13.4.2.4. Valoración de los impactos

Para la valoración de los impactos producidos en el medio ambiente tanto en la fase de construcción como de funcionamiento de la planta, se han seguido las pautas anteriores, obteniendo valores de importancia y magnitud de los impactos para ambas fases.

Como se ha señalado, los impactos cuya importancia sea inferior a 25 son despreciables y no se tienen en cuenta en lo sucesivo en el presente estudio.

Los impactos cuya importancia está comprendida entre 25 y 50 están resaltados con fondo verde y se consideran impactos moderados, mientras que los impactos cuya importancia supera un valor de 50 están resaltados con fondo rojo y son impactos severos. En ambos casos habrá que corregir dichos impactos con el establecimiento de medidas correctoras.

Los totales del medio físico y del medio socio-económico no sirven para un análisis de los valores, sino como indicadores de en qué medio se produce mayor incidencia por la implantación de la planta, tanto para la fase de construcción como para la fase de funcionamiento.

13.4.2.4.1. Matriz de Leopold. Matriz de valoración de los impactos durante la fase de construcción de la planta

Una vez analizados los impactos que se producen durante la fase de construcción de la planta, se observa que sólo las actividades 5 (Vertidos), 8 (Maquinaria pesada y utillaje productor de ruidos y vibraciones), 9 (Emisión de polvo), 11 (Tráfico de vehículos), 12 (Excavaciones) y 14 (Construcción propiamente dicha) son susceptibles de producir impacto ambiental considerable y habrá que introducir medidas correctoras para minimizarlas.

La matriz de Leopold se ve en la tabla 13.10.

Tabla 13.10 Matriz de Leopold (Fase de construcción de la planta)

FACTORES DEL MEDIO		ACCIONES DE LA ACTIVIDAD																		It	Mt								
		A1		A3		A4		A5		A8		A9		A10		A11		A12				A14		A16		A17			
		I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M			I	M	I	M	I	M		
Aire	Calidad del aire	-15	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-177	8		
	Microclima	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-156	0		
	Contaminación sonora	-20	2	-20	2	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-22	4	-26	1	-23	1	-23	4	-13	0	-247	22
MEDIO FÍSICO	Total	-48	2	-46	2	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-48	4	-51	1	-49	1	-49	4	-39	0	-480	30
	Erosión	-19	2	-24	1	-13	0	-13	0	-23	2	-13	0	-22	2	-17	8	-23	8	-23	1	-13	0	-13	0	-13	0	-248	24
	Contaminación	-15	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-181	4
Tierra y suelo	Suelo	-20	2	-18	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-201	8
	Total	-54	4	-55	2	-39	0	-39	0	-42	4	-49	2	-39	0	-48	2	-63	8	-52	12	-51	2	-39	0	-39	0	-630	36
	Recursos hídricos	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-184	4
Agua	Calidad del agua	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-192	4
	Total	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-376	8
	Usos del territorio	-128	6	-127	4	-104	0	-191	12	-141	10	-123	8	-122	6	-140	9	-157	13	-146	6	-104	0	-104	0	-104	0	-1688	74
Valores Culturales y Humanos	A ciudades industriales	-19	1	-13	0	-17	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-20	1	-13	0	-13	0	-173	3
	Total	-19	1	-13	0	-17	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-20	1	-13	0	-13	0	-173	3
	Bienestar	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-161	1
MEDIO SOCIO-ECONOM.	Salud y seguridad	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-199	9
	Calidad de vida	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-17	1	-13	0	-13	0	-160	1
	Total	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-520	11
Economía y Población	Transportes y comunicac.	-19	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-137	3
	Red abastecimiento	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-131	2
	Red saneamiento	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-130	2
TOTAL MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	Equipamiento	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-85	2
	Total	-58	1	-52	0	-71	4	-52	0	-52	0	-52	0	-52	0	-58	1	-52	0	-52	0	-32	3	-52	0	-52	0	-493	9
	Dependencia energética	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-172	3
TOTAL FASE DE CONSTRUCCIÓN	Consumo energético	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-173	3
	Costes e inversiones	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-179	4
	Beneficios	-18	1	-18	1	-13	0	-22	1	-17	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-18	1	-18	1	-18	1	-146	9
TOTAL MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	Economía Local	17	1	17	1	-13	0	-21	1	18	1	-13	0	-13	0	18	1	18	1	18	1	18	1	18	1	18	1	83	9
	Total	-40	2	-40	2	-80	3	-82	2	-38	2	-65	0	-65	0	-39	2	-39	2	-39	2	-30	7	-46	3	-46	3	-686	28
	Beneficios	-156	4	-144	2	-45	8	-202	6	-142	2	-180	2	-181	2	-143	2	-143	2	-143	2	-140	15	-149	3	-149	3	-1772	51
TOTAL FASE DE CONSTRUCCIÓN		-284	10	-271	6	-169	8	-393	18	-283	12	-303	10	-303	8	-283	11	-300	15	-285	21	-293	3	-293	3	-3388	125		

13.4.2.4.2. Matriz de Leopold. Matriz de valoración de los impactos durante la fase de funcionamiento de la planta

Una vez analizados los impactos que se producen durante la fase de funcionamiento de la planta, se observa que sólo las actividades 22 (Transporte de líquidos inflamables y combustibles. Descarga camiones

cisterna), 23 (Alimentación a los tanques), 25 (Circulación de vehículos pesados y tráfico), 28 (Utilización y consumo de materias primas), 35 (Explosiones), 36 (Incendios), 37(Escapes y fugas) y 39 (Vertidos de efluentes) son susceptibles de producir impacto ambiental considerable y habrá que introducir medidas correctoras para minimizarlas.

Tabla 13.11 Matriz de Leopold (Fase de funcionamiento de la planta)

FACTORES DEL MEDIO		ACCIONES DE LA ACTIVIDAD																			
		A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A31	A32	A33	A35	A36	A37	A38	A39	A41	A44
		I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M
Aire	Calidad aire	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Microclima	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Contam. sonora	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
MEDIO FÍSICO	Total	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0
	Erosión	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Contaminación	-13	0	-13	0	-24	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Agua	Suelo	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Total	-39	0	-39	0	-57	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Recur. Hídricos	-17	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
MEDIO SOCIO-ECON.	Calidad agua	-18	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Temperatura	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Total	-46	2	-39	0	-31	16	-54	2	-50	2	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0
TOTAL MEDIO FÍSICO		-126	2	-117	0	-125	1	-170	16	-150	4	-135	3	-131	4	-117	0	-117	0	-174	16
MEDIO SOCIO-ECON.	Usos del territorio	16	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Valores Culturales	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Salud y segur. y Calidad vida	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
MEDIO SOCIO-ECON.	Humos	-39	0	-39	0	-43	1	-53	4	-46	2	-46	2	-46	2	-46	2	-46	2	-46	2
	Transp y comun.	22	2	-13	0	-13	0	-17	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Red abastec.	22	2	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
MEDIO SOCIO-ECON.	Red saneam.	22	2	-13	0	-20	2	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Equipamiento	22	2	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Total	88	8	53	6	-52	0	-63	3	-52	0	-63	3	-52	0	-63	3	-52	0	-63	3
MEDIO SOCIO-ECON.	Dep. energética	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Cons. energético	-17	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Costes e inv. y Población	-17	1	-18	1	-20	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
MEDIO SOCIO-ECON.	Beneficios Econ. Local	16	1	16	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
	Total	-11	4	-5	4	-34	3	-66	0	-66	0	-66	0	-66	0	-66	0	-66	0	-66	0
	TOTAL MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	53	13	-4	10	-192	4	-194	7	-178	2	-177	2	-164	10	-198	7	-160	6	-162	3
TOTAL FASE FUNCIONAMIENTO		-73	15	-121	10	-317	5	-364	25	-328	6	-311	6	-303	6	-261	10	-233	10	-272	25

13.5. Establecimiento de medidas correctoras

13.5.1. Corrección de emisión de polvo

La emisión de polvo producida durante la fase de construcción de la planta es inevitable, pero se minimizará regando la zona para aplacarlo en la medida de lo posible.

13.5.2. Corrección de la erosión del suelo

Los movimientos de tierra, excavaciones, desmontes y rellenos serán los estrictamente necesarios para la construcción de la planta, procurando que la superficie alterada sea la mínima.

13.5.3. Corrección de aguas residuales

Las aguas residuales producidas en la planta serán conducidas a la planta de tratamiento de aguas residuales (T.A.R.) de la propia refinería asegurándose así su completa depuración antes de su vertido.

Finalmente, cabe señalar que las obras de urbanización del área de proceso también están previstas para recoger las aguas pluviales y realizar su evacuación.

13.5.4. Corrección de vertidos líquidos

Los vertidos líquidos que se produzcan en la planta debido a escapes, fugas o roturas de los tanques de almacenamiento se verterán a los cubetos de retención, diseñados para su control y recuperación de los líquidos vertidos.

El parque de almacenamiento de líquidos consta de una red de saneamiento paralela a la general de la planta para conducir a la planta de tratamiento de aguas residuales (T.A.R.) los pequeños escapes producidos, previo control y análisis de los mismos.

13.5.5. Corrección de ruidos

Durante la fase de construcción de la planta el ruido emitido por la maquinaria es inevitable, pero al ser un impacto temporal, puntual, reversible y de baja intensidad, no es muy impactante, pero siempre intentando reducirlo y evitando producir ruidos en exceso.

Siguiendo la normativa vigente, se dotará a los equipos que lo precisen (válvulas de control, maquinaria, etc.) de elementos aislantes acústicos.

Será necesario establecer un programa de medidas acústicas en el periodo nocturno, siguiendo los criterios fijados en el Decreto 74/1996.

El objetivo a cumplir es la verificación de los niveles sonoros previstos tras la puesta en marcha de las instalaciones proyectadas y adoptar, en su caso, medidas correctoras específicas.

Como objetivo de control se fija el cumplimiento de los niveles máximos de emisión sonora al exterior en zonas industriales, fijado en 70 dB (A) en el período nocturno, siendo la refinería el sistema afectado y el valor límite el indicado.

Los datos a obtener deberán condicionarse en función del tipo de ruido existente tras la puesta en marcha, actuando según lo establecido en el Decreto 74/966 y en la orden de 23 de febrero de 1996. Esta misma normativa deberá dar respuesta al resto de exigencias contenidas en el Decreto 292/1995 en cuanto al Plan Detallado de Vigilancia Ambiental referido al control de ruidos.

13.5.6. Incendios y explosiones

Se dotará a la planta de los sistemas suficientes de vigilancia contra incendios y explosiones para impedir éstos en lo posible.

13.5.7. Valoración de los impactos tras el establecimiento de las medidas correctoras

Tabla 13.12 Matriz de Leopold después de aplicar medidas correctoras
(fase construcción)

FACTORES DEL MEDIO		ACCIONES DE LA ACTIVIDAD																					
		A5			A8			A9			A11			A12			A14						
		SIN	CON	M	SIN	CON	M	SIN	CON	M	SIN	CON	M	SIN	CON	M	SIN	CON	M				
MEDIO FÍSICO	Aire	Calidad del aire	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Microclima	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Contaminación sonora	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Total	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	
	Tierra y suelo	Erosión	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Contaminación	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	
	Agua	Suelo	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Recursos hídricos	-41	0	-41	0	-41	0	-41	0	-41	0	-41	0	-41	0	-41	0	-41	0	-41	0	
		Calidad del agua	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Total	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	-90	0	
TOTAL MEDIO FÍSICO		-191	0	-191	0	-191	0	-191	0	-191	0	-191	0	-191	0	-191	0	-191	0	-191	0		
MEDIO SOCIO-ECONOM.	Usos del territorio	Actividades industriales	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Total	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Valores Culturales y Humanos	Bienestar	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
			Salud y seguridad	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0	-39	0
	Infraestructura	Calidad de vida	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Total	-55	0	-55	0	-55	0	-55	0	-55	0	-55	0	-55	0	-55	0	-55	0	-55	0	
		Transportes y comunicac.	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Red abastecimiento	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
	Economía y Población	Equipamiento	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	
		Total	-52	0	-52	0	-52	0	-52	0	-52	0	-52	0	-52	0	-52	0	-52	0	-52	0	
Dependencia energética		-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0		
Consumo energético		-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0		
TOTAL MEDIO SOCIO-ECONÓMICO		-202	0	-202	0	-202	0	-202	0	-202	0	-202	0	-202	0	-202	0	-202	0	-202	0		
TOTAL FASE DE CONSTRUCCIÓN		-393	0	-393	0	-393	0	-393	0	-393	0	-393	0	-393	0	-393	0	-393	0	-393	0		

Tabla 13.13 Matriz de Leopold después de aplicar medidas correctoras
(fase funcionamiento)

FACTORES DEL MEDIO		ACCIONES DE LA ACTIVIDAD																														
		A22		A23		A25		A28		A35		A36		A37		A39		A41														
		SIN	CON	SIN	CON	SIN	CON	SIN	CON	SIN	CON	SIN	CON	SIN	CON	SIN	CON	SIN	CON													
Aire	Calidad del aire	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0													
	Microclima	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0													
	Contaminación sonora	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0													
MEDIO FÍSICO	Total	-39	0	-39	0	-53	4	-53	4	-123	24	-51	14	-105	16	-70	6	-67	6	-39	0	-112	0	-39	0							
	Erosión	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-24	2	-16	1	-21	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0					
	Contaminación	-24	2	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-22	2	-19	1	-27	2	-22	1	-19	1	-13	0	-21	4	-13	0					
Agua	Suelo	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0					
	Total	-50	2	-39	0	-39	0	-52	2	-48	2	-72	5	-55	3	-59	4	-54	3	-45	1	-39	0	-47	4	-39	0					
	Recursos hídricos	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0					
MEDIO SOCIO-ECON.	Calidad del agua	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0					
	Temperatura	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0					
	Total	-81	16	-39	0	-39	0	-39	0	-83	16	-67	4	-39	0	-39	0	-39	0	-147	24	-39	0	-147	24	-39	0					
TOTAL MEDIO FÍSICO	-170	18	-117	0	-150	4	-117	0	-131	4	-174	18	-144	6	-234	29	-185	17	-216	20	-173	9	-269	33	-127	2	-233	28	-117	0		
Uso del territorio	Act. industriales	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
	Total	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
	Bienestar	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
Valores Culturales y Humanos	Salud y seguridad	-13	0	-20	2	-18	1	-17	1	-13	0	-20	2	-18	1	-20	2	-20	2	-20	2	-20	2	-20	2	-20	2	-20	2			
	Calidad de vida	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
	Total	-53	4	-39	0	-44	1	-43	1	-44	1	-60	12	-66	6	-79	12	-65	6	-61	6	-61	6	-61	6	-61	6	-61	6			
Infraestruc.	Transp. y comunicac.	-17	1	-13	0	-17	1	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
	Red abastecimiento	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
	Red saneamiento	-20	2	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
ECON.	Equipamiento	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
	Total	-63	3	-59	2	-52	0	-52	0	-62	2	-67	10	-60	8	-73	6	-66	4	-62	0	-62	0	-65	4	-67	1	-65	4			
	Depend. energética	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
Economía y Población	Consumo energético	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
	Costes e inversiones	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
	Beneficios	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
TOTAL MEDIO SOCIO-ECONÓMICO	Economía Local	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0			
	Total	-65	0	-65	0	-65	0	-65	0	-77	3	-111	10	-111	10	-112	10	-112	10	-112	10	-112	10	-112	10	-112	10					
	TOTAL FASE FUNCIONAMIENTO	-384	25	-253	2	-326	6	-291	1	-308	6	-304	5	-372	25	-340	12	-533	63	-462	43	-501	50	-396	27	-469	41	-318	2	-452	42	-300	3

Algunos impactos, incluso con el establecimiento de las medidas correctoras siguen siendo moderados, como es el caso de los impactos producidos por incendios y explosiones, pero son impactos inevitables, que rara vez se producen y se han conseguido minimizar todo lo posible con el establecimiento de las medidas correctoras correspondientes.

13.6. Programa de vigilancia ambiental

13.6.1. Efluentes líquidos

El control de los efluentes líquidos es llevado a cabo por la refinería en su planta de aguas residuales.

13.6.2. Ruidos

Para el control de los ruidos, se hará un seguimiento periódico y sistemático de los niveles de ruido tanto dentro como en los alrededores de la planta.

13.6.3. Monitorización en continuo

La monitorización en continuo permite al momento detectar posibles escapes y fugas en los distintos equipos y tanques de almacenamiento, así como detectar posibles fallos de funcionamiento.

13.6.4. Libro de registro

En el libro de registro se hará constar todos los controles que se llevan a cabo, con todas las especificaciones y valores que la normativa vigente específica, para de esta forma llevar un perfecto control de la situación ambiental que rodea a la planta.

CAPÍTULO 14: ESTUDIO DE SEGURIDAD E HIGIENE

14.1. Introducción

En el presente proyecto se va a realizar un estudio sobre seguridad e higiene en el trabajo, en el cual se realizará un breve análisis sobre los riesgos inherentes al proceso llevado a cabo en la planta.

Antes de proceder a la realización del estudio se va a definir que es la seguridad y que es la higiene en el trabajo:

SEGURIDAD EN EL TRABAJO

Conjunto de conocimientos científicos y tecnológicos, organizados y aplicados al estudio, reconocimiento y evaluación de riesgos, al diseño de medios preventivos y al análisis y control de los trabajos o elementos que incidan en la generación de accidentes de trabajo, con el fin de impedir que se originen pérdidas y conseguir las mejores condiciones laborales.

Fue implantada tras la Medicina del Trabajo, y es la primera especialidad cuya acción va dirigida, de manera exclusiva y organizada, a prevenir accidentes de trabajo, ya que son éstos los que proporcionan los datos más cuantificables y ostensibles dentro de las estadísticas de la siniestralidad laboral. Además son los que dejan un mayor número de secuelas y tienen una mayor repercusión social, humana y económica. Por ello se ha convertido en la columna principal del entramado de la Salud Laboral.

HIGIENE EN EL TRABAJO

Conjunto de conocimientos científicos y tecnológicos, organizados y aplicados al estudio, reconocimiento y evaluación de sustancias y factores ambientales derivados del trabajo, que incidan negativamente sobre la salud del trabajador, así como el diseño de los medios preventivos y al control de dichos factores, con la finalidad de

evitar las enfermedades que puedan causar los riesgos originados por ellos, o las molestias que puedan afectar a la salud.

Tiene unos objetivos preventivos precisos y definidos. Se suele agrupar con la Seguridad en la denominación “Seguridad e Higiene en el Trabajo” (SHT).

Concluida la introducción se va a proceder a pasar al siguiente punto del estudio.

14.2. Objeto del estudio

El objeto del presente estudio es la evaluación de los principales riesgos existentes en el puesto de trabajo durante la operación de la planta, y el establecimiento en su caso de las medidas preventivas requeridas para eliminar o minimizar todos y cada uno de ellos.

14.3. Marco legal de la seguridad e higiene en el trabajo

- **Legislación general**

Constitución Española

En el ordenamiento jurídico nacional, la Seguridad e Higiene es un bien amparado por la Norma Suprema, la Constitución Española, en sus artículos 15 y 40, en los que se establece el derecho del trabajador a la integridad física y a la obligación del Estado a velar por la Seguridad e Higiene:

ARTÍCULO 15: Todos tienen derecho a la vida y a la integridad física y moral, sin que, en ningún caso, puedan ser sometidos a tortura ni a penas o tratos inhumanos o degradantes.

Este derecho es aplicable al colectivo de trabajadores y deja claro que al trabajador le asiste el derecho a que se garantice en su puesto de trabajo las condiciones suficientes para conservar y preservar su salud. En una sentencia del Tribunal Constitucional de 1985, se deja claro: “la

celebración de un contrato de trabajo no implica en modo alguno la privación para el trabajador de los derechos que la Constitución le reconoce como ciudadano “.

ARTÍCULO 40, punto 2: Los poderes públicos fomentarán una política que garantice la formación y readaptación profesional y velarán por la Seguridad e Higiene en el trabajo...

Es por tanto, uno de los principios rectores de la política social y económica. La vinculación de los poderes públicos les obliga a emanar la legislación conducente a alcanzar los objetivos marcados y les prohíbe legislar en sentido contrario.

Estatuto de los Trabajadores

Una de las primeras consecuencias de la obligación constitucional de velar por la Seguridad e Higiene Industrial fue la consideración de varios preceptos en la Ley del Estatuto de los Trabajadores de 10 de marzo de 1980: en los artículos 4 y 5 se tratan los derechos y obligaciones básicas laborales; el artículo 64 se refiere a las competencias de los delegados de personal y comités de empresa; y el artículo 19 se dedica íntegramente a la Seguridad e Higiene.

ARTÍCULOS 4 Y 5: El trabajador, durante el desarrollo de su trabajo, tiene derecho a su integridad física y a una adecuada política de Seguridad e Higiene.

Es deber básico del trabajador el observar las medidas de Seguridad e Higiene que se adopten

ARTÍCULO 19: dedicado íntegramente a la Seguridad e Higiene, contiene 5 apartados:

1º Derecho del trabajador a una protección eficaz

2º Deber correlativo del trabajador a observar las medidas de Seguridad e Higiene

3° Derecho del trabajador a participar en la inspección y control de las medidas de Seguridad e Higiene

4° Obligación empresarial de facilitar al trabajador la formación adecuada en materias preventivas

5° Arbitra el procedimiento a seguir para la paralización y suspensión de actividades en los supuestos de riesgo grave o inminente de accidente.

ARTÍCULO 64: sobre las competencias del comité de Empresa: Conocer trimestralmente las estadísticas sobre el índice de absentismo, los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales y sus consecuencias, los índices de siniestralidad, los estudios del medio ambiente laboral y los mecanismos de prevención que se utilizan, ejercer una labor de vigilancia y control de las condiciones de Seguridad e Higiene en el desarrollo del trabajo de la empresa.

Ley General de la Seguridad Social

La Ley general de la Seguridad Social de 20 de Junio de 1994 contiene partes importantes que atañen muy directamente a la Seguridad e Higiene:

ARTÍCULOS 115, 116 Y 117: Definen, respectivamente, el accidente de trabajo, las enfermedades profesionales, y los accidentes no laborales y enfermedades comunes.

ARTÍCULO 123: establece un recargo (30-50%) de todas las prestaciones económicas que tengan su causa en accidentes de trabajo o enfermedades no laborales por falta de medidas de seguridad.

ARTÍCULOS 196 Y 197: establecen reconocimientos médicos preceptivos para puestos de trabajo con riesgos de enfermedades profesionales.

- **Legislación específica**

La legislación española, específica en materia de Seguridad e Higiene, es muy abundante, notablemente profusa y carente de un criterio inspirador, debido a los avatares políticos y a la dispersión de competencias de la Seguridad e Higiene en varios ministerios: Trabajo y Seguridad Social, Industria, Agricultura, Obras Públicas y Transportes, Comercio, Medio Ambiente...

Hay preceptos no sólo en reglamentos especiales de carácter técnico sino también en legislación de contenido social como las relativas a la contratación laboral, convenios colectivos, etc. Esta proliferación de normativa se ha visto incrementada con la adaptación de la legislación española a la CE.

Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Es una Orden Ministerial del Ministerio de Trabajo, con fecha 9 de marzo de 1971. Pretendía regular en un texto unitario las condiciones de Seguridad e Higiene que debían reunir los lugares de trabajo.

Ley de Prevención de Riesgos Laborales

La ley 31/1995 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales (BOE 10 de noviembre) es el resultado de la obligada transposición de la Directiva-marco 89/391/CEE de Seguridad y Salud Laboral. El primer borrador se hizo público en 1991 y desde entonces hasta su publicación oficial siguió un proceso de negociación entre el Gobierno, asociaciones empresariales y sindicales.

- **Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo**

Misión y funciones

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) es el órgano Científico- Técnico especializado de la Administración General del Estado que tiene como misión el análisis y estudio de las

Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo, así como la promoción y apoyo a la mejora de las mismas. Para ello establece la cooperación necesaria con los órganos de las Comunidades Autónomas en la materia.

Artículo 8.1 Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales

En cumplimiento de esta misión, el INSHT desarrolla diversas funciones, que a efectos funcionales se encuadran tradicionalmente en las siguientes líneas de acción:

- Asistencia técnica.
- Estudio/Investigación.
- Formación.
- Promoción/Información/Divulgación.
- Desarrollo Normativo/Normalización.
- Ensayo/Certificación de equipos de protección y de máquinas.
- Cooperación técnica.
- Secretariado de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Estructura

El INSHT tiene su sede central en Madrid, c/Torrelaguna 73, donde están ubicados sus Servicios Centrales. Dispone de cuatro "Centros Nacionales" situados en Barcelona, Madrid, Sevilla y Vizcaya. También mantiene dos gabinetes provinciales en Ceuta y Melilla.

14.4. Evaluación de riesgos en el presente proyecto

Un análisis en profundidad de la planta una vez realizada la memoria descriptiva del presente proyecto, nos lleva a considerar la existencia de los siguientes riesgos:

- Riesgo químico.
- Riesgo de explosión e incendio.
- Riesgo físico.

- Riesgo eléctrico.
- Riesgo en la manipulación de maquinaria y herramientas de trabajo.
- Riesgos en el almacenamiento de sustancias químicas.

14.4.1. Riesgo químico

Se entiende por acción tóxica o toxicidad la capacidad de una sustancia para ocasionar daños en los organismos vivos una vez ha alcanzado un punto del cuerpo susceptible a su acción. La toxicidad de una sustancia depende de múltiples factores relacionados con su composición química, características físicas de presentación y circunstancias de exposición.

Se considera intoxicación a la absorción y presencia de un compuesto químico dentro del organismo. Su aparición y gravedad suelen guardar proporción con las dosis recibidas.

Efectos patológicos de los contaminantes químicos.

Los efectos de los tóxicos son muy variados. Una clasificación sintética permite distinguir los siguientes tipos:

- Efectos asfixiantes:

La asfixia es la insuficiencia de aporte de oxígeno a los tejidos, con el resultado de su carencia en reacciones metabólicas imprescindibles para la vida. Pueden tener causa física o química:

-Física: ocurren debido al desplazamiento del O₂ por otros gases. Cuando el contenido en oxígeno en aire cae por debajo del 18% sobreviene la inconsciencia. Por debajo del 14% se produce la muerte.

-Químicas: distintas sustancias pueden interferir en el proceso de respiración. Se distinguen asfixias químicas de dos tipos:

Primarias. Impiden la absorción del O₂. Los gases irritantes cierran el paso del aire a los pulmones (por inflamación de los tejidos) y además las toses impiden respirar bien.

Secundarias. Originan un aprovechamiento defectuoso del O₂ del aire. Ej.: el CO se fija a la hemoglobina, el HCN inhibe la respiración celular en la mitocondrias.

- Efectos neumoconióticos:

Son alteraciones del aparato respiratorio, en particular, en el tejido pulmonar. Son causados por las fibras y partículas sólidas que se respiran. El efecto de estas partículas sobre el aparato respiratorio depende no sólo de su composición química sino también de su tamaño:

-Las partículas mayores de 5 µm quedan retenidas en el tracto respiratorio superior, y son deglutidas o expulsadas con la mucosidad. Causan efectos propios de la sustancia, generalmente irritación y toses.

-Entre 5 y 0,1 µm, se depositan en los alvéolos pulmonares produciendo daños en el tejido pulmonar, incluso siendo sustancias inertes: silicosis, asma, alveolitis.

-Menores de 0,1 µm pasan a la sangre a través de los alvéolos. Se comportan como gases y no causan efectos locales en el aparato respiratorio.

- Efectos irritantes:

Se habla de irritantes cuando se producen alteraciones (generalmente inflamación) de los tejidos con los que entra en contacto pero sin daños irreversibles.

Los irritantes del aparato respiratorio se clasifican según la zona a la que afecten: las sustancias hidrosolubles (SO₂, NH₃, HCHO) suelen afectar al tracto superior, mientras que las poco solubles (NO₂, SH₂) penetran hasta el tejido pulmonar, causando su inflamación. En ambos casos, si la irritación es muy intensa, pueden bloquearse los conductos del aparato respiratorio, y junto con las continuas toses pueden provocar la asfixia.

Las afecciones de la piel (dermatosis) suponen la gran mayoría de las enfermedades provocadas por agentes químicos. Son procesos originados por contacto de la piel con agentes del medio laboral y se manifiestan sobre

la misma piel. Los agentes químicos que causan dermatosis se clasifican en dos grupos:

-Irritantes primarios. Afectan a la mayoría de los sujetos expuestos. Dañan la piel porque tienen capacidad innata para hacerlo. Son irritantes casi todos los ácidos y bases a bajas concentraciones, y también la mayoría de los disolventes orgánicos.

-Sensibilizadores. No producen irritación en el primer contacto pero después de exposición repetida desarrollan una reacción alérgica. No tiene por qué afectar a todos los sujetos.

- Efectos corrosivos:

Las sustancias corrosivas destruyen los tejidos con los que entran en contacto. En general, son sustancias corrosivas los ácidos y bases moderados y fuertes, especialmente cuando están concentrados. También se clasifican dentro de las sustancias corrosivas aquellos compuestos que provocan una fuerte deshidratación de la piel, por cuanto ello supone su destrucción.

De forma general, el poder corrosivo de un ácido o una base aumenta al aumentar el carácter ácido o básico del mismo. En los casos de ácidos (y bases) débiles, la diferencia entre una irritación y una corrosión es difusa y puede deberse a factores como concentración o temperatura. En cualquier caso, recordar que la irritación cesa al cesar la exposición al agente y la corrosión supone una destrucción de tejidos.

- Efectos carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos:

Son alteraciones provocadas sobre el ADN, que contiene toda la información genética de las células. Si ocurre sobre células somáticas se producen desarrollos erróneos de éstas (carcinogénico); si se produce sobre células germinales se procreará un ser con enfermedades genéticas (mutagénico); si afecta a un feto en desarrollo, provocarán malformaciones en éste (teratogénico). En estos casos, la época más crítica es la fase embrionaria (hasta las 10 primeras semanas). Si los efectos producidos son graves, pueden producirse abortos. En otros casos los niños nacen con

malformaciones más o menos graves, desarrollo deficiente e incluso enfermedades diferidas (cuando llegan a adultos).

En general, es difícil su estudio debido al largo periodo de latencia para el desarrollo de las enfermedades. Se pueden hacer ensayos en animales de laboratorio, pero los resultados no siempre son extrapolables a seres humanos. También se obtiene valiosa información de estudios epidemiológicos.

En función de los estudios que se tengan acerca de los efectos de un determinado compuesto, se clasifica en alguna de las siguientes categorías:

-Primera categoría: si está demostrada una relación entre la causa (la exposición al agente) y el efecto (la aparición de una enfermedad), en personas.

-Segunda categoría: la relación causa-efecto está demostrada en animales.

Probablemente sean sustancias carcinogénicas para el hombre, pero no hay datos concluyentes para demostrarlo.

-Tercera categoría: Son sustancias “sospechosas” de producir efectos carcinogénicos, sin embargo, no hay datos suficientes para incluirlas en la 2ª categoría.

- Sustancias “tóxicas”, “muy tóxicas” y “nocivas” (ntp 108):

El principal recurso para establecer de modo experimental la toxicidad de los compuestos químicos, lo constituyen las pruebas de toxicidad con animales. También la epidemiología aporta datos de importancia pero menos específicos y normalizables.

En las pruebas de toxicidad con animales se utilizan ejemplares que permitan una experimentación relativamente asequible y cuya respuesta general a los efectos de los tóxicos sea extrapolable al hombre.

Una de las pruebas más utilizadas consiste en determinar la dosis letal media para exposiciones agudas, DL50, que es la dosis, expresada en miligramos de tóxico por kilogramo de peso del ejemplar, que administrada de una vez por vía oral a un grupo concreto de animales

produce la muerte del 50% de los mismos en un período de 14 días tras el tratamiento.

Otra prueba importante consiste en determinar la concentración letal media, CL50, que es la concentración del tóxico en aire que al ser inhalada durante un período de 4 horas (en la versión principal de esta prueba) produce el fallecimiento del 50% de los animales, en un período de 14 días tras el tratamiento.

Estas determinaciones pueden realizarse con algunas variantes, ya sea modificando la duración o frecuencia de la exposición utilizando la vía de entrada dérmica, variando los animales de experimentación, o bien manteniendo un período de observación de los efectos más prolongado. En cualquier caso los valores DL50 y CL50, con especificación de las condiciones en que han sido determinados, constituyen los índices de toxicidad más amplios de que se dispone, en base a los cuales algunos autores han propuesto la clasificación de los tóxicos en tres o cuatro grupos exponentes del orden de severidad del efecto nocivo -como por ejemplo sustancias muy tóxicas, tóxicas, nocivas y de baja peligrosidad- pero sin que exista hasta el momento un criterio unánime al respecto.

14.4.1.1. Riesgo químico en la línea de proceso

Entre los compuestos químicos que se encuentran en el sistema, están el metano, hidrógeno, benceno y tolueno (el difenilo se desprecia ya que está en una proporción muy pequeña respecto de los demás).

Cada uno de estos compuestos tiene disponible una ficha de seguridad, que ha sido incluida en el anexo 13 de la presente memoria, y a la cual se ha de acudir para ver el riesgo químico presente en la línea de proceso.

14.4.2. Riesgo de explosión e incendio

El fuego es el resultado de una reacción química de oxidación fuertemente exotérmica, que se conoce con el nombre de combustión.

Analizando esta definición se encuentran cuatro aspectos fundamentales para conocer la naturaleza del fuego y, por consiguiente, las formas de luchar contra él. Estos cuatro aspectos es lo que denominamos Tetraedro del fuego.

14.4.2.1. Tetraedro del fuego

Como reacción química existen reactivos y productos de reacción. Siendo una reacción de oxidación, los reactivos pueden identificarse como agente oxidante o comburente y agente reductor o combustible. Como agente oxidante, hay que destacar el oxígeno contenido en el aire, si bien existen otros (Cl_2 , CO, etc.) que pueden actuar como tales en determinados procesos de combustión. Los productos de reacción son generalmente dióxido de carbono y vapor de agua, pero en función del combustible y de la mayor o menor disponibilidad de comburente, pueden formarse gases muy tóxicos como CO, HCN, NH_3 , etc.

Dependiendo de la velocidad de la reacción se habla de:

- Oxidación lenta: la oxidación del hierro. La energía desprendida se disipa en los alrededores.
- Combustión simple: combustión del papel, madera, etc. La reacción transcurre en cadena (radicales libres), que aumenta la velocidad de la reacción (Velocidad de propagación menor a 1 m/s).
- Combustión deflagrante o deflagración: La velocidad de propagación es superior a 1 m/s e inferior a la velocidad del sonido.
- Combustión detonante o detonación: Velocidad de propagación superior a la velocidad del sonido.

Para que una reacción química se produzca, es necesario que las sustancias reaccionantes adquieran cierta energía, de forma que la "colisión" entre moléculas pueda llegar a romper los enlaces originales dando lugar a otros nuevos que constituirán los productos de la reacción.

La energía que es necesaria aportar para alcanzar el nivel que haga posible la reacción, se conoce como energía de activación (E_a), que representa una barrera que hay que salvar para que la reacción se complete. El resultado inicial de la colisión de la molécula es un producto intermedio conocido como complejo activado.

La energía de activación sólo es necesaria aportarla para iniciar el fuego. Una vez que éste ha comenzado, el calor desprendido (la combustión es un proceso exotérmico), sirve para mantener la reacción sin necesidad de aportes energéticos externos.

Como reacción química que es, su transcurso puede describirse adecuadamente mediante una secuencia de pasos intermedios conocida como mecanismo de reacción. En las combustiones, los mecanismos de reacción son siempre radicalarios, de tipo reacción en cadena.

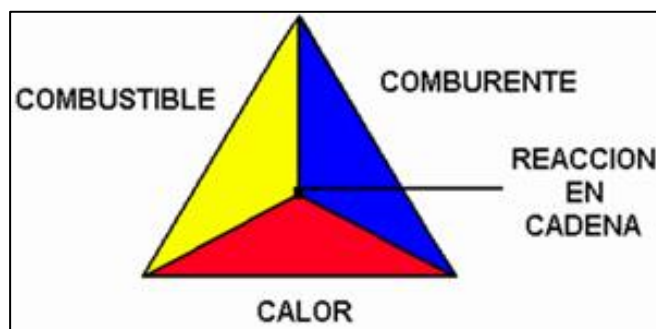


Figura 14.1 Tetraedro del fuego

14.4.2.2. Explosiones

En términos amplios, una explosión es un fenómeno originado por un súbito cambio físico o químico en el estado de una masa que produce una gran liberación de energía y un aumento de volumen de un gas o vapor (aire, vapor de agua, gases de combustión, etc.) en un medio, recipiente,

atmósfera, local, etc. que opone resistencia a dicho aumento. (Seguridad en el Trabajo, INSHT, 4ª edición, 2003).

La implosión es otro término que aparece cuando se hace referencia a la deformación de un recipiente que sufre un vacío en su interior (p.ej. una bombilla). Si el recipiente se fracciona, seguidamente a la implosión se produce la proyección de los fragmentos del recipiente al exterior al rebotar dentro.

Según la forma de desarrollarse pueden ser: confinadas, cuando suceden dentro de un recipiente o recinto determinado, como la explosión de un reactor químico; o no confinadas, cuando suceden al aire libre y generalmente requieren una gran cantidad de masa combustible para que sea significativo el aumento de presión. Ejemplo: deflagración de una nube de vapor inflamable.

Atendiendo a su origen, las explosiones se pueden clasificar en explosiones químicas y explosiones físicas, según se deban a reacciones químicas o a cambios en las condiciones de presión y/o temperatura.

Explosiones Químicas

Son debidas a reacciones químicas violentas, tales como la combustión de una mezcla de aire y gas o polvo, la descomposición de una sustancia explosiva u otras formas de reacción de los compuestos consigo mismos (polimerización, descomposición).

Las explosiones químicas se clasifican en estos tres grandes grupos:

a) *Explosiones por deflagración o detonación de gases o vapores:*

Los gases o vapores combustibles pueden llegar a deflagrar o detonar, siempre que la concentración de combustible se encuentre entre determinados límites de composición. Será deflagración o detonación en función de la velocidad de propagación de la reacción, la cual a su vez depende de la naturaleza del gas y de las condiciones de presión y temperatura. En caso de deflagración, los aumentos de presión pueden alcanzar aproximadamente 8 veces la presión inicial. En las detonaciones,

las presiones máximas son de mayor intensidad que las producidas por deflagraciones, pudiendo alcanzar hasta 100 veces la presión inicial

b) Explosiones por deflagración de polvos:

Cuando un sólido combustible arde, la velocidad de reacción suele estar limitada por la difusión de los reactivos en la interfase sólido-gas. Cuando el sólido combustible está finamente dividido, la velocidad de reacción puede ser mucho mayor y darse el caso de una explosión. La naturaleza de estas explosiones responde al mismo principio que en el caso de gases, pero a diferencia de los gases, siempre son deflagraciones, y no detonan en ningún caso.

c) Explosiones de descomposición. Sustancias explosivas:

Son originadas por la reacción de descomposición de ciertas sustancias que, por sí solas o en condiciones especiales, sufren procesos rápidos y violentos. Tal es el caso de la reacción de descomposición del acetileno en carbono e hidrógeno, y ciertas azidas de metales. Igualmente, pueden darse descomposiciones explosivas de mezclas conteniendo el combustible y el oxígeno. Éstos se encuentran en general, en las sustancias llamadas explosivas, tales como la nitroglicerina, trinitrotolueno (TNT), etc., y pueden constituir sustancias preparadas, tal como la pólvora negra que es mezcla de carbono, azufre y nitrato.

La mayor parte de los explosivos se obtienen por nitración. Bien sea una nitración propiamente dicha, o una esterificación (de alcoholes con ácido nítrico).

Explosiones Físicas

Las explosiones físicas consisten en un fenómeno de expansión de un fluido contenido en un recipiente, que genera una presión sobre sus paredes suficiente para provocar su rotura. Son consecuencia de cambios rápidos en las condiciones de presión y/o temperatura, que llevan a una sobrepresión capaz de romper las paredes del recipiente en que se contiene

el sistema. Éste es el caso de la explosión en calderas, cilindros a presión u otros recipientes de proceso que estén sometidos a presión interna.

La causa de la expansión, más o menos rápida, del fluido es, generalmente, una vaporización masiva, bien por sobrecalentamiento o por depresión. En otros casos, puede ser una expansión térmica de un gas o un líquido contenido en un recipiente.

El efecto es siempre una rotura violenta del recipiente y, como resultado de ésta:

- proyección al exterior de los trozos de material del recipiente destruido, con el consiguiente riesgo directo para las personas, e indirectamente por impacto en otros equipos (incendio, explosión o destrucción)
- salida al exterior de la sustancia contenida, lo que a su vez implica diversos riesgos asociados a su naturaleza o a su estado físico (quemaduras en personas y fuente de calor para combustibles cercanos, explosión química, etc.).

14.4.2.3. Riesgo de explosión e incendio en la línea de proceso

En la línea de proceso del presente proyecto se encuentra un alto riesgo de incendio, ya que se trabaja con productos altamente inflamables y que además se encuentran en ciertas zonas a alta presión y temperatura, también presenta un riesgo alto de explosión en sus vertientes química (reacción de combustión del hidrógeno y metano con el oxígeno) y en su vertiente física (tuberías y recipientes sometidos a alta presión). Más adelante se abordarán las medidas a tomar para minimizar al máximo los riesgos.

14.4.3. Riesgo físico

Dentro de los riesgos físicos se van a diferenciar tres categorías:

- Ruido.
- Ambiente térmico.

- Radiaciones.

14.4.3.1. Ruido

El ruido puede definirse como "un sonido inarticulado y confuso, cuya intensidad varía generalmente con el tiempo". Otra definición que se puede utilizar es la de "un sonido no deseado". No hay características físicas que nos distingan un sonido de un ruido.

El sonido se transmite por una onda de presión, luego necesita un soporte material para propagarse.

El oído humano es capaz de detectar desde un sonido asociado a una onda de presión desde tan sólo 20 μ Pa hasta 10 millones de veces este valor (20 Pa). Por comodidad se emplea una escala logarítmica (NPA), que cubre todo el rango del oído humano con números pequeños. Así el umbral de audición es el $L = 0$ y el umbral de dolor corresponde a 120 dB (20 Pa).

Los ruidos se clasifican en:

- Ruido de impacto: el NPA decrece exponencialmente con el tiempo y las variaciones entre dos máximos consecutivos se efectúan en un tiempo superior a 1 s.
- Ruido continuo: el NPA se mantiene constante en el tiempo, y si tiene impulsos o picos, éstos se producen en intervalos inferiores a 1 segundo.
- Los ruidos continuos se clasifica en:
- Ruido estable: el NPA se mantiene constante, con una variación inferior a 5 dB.
- Ruido fluctuante: el NPA oscila más de 5 dB.

En cuanto a las frecuencias, el oído humano capta sonidos desde 20 Hz hasta 20000 Hz. El efecto de los sonidos sobre el oído depende de la frecuencia. Para tener en cuenta las distintas sensibilidades del oído humano a las distintas frecuencias, los aparatos de medida de ruido llevan incorporados unos filtros que ponderan las distintas frecuencias tal como lo

hace el oído humano: dando mayor peso a las frecuencias centrales y menor a los graves y agudos. Cuando se da el valor del ruido medido, se indica qué filtro se ha utilizado (Ejm: 68 dB (A)). El filtro A es el más usado por su equivalencia con el oído humano.

Los ruidos provocan sobre el organismo una serie de efectos negativos, especialmente en los casos de exposiciones a ruidos intensos o prolongadas. Estos efectos se manifiestan de las siguientes formas:

- Aumento de la presión y ritmo cardíaco.
- Aumento de la tensión muscular.
- Aumento del metabolismo.
- Inhibición del aparato digestivo.
- Molestias psicológicas.

La normativa actual sobre el ruido en España está recogida en el RD 286/2006 y es más estricta que los valores anteriores, estableciendo como valores límites de exposición 87 dB(A) de “nivel diario equivalente” y los 140 dB(C) como pico, estableciendo distintas medidas de recomendación y obligación (en cuanto a protección del personal y realización de audiometrías periódicas) cuando se sobrepasen los valores de 80 y 85 dB(A) y 135 y 137 dB(C).

En cualquier caso, los valores referidos anteriormente hacen referencia únicamente a los daños sobre el sistema auditivo (pérdida de capacidad auditiva). Sin embargo, no tienen en cuenta que valores inferiores a los calculados anteriormente pueden ser, aunque aceptables higiénicamente, muy molestos e incluso incapacitantes para aquellos trabajos que requieran cierta concentración. Se recomienda en estos casos que el ruido no sobrepase nunca un valor de 65 dB.

14.4.3.2. Ambiente térmico

El ser humano es un organismo homeotermo, esto es, que es capaz de regular su temperatura corporal en un valor constante (37 °C). Esta

regulación se basa en un balance entre el calor que se genera en el interior del organismo como consecuencia de la actividad metabólica, y el intercambio de calor con el exterior (ganancia o pérdida, según los casos). El balance de calor aplicado al cuerpo humano es:

$$Ac = M \pm R \pm Cv \pm Cd - E \quad \text{Ec. 14.1}$$

Siendo:

Ac: Calor acumulado;

M: Calor generado por el metabolismo. R: Calor intercambiado por radiación.

Cv: Calor intercambiado por convección.

Cd: Calor intercambiado por conducción (es despreciable en la mayoría de las situaciones, excepto en los casos de quemaduras por contacto).

E: Calor perdido por evaporación del sudor.

El signo positivo en M indica que siempre es una producción de calor (tanto mayor cuanto mayor es el trabajo físico realizado). El término de evaporación de sudor E es siempre negativo pues el sudor sobre la piel necesita absorber calor de ésta para evaporarse. Los otros tres términos de intercambio de calor R, Cv y Cd serán positivos cuando se produzca una entrada neta o negativo si son de salida neta, según cada mecanismo de transmisión estudiado.

En las situaciones normales, el cuerpo humano es capaz de actuar sobre los términos M y E de forma que la acumulación de calor sea muy pequeña (en valor absoluto), y de esta forma se mantiene constante la temperatura. Sin embargo, cuando se somete el cuerpo a temperaturas extremas, el término de acumulación se hace grande en valor absoluto y el organismo no es capaz de compensar el balance. Acumulaciones positivas de calor provocan un aumento de la temperatura corporal; acumulaciones negativas, un descenso de la misma. En ambos casos, se habla de situación de “estrés térmico” y empiezan los problemas higiénicos, desde un simple disconfort hasta graves problemas de salud.

Efectos patológicos del frío:

- Contracción de vasos sanguíneos periféricos.
- Falta de riego sanguíneo en las extremidades.
- Congelación de partes distales: orejas, nariz, dedos.
- Dificultad en el habla, pérdida de memoria y destreza manual.

Efectos patológicos del calor:

- Síncope térmico o desvanecimiento: aumento de circulación sanguínea, bajada de tensión, pérdida de conciencia.
- Deshidratación: originada por una sudoración intensa. Acompañada de una pérdida de sales.
- Hipertermia: aumento anormal de la temperatura intracorporal, acompañada de falta de sudoración.
- Golpe de calor: hipertermia aguda. Graves consecuencias.

Criterios de evaluación del estrés térmico

En el confort de una persona influyen el tipo de trabajo físico que esté realizando, la vestimenta que lleve y el ambiente térmico. En este último influyen cuatro parámetros físico-químicos:

- Temperatura del aire.
- Temperatura radiante.
- Humedad del aire.
- Velocidad del aire.

En las zonas de trabajo "normal" basta con acondicionar el aire a unos valores que produzcan sensación de confort, y el cuerpo humano será capaz de autorregular el metabolismo y la sudoración para compensar ligeros desequilibrios del balance energético. En situaciones extremas con focos térmicos importantes (fríos o calientes), se han de tomar medidas higiénicas para preservar la salud de los trabajadores expuestos.

El RD 486/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo establece las condiciones mínimas ambientales que deben reunir los lugares de trabajo.

14.4.3.3. Radiaciones

Dentro del grupo de las radiaciones se van a diferenciar dos grupos principalmente: Radiaciones Ionizantes y No Ionizantes.

1. Radiaciones Ionizantes

Con el nombre de radiaciones ionizantes (RI) se identifican aquellas radiaciones que al interaccionar con la materia alteran la estructura atómica originando partículas con carga eléctrica (iones), es decir, producen la ionización de los átomos. Las radiaciones ionizantes se clasifican según su naturaleza en particuladas o corpusculares y electromagnéticas u ondulatorias.

Características de la radiación ionizante

Actividad. La actividad (A) de un radionucleido se define como el número de transformaciones nucleares espontáneas que se suceden en el mismo en la unidad de tiempo, siendo su unidad de medida en el sistema internacional (SI) el Becquerelio (Bq), que corresponde a una desintegración por segundo.

Periodo de semidesintegración. Es el tiempo necesario (T) para que la actividad de un radionucleido se reduzca a la mitad. Esta magnitud es muy variable de unos radionucleidos a otros: el Radio226 (^{226}Ra).

Nivel de energía. El nivel de energía de una radiación ionizante se mide en electronvoltios (eV). El electronvoltio corresponde a la energía que adquiere un electrón cuando se aplica, en el vacío, una diferencia de potencial de 1 voltio y equivale a $1,6 \times 10^{-19}$ Julios.

Dosis absorbida. Es la cantidad de energía (D) cedida por la radiación a la materia irradiada por unidad de masa. La unidad de medida en el sistema

internacional es el Gray (Gy) que equivale a 100 rads en el sistema Cegesimal.

Dosis equivalente. Es también una magnitud que considera la energía cedida por unidad de masa, pero considerando el daño biológico. Es el producto de la dosis absorbida (D) por un factor de ponderación de la radiación WR. La unidad de medida es el Sievert (Sv) que equivale a 100 rems en el sistema Cegesimal. El Sievert es una unidad muy grande para su utilización en protección radiológica y por esto se utilizan sus submúltiplos, el milisievert (mSv, 10^{-3} Sv) y el microsievert (μ Sv, 10^{-6} Sv).

Efectos de las Radiaciones Ionizantes

Los efectos biológicos producidos por las radiaciones ionizantes son la respuesta del organismo como consecuencia de la energía absorbida por la interacción con ellas. La energía depositada por las radiaciones ionizantes al atravesar las células vivas da lugar a iones y radicales libres que rompen los enlaces químicos y provocan cambios moleculares que dañan las células afectadas.

En principio, cualquier parte de la célula puede ser alterada por la radiación ionizante, pero el ADN es el blanco biológico más crítico debido a la información genética que contiene. Las lesiones producidas por la radiación ionizante de naturaleza corpuscular (protones o partículas alfa) son, en general, menos reparables que las generadas por una radiación ionizante fotónica (rayos X o rayos gamma).

El daño en las moléculas de ADN que queda sin reparar o es mal reparado puede manifestarse en forma de mutaciones cuya frecuencia está en relación con la dosis recibida. En general, las RI afectan fundamentalmente a las células en división, siendo especialmente sensibles la médula ósea, el aparato digestivo, la piel y el aparato reproductor. También a los fetos en el útero de sus madres.

El RD 783/2001 por el que se aprueba el Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes es de aplicación a todas

las prácticas que presenten un riesgo derivado de las mismas, tanto si su procedencia es de origen artificial como natural. Otro RD que debe aplicarse en relación a exposición a radiaciones ionizantes es el RD 413/1997 sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada.

Los efectos de las RI son de dos tipos: somáticos y hereditarios, según se manifiesten en el individuo receptor o en su descendencia, respectivamente. A su vez, los efectos somáticos pueden ser estocásticos (o aleatorios) y los no estocásticos (o directos).

Los efectos estocásticos son aquéllos en los que la probabilidad de que aparezcan depende de la dosis recibida, pero el daño es independiente de ésta. El cáncer es un efecto somático y estocástico.

La gravedad de los *efectos directos o no estocásticos* sí depende de la dosis recibida: a mayor dosis, mayor daño. Existen por lo tanto valores umbrales, por encima de los cuales se darán efectos negativos. Un ejemplo de este tipo de efecto son las cataratas, que aparecen después de 2-3 años sometido a radiaciones superiores a 2 Gy.

Los efectos hereditarios se manifiestan en la descendencia del individuo. Puede ser porque las RI afecten a las células germinales (espermatozoides u óvulos), en cuyo caso se habla de efectos mutagénicos, o bien porque afecte a un feto en desarrollo dentro del útero de su madre, en cuyo caso se habla de efectos teratogénicos. Los efectos hereditarios son siempre de tipo estocástico.

2. Radiaciones no ionizantes

Las radiaciones electromagnéticas son una forma particular de propagación de energía que tienen su origen en cambios del nivel energético a nivel atómico o molecular. Todos los cuerpos emiten y absorben radiaciones, es decir, las radiaciones son capaces de interactuar con la materia.

Las radiaciones no ionizantes son radiaciones del espectro electromagnético que no producen ionización en la materia. Incluyen las radiaciones de mayor longitud de onda y menor frecuencia: Radiofrecuencias, IR, visible, UV.

Desde el punto de vista de la Higiene Industrial, las radiaciones no ionizantes más importantes son las microondas, infrarrojos y ultravioleta. La radiación visible es importante desde el punto de vista de la Ergonomía (iluminación adecuada al trabajo a realizar; adaptación del puesto de trabajo a los requerimientos del trabajador) y desde el punto de vista de la Seguridad (iluminación mínima para evitar accidentes).

La interacción de las radiaciones sobre el organismo humano ocasiona un efecto distinto según sea la frecuencia de la radiación. Las radiaciones de frecuencia extremadamente baja inducen corrientes eléctricas en el interior del organismo que pueden alterar la circulación de iones o provocar una estimulación directa de las células musculares y nerviosas. Las radiaciones de la banda de radiofrecuencias y microondas pueden ocasionar un calentamiento de la materia, debido a que la energía de la radiación se absorbe por las moléculas aumentando la cantidad de movimiento de las partículas atómicas. Las radiaciones visibles y UV, además de los efectos térmicos, pueden inducir reacciones químicas.

Radiación UV

La mayor fuente de UV es el sol y puede producir irritaciones, quemaduras en incluso cáncer de piel según la sensibilidad del receptor. En el mundo industrial, las fuentes de UV son los arcos de descarga eléctrica y lámparas germicidas.

Los efectos de las radiaciones UV se producen sobre todo en la piel y el ojo. Entre los efectos de la piel el más conocido es el eritema que es un enrojecimiento doloroso de la parte de piel expuesta que se manifiesta de forma casi inmediata a la exposición; en situaciones de exposición

prolongada la piel puede quedar afectada de forma permanente con pérdida de elasticidad.

La exposición ocular genera una conjuntivitis muy dolorosa, que aparece entre 2 y 24 horas después de la exposición, tiene una duración de entre 4 y 6 días y no suele dejar secuelas.

A largo plazo el efecto más grave de las radiaciones UV es su incidencia en la aparición de cáncer de piel.

La radiación UV es fácilmente absorbida por cualquier material. Los apantallamientos y cerramientos de las fuentes son la solución más habitual cuando no sea necesario “ver” la fuente. La protección de la piel de los trabajadores expuestos también se consigue prácticamente con cualquier ropa de trabajo. Si es necesario tener visibilidad de la zona de operación se pueden instalar vidrios especiales que absorben las radiaciones UV, o bien utilizar gafas o viseras con oculares absorbentes de la radiación.

Radiaciones visibles e IR

Los efectos de estas radiaciones sobre el cuerpo son fundamentalmente de tipo térmico (calentamiento de la superficie irradiada) y oculares (lesiones de la córnea y la retina). Los rayos infrarrojos de mayor longitud de onda pueden causar lesiones de origen térmico en la córnea. A medida que la longitud de onda disminuye, la radiación puede llegar hasta zonas más internas del ojo y causar daños en el cristalino (cataratas) y en la retina.

El ojo es un órgano con una capacidad de autoprotección frente a la luz visible muy elevada, no obstante, las radiaciones del IR próximo pueden alcanzar la retina, y los mecanismos de autodefensa no son eficaces en esta región del espectro.

En el caso de la radiación visible se presentan además una serie de efectos no fisiológicos como fatiga visual, dificultad de acomodación a la tarea, etc, relacionados con la iluminación del puesto de trabajo, que son objeto de estudio de la Ergonomía.

La radiación IR se utiliza industrialmente para calentar metales, secado de pinturas, deshidratación de telas, papel, etc.

Dada la moderada peligrosidad de las radiaciones visible e IR no es común encontrar puestos de trabajo en los que las exposiciones constituyan un riesgo y, en todo caso, el uso de apantallamientos de las fuentes de luz, para evitar la visión directa, y de oculares de protección son los procedimientos más eficaces para reducir las exposiciones hasta límites seguros.

Microondas y Radiofrecuencia

Ambos tipos de radiaciones tienen aplicaciones en el campo de las telecomunicaciones. Además, las microondas tienen una amplia aplicación como fuente de calor y se utilizan en soldadura, endurecimiento de resinas, operaciones de recocido, secado de materiales, etc. Las exposiciones laborales se pueden presentar en los trabajos relacionados con las telecomunicaciones y la defensa (instalación y mantenimiento de antenas emisoras o de radar), y la operación de hornos industriales de materiales. Los efectos son de tipo térmico, aumentando la temperatura de órganos internos y no sólo superficialmente.

14.4.3.4. Riesgo físico en la línea de proceso

Por las características del proceso llevado a cabo en la planta, el único riesgo físico destacable de la misma es el ruido, ya sea producido por el motor de la bomba centrífuga o por la circulación de fluidos a alta presión.

14.4.4. Riesgo eléctrico

Aunque el número registrado de accidentes eléctricos es reducido, la probabilidad de que sean graves o mortales es elevada. Es precisamente este hecho el que motiva un tratamiento exhaustivo del problema.

El riesgo eléctrico puede definirse como "la posibilidad de circulación de una corriente eléctrica a través del cuerpo humano".

En general, para que exista la posibilidad de circulación de corriente eléctrica, es necesario que se cumplan a la vez las siguientes condiciones:

- Que exista un circuito eléctrico formado por elementos conductores.
- Que el circuito esté cerrado o pueda cerrarse.
- Que en el circuito exista una diferencia de potencial.

Así, existirá la posibilidad de circulación de corriente eléctrica por el cuerpo humano cuando:

- Éste sea conductor.
- Forme parte de un circuito eléctrico.
- Exista entre los puntos de "entrada" y "salida" de la corriente eléctrica en el cuerpo una diferencia de potencial.
- El modelo físico que se va a aplicar es el de la ley de Ohm, que en su forma más simplificada responde a la ecuación: $V = I \times R$.
- La tensión o diferencia de potencial V es la responsable de que por un circuito eléctrico circule una corriente eléctrica. Se mide en voltios (V). Si dos puntos de un circuito están al mismo potencial eléctrico, entre ellos no circula corriente.
- La Intensidad I es la cantidad de carga eléctrica que circula por el circuito, por unidad de tiempo. Se mide en amperios (A).
- La Resistencia R mide la oposición que el material ofrece al paso de la corriente. Se mide en ohmios (Ω).

Se entiende por contacto directo el contacto de personas con partes activas de los materiales y equipos. Los elementos **ACTIVOS** están diseñados para que por ellos circule la electricidad. Si se tocan, lo lógico es que se reciba una descarga y se produzcan daños.

Se entiende por contacto indirecto, al contacto de personas con masas puestas accidentalmente en tensión. Ocurre cuando una

persona toca un elemento de la instalación por el que no debe circular electricidad, pero que debido a un fallo, está sometido a tensión. Cuando se entra en contacto con ese elemento, la corriente se descarga a tierra circulando a través del cuerpo y se producen daños.

EFFECTOS PATOLÓGICOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA SOBRE EL CUERPO HUMANO

La corriente eléctrica circulando por el cuerpo humano puede causar daños por dos motivos:

- La corriente eléctrica altera los estímulos nerviosos (también son corrientes eléctricas, de muy baja intensidad) que gobiernan el funcionamiento de los distintos órganos y aparatos del cuerpo. En especial, se producen contracciones involuntarias de los músculos (tétanos) que pueden afectar muy negativamente a dos funciones vitales para la supervivencia: la respiración y el ritmo cardíaco.
- La circulación de corriente a través del cuerpo humano produce, como en todo soporte material, un desprendimiento de calor que viene regido por la Ley de Joule. Ello se traduce en quemaduras, que varían desde quemaduras superficiales en los puntos de entrada y salida de la corriente hasta quemaduras profundas e incluso carbonización de tejidos.

Además, en el caso específico de la corriente continua, puede producirse la electrolisis de los fluidos corporales, en especial de la sangre. Esta electrolisis provoca la aparición de burbujas gaseosas en los vasos sanguíneos, que los obstruyen (“embolia”).

Además de estos efectos, que están causados directamente por la circulación de la corriente eléctrica en el cuerpo humano, habitualmente aparecen en los accidentes eléctricos una serie de efectos indirectos: el contacto eléctrico provoca en muchas ocasiones un efecto de “choque” que despierta a la persona (debido a la contracción involuntaria de los músculos),

haciéndola caer y produciéndole otras lesiones indirectas (fracturas, golpes, etc.). En los casos en los que se produce una descarga en forma de arco eléctrico, éste viene acompañado por un fuerte destello que suele causar daños oculares y auditivos. Los efectos producidos en el cuerpo humano dependen fundamentalmente de 3 factores:

A) EL TIPO DE CORRIENTE (ALTERNA O CONTINUA): A igualdad de los demás factores, la corriente alterna es más dañina que la corriente continua. Dentro de la corriente alterna, la que causa más daños es precisamente la que más se utiliza (50-60Hz).

B) LA TRAYECTORIA DE LA CORRIENTE: No todo el cuerpo tiene igual resistencia eléctrica. Ésta es mayor en las extremidades y menor en el abdomen (fundamentalmente por la mayor vascularización). Ello se traduce en una mayor intensidad circulante cuando la trayectoria de la corriente es mano-pie (o viceversa) que pie-pie o mano-mano. Además hay que tener en cuenta que el corazón se encuentra en el lado izquierdo del cuerpo, por lo que aquellos contactos que impliquen el brazo izquierdo probablemente provoquen circulación eléctrica a través del corazón, con grave riesgo de fibrilación cardíaca e incluso parada cardíaca.

C) LA RELACIÓN INTENSIDAD CIRCULANTE-TIEMPO DE PASO: El ser humano puede estar sometido a un alto potencial eléctrico sin sufrir graves daños, siempre que sea pequeña la cantidad de corriente que circula por su cuerpo. Por el contrario, si circula una gran cantidad de carga eléctrica es muy probable que sufra daños. Si se recuerda que la intensidad está definida como la cantidad de carga que circula por unidad de tiempo, esto nos indica claramente que el factor fundamental a tener en cuenta para evitar daños por electricidad es la relación entre la intensidad y el tiempo de paso. (“Lo que matan son los AMPERIOS, no los voltios”).

14.4.4.1. Riesgo eléctrico en la línea de proceso

Dentro del presente proyecto se encuentran equipos eléctricos, como son la instrumentación de control o motores, así como líneas eléctricas que

llevan la electricidad a los mismos, por lo tanto habrá que considerar el riesgo eléctrico.

14.4.5. Riesgo en la manipulación de máquinas y herramientas

Los riesgos derivados del empleo de máquinas y herramientas en los lugares de trabajo son debidos generalmente a la propia naturaleza de la máquina que se esté usando o al uso que se le esté dando a la misma.

Las lesiones más frecuentes suelen ser hematomas, fracturas, amputaciones, heridas, cortes y quemaduras.

La ley de prevención de riesgos laborales en su artículo 41 dictamina que los fabricantes, importadores y suministradores de maquinaria, equipos, productos y útiles de trabajo tienen la obligación de asegurar que éstos no constituyen una fuente de peligro para el trabajador siempre que estén instalados y sean usados en las condiciones, formas y para los fines recomendados por ellos.

14.4.6. Riesgo en el almacenamiento de sustancias químicas

Se entiende por almacenamiento: el conjunto de recipientes de todo tipo que contengan o puedan contener productos químicos. Si están ubicados en el exterior, se considerará también el área que incluye los tanques y depósitos, sus cubetos de retención, las calles intermedias de circulación y separación, las tuberías de conexión y las zonas e instalaciones de carga, descarga y tránsito anejas.

La reglamentación española sobre almacenamiento de productos químicos está recogida en el R.D. 379/2001 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.

Riesgos potenciales

Los riesgos potenciales de los almacenamientos son los siguientes:

- Explosión: química, física, BLEVE, etc.

- Incendio.
- Liberación de vapores y gases tóxicos.
- Derrames de producto.
- Reacciones violentas.

Como consecuencia de estos riesgos se pueden producir:

Lesiones personales:

- Intoxicación: por inhalación, ingestión o contacto.
- Asfixia y sofocación.
- Quemaduras: por incendio, por contacto (sustancias corrosivas).
- Traumatismos: por explosión, por deslizamientos y caídas.

Daños materiales a instalaciones y productos:

- Contaminación de productos.
- Merma de productos.
- Solidificación de productos.
- Corrosión.

Contaminación ambiental:

- Fugas de gases y vapores.
- Derrames de líquidos y sólidos.
- Humos tóxicos por incendio.
- Agua de extinción de incendios.

14.5. Medidas preventivas a aplicar

En este apartado vamos a mencionar las medidas que se van a tomar para minimizar cada uno de los riesgos considerados hasta ahora.

14.5.1. Medidas preventivas riesgo químico

Las medidas a adoptar son las mostradas a continuación.

- Corrientes líquidas:
 - Creación y utilización de procedimientos de trabajo, controles técnicos y equipos y materiales que permitan en lo posible evitar o reducir al mínimo, cualquier escapa o difusión al ambiente o cualquier contacto directo con el trabajador que suponga un riesgo para su seguridad o salud.
 - Instalación de respiraderos en los tanques de manera que se eviten acumulaciones de productos nocivos.
 - Uso de medidas de protección individuales para cada trabajador que pueda llegar a estar en contacto con sustancias nocivas.
 - Colocación de señales que indiquen el peligro que supone la sustancia presenten, ya sea circulando por una tubería o almacenada en un tanque.
 - Manipulación de las sustancias nocivas únicamente por personal cualificado.
- Corrientes gaseosas
 - Reducir al mínimo posible cualquier escape o fuga que pueda originarse en las líneas de proceso.
 - Uso de equipos de respiración autónoma en el caso de estar realizando operaciones de mantenimiento en el proceso.
 - Evitar la presencia de fuentes de ignición en las zonas con mayor riesgo de fuga.

14.5.2 Medidas a tomar para minimizar riesgos de explosión e incendio

Las principales medidas a adoptar para evitar estos riesgos son:

- Impedir y evitar en la medida de lo posible, la presencia de atmósferas explosivas, así como el contacto de los mismos con aquellos compuestos con los que se podría provocar una reacción violenta que lleve a una consecuente explosión. Esto se hará con los

convenientes sistemas de seguridad presentes en la planta (Válvulas de seguridad con disco de ruptura que descargan a lugar seguro).

- Situar las unidades de operación a una distancia de seguridad entre ellas.
- Tener un volumen lo más pequeño posible para el almacenamiento de productos. En el presente proyecto, sólo se guarda la producción de un día.
- En caso de derrame o fuga de los líquidos del proceso, se eliminará toda fuente de ignición y se procederá a recoger en la medida de lo posible el líquido derramado, introduciéndolo en recipientes herméticos. El sobrante se absorberá en arena u otro elemento absorbente inerte para proceder a su traslado a lugar seguro.
- Se comprobará para cada equipo instalado que es segura su utilización en presencia de atmosferas explosivas.
- Se dispondrán de señales acústicas y luminosas que alerten a los trabajadores de un posible riesgo de explosión, para que se proceda a su evacuación hasta lugar seguro.
- Se creará un plan de emergencias y evacuación que permita desarrollar el proceso con la máxima seguridad y el mínimo riesgo para la salud de los trabajadores.

En el caso de que se haya producido un incendio se emplearán los siguientes sistemas de acuerdo con el real decreto 2267/2004 del 3 de diciembre, por el que se aprueba el reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales:

- Extintores: Estarán distribuidos a lo largo de la planta en número suficiente para que el recorrido real desde cualquier origen de evacuación hasta un extintor no supere los 15 metros de distancia.
- Pulsadores de alarma de incendios: se tendrá un pulsador junto a cada salida del área de incendios y a la distancia máxima a recorrer

desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador no debe ser superior a 25 metros.

- Sistema de alarmas: se diseñan de forma que la señal acústica transmitida por el sistema de comunicación de alarma permita diferenciar el grado de emergencia de la alarma.
- Instalación de tomas de aguas contra incendios: Se localizarán de forma que la zona protegida por cada una sea la cubierta por un radio de 40 metros, medidos horizontalmente desde el emplazamiento de la misma.
 - El caudal requerido y la autonomía del punto, será de 3500 litros por minuto y 90 minutos respectivamente. La presión mínima de salida del agua será de 5 bares cuando se descargue el caudal máximo.

14.5.3. Medidas a tomar para minimizar riesgos físicos

Para evitar en la medida de lo posible los riesgos debidos al ruido se van a adoptar las siguientes medidas:

- Aislar acústicamente la fuente del ruido.
- Llevar a cabo un mantenimiento de óptimo de aquellas unidades generadoras de ruido.
- Uso por parte del personal de trabajo de protecciones auditivas en las zonas con mayor índice de ruido.
- Realizar rotaciones del personal para reducir el tiempo de exposición a los ruidos.

14.5.4. Medidas a tomar para minimizar el riesgo eléctrico

- Restricción de paso a personal no autorizado en las subestaciones eléctricas.
- Aislamiento eléctrico de las partes activas de los equipos, máquinas y herramientas.

- Desconexión de la red eléctrica de cualquier equipo sobre el que vaya a realizarse una tarea sobre el mismo.
- Comprobación de ausencia de tensión antes de realizar un trabajo sobre un equipo.
- Se dispondrán de elementos de seguridad tales como diferenciales de intensidad o magnetotérmicos que permitan cortar el suministro de la corriente en caso de que aumente de forma elevada la intensidad de corriente que circula por el sistema.
- Todos los circuitos eléctricos tendrán instalada una toma de tierra.

14.5.5. Medidas para prevenir el riesgo en la manipulación de máquinas y herramientas

Las medidas a adoptar son las siguientes:

- Se dispondrá de un manual de uso correcto de cada máquina o herramienta.
- Cada trabajador dispondrá según su especialidad de las herramientas y máquinas que requiera para el correcto desempeño de su trabajo.
- Se llevará a cabo un inventario de las herramienta y máquinas disponibles en donde figurará el estado en el que se encuentran.
- Las máquinas solo podrán ser usadas por personal cualificado para ello.
- La reparación de las máquinas o herramientas se llevará a cabo en un taller de mantenimiento.
- Las zonas de trabajo con maquinaria estarán perfectamente iluminadas para el correcto desempeño del trabajo que se esté llevando a cabo.

14.5.6. Medidas para prevenir el riesgo en el almacenamiento de sustancias químicas

Las medidas a adoptar son las citadas a continuación.

- Se seguirán las especificaciones de CEPSA en lo que refiere a la distancia entre tanques, y entre unidades de proceso.
- Se dispondrá de señalización normalizada en el almacenamiento y en las conducciones de la planta, indicando con claridad el fluido que circula por su interior.
- La zona de almacenamiento estará convenientemente iluminada.
- La zona de tanques quedará dentro de un cubeto que evite derrames en caso de fisuras en un tanque.
- Los tanques llevarán integrado un sistema de venteo.

CAPÍTULO 15: BIBLIOGRAFÍA

• Libros

- Douglas, J.M. “Conceptual Design of Chemical Processes”. Mc- Graw- Hill, New York, 1988.
- Harriot P., Mc Cabe L., y Smith Julián C. “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”. Mc Graw –Hill,
- Megyesy, E.F. “Manual de Recipientes a Presión. Diseño y Cálculo”. Limusa, México, 1992.
- Mendia Urquiola, F., “Equipos de intercambio de calor”. Enter Vasco de la Energía, Bilbao, 1994.
- E.J. Henley y J.D. Seader. “Operaciones de separación por etapas de equilibrio en ingeniería química”. Reverté, España, 2000.
- Stanley M. Walas. “Chemical Process Equipment Selection and Design”. Butterworth-Heinemann, Boston, 1990.
- Alan J. Chapman. “Transmisión de calor”. Bellisco, Madrid, 1990.
- Robert H. Perry, Don W. Green. “Manual del Ingeniero Químico”. Mc Graw-Hill, España, 2001.
- A. Jiménez Gutiérrez. “Diseño de procesos en Ingeniería Química”. Reverté, Barcelona, 2003.
- Jones David S. y Pujadó Peter R. “*Petroleum Processing*”. Springer Editions, Massachusetts, 2006.
- Canter, L.W. “Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impactos”. Díaz de Santos, 2ª Ed., 1997.
- Conesa Fernández, V. “Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental”. Ediciones Mundi-Prensa, Bilbao, 1993.

- Storch de Gracia, J.M. “Manual de seguridad industrial en plantas químicas y petroleras”. McGraw-Hill, 1998.
- A. Marcilla Gomis. “Introducción a las operaciones de separación; Cálculo por etapas de equilibrio”. Publicaciones Universidad de Alicante, Murcia, 1998.

- **Normativa**
 - Código ASME (American Society of Mechanical Engineers)
 - Norma TEMA (Standars of the Tubular Exchanger Manufacturers Association)
 - Normativa UNE (Una Norma Española)
 - Normas API (American Petroleum Institute)
 - Normas ISA (Internation Society of Automation)

- **Direcciones Web**
 - Diseño de Equipos e instalaciones.
Disponible en: <http://web.usal.es/~tonidm/>
 - Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
Disponible en: <http://www.insht.es/portal/site/Insht/>
 - Omega Engineering, INC. Disponible en: www.omega.com
 - Spirax Sarco S.A.U.
Disponible en: <http://www.spiraxsarco.com/es/>
 - Bell & Gossett Pumps. Disponible en:
<http://completewatersystems.com/brands/bell-gossett/>
 - Emmerson Process Management. Disponible en:
<http://www2.emersonprocess.com>
 - RS online, Mantenimiento Industrial. Disponible en:
<http://es.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=control-de-procesos>

DOCUMENTO 1:
MEMORIA

ANEXOS A LA MEMORIA

ÍNDICE

ANEXO 1: BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA AL SISTEMA	6
A.1.1. Introducción.....	6
A.1.2. Balance de materia a la planta.....	9
A.1.3. Balance de energía a la planta.....	15
ANEXO 2: DISEÑO DEL SEPARADOR DE FASES SP-01	18
A.2.1. Introducción.....	18
A.2.2. Balance al separador.....	18
A.2.3. Diseño hidráulico	20
A.2.3.1. Caudales y propiedades.....	20
A.2.3.2. Distancia mínima entre LLL y el fondo del recipiente en milímetros (h_{LL}).....	21
A.2.3.3. Altura vertical requerida por el flujo de vapor.....	21
A.2.3.4. Dimensionamiento del separador	22
A.2.3.4.1. Primer intento de diseño.....	22
A.2.3.5. Accesorios externos.....	29
A.2.3.5. Diseño mecánico del separador.....	27
A.2.3.6. Apoyo del recipiente	30
A.2.3.7. Instalación de la boca de hombre	31
A.2.3.8. Espesor del aislante	31
ANEXO 3: DISEÑO DE LA COLUMNA ESTABILIZADORA	32
A.3.1. Introducción.....	32
A.3.2. Diseño preliminar de la columna	32
A.3.2.1. Datos de la corriente de entrada a la columna	32
A.3.2.2. Uso de la unidad SCDS.....	33
A.3.2.2.1. Estudio de la influencia del NPT	33
A.3.2.2.2. Estudio de la influencia de la temperatura de la alimentación... 36	
A.3.2.2.3. Resumen del método riguroso.....	36
A.3.3. Diseño Hidrodinámico de la columna estabilizadora	39
A.3.3.1. Estudio del uso de platos perforados.....	39
A.3.3.2. Diseño hidrodinámico de la columna con platos Bubble Cap	42
A.3.3.3. Cálculo de la eficacia de la columna estabilizadora y del número real de platos	45
A.3.3.4. Resumen del diseño hidrodinámico de la columna.....	46
A.3.4. Diseño mecánico de la columna.....	48
A.3.4.1. Cálculo de la altura de la columna	48
A.3.4.2. Cálculo del espesor de la cubierta y del fondo.....	48
A.3.4.3. Cálculo del espesor debido a la carga por viento.....	51

A.3.4.4. Cálculo de la altura de la faldilla.....	54
A.3.4.5. Soporte de la columna	55
A.3.4.6. Boca de hombre.....	55
A.3.4.7. Espesor del aislante	55
ANEXO 4: DISEÑO DEL EVAPORADOR Ev-1	56
A.4.1. Introducción.....	56
A.4.2. Asignación de flujos	57
A.4.3. Datos de distintas corrientes del sistema.....	57
A.4.4. Calor intercambiado Q	58
A.4.5. Diferencia media de temperaturas MTD.....	59
A.4.6. Datos sobre el cambiador de calor	60
A.4.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U	61
A.4.8. Área de intercambio necesaria	65
A.4.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa o Shell ID	65
A.4.10. Cálculo de altura de barrera, del diámetro del reboiler y de la distancia X.....	66
A.4.11. Diseño de los Deflectores.....	66
A.4.12. Diseño mecánico de los tubos del reboiler.....	67
A.4.13. Diseño mecánico de la carcasa.....	70
A.4.14. Aislamiento del cambiador.....	71
A.4.15. Pérdidas de carga.....	71
A.4.15.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos	72
A.4.15.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa.....	73
ANEXO 5: DISEÑO DEL EVAPORADOR Ev-2.....	75
A.5.1. Introducción.....	75
A.5.2. Asignación de flujos	76
A.5.3. Datos de distintas corrientes del sistema.....	76
A.5.4. Calor intercambiado Q	77
A.5.5. Diferencia media de temperaturas MTD.....	78
A.5.6. Datos sobre el cambiador de calor	79
A.5.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U	80
A.5.8. Área de intercambio necesaria	84
A.5.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa ó Shell ID	84
A.5.10. Cálculo de altura de barrera, del diámetro del reboiler y de la distancia X.....	85
A.5.11. Diseño de los Deflectores.....	85
A.5.12. Diseño mecánico de los tubos del reboiler.....	86

A.5.13. Diseño mecánico de la carcasa.....	88
A.5.14. Aislamiento del cambiador.....	89
A.5.15. Pérdidas de carga.....	89
A.5.15.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos	89
A.5.15.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa	90
ANEXO 6: DISEÑO DEL EVAPORADOR Ev-3	93
A.6.1. Introducción.....	93
A.6.2. Asignación de flujos	93
A.6.3. Datos de distintas corrientes del sistema.....	94
A.6.4. Calor intercambiado Q	95
A.6.5. Diferencia media de temperaturas MTD	96
A.6.6. Datos sobre el cambiador de calor	97
A.6.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U	98
A.6.8. Área de intercambio necesaria	102
A.6.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa ó Shell ID	102
A.6.10. Cálculo de altura de barrera, del diámetro del reboiler y de la distancia X.....	103
A.6.11. Diseño de los Deflectores.....	103
A.6.12. Diseño mecánico de los tubos del reboiler.....	104
A.6.13. Diseño mecánico de la carcasa.....	106
A.6.14. Aislamiento del cambiador.....	107
A.6.15. Pérdidas de carga.....	107
A.6.15.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos	107
A.6.15.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa	108
ANEXO 7: DISEÑO DEL CONDESADOR PARCIAL Cond-1	111
A.7.1. Introducción.....	111
A.7.2. Asignación de flujos	111
A.7.3. Datos de distintas corrientes del sistema.....	112
A.7.4. Calor intercambiado Q	113
A.7.5. Diferencia media de temperaturas MTD.....	114
A.7.6. Datos sobre el cambiador de calor	115
A.7.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U	116
A.7.8. Área de intercambio necesaria	119
A.7.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa o Shell ID	120
A.7.10. Diseño de los Deflectores.....	120
A.7.11. Diseño mecánico de los tubos del condensador.....	122
A.7.12. Diseño mecánico de la carcasa.....	125

A.7.13. Aislamiento del cambiador.....	126
A.7.14. Pérdidas de carga.....	126
A.7.14.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos	126
A.7.14.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa.....	127
ANEXO 8: DISEÑO DEL REBOILER Reb-1	130
A.8.1. Introducción.....	130
A.8.2. Asignación de flujos.....	130
A.8.3. Datos de distintas corrientes del sistema.....	131
A.8.4. Calor intercambiado Q	133
A.8.5. Diferencia media de temperaturas MTD.....	133
A.8.6. Datos sobre el cambiador de calor	134
A.8.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U	134
A.8.8. Área de intercambio necesaria	138
A.8.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa ó Shell ID	138
A.8.10. Cálculo de altura de barrera, del diámetro del reboiler y distancia X	139
A.8.11. Diseño de los Deflectores.....	139
A.8.12. Diseño mecánico de los tubos del reboiler.....	141
A.8.13. Diseño mecánico de la carcasa.....	142
A.8.14. Aislamiento del cambiador.....	143
A.8.15. Pérdidas de carga.....	143
A.8.15.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos	144
A.8.15.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa.....	145
ANEXO 9: DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR IC-1	147
A.9.1. Introducción.....	147
A.9.2. Asignación de flujos.....	147
A.9.3. Datos de distintas corrientes del sistema.....	147
A.9.4. Calor intercambiado Q	149
A.9.5. Diferencia media de temperaturas MTD.....	150
A.9.6. Datos sobre el cambiador de calor	151
A.9.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U	151
A.9.8. Área de intercambio necesaria	155
A.9.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa ó Shell ID	155
A.9.10. Diseño de los Deflectores.....	156
A.9.11. Diseño mecánico de los tubos del reboiler.....	157
A.9.12. Diseño mecánico de la carcasa.....	159
A.9.13. Aislamiento del cambiador.....	160

A.9.14. Pérdidas de carga.....	160
A.9.14.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos	160
A.9.14.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa	161
ANEXO 10: DISEÑO DE LOS DEPÓSITOS DE PRODUCTO	164
A.10.1. Introducción.....	164
A.10.2. Dimensionamiento del tanque.....	165
A.10.3. Diseño mecánico del tanque.....	166
A.10.4. Cálculo de las dimensiones del cubeto de retención.....	168
ANEXO 11: DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS, BOMBAS Y ACCESORIOS	170
A.11.1. Introducción.....	170
A.11.2. Diseño mecánico e hidrodinámico de las tuberías	170
A.11.3. Cálculo de las pérdidas de carga por tuberías	203
A.11.4. Cálculo del sistema de bombeo	216
A.11.4.1. Balance de energía mecánica	216
A.11.4.2. Selección del tipo de bomba	218
A.11.4.3. Cálculo de la potencia hidráulica de la bomba	220
A.11.4.4. Cálculo de la altura neta de succión positiva disponible (NPSH _d)	220
A.11.4.5. Cálculo de la altura neta de succión positiva requerida (NPSH _d), selección de la bomba	222
A.11.5. Cálculo del espesor de aislante de las tuberías	223
ANEXO 12. FIGURAS Y TABLAS	225
ANEXO 13: FICHAS DE SEGURIDAD DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS	254
ANEXO 14: CATÁLOGO DE BOMBAS E INSTRUMENTOS	266

ANEXO 1: BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA AL SISTEMA

A.1.1. Introducción

Como ya se vio en la memoria descriptiva y va a seguir viéndose a lo largo de los anexos, se ha usado un simulador químico para llevar a cabo el diseño de las distintas partes del sistema, así como se ha usado para la realización de los balances de materia y energía.

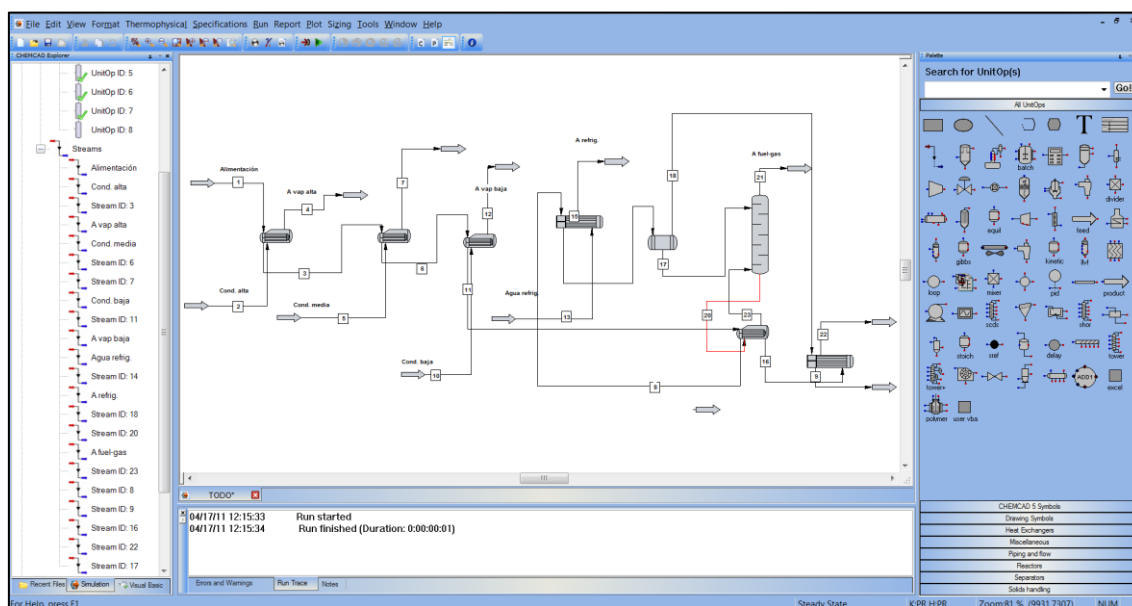


Figura A.1.1 Pantalla de trabajo del simulador

El programa se llama “Chemcad” (V.6.3) y ha sido creado por la compañía *CHEMSTATIONS* de una manera que facilite en gran medida los cálculos termodinámicos y de propiedades físicas de las distintas unidades y corrientes de un proceso químico.

El uso del mismo se justifica por el párrafo anterior, ya que el sistema diseñado se encuentra en el rango de 35 a 1 bar de presión y sus temperaturas van desde los 7°C del agua de refrigeración hasta los 538°C de la alimentación de entrada, por lo tanto la necesidad de complicados cálculos analíticos como pueden ser el uso de la ecuación de Peng-

Robinson quedan reducido al simple criterio del ingeniero de usar el paquete termodinámico que más convenga al sistema.

Una vez se han considerado todas las variables existentes en el sistema, así como el número de unidades que se usan y las condiciones de operación de cada unidad, se procede a introducir los datos en el simulador:

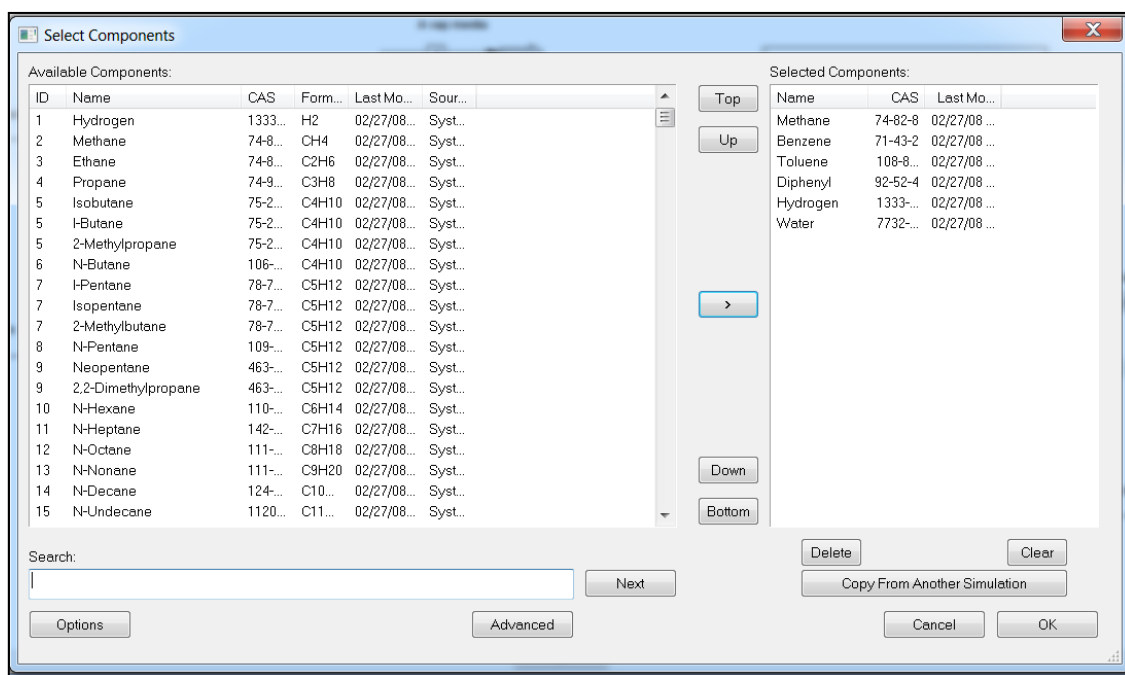


Figura A.1.2 Pantalla de selección de componentes del simulador

Lo primero de todo es introducir los componentes que están presentes en el proceso productivo, para seguidamente seleccionar el modelo termodinámico para el sistema.

La elección del modelo Peng-Robinson ha estado motivada por la propia bibliografía disponible del programa que recomienda para una mezcla de hidrocarburos para presiones y temperaturas medias-altas el uso del mismo, así mismo también se consultó con técnicos de la planta de aromáticos de la refinería sobre el modelo más aconsejable para el sistema simulado, indicando que el modelo de Peng-Robinson era muy correcto en su uso.

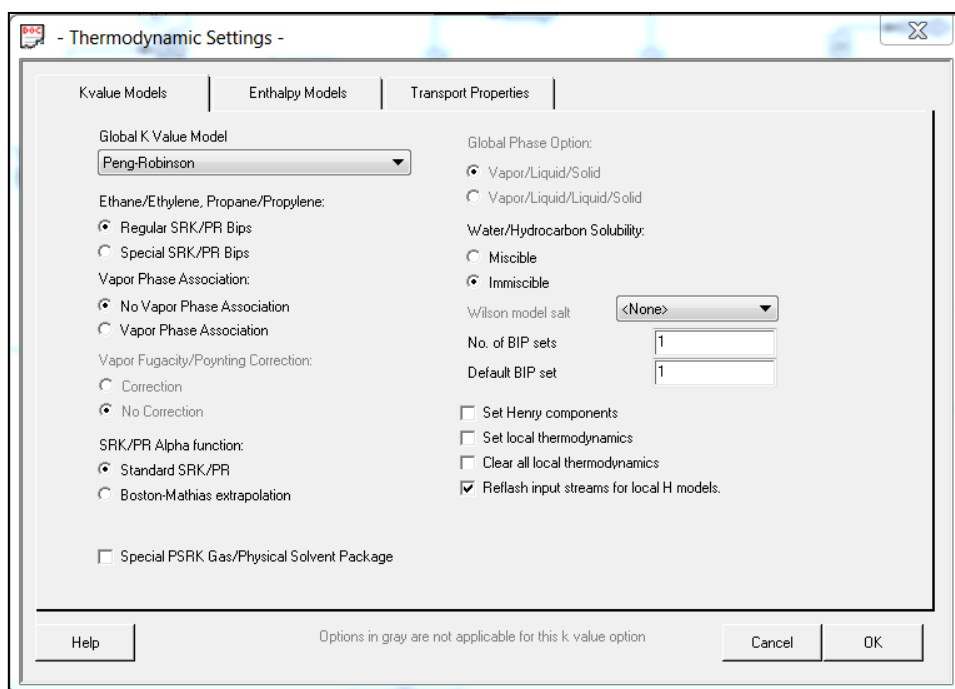


Figura A.1.3 Pantalla de selección del modelo termodinámico para el cálculo de los valores de K

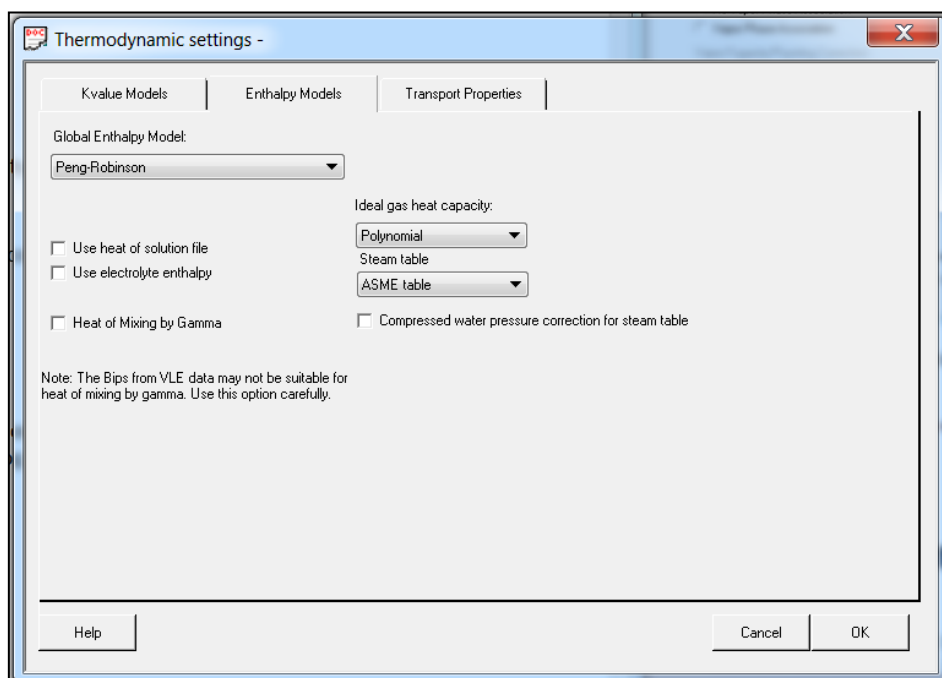


Figura A.1.4 Pantalla de selección del modelo termodinámico para el cálculo de las Entalpías

Una vez seleccionados los componentes y el modelo se opera de la siguiente manera:

1. Simulación de cada unidad por separado.
2. Ejecución de cada anexo correspondiente a cada unidad en esta memoria.
3. Simulación de la planta completa.

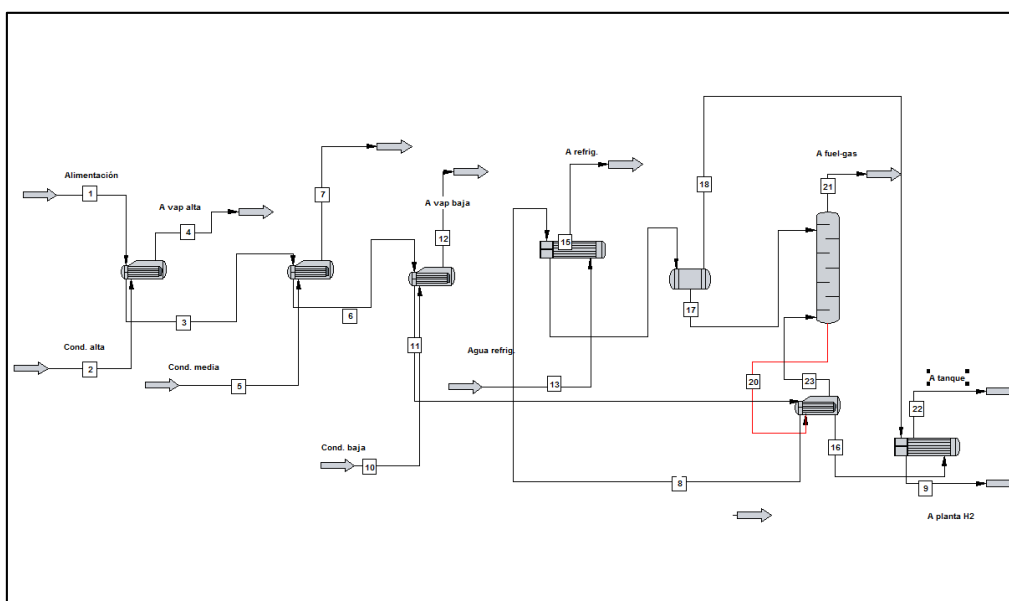


Figura A.1.5 Esquema completo de la planta en el simulador

Una vez convergida la planta entera y habiendo realizado el diagrama P&Id (Plano n° 1) se realizan los siguientes apartados de este anexo.

A.1.2. Balance de materia a la planta

Los balances de materia quedan reflejados en las tablas que pueden observarse a continuación. Para una mejor comprensión de la planta se va a adjuntar el diagrama P&Id, pudiendo consultarse el mismo si se acude al plano n°1 del presente proyecto.

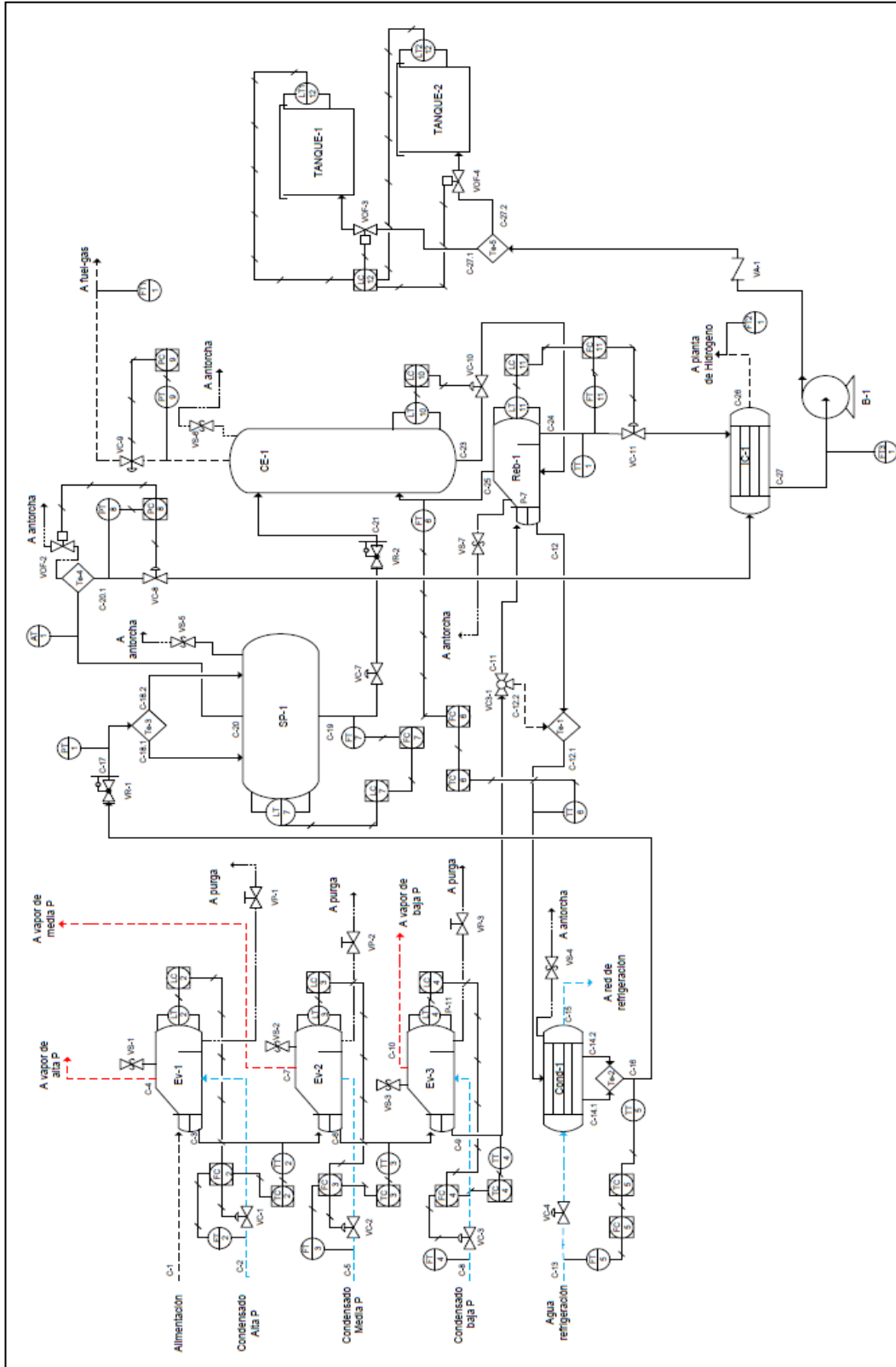


Figura A.1.6 Diagrama P&Id

Tabla A.1.1 Balance de materia a la unidad Ev-1

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-1</i>	<i>C-2</i>	<i>C-3</i>	<i>C-4</i>
Presión (bar)	35	46,09	34,54	46,09
Temperatura (°C)	537,85	258,87	268	258,90
Fracción molar de vapor	1	0	1	1
Caudal másico (kg/h)	173214,0554	97643,7309	173214,0554	97643,7309
Caudal volumétrico (m ³ /h)	19707,9200	125,1323	13153,8690	4344,3153
Caudal molar (kmol/h)	10190,9856	5420,1351	10190,9856	5420,1351
<i>Fracción molar por componente</i>				
Metano	0,119864	-	0,119864	-
Benceno	0,078986	-	0,078986	-
Tolueno	0,080134	-	0,080134	-
Difenilo	0,000439	-	0,000439	-
Hidrógeno	0,720576	-	0,720576	-
Agua	-	1	0	1

Tabla A.1.2 Balance de materia a la unidad Ev-2

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-3</i>	<i>C-5</i>	<i>C-6</i>	<i>C-7</i>
Presión (bar)	34,54	10,3	33,67	10,3
Temperatura (°C)	268	181,17	191	181,2
Fracción molar de vapor	1	0	1	1
Caudal másico (kg/h)	173214,0554	20316,8470	173214,0554	20316,8470
Caudal volumétrico (m ³ /h)	13153,8690	22,8440	11456,4785	3914,1952
Caudal molar (kmol/h)	10190,9856	1127,7739	10190,9856	1127,7739
<i>Fracción molar por componente</i>				
Metano	0,119864	-	0,119864	-
Benceno	0,078986	-	0,078986	-
Tolueno	0,080134	-	0,080134	-
Difenilo	0,000439	-	0,000439	-
Hidrógeno	0,720576	-	0,720576	-
Agua	-	1	0	1

Tabla A.1.3 Balance de materia a la unidad Ev-3

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-6</i>	<i>C-8</i>	<i>C-9</i>	<i>C-10</i>
Presión (bar)	33,67	1	33,51	1
Temperatura (°C)	191	99,63	110	99,70
Fracción molar de vapor	1	0	0,8903	1
Caudal másico (kg/h)	173214,0554	31160,6122	173214,0554	31160,6122
Caudal volumétrico (m ³ /h)	11456,4785	32,5240	8692,1684	53142,7357
Caudal molar (kmol/h)	10190,9856	1729,7037	10190,9856	1729,7037
<i>Fracción molar por componente</i>				
Metano	0,119864	-	0,119864	-
Benceno	0,078986	-	0,078986	-
Tolueno	0,080134	-	0,080134	-
Difenilo	0,000439	-	0,000439	-
Hidrógeno	0,720576	-	0,720576	-
Agua	-	1	0	1

Tabla A.1.4 Balance de materia a la unidad Cond-1

(Nota: $C-16 = C-14.1 + C-14.2$)

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-12.1</i>	<i>C-13</i>	<i>C-16</i>	<i>C-15</i>
Presión (bar)	32,856	2,5	32,856	2,47
Temperatura (°C)	92,18	7	25	27
Fracción molar de vapor	0,869	0	0,8367	0
Caudal másico (kg/h)	173214,0554	502115	173214,0554	502115
Caudal volumétrico (m ³ /h)	8163,6504	502,3082	6498,4128	504,0358
Caudal molar (kmol/h)	10190,9856	27872,0392	10190,9856	27872,0392
<i>Fracción molar por componente</i>				
Metano	0,119864	-	0,119864	-
Benceno	0,078986	-	0,078986	-
Tolueno	0,080134	-	0,080134	-
Difenilo	0,000439	-	0,000439	-
Hidrógeno	0,720576	-	0,720576	-
Agua	-	1	-	1

Tabla A.1.5 Balance de materia a la unidad SP-1

(Nota: $C-17 = C-18.1 + C-18.2$)

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-17</i>	<i>C-19</i>	<i>C-20</i>
Presión (bar)	32	32	32
Temperatura (°C)	24,91	24,91	24,91
Fracción molar de vapor	0,8371	0	1
Caudal másico (kg/h)	173214,0554	136348	36866,0778
Caudal volumétrico (m ³ /h)	6786,0947	161,6996	6624,3953
Caudal molar (kmol/h)	10190,9856	1660,5948	8530,3910
<i>Fracción molar por componente</i>			
Metano	0,119864	0,012270	0,140810
Benceno	0,078986	0,468681	0,003125
Tolueno	0,080134	0,486478	0,001032
Difenilo	0,000439	0,002696	0
Hidrógeno	0,720576	0,029875	0,855034

Tabla A.1.6 Balance de materia a la unidad CE-1

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-21</i>	<i>C-25</i>	<i>C-22</i>	<i>C-23</i>
Presión (bar)	1,1	1	1	1
Temperatura (°C)	25,57	91,91	26,04	73,93
Fracción molar de vapor	0,04423	1	1	0
Caudal másico (kg/h)	136348	26540,2743	1007,3890	161882,1415
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1811,6450	9530,3568	1914,6938	197,4623
Caudal molar (kmol/h)	1660,5948	323,5588	77,1030	1907,0660
<i>Fracción molar por componente</i>				
Metano	0,012270	0,002967	0,264117	0,000509
Benceno	0,468681	0,696009	0,070658	0,523344
Tolueno	0,486478	0,299602	0,021835	0,473557
Difenilo	0,002696	0,000013	0	0,002349
Hidrógeno	0,029875	0,001409	0,643390	0,000241

Tabla A.1.7 Balance de materia a la unidad Reb-1

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-23</i>	<i>C-11</i>	<i>C-25</i>	<i>C-24</i>	<i>C-12</i>
Presión (bar)	1	33,51	1	1	32,856
Temperatura (°C)	73,93	110	91,91	91,91	92,18
Fracción molar de vapor	0	0,8903	1	0	0,8690
Caudal másico (kg/h)	161882,1415	173214,0554	26540,2743	135342	173214,0554
Caudal volumétrico (m ³ /h)	197,4623	8692,1684	9530,3568	168,8938	8163,6504
Caudal molar (kmol/h)	1907,0660	10190,9856	323,5588	1583,5072	10190,9856
<i>Fracción molar por componente</i>					
Metano	0,000509	0,119864	0,002967	0,000007	0,119864
Benceno	0,523344	0,078986	0,696009	0,488063	0,078986
Tolueno	0,473557	0,080134	0,299602	0,509101	0,080134
Difenilo	0,002349	0,000439	0,000013	0,002827	0,000439
Hidrógeno	0,000241	0,720576	0,001409	0,000002	0,720576
Agua	-	-	-	-	-

Tabla A.1.8 Balance de materia a la unidad IC-1

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-24</i>	<i>C-20</i>	<i>C-27</i>	<i>C-28</i>
Presión (bar)	1	32	31,24	1
Temperatura (°C)	91,91	24,91	54,36	60
Fracción molar de vapor	0	1	1	0
Caudal másico (kg/h)	135342	36866,0778	36866,0778	135342
Caudal volumétrico (m ³ /h)	168,8938	6624,3953	7291,5473	162,2016
Caudal molar (kmol/h)	1583,5072	8530,3910	8530,3910	1583,5072
<i>Fracción molar por componente</i>				
Metano	0,000007	0,140810	0,140810	0,000007
Benceno	0,488063	0,003125	0,003125	0,488063
Tolueno	0,509101	0,001032	0,001032	0,509101
Difenilo	0,002827	0	0	0,002827
Hidrógeno	0,000002	0,855034	0,855034	0,000002

A.1.3. Balance de energía a la planta

Tabla A.1.9 Balance de energía a la unidad Ev-1

<i>Corriente/Dato</i>	<i>Entrada tubos</i>	<i>Entrada carcasa</i>	<i>Salida tubos</i>	<i>Salida carcasa</i>	<i>Ev-1</i>
Presión (bar)	35	46,09	34,54	46,09	-
Temperatura (°C)	537,85	258,87	268	258,90	-
Fracción molar de vapor	1	0	1	1	-
Entalpía (MJ/h)	$2,924 \cdot 10^5$	$-1,451 \cdot 10^6$	$1,294 \cdot 10^5$	$-1,288 \cdot 10^6$	-
Q (MJ/h)	-	-	-	-	$1,628 \cdot 10^5$

Tabla A.1.10 Balance de energía a la unidad Ev-2

<i>Corriente/Dato</i>	<i>Entrada tubos</i>	<i>Entrada carcasa</i>	<i>Salida tubos</i>	<i>Salida carcasa</i>	<i>Ev-2</i>
Presión (bar)	34,54	10,3	33,67	10,3	-
Temperatura (°C)	268	181,17	191	181,2	-
Fracción molar de vapor	1	0	1	1	-
Entalpía (MJ/h)	$1,294 \cdot 10^5$	$-3,090 \cdot 10^5$	$8,850 \cdot 10^4$	$-2,681 \cdot 10^5$	-
Q (MJ/h)	-	-	-	-	$4,090 \cdot 10^4$

Tabla A.1.11 Balance de energía a la unidad Ev-3

<i>Corriente/Dato</i>	<i>Entrada tubos</i>	<i>Entrada carcasa</i>	<i>Salida tubos</i>	<i>Salida carcasa</i>	<i>Ev-3</i>
Presión (bar)	33,67	1	33,51	1	-
Temperatura (°C)	191	99,63	110	99,70	-
Fracción molar de vapor	1	0	0,8903	1	-
Entalpía (MJ/h)	$8,850 \cdot 10^4$	$-4,850 \cdot 10^5$	$1,808 \cdot 10^4$	$-4,146 \cdot 10^5$	-
Q (MJ/h)	-	-	-	-	$7,042 \cdot 10^4$

Tabla A.1.12 Balance de energía a la unidad Cond-1

<i>Corriente/Dato</i>	<i>Entrada carcasa</i>	<i>Entrada tubos</i>	<i>Salida carcasa</i>	<i>Salida tubos</i>	<i>Cond-1</i>
Presión (bar)	32,856	2,5	32,856	2,47	-
Temperatura (°C)	92,18	7	25	27	-
Fracción molar de vapor	0,869	0	0,8368	0	-
Entalpía (MJ/h)	$2,780 \cdot 10^3$	$-8,0097 \cdot 10^6$	$-4,203 \cdot 10^4$	$-7,968 \cdot 10^6$	-
Q (MJ/h)	-	-	-	-	42028

Tabla A.1.11 Balance de energía a la unidad Reb-1

<i>Corriente/Dato</i>	<i>Entrada carcasa</i>	<i>Entrada tubos</i>	<i>Salida vap. carcasa</i>	<i>Salida líq. carcasa</i>	<i>Salida tubos</i>	<i>Reb-1</i>
Presión (bar)	1	33,51	1	1	32,856	-
Temperatura (°C)	73,93	110	91,91	91,91	92,18	-
Fracción molar de vapor	0	0,8903	1	0	0,869	-
Entalpía (MJ/h)	$7,548 \cdot 10^4$	$1,808 \cdot 10^4$	$2,554 \cdot 10^4$	$6,524 \cdot 10^4$	$2,780 \cdot 10^3$	-
Q (MJ/h)	-	-	-	-	-	$1,530 \cdot 10^4$

Tabla A.1.12 Balance de energía a la unidad IC-1

<i>Corriente/Dato</i>	<i>Entrada carcasa</i>	<i>Entrada tubos</i>	<i>Salida tubos</i>	<i>Salida carcasa</i>	<i>IC-1</i>
Presión (bar)	1	32	31,24	1	-
Temperatura (°C)	91,91	24,91	54,36	60	-
Fracción molar de vapor	0	1	1	0	-
Entalpía (MJ/h)	$6,524 \cdot 10^4$	$-9,0982 \cdot 10^4$	$-8,330 \cdot 10^4$	$5,756 \cdot 10^4$	-
Q (MJ/h)	-	-	-	-	$7,681 \cdot 10^3$

Tabla A.1.13 Balance de energía a la unidad CE-1

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-21</i>	<i>C-25</i>	<i>C-22</i>	<i>C-23</i>
Presión (bar)	1,1	1	1	32
Temperatura (°C)	25,57	91,91	26,04	73,93
Fracción molar de vapor	0,04423	1	1	0
Entalpía (MJ/h)	$4,895 \cdot 10^4$	$2,554 \cdot 10^4$	$-9,86 \cdot 10^2$	$7,548 \cdot 10^4$

Tabla A.1.14 Balance de energía a la válvula VE-1

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-16</i>	<i>C-17</i>
Presión (bar)	33,46	32
Temperatura (°C)	25	24,91
Fracción molar de vapor	0,8368	0,8371
Entalpía (MJ/h)	$-4,203 \cdot 10^4$	$-4,203 \cdot 10^4$

Tabla A.1.15 Balance de energía a la válvula VE-2

<i>Corriente/Dato</i>	<i>C-19</i>	<i>C-21</i>
Presión (bar)	32	1,1
Temperatura (°C)	24,91	25,57
Fracción molar de vapor	0	0,04423
Entalpía (MJ/h)	$4,895 \cdot 10^4$	$4,895 \cdot 10^4$

ANEXO 2: DISEÑO DEL SEPARADOR DE FASES SP-01

A.2.1. Introducción

El separador de fases consiste en un depósito horizontal con un tiempo de residencia suficiente para conseguir la completa separación de las fases en equilibrio líquido-vapor.

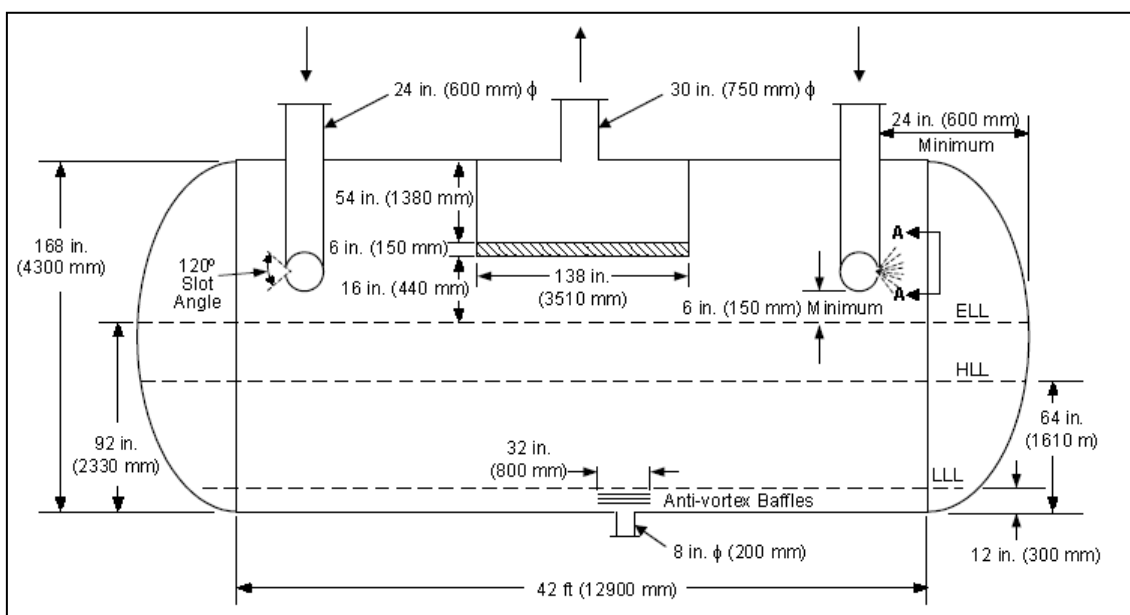


Figura A.2.1 Ejemplo de un separador de fases

La alimentación del mismo es una mezcla líquido vapor procedente del condensador parcial (Cond-1) y la cual ha sido despresurizada en la válvula (X) de expansión hasta la presión de trabajo del separador de 32 bar.

A.2.2. Balance al separador

Ecuación general de balance:

$$(A) = (E) - (S) + (G) - (C)$$

Considerando estado estacionario y que el sistema no tiene pérdidas de producto y tampoco existe ninguna reacción química que pueda dar valor al término de generación, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$(E) = (S)$$

Balance a nuestra unidad:

Global:

$$F = V + L \quad \text{Ec. A.2.1}$$

Por componente:

$$F \cdot z_i = V \cdot y_i + L \cdot x_i \quad \text{Ec. A.2.2}$$

Razón de equilibrio líquido vapor:

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} \quad \text{Ec. A.2.3}$$

La razón de equilibrio líquido vapor se ve condicionada por la temperatura, se ha seleccionado una temperatura de 25 °C atendiendo a la bibliografía (J.M Douglas, 1988).

Tabla A.2.1 Valores de la constante K

VALORES DE K	
Hidrogeno	28,62
Metano	11,476
Benceno	$6,667 \cdot 10^{-3}$
Tolueno	$2,121 \cdot 10^{-3}$
Difenilo	$2,836 \cdot 10^{-6}$

Los valores de la constante K se calculan mediante el simulador “Chemcad”, el cual mediante la resolución de la ecuación de Peng-Robinson da el valor de la constante para cada componente.

Balance entálpico:

$$\sum_{i=1}^5 h_{e_i} \cdot F \cdot z_i = \sum_{i=1}^5 h_{s,V} \cdot V \cdot y_i = \sum_{i=1}^5 h_{s,L} \cdot L \cdot x_i \quad \text{Ec. A.2.4}$$

Conocidas las constantes de equilibrio de líquido vapor y las entalpias mediante el simulador, se puede proceder a la resolución del sistema.

Tabla A.2.2 Balances a las distintas corrientes

Corriente	C-16	C-17	C-20	C-19
Caudal Molar (kmol/h)	10190,99	10190,99	8530,39	1660,60
Temperatura (°C)	25	24,9	24,9	24,9
Presión (bar)	32,856	32	32	32
Fracción molar de vapor	0,8367	0,8371	1	0
Entalpía (MJ/h)	-42030	-42030	-90982	48952
<i>Caudales Molares (kmol/h)</i>				
Hidrogeno	7343,38	7343,38	7293,77	49,61
Metano	1221,54	1221,54	1201,16	20,38
Benceno	804,94	804,94	26,65	778,29
Tolueno	816,65	816,64	8,81	807,84
Difenilo	4,48	4,48	0,0	4,48

A.2.3. Diseño hidráulico

El servicio es crítico y por lo tanto el arrastre de líquido por la corriente gaseosa debe ser mínimo, ya que la ésta se dirige a planta de hidrógeno en la cual será condicionada para distintos usos en la refinería.

Debido también a la criticidad del servicio y al gran caudal de líquido manejado es aconsejable usar un separador horizontal en vez de una vertical.

Para este servicio se dispondrán 10 minutos de diferencia en términos de caudal de entrada de líquido entre el Nivel de Emergencia de Líquido (ELL) y el Nivel Alto de Líquido (HLL), por su parte este tiempo pero medido entre HLL y Nivel Bajo de Líquido (LLL) deberá ser de 15 minutos.

A.2.3.1. Caudales y propiedades

La corriente de entrada al separador presenta las siguientes características recogidas en la tabla A.1.2.

Tabla A.1.2 Datos de la corriente de entrada al separador

Caudal de gas (dm³/s)	1840,11
Densidad de vapor (kg/m³)	5,5652
Viscosidad de vapor (mPa·s)	0,01046
Caudal de líquido (dm³/s)	44,917
Densidad de líquido (kg/m³)	843,218
Tensión superficial líquido (mN/m)	24,6

A.2.3.2. Distancia mínima entre LLL y el fondo del recipiente en milímetros (h_{LL})

$$h_{LL} = \frac{56 \cdot Q^{0,4}}{\left(1 - \frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0,2}} \quad \text{Ec. A.2.5}$$

Siendo:

Q= Caudal de líquido (dm³/s).

ρ_G = Densidad del vapor (kg/m³).

ρ_L = Densidad del líquido (kg/m³).

$$h_{LL} = \frac{56 \cdot 44,917^{0,4}}{\left(1 - \frac{5,562}{843,218}\right)^{0,2}} = 404,86 \text{ mm}$$

Se toma como h_{LL} un valor entero, el cual será igual a 405 mm.

A.2.3.3. Altura vertical requerida por el flujo de vapor

Esta altura debe satisfacer dos criterios:

1. La velocidad normal del vapor en el espacio del separador debe ser menor o igual a V_c (Velocidad Crítica)
2. La mínima altura vertical permisible para el flujo de vapor debe ser del orden del 20% del diámetro del recipiente o en todo caso nunca debe ser menor de 300 mm.

La velocidad crítica se calcula con la siguiente ecuación empírica:

$$V_c = 0,048 \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0,5} \quad \text{Ec. A.2.6}$$

Siendo:

V_c = Velocidad Crítica (m/s).

ρ_G = Densidad del vapor (kg/m³).

ρ_L = Densidad del líquido (kg/m³).

$$V_c = 0,048 \left(\frac{843,218 - 5,5652}{5,5652} \right)^{0,5} = 0,589 \text{ m/s}$$

El área vertical para el caudal de vapor A_v por encima de ELL requerida para satisfacer el criterio de V_c se obtiene dividiendo el caudal de gas por la velocidad crítica.

$$A_v = \frac{(1840,11 \text{ dm}^3 / \text{s}) \left(10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{dm}^3} \right)}{(0,589 \text{ m/s})} = 3,124 \text{ m}^2$$

A.2.3.4. Dimensionamiento del separador

Para la estimación del tamaño óptimo del separador se debe asumir primero un valor y después se tiene que comprobar que es adecuado para el servicio, de no ser así habrá que repetir el proceso hasta encontrar el menor diámetro adecuado para el separador.

A.2.3.4.1. Primer intento de diseño

Se va a proceder a la comprobación de si es adecuado el uso de un recipiente de 3200 mm de diámetro de 16000 mm de longitud (relación 5:1)

Tabla A.2.3 Relación L/D según presión interna

P (bar)	0-15	15-30	>30
L/D	3	4	5

Área vertical entre LLL y ELL ($A_{LLL-ELL}$)

El tiempo requerido de mantenimiento de líquido entre LLL y ELL es igual a la suma de 10+15 como ya se expuso en el apartado A.2.3. El volumen de líquido sostenido entre ELL y LLL se obtiene multiplicado el caudal de líquido de entrada por el tiempo total descrito antes (25 minutos):

$$A_{LLL-ELL} = \frac{(44,917 \text{ dm}^3 / \text{s})(25 \text{ min})(60 \text{ s/min})(10^{-3})}{(16000 \text{ mm})(10^{-3})} = 4,211 \text{ m}^2$$

(En esta área no se considera la cantidad de líquido presente en las cabezas del separador)

Área vertical entre LLL y el fondo del separador ($A_{Btm-LLL}$)

Se va a hacer uso de la tabla A.12.2 del anexo 12 para calcular el área de la sección entre el fondo del recipiente y LLL a la altura de LLL (h_{LL}) de 405 mm.

$$R^* = \frac{h}{D} = \frac{405}{3600} = 0,126$$

Con el valor de R^* se recurre a la Tabla A.5.2 del Anexo 5 y se obtienen los valores de los demás parámetros:

$$L^* = 0,666; A^* = 0,0738$$

Ahora se puede llevar a cabo el cálculo de $A_{Btm-LLL}$:

$$A_{Btm-LLL} = A^* \cdot A_{separador} = 0,0738 \frac{\pi}{4} (3,2m)^2 = 0,594 \text{ m}^2$$

Área vertical disponible para el flujo de vapor

El área vertical de la sección disponible para el flujo de vapor (A_V) es:

$$A_V = A_{separador} - (A_{Btm-LLL} + A_{LLL-ELL}) = \frac{\pi}{4} (3,2m)^2 - (0,594 + 4,211) = 3,238 \text{ m}^2$$

Al ser este prácticamente idéntico al calculado en el apartado A.1.3.3. ($3,124 \text{ m}^2$) el diámetro del separador es óptimo.

Distancia vertical entre el fondo del separador y HLL ($h_{\text{Btm-HLL}}$)

El área vertical requerida entre LLL y HLL ($A_{\text{LLL-HLL}}$) se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$A_{\text{LLL-HLL}} = \frac{(\text{caudal de líquido})(\text{tiempo mantenido})}{(\text{longitud del separador})}$$
$$A_{\text{LLL-HLL}} = \frac{(0,044917 \text{ m}^3 / \text{s})(15 \text{ min})(60 \text{ s} / \text{min})}{16 \text{ m}} = 2,527 \text{ m}^2$$

El área vertical necesaria entre el fondo del recipiente y HLL ($h_{\text{Btm-HLL}}$) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A_{\text{Btm-HLL}} = A_{\text{Btm-LLL}} + A_{\text{LLL-HLL}} = 0,594 + 2,527 = 3,121 \text{ m}^2$$

Con esta área se acude a la tabla A.12.2 del anexo 12 y se calcula A^* para que se obtenga el valor de R^* :

$$A^* = \frac{3,121}{\pi \cdot \left(\frac{3,2}{2}\right)^2} = 0,387 \rightarrow R^* = 0,410$$

Por lo tanto el valor de $h_{\text{Btm-HLL}}$ será el siguiente:

$$h_{\text{Btm-HLL}} = 0,410 \cdot 3200 = 1312 \text{ mm}$$

También para encontrar la distancia vertical entre el fondo del separador y ELL, hay que restar la distancia presente entre ELL y la altura total del separador:

$$A_v = 3,238; A^* = \frac{3,238}{\pi \cdot \left(\frac{3,2}{2}\right)^2} = 0,403 \rightarrow R^* = 0,425$$

$$h_{\text{Btm-ELL}} = 3200 - 0,425 \cdot 3200 = 1840 \text{ mm}$$

Selección del inyector de entrada

Para este servicio se pueden usar tanto un distribuidor poroso como un codo de 90°. Se va a llevar a cabo primero el diseño del codo, ya que su coste de fabricación es menor que el del distribuidor poroso.

Con diámetro interno de las tuberías de entrada de 381 mm (15 pulgadas) se pueden calcular los distintos parámetros de la entrada al separador.

El parámetro para saber si es factible el uso del codo de 90° es V_E :

$$V_E = \frac{(2)(1,6 \cdot 10^{-4})\sigma}{f \cdot \mu_G \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0,5}} \quad \text{Ec. A.2.7}$$

Siendo:

V_E : Máxima velocidad de mezcla a la salida del inyector de entrada, para la cual no se produce arrastre de líquido.

(2): Factor de corrección de V_E para un separador horizontal (m/s).

$(1,6 \cdot 10^{-4})$: Constante empírica para codos de 90°.

σ : Tensión superficial del líquido en las condiciones de operación (mN/m).

f: Factor de disipación de velocidad Jet (se toma un valor conservativo igual a 1).

μ_G : Viscosidad del gas en las condiciones de operación (mPa·s).

ρ_G : Densidad del vapor (kg/m³).

ρ_L : Densidad del líquido (kg/m³).

Por lo tanto al sustituir los valores de las distintas variables se obtiene lo siguiente:

$$V_E = \frac{(2)(1,6 \cdot 10^{-4})24,6}{1 \cdot 0,01046 \left(\frac{8,5652}{843,218} \right)^{0,5}} = 9,264 \text{ m/s}$$

El caudal de la alimentación total consiste en la suma de los caudales de vapor y líquido:

$$Q_M = 1840,11 + 44,917 = 1885,027 \text{ dm}^3 / \text{s} \approx 1,885 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Para dos inyectores de 16 pulgadas de diámetro externo y con un diámetro interno de 15 pulgadas (381 mm) la velocidad de mezcla V_S en la entrada es la siguiente:

$$V_s = \frac{(0,5) \cdot (1,885 \text{ m}^3 / \text{s})}{\left(\frac{\pi}{4}\right)(0,381 \text{ m})^2} = 8,27 \text{ m/s}$$

Ec. A.2.8

Al ser $V_s < V_E$ se pueden usar conos de 90° como inyectores de entrada al separador.

Diseño del CWMS (Separador de gotas)

El área del CWMS se calcula usando el 100% de la velocidad crítica:

$$\text{CWMS área} = \frac{1,885 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,589 \text{ m/s}} = 3,200 \text{ m}^2$$

Se va a usar un CWMS estándar de 150 mm de grosor con una densidad de 80 kg/m³ y de sección cuadrada:

$$\text{Ancho del CWMS} = \sqrt{3,200} = 1,789 \text{ m}$$

La mínima distancia permitida entre la zona alta del CWMS y el inyector de salida de gas (h_0), se obtiene mediante la siguiente ecuación, sabiendo que el inyector de salida tiene un diámetro nominal de 12,75 pulgadas ($d_0 = 324 \text{ mm}$):

$$h_0 = \frac{D_{\text{CWMS}} - d_0}{2} = \frac{1,789 - 0,324}{2} = 0,9085 \text{ m} = 908,5 \text{ mm}$$

Ahora se debe comprobar la distancia disponible entre el fondo del CWMS y ELL ($h_{\text{CWMS-ELL}}$):

$$h_{\text{CWMS-ELL}} = (D_{\text{Separador}} - h_{\text{Btm-ELL}}) - (h_0 + \text{espesor CWMS})$$

$$h_{\text{CWMS-ELL}} = (3200 - 1840) - (908,5 + 150) = 301,5 \text{ mm}$$

Este valor es correcto ya que excede el valor mínimo de 300 mm para evitar excesivas salpicaduras en el CWMS.

Ahora hay que comprobar que para la altura del CWMS existe suficiente espacio para colocarlo, para ello se acude a la tabla A.12.2 del anexo 12.

$$R^* = \frac{301,5}{3200} = 0,094; L^* = 0,584 = \frac{\text{Ancho disponible}}{D_{\text{Separador}}}$$

$$\text{Ancho disponible} = 0,584 \cdot 3200 = 1868,8 \text{ mm}$$

Se comprueba que el ancho disponible es mayor que el ancho del CWMS (1789 mm) por lo tanto hay espacio suficiente para colocarlo.

Diseño de los deflectores de vórtices

En el sistema estudiado la salida del líquido se hace por un eyector de 6,625 pulgadas (168,2 mm). Se usan tres rejillas cuadradas de 673 mm de lado (4 veces el diámetro de la tubería de salida), las cuales deben situarse por norma a 50, 165 y 280 mm sobre la tubería de salida respectivamente.

A.2.3.5. Diseño mecánico del separador

Cálculo del espesor de la cubierta

Se debe calcular la presión de diseño del recipiente, ésta según el código ASME Sección VIII div 1 para un recipiente protegido a la sobrepresión por discos de ruptura, debe ser un 33% superior a la de trabajo:

$$P_{dis} = 1,33 \cdot 32 = 42,56 \text{ bar} = 617,281 \text{ psi}$$

El espesor de la cubierta de un cuerpo cilíndrico sometido a presión interna se calcula mediante la siguiente expresión:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{Ec. A.2.9}$$

Siendo:

P: Presión de diseño (617,281 psi).

R: Radio externo del recipiente (63 in).

S: Máximo esfuerzo permisible del material a la temperatura de diseño (S para Acero inoxidable Sa-240 316 a 45°C (Se toma el valor para 200 °F de la tabla A.12.15 del anexo 12): 20000 psi.

E: Eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo 12 es igual a 0,85).

C: Sobre-espesor por corrosión (Para una vida útil de 15 años y una pérdida de espesor de 0,005 pulgadas/año el valor de C es de 0,075 in).

$$t = \frac{617,281 \text{ psi} \cdot 63 \text{ in}}{20000 \text{ psi} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 617,281 \text{ psi}} + 0,075 = 2,414 \text{ in}$$

Se tomará como valor de espesor aquel espesor comercial inmediatamente superior al calculado, siendo este de 2,5 pulgadas, por lo tanto:

$$t = 63,50 \text{ mm}$$

Cálculo del espesor de los cabezales

Los cabezales del separador son de tipo hemisférico ya que es el más recomendado para presiones de trabajo altas, la expresión para calcular su espesor según el código ASME es la siguiente:

$$t = \frac{P \cdot R}{2S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C$$

Ec. A.2.10

$$t = \frac{617,281 \text{ lb/in}^2 \cdot 63 \text{ in}}{2 \cdot 20000 \text{ lb/in}^2 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 620,616 \text{ lb/in}^2} + 0,075 = 1,223 \text{ in}$$

El valor del espesor mínimo obtenido es menor que el de la cubierta, por razones de seguridad se opta por usar el mismo espesor para el cabezal que el obtenido para la cubierta.

Por lo tanto el valor del espesor comercial para el cabezal será:

$$t = 63,50 \text{ mm}$$

Cálculo de la altura de la faldilla

La altura mínima de la faldilla, h, varía según la Norma o Código de cálculo empleado, pero en general deberá ser no menor que el mayor de los siguientes:

$$h \geq 0,3\sqrt{D_e \cdot e_f}$$

$$h \geq 3 \cdot e_f$$

$$h \geq 25\text{mm}$$

Con un valor máximo de $h = 100$ mm, y siendo:

D_e = diámetro exterior de la cubierta.

$$(D_e = D_i + 2 \cdot t = 3200 + 2 \cdot 63,50 = 3327 \text{ mm})$$

e_f = espesor de la pared del fondo (63,50 mm).

Los valores que toman las distintas variables son los siguientes:

$$h \geq 0,3\sqrt{3327 \text{ mm} \cdot 63,5 \text{ mm}} \geq 137,89\text{mm}$$

$$h \geq 3 \cdot 63,5 \text{ mm} \geq 190,5 \text{ mm}$$

$$h \geq 25\text{mm}$$

Por lo tanto la altura de la faldilla será el valor máximo de 100 mm.

A.2.3.5. Accesorios externos

En la parte exterior de la envolvente van soldados numerosos accesorios, de los cuales los más comunes son:

Soportes de instalación del aislamiento

Cuando la temperatura del fluido interior es superior a 60° C, o bien es un recipiente de proceso sensible a las variaciones de temperatura, se debe instalar un aislante para impedir la pérdida de calor o evitar el calentamiento del interior, así como por protección personal. Para poder aplicar el aislamiento se sueldan unos anillos que servirán de soporte de las mantas de aislamiento.

Anclajes para aplicación de protección contra incendios

Si un equipo está instalado en una zona donde existe peligro de incendio, se aplica a su parte inferior (soporte normalmente) un cemento que los protege del fuego. Para aplicar este cemento se sueldan unos anclajes que sirven de soporte del cemento antifuego.

Soportes de escalera y plataformas

Al ser un equipo horizontal con un diámetro de 3,2 m, no se necesita la instalación de ninguna escalera.

Soportes para tubería

De igual forma que en el caso de que existiesen para las escaleras, se instalan unos clips para la suportación de las tuberías que bajan a lo largo del recipiente.

Pescantes

El separador horizontal no dispone de relleno ni de platos y por lo tanto no necesita instalación de pescantes.

A.2.3.6. Apoyo del recipiente

Los recipientes horizontales se apoyan en el suelo o en la estructura portante por medio de silletas, que pueden ser de acero o de cemento. Las habitualmente utilizadas son las primeras y solamente en casos especiales se instalan silletas de cemento.

Desde los puntos de vista estático y económico, se prefiere el uso de dos silletas únicamente a diferencia del sistema de varios soportes, y esto es válido aun cuando sea necesario usar anillos atiesadores. La ubicación de las silletas la determina a veces la situación de aberturas, resumideros, etc., en el fondo del recipiente. Si no es tal el caso, las silletas pueden situarse en los puntos estáticamente óptimos. Los recipientes de pared delgada y diámetro grande se soportan mejor cerca de las cabeceras, para utilizar el efecto atiesador de las mismas. Respecto a los recipientes largos de pared gruesa, se aconseja soportarlos en donde el esfuerzo flexionante máximo longitudinal sobre las silletas sea casi igual al esfuerzo sobre la mitad del claro. Este punto varía con el ángulo de contacto de las silletas. La distancia entre la línea tangente a la cabeza y la silleta, en ningún caso debe ser mayor de 0,2 la longitud del recipiente.

Con el objeto de no crear tensiones en el equipo, es necesario que éste pueda dilatarse libremente según el eje principal, por lo cual una de las cunas tendrá libre el movimiento en la dirección del eje, mientras que la otra estará fija por los pernos de anclaje.

A.2.3.7. Instalación de la boca de hombre

En la presente unidad al ser el diámetro de recipiente mayor a 36 pulgadas se dispondrá de una boca de hombre de tamaño estándar de 24 pulgadas.

A.2.3.8. Espesor del aislante

Al llevar a cabo un proceso donde se ha considerado una temperatura constante y el cual es bastante sensible a la temperatura se debe proceder al aislamiento de la unidad. Para esto se va a usar lana de roca en la carcasa externa del separador y se recubrirá el aislante con una chapa de aluminio.

Para la temperatura de operación de 25 °C se va a usar el espesor mínimo que se le da a una unidad de proceso según la tabla A.5.9 del anexo 5, este es igual a 40 milímetros.

ANEXO 3: DISEÑO DE LA COLUMNA ESTABILIZADORA

A.3.1. Introducción

En el presente proyecto como ya se habló en la memoria descriptiva se va a diseñar una columna estabilizadora que termine de separar el Metano e Hidrogeno residuales presentes en la fracción líquida que sale del separador de fases (Corriente C-19).

La torre va a consistir en un absorbedor de platos con reboiler y se va a diseñar de una manera rigurosa usando el simulador “CHEMCAD”.

A.3.2. Diseño preliminar de la columna

A.3.2.1. Datos de la corriente de entrada a la columna

La corriente de entrada viene directamente de la salida de líquido del separador de fases y presenta las siguientes características:

Tabla A.3.1 Datos de la alimentación de la columna

<i>Temperatura (°C)</i>	25.6
<i>Presión (bar)</i>	1.1
<i>Fracción molar de vapor</i>	0,04423
<i>Fracción molar de líquido</i>	0,95577
<i>Entalpía (MJ/h)</i>	48952
<i>Caudales Molares por componentes (kmol/h)</i>	
<i>Hidrogeno</i>	49,61
<i>Metano</i>	20,38
<i>Benceno</i>	778,29
<i>Tolueno</i>	807,84
<i>Difenilo</i>	4,48
<i>Total</i>	1660,60

La alimentación se introduce a una presión ligeramente superior a la de la columna para evitar el flujo inverso, esta presión ha sido reducida desde los 32 bares del separador de fases por medio de una válvula de expansión situada en la conducción de entrada a la estabilizadora.

A.3.2.2. Uso de la unidad SCDS

El simulador tiene una unidad llamada SCDS que consiste en una simulación rigurosa de cualquier proceso de equilibrio líquido-vapor. Para establecer el funcionamiento de la misma se van a seguir recomendaciones de la bibliografía además de distintos estudios dados por el propio simulador. Las consideraciones a tener en cuenta son:

- La alimentación despresurizada se introduce en el primer plato de la columna.
- La columna opera con un rehervidor que calienta el líquido que sale del último plato hasta vaporizarlo parcialmente de manera que ese vapor vuelva a la columna.
- La columna es un absorbedor de platos, por lo tanto el vapor que sale del primer plato es el producto de cabezas.
- Se opera de manera que se recupere por colas el 99,3% de benceno que entra a la columna.

Ahora se va proceder a realizar un estudio de las dos variables más importantes del proceso, la temperatura y el NPT (Número de Platos o etapas Teóricas).

A.3.2.2.1. Estudio de la influencia del NPT

El simulador permite obtener un gráfico de como varía la cantidad que se obtiene por cabezas y por cola de columna de los distintos componentes en función del NPT, en el presente proyecto se van a seleccionar los componentes y variables que tienen más interés, quedando los gráficos de la siguiente manera:

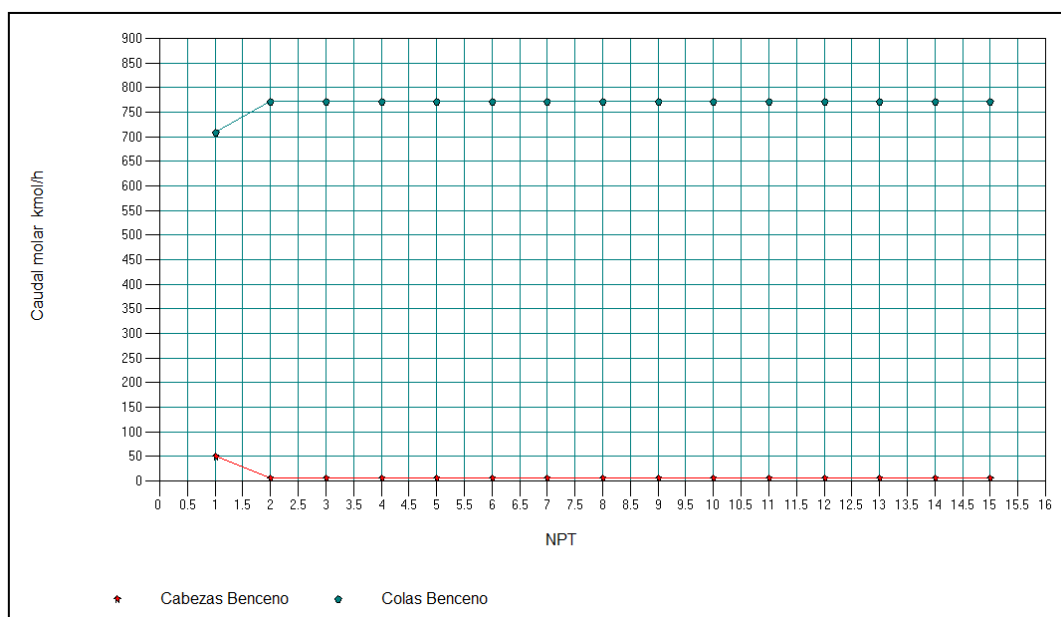


Figura A.3.1 Caudales molares del producto de interés en función del NPT

En la figura A.3.1 se puede observar que el caudal de benceno se mantiene constante y en un nivel lo suficientemente bajo por cabezas, para recuperar la cantidad establecida, a partir de una columna de 2 etapas teóricas.

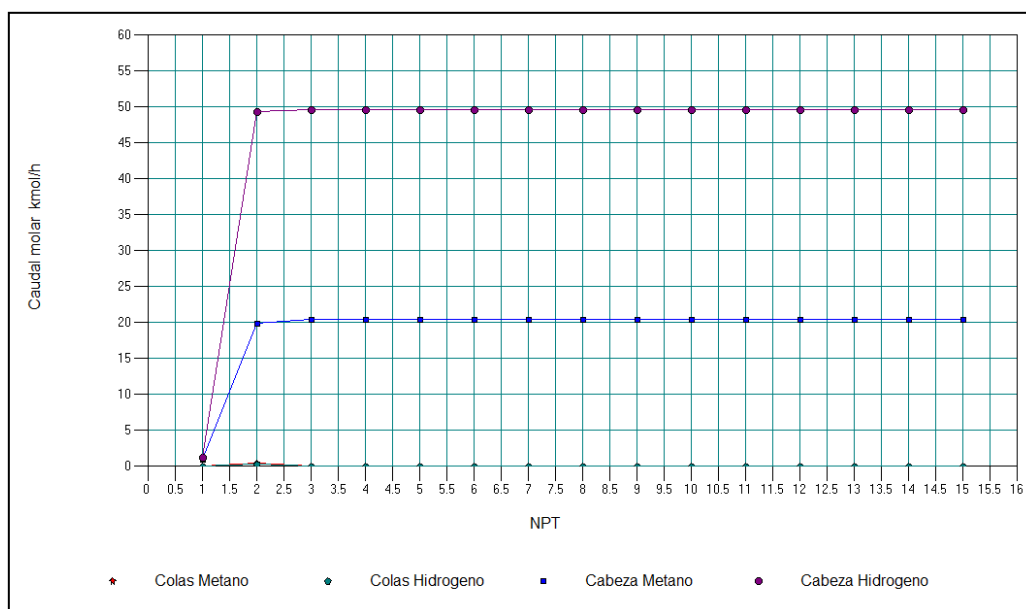


Figura A.3.2 Caudales molares de los compuestos a eliminar en función del NPT

En la figura A.3.2 se aprecia que para dos etapas teóricas se obtiene una pequeña cantidad de hidrógeno y metano por colas de columna, cosa que es aceptable, ya que son los compuestos que se quieren eliminar en la mayor medida posible.

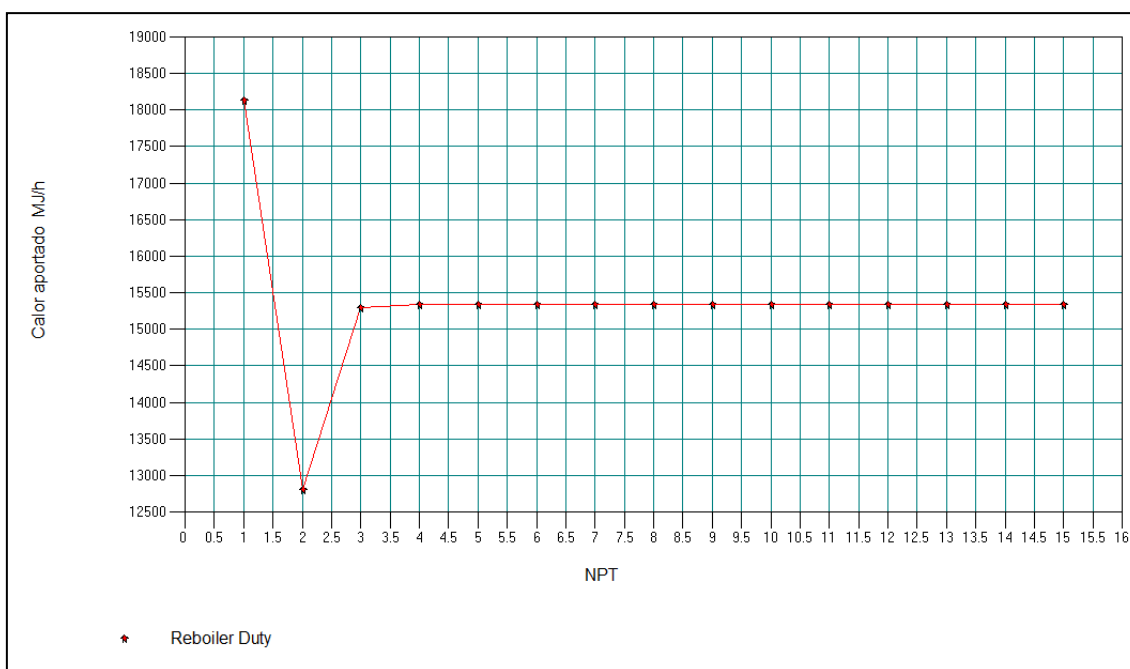


Figura A.3.3 Calor aportado en el rehervidor en función del NPT

Respecto a la Figura A.3.3 se observa que el calor aportado al reboiler presenta un máximo y un mínimo, el máximo no es aceptable, ya que sería el equivalente al uso de una sola etapa (usar un reboiler sin columna), mientras que el mínimo tampoco es aceptable ya que presenta aún cierta cantidad de hidrógeno y metano en la corriente de interés como se observa en la figura A.3.2.

Por lo tanto se va a elegir un número de etapas igual a 3, ya que un número mayor no aporta ningún beneficio y como ya se expuso en la memoria descriptiva, se va a usar un absorbedor con tres equilibrios teóricos puesto que el uso de una columna de rectificación requeriría de una mayor inversión en inmovilizado y de un gasto extra en el condensador. Uno de los equilibrios teóricos se corresponde con el

calderín, siendo los otros dos los respectivos a los platos teóricos, esto se debe a que el simulador numera la primera como el reboiler salvo que se le haya especificado la inexistencia del mismo.

A.3.2.2.2. Estudio de la influencia de la temperatura de la alimentación

El simulador permite obtener un gráfico de como varía la cantidad de benceno por cabezas y por cola que se obtiene en función de la temperatura de la alimentación.

Como se puede comprobar en la figura A.3.4, un precalentamiento de la alimentación supondría una pérdida de benceno por cabezas y por lo tanto no se podría llegar al límite establecido de una recuperación del 99,3% de benceno por colas.

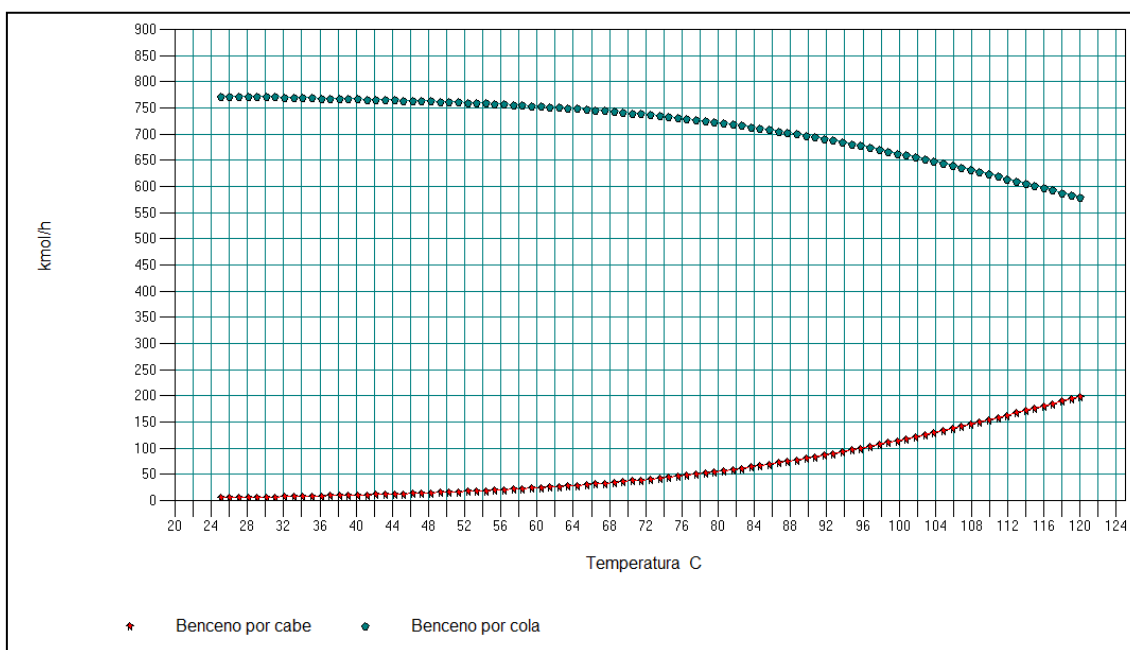


Figura A.3.4 Caudal molar de benceno en función de la T^a de la alimentación

A.3.2.2.3. Resumen del método riguroso

Seleccionado ya el modo de operación se va a proceder a hacer un resumen de las distintas variables de la columna.

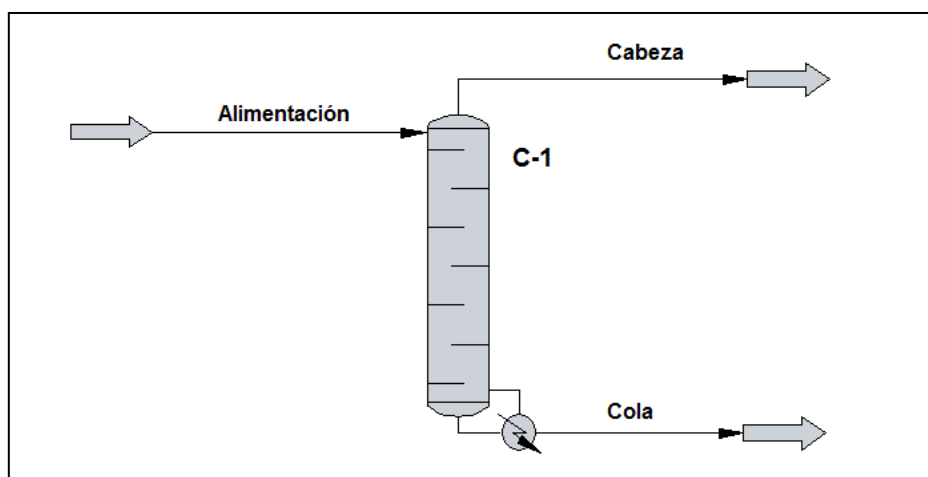


Figura A.3.5 Esquema de la columna

Tabla A.3.2 Datos de las corrientes del sistema

Corriente	Alimentación	Cabeza	Colas
Temperatura (°C)	25,56	26,04	91,91
Entalpía (MJ/h)	48952	-986,35	65242
Caudales Molares (kmol/h)			
<i>Hidrogeno</i>	49,6102	49,6072	0,0029
<i>Metano</i>	20,38	20,3642	0,0113
<i>Benceno</i>	778,29	5,4479	778,52
<i>Tolueno</i>	807,84	1,6836	765,90
<i>Difenilo</i>	4,4763	0	4,4763
Total	1660,5946	77,1030	1583,4916

Tabla A.3.3 Datos de la columna estabilizadora

Variable	
Número de etapas	3
Calor aportado al reboiler (MJ/h)	15303
Caudal de vapor que sale del reboiler (kmol/h)	323,559
Presión de trabajo (bar)	1

A continuación se van a obtener los distintos informes que genera el simulador para el caso de una unidad SCDS:

Unit type : SCDS Unit name: C-1 Eqp # 1							
Stg	Temp C	Pres bar	* Net Flows *		Feeds kg/h	Product kg/h	Duties MJ/h
			Liquid kg/h	Vapor kg/h			
1	26.0	1.00	135646.61		136348.00	1007.39	
2	73.9	1.00	161882.14	306.03			
3	91.9	1.00		26541.57		135340.58	1.53E+004

Total liquid entering stage 1 at 25.471 C, 135397.365 kg/h.

Figura A.3.6 Chemcad SCDS Profile (Nota: Stg 3 = Reboiler)

TRAY COMPOSITIONS				
Unit type : SCDS Unit name: C-1 Eqp # 1				
Stage #	1	26.04 C	1.00 bar	
		Vap kg/h	Liq kg/h	Y/X
Methane		326.70285	19.54729	344.51221
Benzene		425.56094	60571.68359	0.14482
Toluene		155.12489	74362.78906	0.04300
Diphenyl		0.00197	690.30194	0.00006
Hydrogen		99.99828	2.29218	899.25256
Total kg/h		1007.3889	135646.6140	
Stage #	2	73.93 C	1.00 bar	
		Vap kg/h	Liq kg/h	Y/X
Methane		19.36582	15.58106	407.18726
Benzene		201.96381	77961.76563	0.84869
Toluene		82.40565	83212.90625	0.32443
Diphenyl		0.00361	690.96503	0.00171
Hydrogen		2.28629	0.92519	809.57007
Total kg/h		306.0252	161882.1415	
Stage #	3	91.91 C	1.00 bar	
		Vap kg/h	Liq kg/h	Y/X
Methane		15.39959	0.18148	415.26984
Benzene		17592.05469	60369.71484	1.42606
Toluene		8932.52539	74280.38281	0.58849
Diphenyl		0.66668	690.29834	0.00473
Hydrogen		0.91929	0.00590	762.93011
Total kg/h		26541.5660	135340.5809	

Figura A.3.7 Composiciones por etapa (Nota: Stage 3 = Reboiler)

TRAY PROPERTIES								
Unit type :		SCDS		Unit name: C-1		Eqp # 1		
LIQUID								
		Average	Actual	Actual		Thermal	Surface	
Stg	kg/h	mol wt	vol rate	density	viscosity	conduct.	tension	
			m3/h	kg/m3	Pa-sec	W/m-K	N/m	
1	135647	85.35	156.51	866.71	0.0006	0.137	0.028	
2	161882	84.89	197.46	819.82	0.0003	0.124	0.022	
3	135341	85.47	168.89	801.34	0.0003	0.119	0.020	
Stg		Liq H						
		MJ/h						
1		50127						
2		75483						
3		65242						
VAPOR								
		Average	Actual	Actual		Thermal	Compr.	
Stg	kg/h	mol wt	vol rate	density	viscosity	conduct.	factor	
			m3/h	kg/m3	Pa-sec	W/m-K		
1	1007	13.07	1915	0.5261	0.0000	0.084	0.998	
2	306	52.57	166	1.8483	0.0000	0.029	0.986	
3	26542	82.03	9531	2.7848	0.0000	0.017	0.971	
Stg		Vap H						
		MJ/h						
1		-986.35						
2		188.3						
3		25544						

Figura A.3.8 Propiedades del líquido y vapor por etapa
(Nota: Stg 3 = Reboiler)

Con todos estos datos obtenidos mediante el simulador se va a proceder en el siguiente apartado a realizar el diseño hidrodinámico de la torre estabilizadora.

A.3.3. Diseño Hidrodinámico de la columna estabilizadora

En este apartado se va a proceder al cálculo de los distintos parámetros que garanticen una operación hidrodinámica satisfactoria de la columna.

A.3.3.1. Estudio del uso de platos perforados

Antes de empezar con el cálculo hidrodinámico primero se ha de escoger una configuración estándar:

- Ancho de la columna T: 1 a 3 m.
- Espaciado entre platos t: 0,61 m (24 ").
- Espesor del plato e: 0.001935.
- Diámetro de las perforaciones d_o : 0,001935 m.
- Número de pasos: 1.

- Factor de inundación: 80%.

Cálculo de la velocidad de inundación

El primer paso en el diseño de platos perforados es determinar el valor de la velocidad de inundación, la cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_F = C_F \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0.5} \quad \text{Ec. A.3.1}$$

Siendo:

V_F = velocidad lineal de inundación del gas (m/s).

$\rho_L - \rho_V$ = densidad de líquido y vapor respectivamente, (kg/m^3).

C_F = Coeficiente de inundación.

De esta ecuación se conocen todos sus términos menos el coeficiente de inundación, el cual viene dado por la siguiente expresión:

$$C_F = \left(\alpha \cdot \log \frac{1}{PF} + \beta \right) \cdot \left(\frac{\sigma}{0,02} \right)^{1/5} \quad \text{Ec. A.3.2}$$

En donde:

C_F = Coeficiente de inundación.

α, β = constantes.

σ = Tensión superficial del líquido (0,028 N/m).

PF = Parámetro de flujo $\left(\frac{L'}{V'} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_V}} \right)$.

Se va a proceder a calcular primero el parámetro de flujo, ya que si este es muy alto no se podrán usar platos perforados, ya que no existen correlaciones para el cálculo de los parámetros característicos de estos platos si el parámetro de flujo es alto.

L' y V' se toman como el caudal másico que existe en el plato 1 y V' es el caudal másico de vapor que entra por los orificios en el plato 1, o visto

como el caudal de vapor que abandona el plato 2, ambos valores se toman de la Figura A.2.8.

$$PF = \frac{L'}{V'} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_V}} = \frac{135647 \frac{kg}{h}}{306 \frac{kg}{h}} \cdot \sqrt{\frac{866,71 \frac{kg}{m^3}}{1,8483 \frac{kg}{m^3}}} = 20,47$$

Se va a recurrir al siguiente gráfico para demostrar que no es viable el uso de este tipo de platos para nuestro servicio:

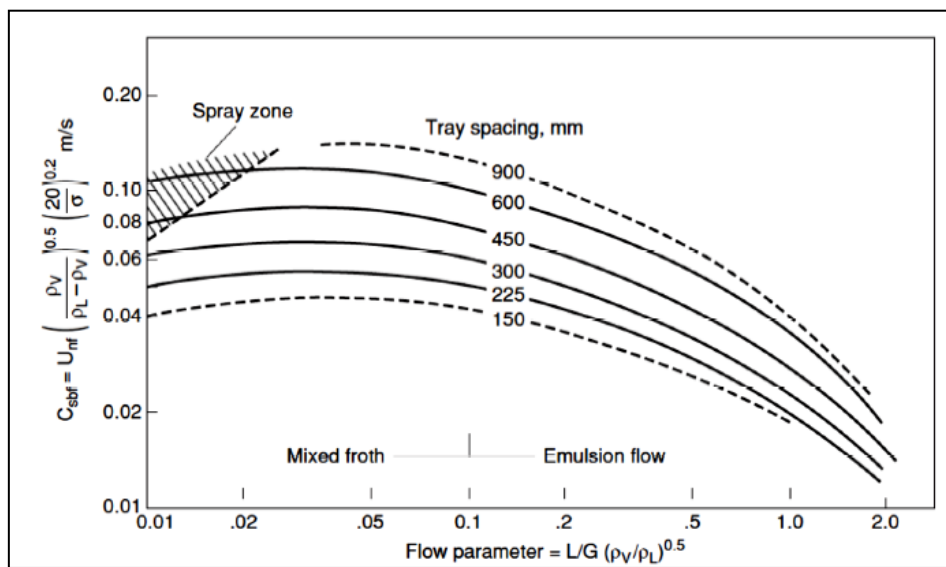


Figura A.3.9 Correlación de Fair (Fair, Pet/chem Eng 33, 1961)

En la figura A.3.9 se aprecia que para parámetros de flujo superiores a 2 el coeficiente de descarga tiende a cero y por lo tanto la velocidad lineal de inundación tendería a cero a su vez, haciendo que el área de flujo necesaria fuera infinito, ya que la velocidad es caudal entre sección ($V=Q/A$), y para un caudal Q constante a menor velocidad mayor debe ser el área A.

Otro problema que presenta la suma de velocidad baja de vapor, junto con una diferencia de caudal pronunciada entre el vapor y el líquido, es el lloriqueo ó caída de líquido por las perforaciones hasta el plato inferior.

A.3.3.2. Diseño hidrodinámico de la columna con platos Bubble Cap

Se va a proceder a realizar el diseño de la columna usando platos de campana ó Bubble Cap, ya que las bibliografía los recomienda (A. Marcilla Gomis, 1998) para casos donde la diferencia de caudal entre el vapor y el líquido sea muy pronunciada lo que conlleva que el valor del parámetro de flujo sea alto. Estos platos presentan una característica importante, y es que evitan completamente el lloriqueo, siendo por lo tanto idóneos para nuestro sistema.

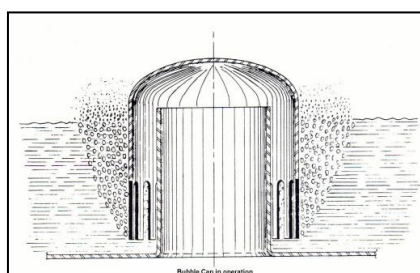
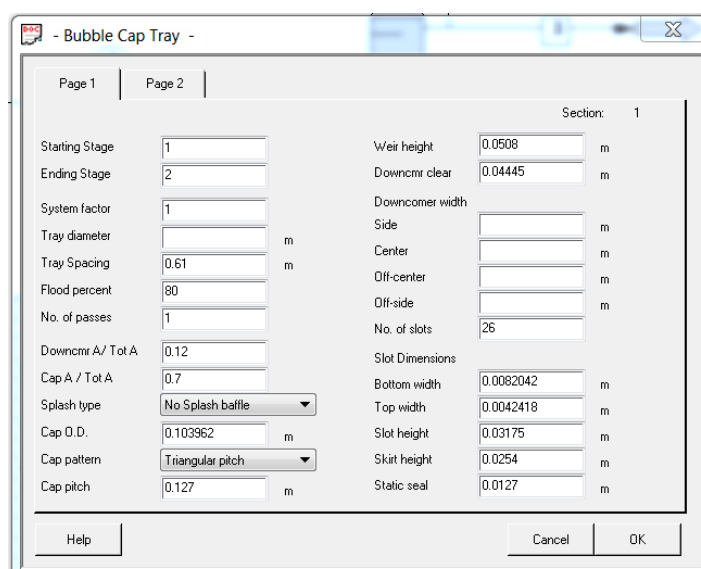


Figura A.3.10 Representación de una capucha o campana (Bubble cap)

Se va a proceder a diseñar con ayuda del simulador la columna con platos de capucha, para ello se introducen las siguientes variables:

A screenshot of a software interface titled "- Bubble Cap Tray -". The interface is divided into two pages, with "Page 1" selected. It contains various input fields and dropdown menus for configuring the tray design. The "Section" is set to "1". The data entered in the fields is as follows:

Parameter	Value	Unit
Starting Stage	1	
Ending Stage	2	
System factor	1	
Tray diameter		m
Tray Spacing	0.61	m
Flood percent	80	
No. of passes	1	
Downcomer A / Tot A	0.12	
Cap A / Tot A	0.7	
Splash type	No Splash baffle	
Cap O.D.	0.103962	m
Cap pattern	Triangular pitch	
Cap pitch	0.127	m
Weir height	0.0508	m
Downcomer clear	0.04445	m
Downcomer width		
Side		m
Center		m
Off-center		m
Off-side		m
No. of slots	26	
Slot Dimensions		
Bottom width	0.0082042	m
Top width	0.0042418	m
Slot height	0.03175	m
Skirt height	0.0254	m
Static seal	0.0127	m

Figura A.3.11 Datos introducidos en el apartado de diseño del simulador "Bubble Cap Tray"

Se toman los valores comerciales estándar aportados por el simulador obteniéndose los siguientes resultados:

```

BUBBLE CAP TRAY SIZING

Vapor load is defined as the vapor from the tray below.
Liquid load is defined as the liquid on the tray.

Section:      1

          Equip.  C-1  Tray No.  1

Tray Loadings
          Vapor
          306.025 kg/h      135646.614 kg/h
          165.570 m3/h      156.507 m3/h
Density   1.848 kg/m3      866.714 kg/m3
Tower internal diameter, m ..... 1.219
Tray spacing, m ..... 0.610
No. of tray liquid passes ..... 1
Downcomer dimension      Width m  Length m  Area m2
          Side      0.235      0.962
Avg. weir length m ..... 0.962
Weir height, m ..... 0.051
Flow path length m ..... 0.749
Flow path width m ..... 1.137
Tray area, m2 ..... 1.167
Tray active area m2 ..... 0.852
% flood ..... 70.663
No. of caps ..... 58
Fractional entrainment ..... 0.000
Aeration factor ..... 0.971
Tray press loss, m ..... 0.168
Tray press loss, bar ..... 0.014
Downcomer clearance m ..... 0.044
Downcomer backup m ..... 0.604
Downcomer residence time sec ..... 2.191
Downcomer apparent residence time sec ..... 2.211 ***
*** Downcomer app. residence time < 3.0 sec, possible choke flooding
Downcomer velocity m/sec ..... 0.276 ****
**** Downcomer velocity > 0.6 ft/sec, possible choke flooding
Liquid holdup m3 ..... 0.236
Liquid holdup kg ..... 204.297
    
```

Figura A.3.12 Datos del plato de alimentación (campana de borboteo)

Como se aprecia el diseño del plato de alimentación no es satisfactorio, ya que presenta problemas en el vertedero, por lo tanto ya para hacer la columna más homogénea, se va a proceder a realizar la simulación con un sólo diámetro comercial de 7 pies (2,134 m). Al

simularlo en el CHEMCAD se obtienen los siguientes datos del primer plato (se omiten los del segundo debido a que su diámetro no varía):

Equip. C-1		Tray No. 2	
Tray Loadings		Vapor	Liquid
		26541.566 kg/h	161882.142 kg/h
		9530.816 m ³ /h	197.461 m ³ /h
Density		2.785 kg/m ³	819.818 kg/m ³
Tower internal diameter,	m	.....	2.134
Tray spacing,	m	.....	0.610
No. of tray liquid passes		.....	1
Downcomer dimension		Width m	Length m
	Side	0.387	1.645
Avg. weir length	m	.....	1.645
Weir height,	m	.....	0.051
Flow path length	m	.....	1.359
Flow path width	m	.....	1.979
Tray area,	m ²	.....	3.575
Tray active area	m ²	.....	2.689
% flood		.....	70.669
No. of caps		.....	179
Fractional entrainment		.....	0.000
Aeration factor		.....	0.653
Tray press loss,	m	.....	0.122
Tray press loss,	bar	.....	0.010
Downcomer clearance	m	.....	0.044
Downcomer backup	m	.....	0.430
Downcomer residence time	sec	.....	3.474
Downcomer apparent residence time	sec	.....	4.927
Downcomer velocity	m/sec	.....	0.124
Liquid holdup	m ³	.....	0.421
Liquid holdup	kg	.....	345.456
Total column pressure drop =		0.024 bar	

Figura A.3.13 Datos del plato nº 2 (campana de borboteo)

Como se puede apreciar en la figura A.3.14, la operación es ya satisfactoria, teniendo una pérdida de presión por plato de 0,010 bar.

BUBBLE CAP TRAY SIZING			
Vapor load is defined as the vapor from the tray below.			
Liquid load is defined as the liquid on the tray.			
Section: 1			
Equip.	C-1	Tray No.	1
Tray Loadings		Vapor	Liquid
		306.025 kg/h	135646.614 kg/h
		165.570 m3/h	156.507 m3/h
Density		1.848 kg/m3	866.714 kg/m3
Tower internal diameter,	m	.....	2.134
Tray spacing,	m	.....	0.610
No. of tray liquid passes		.....	1
Downcomer dimension		Width m	Length m
Side		0.387	1.645
Avg. weir length	m	.....	1.645
Weir height,	m	.....	0.051
Flow path length	m	.....	1.359
Flow path width	m	.....	1.979
Tray area,	m2	.....	3.575
Tray active area	m2	.....	2.689
% flood		.....	22.782
No. of caps		.....	179
Fractional entrainment		.....	0.000
Aeration factor		.....	0.991
Tray press loss,	m	.....	0.121
Tray press loss,	bar	.....	0.010
Downcomer clearance	m	.....	0.044
Downcomer backup	m	.....	0.384
Downcomer residence time	sec	.....	3.918
Downcomer apparent residence time	sec	.....	6.217
Downcomer velocity	m/sec	.....	0.098
Liquid holdup	m3	.....	0.492
Liquid holdup	kg	.....	426.349

Figura A.3.14 Datos del plato de campana de borboteo n° 1 con un diámetro comercial de 2,134 m

A.3.3.3. Cálculo de la eficacia de la columna estabilizadora y del número real de platos

Para el cálculo del número de platos reales se va a hacer uso de una expresión que relacione la eficacia global de la columna de manera que se obtenga el número de platos necesario reales para proceder a nuestra separación:

$$NPR = \frac{NPT}{E_o} \quad \text{Ec. A.3.3}$$

Siendo:

NPR: número de platos reales.

NPT: Número de platos considerando equilibrio perfecto entre la mezcla líquido vapor (para el sistema este número será igual a dos, ya que el calderín se considera que su equilibrio es prácticamente igual a la unidad).

E_o : Eficacia global de la columna.

La correlación seleccionada para obtener el valor de E_o es la de Drickamer, la cual relaciona la eficiencia global con la viscosidad promedio del líquido de la alimentación:

$$E_o = 0,17 - 0,616 \cdot \log_{10} \left(\frac{\mu_L}{\mu_w} \right) \quad \text{Ec. A.3.4}$$

Dónde:

E_o : Eficacia global de la columna.

μ_L : Viscosidad dinámica promedio de la alimentación calculada a la temperatura promedio de la torre ($\mu_L = 0,348$ cP a 50 °C, obtenida mediante el simulador).

μ_w : Viscosidad dinámica del agua a 293 K (1 cP).

$$E_o = 0,17 - 0,616 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,348}{1} \right) = 0,452$$

Por lo tanto el número de platos será el siguiente:

$$NPR = \frac{2}{0,452} = 4,42$$

Se tomará como valor del número real de platos el siguiente:

$$NPR=5$$

A.3.3.4. Resumen del diseño hidrodinámico de la columna

El resumen hidrodinámico se va a recoger en las siguientes tablas.

Tabla A.3.4 Resumen de las distintas variables de la columna

Variable	
<i>Diámetro interno de la columna</i>	2,134 m
<i>Separación entre platos</i>	0,61 m
<i>Número de pasos</i>	1
<i>Calor aportado en el calderín</i>	15303 MJ/h
<i>Número de platos</i>	5
<i>Perdida de presión total</i>	0,05 bar

Tabla A.3.5 Resumen de las características de los platos

Variable	
<i>Área del plato</i>	3,575 m ²
<i>Área activa</i>	2,689 m ²
<i>Ancho de parte activa</i>	1,975 m
<i>Longitud de parte activa</i>	1,359 m
<i>Altura de la presa</i>	0,051 m
<i>Ancho de la presa</i>	1,645 m
<i>Ancho del vertedero</i>	0,387 m
<i>Longitud del vertedero</i>	1,645 m
<i>Área del vertedero</i>	0,443 m ²
<i>Espesor del plato</i>	4 mm

Tabla A.3.6 Resumen de las características de las campanas de borboteo

Variable	
<i>Nº de campanas</i>	179
<i>Diámetro externo de las campanas</i>	4 in (0,104 m)
<i>Tipo de pitch</i>	Triangular
<i>Pitch</i>	5 in (0,127 m)
Dimensiones de las aberturas	
<i>Nº de aberturas por campana</i>	26
<i>Anchura del fondo</i>	0,323 in (8,2 mm)
<i>Anchura de la parte de arriba</i>	0,167 in (4,2 mm)
<i>Altura de la abertura</i>	1,250 in (31,8 mm)
<i>Altura del faldón</i>	1 in (25,4 mm)
<i>Sello estático</i>	0,5 in (12,7 mm)

A.3.4. Diseño mecánico de la columna

En este apartado se va a proceder a la realización de los cálculos correspondientes al diseño de construcción de la columna.

A.3.4.1. Cálculo de la altura de la columna

La altura total de la columna se obtiene con la ecuación:

$$H = Z + S + T \quad \text{Ec. A.3.5}$$

Dónde:

H: altura total de la columna (m).

Z: altura neta (ocupada por las etapas de contacto) (m).

S: altura de la base, aproximadamente 1,8 m (6 pies).

T: altura de la parte superior, aproximadamente de 0,5 a 1 m (2 a 3 pies), se toma como valor 0,75 m.

$$H = 0,61 \cdot 5 + 1,8 + 0,75 = 5,6 \text{ m}$$

A.3.4.2. Cálculo del espesor de la cubierta y del fondo

La envolvente es una envoltura metálica que forma propiamente el recipiente. Como ya se ha indicado, los aparatos cilíndricos son los más utilizados, y en ellos la envolvente está formada, básicamente, por dos elementos: la parte cilíndrica o cubierta (carcasa) y los fondos o cabezales. Si la cubierta está constituida por varios cilindros de diversos diámetros, la unión entre ellos se realiza generalmente por figuras troncocónicas que realizan la transición.

Según el Código ASME VIII Div.1 las expresiones para el cálculo del espesor de una cubierta cilíndrica sometida a presión interna y protegido a sobrepresión por discos de ruptura son las siguientes (Ver figura X anexo 5):

$$t_c = \frac{P_D \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_D} + C \quad \text{Ec. A.3.6}$$

$$T_d = T_{m\acute{a}x} + 20^\circ \text{C} \quad \text{Ec. A.3.7}$$

$$P_d = P_{op} \cdot 1,33 \quad \text{Ec. A.3.8}$$

Siendo:

t_c : Espesor (pulgadas).

P_D : Presión de diseño (psi).

P_{op} : Presión de operación (14,5 psi).

T_d : Temperatura de diseño.

$T_{m\acute{a}x}$: Temperatura máxima de operación (91,93°C).

R: Radio de la columna (3,5 pies = 42 pulgadas = 1,067 m).

S: Tensión máxima admisible del Acero inoxidable SA-240 AISI 316 a la temperatura de diseño (20000 psi a 300 °F, véase tabla A.5.15 Anexo 5).

E: Eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo 12 es igual a 0,85).

C: Margen de corrosión (En el caso de una vida media de operación de 8 años y a razón de un desgaste por corrosión de cinco milésimas de pulgadas al año se toma como valor de $C=0,04$ pulgadas).

Sustituyendo los valores se obtiene lo siguiente:

$$T_d = 91,93 \text{ °C} + 20 \text{ °C} = 111,93 \text{ °C}$$

$$P_D = 14,5 \text{ psi} \cdot 1,33 = 19,29 \text{ psi}$$

Este valor de presión de diseño es menor al mínimo exigido por el código ASME, por lo tanto se tomará el valor dado por el código de:

$$P_D = 30 \text{ psi}$$

$$t_c = \frac{30 \text{ psi} \cdot 42 \text{ in}}{20000 \text{ psi} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 30} + 0,04 = 0,114 \text{ in} = 2,9 \text{ mm}$$

El espesor mínimo recomendado por el código ASME sección VIII div 1. Es de 3 mm para aceros inoxidables más la corrosión admisible (0,04 pulgadas ó 1 mm), por lo tanto el espesor de la envolvente será de 4 mm

(0,1574 pulgadas), siendo el espesor comercial inmediatamente superior de 0,1644 pulgadas (Gauge n° 8).

Por lo tanto el espesor mínimo de la envolvente será el siguiente:

$$t = 0,1644 \text{ in} = 4,2 \text{ mm}$$

Cálculo del espesor del fondo

El fondo elegido para la zona superior e inferior de la columna es del tipo Kloppler, ya que la columna trabaja a presión inferior a 7 bar, la temperatura de diseño es inferior a 350 °C y la relación altura/diámetro no es superior a 10.

Para el caso de fondos toriesféricos de tipo Klopper el diámetro de curvatura es igual al diámetro de la torre.

Según el código ASME se puede usar la siguiente relación de fórmulas similares a las del apartado anterior para el cálculo del espesor:

$$L = d_i + 2 \cdot t \quad \text{Ec. A.3.9}$$

$$r = 0,1 \cdot (d_i + 2 \cdot t) \quad \text{Ec. A.3.10}$$

$$h = 0,2 \cdot d_i \quad \text{Ec. A.3.11}$$

$$t_{fon} = \frac{0,885 \cdot P_D \cdot L}{S \cdot E - 0,1 \cdot P_D} + C \quad \text{Ec. A.3.12}$$

Siendo:

L: radio interior de curvatura del fondo (in).

d_i : diámetro interno de la envolvente.

r: radio de esquina interno.

h: altura de la cúpula.

t_{fon} : espesor del fondo toriesférico.

P_D : presión de diseño (30psi).

S: esfuerzo máximo admisible acero inoxidable SA-240 AISI 316 (20000 psi).

E: eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo

12 es igual a 0,85) C: sobre espesor por corrosión (0,04 pulgadas).

Se sustituyen en las expresiones y se obtienen los siguientes resultados:

$$L=2,134\text{m} + 2 \cdot 0,0042 \text{ m} = 2,142 \text{ m} (84,35 \text{ in})$$

$$r=0,1 \cdot 2,142 = 0,2142 \text{ m}$$

$$h=0,2 \cdot 2,134 \text{ m} = 0,4268 \text{ m}$$

$$t_{fon} = \frac{0,885 \cdot 30 \text{ psi} \cdot 84,35 \text{ in}}{20000 \text{ psi} \cdot 0,85 - 0,1 \cdot 30 \text{ psi}} + 0,04 \text{ in} = 0,172 \text{ in} \approx 4,4 \text{ mm}$$

Se tomará como espesor el espesor comercial inmediatamente superior, este espesor es de 4,8 mm (3/16 pulgadas)

Por lo tanto el espesor tanto del fondo superior como del inferior será el siguiente:

$$t = 4,8 \text{ mm}$$

Este valor es mayor al espesor mínimo calculado para la cubierta, por lo tanto y para hacer homogénea la pieza y por criterios de seguridad se tomará un mismo valor de espesor para cubierta y fondos de 4,8 mm.

A.3.4.3. Cálculo del espesor debido a la carga por viento

Las torres sujetas al empuje del viento se consideran como vigas en voladizo con carga uniforme.

El cálculo de la carga por viento se basa en la norma A58.1-1982 de ANSI. La velocidad del viento mínima básica para determinar la presión de diseño del viento se va a tomar en las peores condiciones que se pueden dar en un temporal en la localidad donde está situada la fábrica (San Roque, Cádiz).

La presión de diseño del viento se determina para cualquier altura mediante la siguiente fórmula:

$$P = q_s \cdot C_e \cdot C_q \quad \text{Ec. A.3.13}$$

Siendo:

P= Presión de diseño del viento (lb/pie²)

q_s= Presión de estancamiento del viento a la altura estándar de 30 pies (lb/pie²)

C_e = Altura combinada, exposición y coeficiente del factor por ráfagas

C_q = Coeficiente de presión

Los valores de los distintos parámetros están tabulados en las siguientes tablas y figuras:

Tabla A.3.7 Valores de q_s (Megyesy, E.F., 2001)

Velocidad básica del viento, mph	70	80	90	100	110	120	130
Presión q_s , lb/pie ²	13	17	21	26	31	37	44

C_q = Coeficiente de presión (factor de forma):	
Torres cuadradas o rectangulares.....	1.4
Torres hexagonales u octagonales.....	1.1
Torres redondas o elípticas.....	0.8
(Si hay cualquier equipo conectado a la torre, se recomienda incrementar C_q hasta 0.9 para recipientes cilíndricos.)	

Figura A.3.16 Valores de C_q (Megyesy, E.F., 2001)

Tabla A.3.8 Valores de C_e (Megyesy, E.F., 2001)

<i>Altura sobre el piso, pies</i>	<i>Coeficiente C_e</i>	
	<i>Exposición C</i>	<i>Exposición B</i>
0- 20	1.2	0.7
20- 40	1.3	0.8
40- 60	1.5	1.0
60-100	1.6	1.1
100-150	1.8	1.3
150-200	1.9	1.4
200-300	2.1	1.6
300-400	2.2	1.8

En la Tabla A.3.8 la exposición C representa la más severa, las grandes plantas petroquímicas están en esa categoría.

Por lo tanto el valor de P para una altura de torre igual a 5,6 metros (18,3727 pies) será el siguiente:

$$P = 44 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 42,24 \text{ lb/pie}^2$$

Ahora se procederá a calcular el momento debido al viento, para ello se va a hacer uso de la siguiente figura:

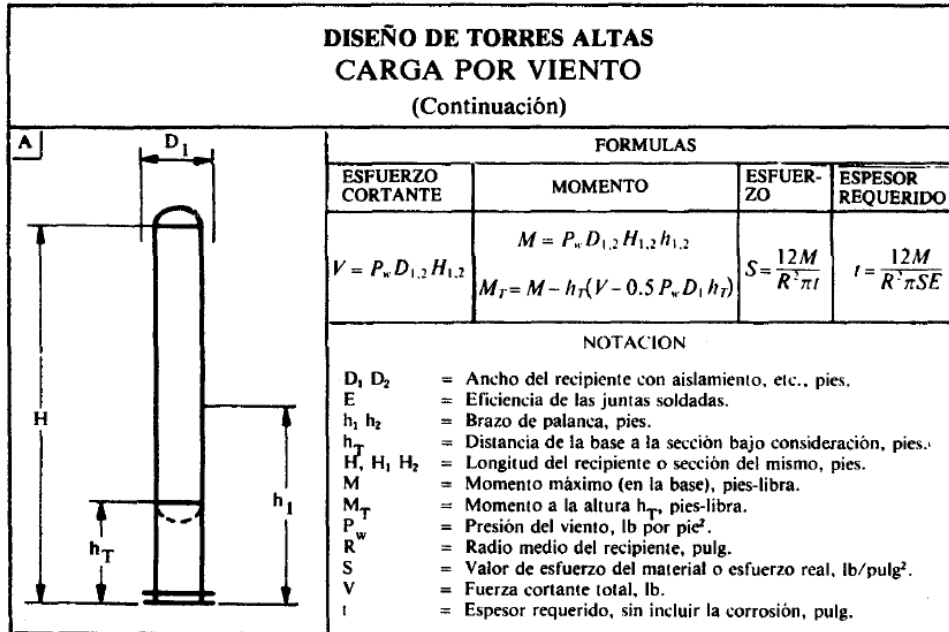


Figura A.3.17 Carga por viento para torres altas (Megyesy, E.F., 2001)

Los valores del sistema son los siguientes:

$D_1 = 2234 \text{ mm} = 7,3294 \text{ pies}$ (incluido el aislante).

$H = 5,6 \text{ m}$ (18,3727 pies).

$h_T = 1,8 \text{ m}$ (5,90551 pies).

$h_1 = H/2 = 2,8 \text{ m}$ (9,18635 pies).

$R = D_1/2 = 1117 \text{ mm}$ (43,9764 pulgadas).

$S = 20000 \text{ lb/pulg}^2$ (Tensión máxima admisible del Acero inoxidable SA-240 AISI 316 a la temperatura de diseño (véase tabla A.12.15 Anexo 12).

$E =$ eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo 12 es igual a 0,85).

Por lo tanto se pueden resolver las ecuaciones de la Figura A.3.17.

$$M = 42,24 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2} \cdot 7,33 \text{ pies} \cdot 18,37 \text{ pies} \cdot 9,19 \text{ pies} = 52270 \text{ pies} \cdot \text{lb}$$

$$V = 42,24 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2} \cdot 7,33 \text{ pies} \cdot 18,37 \text{ pies} = 5687,7 \text{ lb}$$

$$M_T = 52270 \text{ pies} \cdot \text{lb} - 5,91 \text{ pies} \cdot \left(5687,7 \text{ lb} - 0,5 \cdot 42,24 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2} \cdot 7,33 \text{ pies} \cdot 5,91 \text{ pies} \right)$$

$$M_T = 24063,9 \text{ pies} \cdot \text{lb}$$

Ahora con este valor de M_T se acude a la fórmula del espesor mínimo por carga de viento presente en la Figura A.3.17 y se resuelve:

$$t = \frac{12 \cdot M_T}{R^2 \cdot \pi \cdot S \cdot E} = \frac{12 \cdot 24063,9}{43,98^2 \cdot \pi \cdot 20000 \cdot 0,85} = 0,0028 \text{ in} = 0,071 \text{ mm}$$

El valor obtenido de espesor por presión debida al viento es de 0,071 mm, por lo tanto es despreciable, ya que el espesor obtenido por presión interna es superior.

A.3.4.4. Cálculo de la altura de la faldilla

En todos los fondos se realiza la transición de una figura toriesférica a una cilíndrica, que es la cubierta; esta línea de transición, denominada justamente línea de tangencia, está sometida a grandes tensiones axiales que se traducen en fuertes tensiones locales, y éste es el punto más débil del recipiente; por esta razón no es aconsejable realizar la soldadura de unión fondo-cubierta a lo largo de esta línea. Para evitar esta coincidencia, los fondos toriesféricos se construyen con una parte cilíndrica, denominada faldilla, cuya altura mínima h varía según la Norma o Código de cálculo empleado, pero en general deberá ser no menor que el mayor de los siguientes:

$$h \geq 0,3 \sqrt{D_e \cdot e_f}$$

$$h \geq 3 \cdot e_f$$

$$h \geq 25 \text{ mm}$$

Con un valor máximo de $h = 100 \text{ mm}$, y siendo:

D_e = diámetro exterior cubierta (2143,6 mm).

e_f = espesor de la pared del fondo (4,8 mm).

En el presente proyecto estos valores quedan de la siguiente forma:

$$h \geq 0.3\sqrt{2143,6 \text{ mm} \cdot 4,8 \text{ mm}} \geq 30,43 \text{ mm}$$

$$h \geq 3 \cdot 4,8 \text{ mm} \geq 14,4 \text{ mm}$$

$$h \geq 25 \text{ mm}$$

Por lo tanto la altura de la faldilla será de 30,5 mm.

A.3.4.5. Soporte de la columna

Con respecto a los soportes, las columnas serán diseñadas como unidades autosoportadas; utilizándose fundamentalmente faldones, aunque también se pueden utilizar patas, y ménsulas.

El empleo de faldones está especialmente aconsejado cuando se cumpla alguna de las siguientes condiciones:

- El diámetro de la envolvente sea superior a 1.500 mm.
- La relación altura/diámetro del recipiente será mayor que 5.
- Puedan esperarse vibraciones.
- El peso del recipiente lleno de agua sea superior a los 15.000 kg.

La columna estabilizadora cumple estas características y por lo tanto se usará un faldón que mida 1,5 m, como ya se describe en el apartado 9.4.3.1.5 del capítulo 9 de la memoria descriptiva.

A.3.4.6. Boca de hombre

La columna dispondrá de dos bocas de hombre situadas en el plato de alimentación (plato 1) y el último plato (plato 5), su diámetro interno será de 24 pulgadas.

A.3.4.7. Espesor del aislante

Según la tabla A.12.9 del anexo 5 para un servicio con una temperatura máxima de 91,9 °C, el espesor de la lana de roca aislante cubierta con chapa de aluminio es de 50 mm.

ANEXO 4: DISEÑO DEL EVAPORADOR Ev-1

A.4.1. Introducción

La corriente que llega a a la planta de procesos se encuentra a alta temperatura y por lo tanto es necesario refrigerarla antes que llegue a la primera unidad importante del proceso, el separador de fases, para esto se va a requerir de intercambiador de calor de carcasa y tubos del tipo Kettle:

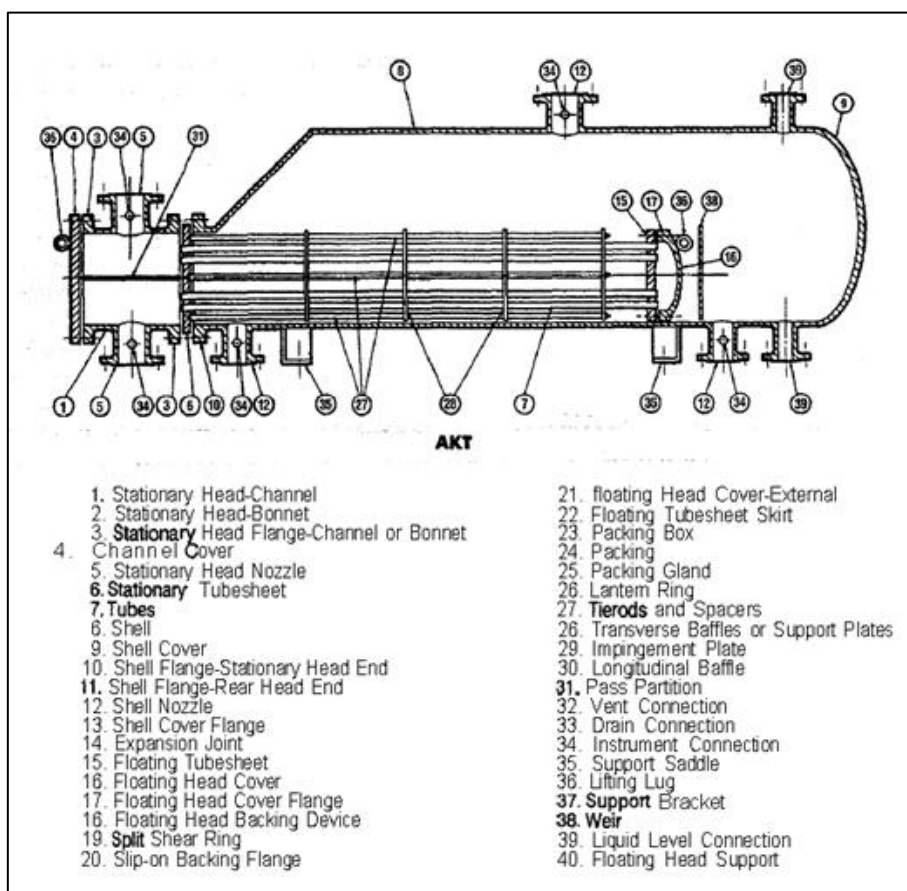


Figura A.4.1 Intercambiador de calor AKT (Norma TEMA)

Para el diseño del mismo se va a hacer uso de los planteamientos presentes en la bibliografía sobre el diseño de intercambiadores de calor de carcasa y tubos junto con las recomendaciones dadas por CEPESA.

A.4.2. Asignación de flujos

Al tratarse de un intercambiador del tipo AKT el fluido que se vaporiza debe ir por carcasa, mientras que el fluido calefactor irá por los tubos, por lo tanto el agua saturada a 46,09 bares circulará por la carcasa y el vapor procedente de la planta de reacción HDA lo hará por los tubos.

A.4.3. Datos de distintas corrientes del sistema

Al evaporador llega una corriente de vapor procedente de la planta de reacción HDA a una temperatura de 537,85 °C (Corriente 1) siendo refrigerada hasta 268 °C, temperatura a la cual entrará en el siguiente intercambiador de calor. Para refrigerar la corriente de entrada se usa agua de condensación de alta presión procedente de la refinería, y se evapora totalmente en el intercambiador.

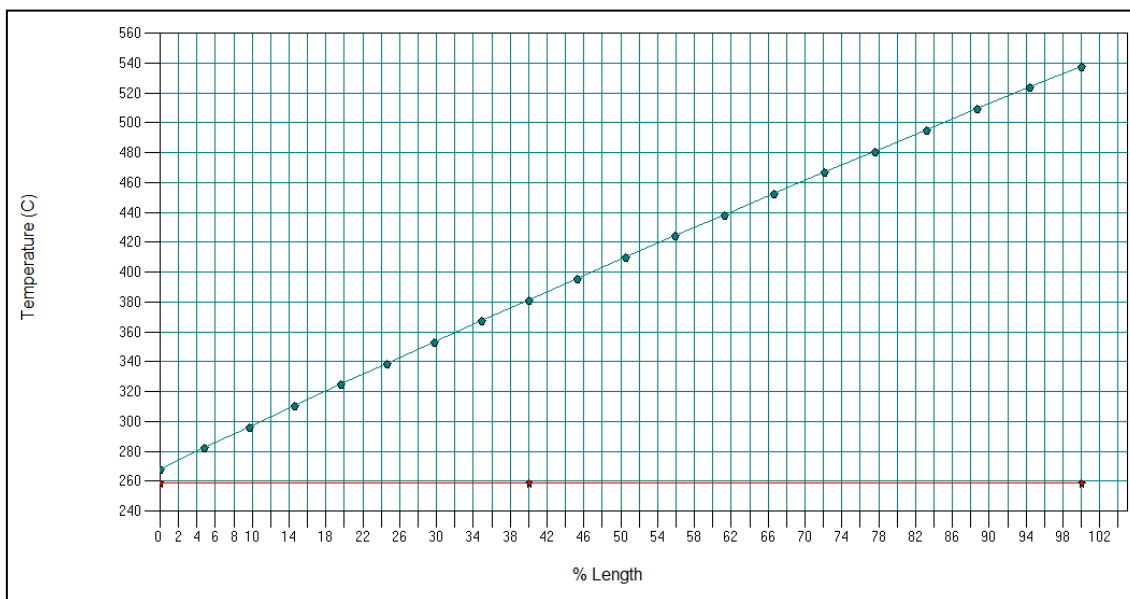


Figura A.4.2 Diagrama Térmico Corriente caliente VS Corriente fría

El valor de 268 °C de la corriente refrigerada se obtiene mediante la tabla A.12.11 del Anexo 12, mediante la cual se obtiene un valor de la temperatura mínima de aproximación para el presente servicio servicio.

Tabla A.4.1 Valores de la temperatura del sistema

T1	537,85 °C
T2	268 °C
T3	258,87 °C
T4	258,9 °C
T media carcasa	258,87 °C
T media tubos	402,93 °C

Siendo:

T1= Temperatura de entrada del fluido que circula por los tubos.

T2= Temperatura de salida del fluido que circula por los tubos.

T3= Temperatura de entrada del fluido que circula por la carcasa.

T4= Temperatura de salida del fluido que circula por la carcasa.

Para el cálculo propiedades físicas medias entre la entrada y la salida del sistema se ha usado el simulador “CHEMCAD” obteniendo los siguientes resultados:

Tabla A.4.2 Datos físicos medios de las corrientes del intercambiador

Propiedad media	Fría (carcasa)	Caliente (tubos)
ρ (Kg/m ³)	401,4	11,06
μ (Pa·s)	$6,140 \cdot 10^{-5}$	$1,912 \cdot 10^{-5}$
Wm (kg/s)	27,13	48,12
Cp (J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)	4484,819	3464,175
k (W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)	0,326	0,169
Pr	0,843	0,393

A.4.4. Calor intercambiado Q

Se puede definir de dos maneras distintas el calor intercambiado en el sistema:

1. Calor sensible cedido por el vapor caliente:

$$Q = W_{m_1} \cdot C_p \cdot (\Delta T)$$

2. Calor latente aportado al agua:

$$Q = W_{m_2} \cdot \lambda$$

Siendo:

W_{m_1} = Caudal Másico de la corriente caliente (kg/s).

W_{m_2} = Caudal másico de agua saturada (kg/s).

C_p = Calor medio específico del vapor ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$).

ΔT = Diferencia entre la temperatura de entrada y salida del fluido.

λ = Calor latente promedio de vaporización del agua.

El calor intercambiado entre las corrientes fría y caliente se calcula mediante el simulador obteniéndose el siguiente valor:

$$Q = 162878 \text{ MJ/h} = 45243899 \text{ J/s}$$

Con el dato de Q el propio simulador calcula el valor del caudal másico de agua que se debe suministrar (Corriente 3), siendo en este caso un caudal másico de 27,129 kg/s.

A.4.5. Diferencia media de temperaturas MTD

Para el cálculo del área de intercambio del reboiler es necesario conocer el parámetro MTD (diferencia media de temperatura corregida), definido por la siguiente expresión:

$$MTD = F \cdot LMTD \quad \text{Ec. A.4.1}$$

Siendo F un factor de corrección y LMTD la diferencia media logarítmica de temperaturas, definida en la siguiente figura:

$$LMTD = \Delta T_{\ln} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}}$$

T: temperatura fluido caliente; t: temperatura fluido frío
1: entrada; 2: salida.

Figura A.4.3 Diferencia media logarítmica de temperaturas

$$\text{LMTD} = \frac{(537,85 - 258,9) - (268 - 258,87)}{\ln \frac{(537,85 - 258,9)}{(268 - 258,87)}} = 78,91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Al tratarse de un intercambiador de carcasa y tubos con dos pasos por tubo y uno por carcasa, hay que aplicar el factor de corrección de la LMTD (F). Para el cálculo de F se debe hacer uso de la figura A.12.1 del anexo 12, calculándose dos parámetros:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \qquad R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$
$$P = \frac{268 - 537,85}{258,87 - 537,85} = 0,967 \qquad R = \frac{258,87 - 258,9}{268 - 537,85} = 0,0001$$

Con esos valores de P y R se obtiene un valor del parámetro F = 1.
Por lo tanto MDT = LMTD = 78,91 °C.

A.4.6. Datos sobre el cambiador de calor

- El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y dos por tubos, definido por las letras AKT según la norma TEMA.
- El diámetro exterior de los tubos es de ¾ pulgada, siendo el interno de 0,532 pulgadas, espesor de tubo de 12 BWG (0,109 pulgadas).
- El pitch es de 1 pulgada, siendo la configuración de los tubos triangular.
- La longitud de los tubos del cambiador es de 16 ft (4,88 m).
- El cambiador se conforma por 2341 tubos, teniendo un diámetro de carcasa de 56 pulgadas.
- El material de construcción de los tubos del cambiador es acero inoxidable AISI TP316L, siendo el material para la carcasa acero al carbono SA-285.

A.4.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U

Para determinar el coeficiente global de transmisión de calor U se va a hacer uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{io}} + r_{di} \cdot \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}}{2 \cdot k_m} + r_{do} + \frac{1}{h_o} \quad \text{Ec. A.4.2}$$

Siendo:

h_{io} = Coeficiente de película interna.

r_{di} = Resistencia de suciedad interna.

d_o = Diámetro externo del tubo.

d_i = Diámetro interno del tubo.

k_m = Conductividad térmica del material.

r_{do} = Resistencia a la suciedad externa.

h_o = Coeficiente de película externa.

Coeficiente de película interna h_{io}

Para el cálculo de este coeficiente se tiene que despejar de la ecuación de Nu:

$$Nu_d = \frac{h \cdot d_i}{k} \quad \text{Ec. A.4.3}$$

$$h = \frac{Nu_d \cdot k}{d_i} \quad \text{Ec. A.4.4}$$

$$h_{io} = h \cdot \frac{d_i}{d_o} \quad \text{Ec. A.4.5}$$

Para resolver esta expresión es necesario acudir a los datos de la tabla A.4.2 de la corriente que circula por los tubos junto con los datos dados en el apartado A.4.6, con ello se pasa a calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{d_i \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.4.6}$$

$$G = \frac{4 \cdot W_m \cdot N_T}{\pi \cdot d_i^2 \cdot N_p} \quad \text{Ec. A.4.7}$$

Siendo:

d_i = Diámetro interno de los tubos (0,0135 m).

G = Velocidad másica del fluido que circula por el interior de los tubos ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

W_m = Caudal másico que circula por los tubos ($48,12 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

N_T = Número de tubos (2341).

N_p = Número de pasos por tubo (2).

μ = Viscosidad media del fluido que circula por los tubos ($1,912 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Se sustituyen los datos obteniéndose los siguientes valores:

$$G = \frac{4 \cdot 48,12 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 2341}{\pi \cdot 0,0135^2 \text{ m}^2 \cdot 2} = 286,63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{0,0135 \text{ m} \cdot 286,63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{1,912 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 2,03 \cdot 10^5$$

Con este valor de Re se puede determinar el Nu mediante la ecuación de Dittus-Boelter para fluidos que se enfrían en el interior de un tubo:

$$\text{Nu}_d = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,3} \quad \text{Ec. A.4.8}$$

$$\text{Nu}_d = 0,023 \cdot (2,0 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 0,393^{0,3} = 305,18$$

Conocidos todos los parámetros ya se está a disposición de calcular el coeficiente de película interna:

$$h = \frac{305,18 \cdot 0,169 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0135 \text{ m}} = 3815,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$h_{io} = 3815,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \cdot \frac{0,0135 \text{ m}}{0,0191 \text{ m}} = 2706,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficiente de película externa h_o

Para este coeficiente se procede de manera análoga al anterior, cambiando únicamente que en este caso se usan los datos de la tabla A.4.2 referentes al fluido que circula por la carcasa y que para el cálculo del Nu_d se usa la ecuación de Churchill y Berstein:

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 Re^{0,5} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / Pr)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} \quad \text{Ec. A.4.9}$$

$$Re = \frac{d_c \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.4.10}$$

$$Gc = \frac{4 \cdot Wm}{\pi \cdot (d_c^2 - N_T \cdot d_o^2) \cdot X} \quad \text{Ec. A.4.11}$$

Siendo:

Gc = Velocidad másica del fluido que circula por la carcasa.

Wm = Caudal másico que circula por la carcasa ($27,13 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

d_o = Diámetro externo de los tubos ($0,0191 \text{ m}$).

d_c = Diámetro de la carcasa ($56 \text{ pulgadas} = 1,422 \text{ m}$).

ρ = Densidad media del fluido que circula por la carcasa ($401,4 \text{ kg/m}^3$).

N_{def} = Número de deflectores (6).

N_T = Número de tubos (2341).

X = Relación entre Pitch y diámetro exterior de los tubos.

μ = Viscosidad media del fluido que circula por la carcasa ($6,140 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Se puede realizar ahora el cálculo de los distintos parámetros:

$$X = \frac{1 \text{ in}}{0,75 \text{ in}} = 1,333$$

$$Gc = \frac{4 \cdot 27,13 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\pi \cdot (1,422^2 \text{ m}^2 - 2341 \cdot 0,0191^2 \text{ m}^2) \cdot 1,333} = 22,07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$Re = \frac{1,422 \text{ m} \cdot 22,07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{6,140 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 5,11 \cdot 10^5$$

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 \cdot (5,11 \cdot 10^5)^{0,5} \cdot 0,844^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / 0,844)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{5,11 \cdot 10^5}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} = 762,36$$

Se sustituye ahora para calcular el coeficiente de película externo:

$$h_o = \frac{Nu_d \cdot k}{d_o} = \frac{762,36 \cdot 0,326 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0191 \text{ m}} = 13062,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficientes de suciedad interna r_{di} y de suciedad externa r_{do} :

Según la tabla A.12.12 del anexo 12 el valor del coeficiente r_{di} es de $0,0001 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$, así mismo el valor del coeficiente de suciedad externa r_{do} es $0,0002 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$.

Conductividad térmica K_m

Para el valor de la conductividad térmica se va a usar el valor obtenida mediante la figura A.12.4 del anexo 12 para la temperatura media de los tubos de 403 °C , siendo este valor de $19,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$.

Ahora ya se está en condiciones de calcular el coeficiente global de transmisión de calor U:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2706,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}} + 0,0001 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} \cdot \frac{0,0191 \text{ m}}{0,0135 \text{ m}} + \frac{0,0191 \text{ m} \cdot \ln \frac{0,0191 \text{ m}}{0,0135 \text{ m}}}{2 \cdot 19,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}} + 0,0002 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} + \frac{1}{13062,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}}$$

$$\frac{1}{U} = 0,001108844 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}}$$

$$U = 901,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

A.4.8. Área de intercambio necesaria

Una vez calculado el coeficiente global de transmisión de calor se puede calcular el área de intercambio requerida mediante la siguiente expresión:

$$Q = U \cdot A_{\text{int}} \cdot MTD \quad \text{Ec. A.4.12}$$

Despejando el área queda lo siguiente:

$$A_{\text{int}} = \frac{Q}{U \cdot MTD} = \frac{45243889 \text{ W}}{901,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 78,91^\circ\text{C}} = 635,7 \text{ m}^2$$

A.4.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa o Shell ID

Para llevar a cabo este cálculo se va a recurrir a la siguiente expresión:

$$A_{\text{int}} = \pi \cdot d_o \cdot L \cdot N_T \quad \text{Ec. A.4.13}$$

El número de tubos (N_T) se obtendrá despejando de la ecuación anterior sabiendo que la longitud de tubos (L) es de 4,88 m y que el diámetro externo (d_o) se corresponde al valor de 0,0191 m:

$$N_T = \frac{635,74 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,0191 \text{ m} \cdot 4,88 \text{ m}} = 2176,8 \text{ tubos}$$

Con un valor calculado de 2176,8 tubos se comprueba en las tablas A.12.4 y A.12.5 del anexo 12 que para un tamaño de carcasa o Shell ID de 56 pulgadas con dos pasos por tubo, disposición triangular con 1 pulgada de pitch y un diámetro de tubo de 3/4 pulgada, se obtiene un N_T en el cambiador de 2341 tubos (valor estimado al principio de este anexo), siendo el valor inmediatamente anterior de 52 pulgadas y dos pasos por tubo de 2001 tubos, valor menor al necesario y por lo tanto no aceptable.

A.4.10. Cálculo de altura de barrera, del diámetro del reboiler y de la distancia X

Para el cálculo de la altura de la barrera (h_w) y del diámetro del reboiler (d_K) se dispone de las siguientes expresiones:

$$h_w = d_c + 4 \text{ in} \quad \text{Ec. A.4.14}$$

$$d_K = 2,93 \cdot h_w^{0,788} \quad \text{Ec. A.4.15}$$

Conocido el diámetro de la carcasa o Shell ID (d_c) se pueden calcular ambos valores:

$$h_w = 56 + 4 = 60 \text{ in} = 1,524 \text{ m}$$

$$d_K = 2,93 \cdot 60^{0,788} = 73,8 \text{ in} = 1,874 \text{ m}$$

La distancia X es la distancia existente entre la barrera y el fondo, para reboilers de 4,88 m es de 0,9 m por especificaciones de CEPESA.

A.4.11. Diseño de los Deflectores

Para el cálculo del número de deflectores presentes en la carcasa se va a usar la siguiente ecuación:

$$N_{def} = \frac{L}{P_{def}} \quad \text{Ec. A.4.11}$$

Siendo:

L= Longitud de los tubos.

P_{def} = Distancia entre deflectores.

Para saber a la distancia que deben tener los deflectores se debe calcular la media entre la separación máxima permisible y la mínima.

Distancia mínima permisible

Esta distancia toma un valor 2 pulgadas en caso de que 2 pulgadas sean mayor a 1/5 del diámetro interior de la carcasa, en caso contrario se toma el valor de 1/5 del d_c , en el presente caso al ser éste último valor de 11,2 pulgadas, se tomará como el valor de la distancia mínima permisible.

Distancia máxima permisible

Para el cálculo de esta distancia se va a hacer uso de la tabla A.12.6 del anexo 12. Con un diámetro exterior de tubos de 3/4 pulgada y para el material de construcción, se tiene un valor de 60 pulgadas (1524 mm).

Por lo tanto la distancia entre deflectores será la siguiente:

$$P_{def} = \frac{11,2 + 60}{2} = 35,6 \text{ in} = 904 \text{ mm}$$

El número de deflectores será:

$$N_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{0,904 \text{ m}} = 5,39$$

Se usarán por tanto seis deflectores en el cambiador.

$$N_{def} = 6$$

Y su distancia será de:

$$P_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{6} = 0,8 \text{ m}$$

Espesor de los deflectores

Para un diámetro de carcasa de 56 pulgadas y un espaciamiento entre deflectores de 31,88 pulgadas se recurre a la tabla A.12.7 del anexo 12 y se encuentra que el espesor recomendado es de 3/8 de pulgada (9,5 mm).

Diámetro de los deflectores

El diámetro de los deflectores deberá menor que el de la carcasa de manera que éste deje un segmento libre o ventana de paso igual al 25% de d_c .

A.4.12. Diseño mecánico de los tubos del reboiler

Para ejecutar el diseño mecánico de los tubos se va a recurrir al Código ASME B31.3 "Process Piping", y a la Sección VIII div.1 UG-28.

Espesor por presión interna

Según el Código ASME B31.3 la expresión para el cálculo del espesor de los tubos sometidos a presión interna es la siguiente:

$$t = \left(\frac{P_D \cdot d_o}{2 \cdot (S \cdot E + P_D \cdot Y)} + C \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{M}{100} \right)} \right) \quad \text{Ec. A.4.12}$$

Siendo:

P_D = Presión de diseño (Un 10% superior a la Presión de operación de 3500 kPa = 508 psi).

d_o = Diámetro externo del tubo (3/4 pulgada).

S = Tensión máxima admisible del Acero AISI TP316L a la temperatura máxima del fluido que circula por los tubos (Según tabla A.12.3 del anexo 12: $S=10800$ psi para una temperatura de 1050 °F, valor inmediatamente superior al de la temperatura de operación de 1000,4 °F).

E = Eficiencia de soldadura (Para tubos sin costuras, la eficiencia de soldadura es igual a 1).

Y = Factor dado por la tabla A.12.8 del anexo 12. (Para aceros austeníticos y un temperatura hasta 1050 °F el valor de Y es igual a 0,4).

C = Margen de corrosión (En el caso de una vida media de operación de 15 años (Tabla A.12.18 anexo 12) y a razón de un desgaste por corrosión de cinco milésimas de pulgadas al año se toma como valor de $C=0,075$ pulgadas).

M = Tolerancia de fabricación (Toma un valor de 12,5% para la pared).

Sustituyendo los valores en la Ec. A.4.12 se obtiene lo siguiente:

$$t = \left(\frac{1,1 \cdot 508 \text{ psi} \cdot 0,75 \text{ in}}{2 \cdot (10800 \text{ psi} \cdot 1 + 1,1 \cdot 508 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,075 \text{ in} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{12,5}{100} \right)} \right)$$

$$t = 0,107 \text{ in} = 2,7 \text{ mm}$$

Espeor por presión externa

El fluido que circula por la carcasa se encuentra a mayor presión que el fluido que circula por los tubos y por lo tanto hay que considerar la presión que ejerce sobre los mismos. Para ello se va a recurrir al Código ASME Sección VIII Div.1 UG-28:

$$P_{a1} = \left[\frac{2,167}{\left(\frac{d_o}{t}\right)} - 0,0833 \right] \cdot B \quad \text{Ec. A.4.13}$$

$$P_{a2} = \frac{2S}{\left(\frac{d_o}{t}\right)} \left[1 - \frac{1}{\frac{d_o}{t}} \right] \quad \text{Ec. A.4.14}$$

Siendo:

d_o = Diámetro externo del tubo (3/4 pulgada).

t = espesor del tubo (0,109 pulgadas).

B = factor obtenido de una gráfica (sus unidades son psi).

$S=0,9 \cdot B$ para un valor de B obtenido mediante la figura A.12.8 del anexo 12 al final de la línea de temperatura del material.

De las dos presiones calculadas para un valor supuesto de espesor (0,109 pulgadas es el considerado), se tomará como máxima presión de trabajo la menor de ellas.

Para el cálculo del factor B se acude a la figura A.12.7 del anexo 12 habiendo sido calculados previamente los valores de:

$$\left(\frac{d_o}{t}\right) = \frac{0,75 \text{ in}}{0,109 \text{ in}} = 6,88$$

$$\frac{L}{d_o} = \left(\frac{4,88 \text{ m}}{0,0191 \text{ m}}\right) = 256,17$$

Al ser el valor de $\left(\frac{L}{d_o}\right)$ mayor a cincuenta, se toma como: $\left(\frac{L}{d_o}\right) = 50$.

Con estas consideraciones se acude a la figura A.12.7 del anexo 12, obteniéndose el valor del factor A (A=0,02).

Con A=0,02 en la figura A.12.8 del anexo 12, se ve que aproximadamente para la temperatura de operación 1000,4 °F el factor B es aproximadamente 10000 psi.

Para el caso de S se considera mediante las gráficas que B=11000.

Se va a proceder a sustituir en las ecuaciones A.4.13 y A.4.14:

$$P_{a1} = \left[\frac{2,167}{\left(\frac{0,75 \text{ in}}{0,109 \text{ in}} \right)} - 0,0833 \right] \cdot 10000 \text{ psi} = 2316,37 \text{ psi}$$

$$P_{a2} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 11000}{\left(\frac{0,75 \text{ in}}{0,109 \text{ in}} \right)} \left[1 - \frac{1}{\frac{0,75 \text{ in}}{0,109 \text{ in}}} \right] = 2459,39 \text{ psi}$$

El valor de P_{a1} es el menor de los dos, y al ser un valor superior a la presión del fluido que circula por la carcasa (668 psi) el factor que controla el espesor del tubo es la presión interna a la que está sometido.

Por lo tanto el espesor del tubo será el valor correspondiente al comercial inmediatamente superior al calculado, siendo el valor de espesor igual a 12 BWG (0,109 pulgadas).

A.4.13. Diseño mecánico de la carcasa

Para llevar a cabo este diseño se va a recurrir al Código ASME sección VIII div.1.

Al ser un recipiente cilíndrico horizontal sometido a presión interna, la ecuación usada para el cálculo del espesor será la que obtenida mediante la figura A.12.6 del anexo 12 (Ec 1.4.15).

$$t_c = \frac{P_D \cdot r_c}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_D} + C \quad \text{Ec. A.4.15}$$

Siendo:

t_c = Espesor requerido para la carcasa.

E= Eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo 12 es igual a 0,85).

S= Tensión máxima admisible (15700 psi para el acero al carbono Sa-285 grado C (Tabla A.12.15 a 500 °F que es la temperatura inmediatamente superior a la máxima del vapor de la carcasa).

P_D= Presión de diseño (33% superior a la presión de operación de 668,5 psi).

C= Margen por corrosión (0,075 pulgadas como ya se postuló en el apartado anterior).

r_c= Radio interno de la carcasa (r_c= d_k/2= 36,9 pulgadas).

Sustituyendo los valores se obtiene lo siguiente:

$$t_c = \frac{1,33 \cdot 668,5 \text{ psi} \cdot 36,9 \text{ in}}{15700 \text{ psi} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,33 \cdot 668,5} + 0,075 = 2,63 \text{ in} = 66,8 \text{ mm}$$

El valor del espesor de la carcasa será el valor de espesor comercial inmediatamente superior al calculado:

$$T_{\text{carcasa}} = 3 \text{ in} (76,30 \text{ mm})$$

A.4.14. Aislamiento del cambiador

Según la tabla A.12.9 del anexo 12 para una temperatura máxima de operación en la carcasa del equipo de 258,9 °C el espesor de la lana de roca será de 80 mm en la carcasa, siendo mayor en la cabeza de distribución debido a que la temperatura del vapor es de 537,4 °C y por lo tanto el espesor del aislante en la misma será de 150 mm.

A.4.15. Pérdidas de carga

En este apartado se va a proceder a calcular las pérdidas de carga del fluido que pasa por los tubos así como del fluido que pasa por la carcasa.

A.4.15.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos

Para estimar la pérdida de carga se va a hacer uso de la ecuación de Fanning:

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{d_i \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.4.17}$$

Siendo:

f= Factor de fricción

G= Velocidad másica del fluido que circula por los tubos

d_i= Diámetro interno de los tubos (0,0135 m)

L= Longitud de los tubos (4,88 m)

ρ= Densidad media del fluido que circula por los tubos (11,06 kg/m³)

Cálculo de f

Para el cálculo del factor de fricción f se necesita conocer el número de Reynolds a partir de la velocidad másica como se calculó ya en el apartado A.4.7:

$$G = \frac{4 \cdot 48,12 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 2341}{\pi \cdot 0,0135^2 \text{ m}^2 \cdot 2} = 286,63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{0,0135 \text{ m} \cdot 286,63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{1,912 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 2,03 \cdot 10^5$$

Con este Re se acude al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material igual a 0,00015 se obtiene un valor de f=0,017.

Ahora se pueden sustituir todos los datos en la ecuación A.4.17:

$$\Delta P = \frac{0,017 \cdot \left(286,63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)^2 \cdot 4,88 \text{ m}}{0,0135 \text{ m} \cdot 11,06 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 45580,8 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \approx 0,456 \text{ bar}$$

Según la tabla A.12.10 del anexo 12 una pérdida normal de presión para sistemas de alta presión puede ser de 0,35 a 0,7 bar, por lo tanto el intercambiador se encuentra dentro del rango de pérdida y presenta un diseño aceptable.

A.4.15.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa

Se va a usar la siguiente expresión del método CERN:

$$\Delta P = \frac{f \cdot Gc^2 \cdot (N_{def} + 1) \cdot d_c}{d_{eq} \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.4.18}$$

Siendo:

f= Factor de fricción.

Gc= Velocidad másica del fluido que circula por la.

d_c= Diámetro de la carcasa (56 pulgadas = 1,422 m).

ρ = Densidad media del fluido que circula por la carcasa (401,4 kg/m³).

N_{def}= Número de deflectores (6).

d_{eq}= Diámetro equivalente.

Cálculo de f

Se necesita conocer el Re y por lo tanto se procede exactamente igual que en el apartado A.4.7 para el caso del fluido que circula por la carcasa:

$$Gc = \frac{4 \cdot 27,13 \frac{kg}{s}}{\pi \cdot (1,422^2 m^2 - 2341 \cdot 0,0191^2 m^2)} \cdot 1,333 = 22,07 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$Re = \frac{1,422 m \cdot 22,07 \frac{kg}{m^2 \cdot s}}{6,140 \cdot 10^{-5} Pa \cdot s} = 5,11 \cdot 10^5$$

Ahora se está en condiciones de acudir al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material de 0,0000014 se obtiene un valor de f=0,013.

Cálculo de d_{eq}

Para el cálculo del diámetro equivalente se va a hacer uso de la siguiente expresión:

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{\text{Pitch}^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{d_o^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{d_o}{2}} \right) \quad \text{Ec. A.4.19}$$

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{(1 \text{ in} \cdot 0,0254 \text{ (m/in)})^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{0,0191^2 \text{ m}^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{0,0191 \text{ m}}{2}} \right)$$

$$d_{eq} = 0,096 \text{ m}$$

Ahora ya se tiene todo listo para proceder al cálculo de la variación de presión en la carcasa:

$$\Delta P = \frac{0,013 \cdot \left(22,07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)^2 \cdot (6+1) \cdot 1,422 \text{ m}}{0,096 \text{ m} \cdot 401,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\Delta P = 1,64 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 1,64 \cdot 10^{-5} \text{ bar}$$

La pérdida de presión en la carcasa del fluido que circula por la misma es prácticamente despreciable.

ANEXO 5: DISEÑO DEL EVAPORADOR Ev-2

A.5.1. Introducción

El diseño de este cambiador va a ser completamente análogo al del predecesor, ya que son del mismo tipo y lo único que les diferencia es la temperatura y presión de los distintos flujos que van por el sistema.

La corriente que llega a este cambiador se encuentra aún una temperatura demasiado elevada para introducirla en el separador de fases, para seguir enfriándola se va a requerir del uso de un intercambiador de calor de carcasa y tubos del tipo Kettle:

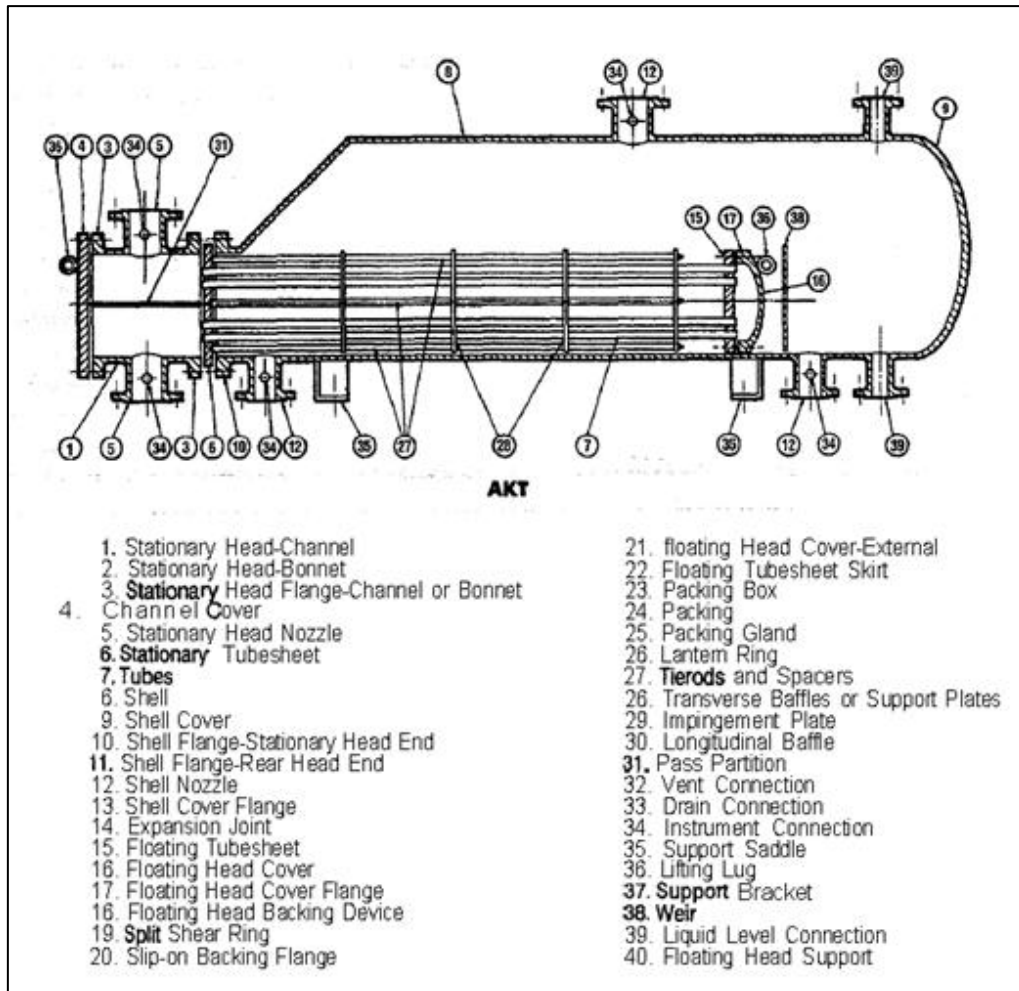


Figura A.5.1 Intercambiador de calor AKT (Norma TEMA)

A.5.2. Asignación de flujos

Al tratarse de un intercambiador del tipo AKT el fluido que se vaporiza debe ir por carcasa, mientras que el fluido calefactor irá por los tubos, por lo tanto el agua saturada a 10,3 bar circulará por la carcasa y el vapor procedente del evaporador Ev-1 lo hará por los tubos.

A.5.3. Datos de distintas corrientes del sistema

Al evaporador llega una corriente de vapor procedente del Evaporador Ev-1 a una temperatura de 268 °C (Corriente C-3) siendo refrigerada hasta 191 °C, temperatura a la cual entrará en el siguiente intercambiador de calor. Para refrigerar la corriente de entrada se usa agua de condensación de media presión procedente de la refinería, y se evapora totalmente en el intercambiador.

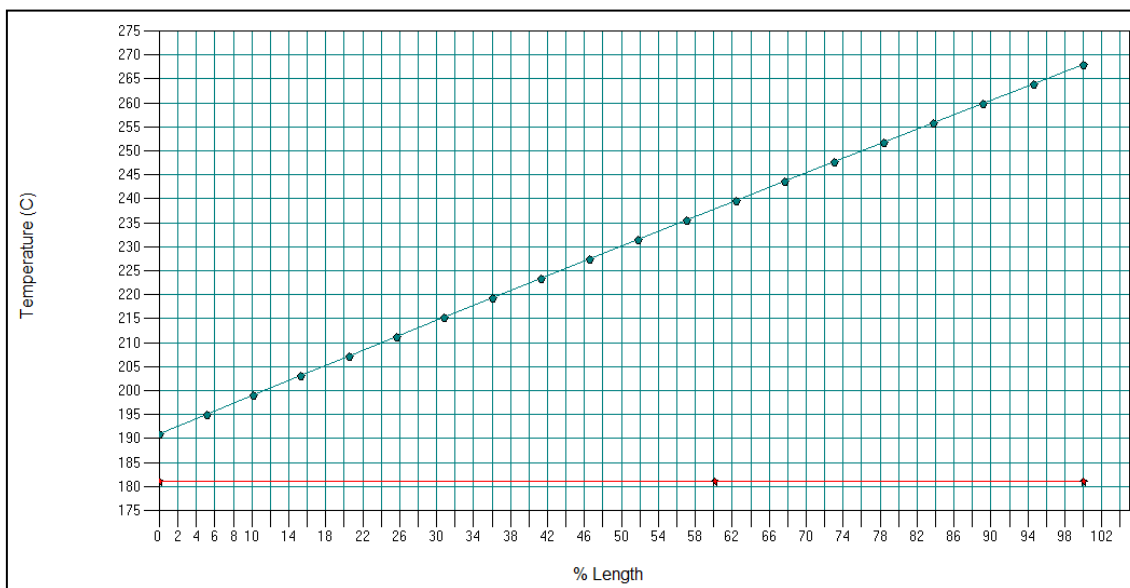


Figura A.5.2 Diagrama Térmico Corriente caliente VS Corriente fría

El valor de 191 °C de la corriente refrigerada se obtiene mediante la tabla A.12.11 del Anexo 12, mediante la cual se obtiene un valor de la temperatura mínima de aproximación para el servicio.

Tabla A.5.1 Valores de la temperatura del sistema

T1	268 °C
T2	191 °C
T3	181,17 °C
T4	181,2 °C
T media carcasa	181,17 °C
T media tubos	229,5 °C

Siendo:

T1= Temperatura de entrada del fluido que circula por los tubos.

T2= Temperatura de salida del fluido que circula por los tubos.

T3= Temperatura de entrada del fluido que circula por la carcasa.

T4= Temperatura de salida del fluido que circula por la carcasa.

Para el cálculo propiedades físicas medias del sistema se ha vuelto a usar, al igual que en el evaporador Ev-1, el simulador CHEMCAD obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla A.5.2 Datos físicos medios de las corrientes del intercambiador

Propiedad media	Se evapora (carcasa)	Se enfría (tubos)
ρ (Kg/m ³)	445,34	14,34
μ (Pa·s)	$8,131 \cdot 10^{-5}$	$1,520 \cdot 10^{-5}$
Wm (kg/s)	5,66	48,12
Cp (J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)	3508,89	3066,95
k (W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)	0,355	0,131
Pr	0,805	0,356

A.5.4. Calor intercambiado Q

Se puede definir de dos maneras distintas el calor intercambiado en el sistema:

1. Calor sensible cedido por el vapor caliente:

$$Q = W_{m_1} \cdot C_p \cdot (\Delta T)$$

2. Calor latente aportado al agua:

$$Q = W_{m_2} \cdot \lambda$$

Siendo:

W_{m_1} = Caudal Másico de la corriente caliente (kg/s).

W_{m_2} = Caudal másico de agua saturada (kg/s).

C_p = Calor medio específico del vapor ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$).

ΔT = Diferencia entre la temperatura de entrada y salida del fluido.

λ = Calor latente promedio de vaporización del agua.

El calor intercambiado entre las corrientes fría y caliente se calcula mediante el simulador obteniéndose el siguiente valor:

$$Q = 40904,6 \text{ MJ/h} = 11362389 \text{ J/s}$$

Con el dato de Q el propio simulador da también el valor del caudal másico de agua que se debe suministrar (Corriente C-5), siendo en este caso un caudal másico de 5,655 kg/s.

A.5.5. Diferencia media de temperaturas MTD

Para el cálculo del área de intercambio del reboiler es necesario conocer el parámetro MTD (diferencia media de temperatura corregida), definido por la siguiente expresión:

$$MTD = F \cdot LMTD \quad \text{Ec. A.5.1}$$

Siendo F un factor de corrección y LMTD la diferencia media logarítmica de temperaturas, definida en la siguiente figura:

$$LMTD = \Delta T_{\ln} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}}$$

T: temperatura fluido caliente; t: temperatura fluido frío
1: entrada; 2: salida.

Figura A.5.3 Diferencia media logarítmica de temperaturas

$$\text{LMTD} = \frac{(268 - 181,2) - (191 - 181,17)}{\ln \frac{(268 - 181,2)}{(191 - 181,17)}} = 35,34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Al tratarse de un intercambiador de carcasa y tubos con dos pasos por tubo y uno por carcasa, hay que aplicar el factor de corrección de la LMTD (F). Para el cálculo de F se tiene que hacer uso de la figura A.12.1 del anexo 12, debiendo calcular dos parámetros:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \qquad R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$
$$P = \frac{191 - 268}{181,17 - 268} = 0,87 \qquad R = \frac{181,17 - 181,2}{191 - 268} = 0,0004$$

Con esos valores de P y R se obtiene un valor del parámetro F = 1.
Por lo tanto caso MDT = LMTD = 35,34 °C.

A.5.6. Datos sobre el cambiador de calor

- El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y dos por tubos, definido por las letras AKT según la norma TEMA.
- El diámetro exterior de los tubos es de ¾ pulgada, siendo el interno de 0,532 pulgadas, espesor de tubo de 12 BWG (0,109 pulgadas).
- El pitch es de 1 pulgada, siendo la configuración de los tubos triangular.
- La longitud de los tubos del cambiador es de 16 ft (4,88 m).
- El cambiador se conforma por 1391 tubos, teniendo un diámetro de carcasa de 42 pulgadas.
- El material de construcción de los tubos del cambiador es acero inoxidable AISI TP316L , siendo el material para la carcasa acero al carbono SA-285.

A.5.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U

Para determinar el coeficiente global de transmisión de calor U se va a hacer uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{io}} + r_{di} \cdot \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}}{2 \cdot k_m} + r_{do} + \frac{1}{h_o} \quad \text{Ec. A.5.2}$$

Siendo:

h_{io} = Coeficiente de película interna.

r_{di} = Resistencia de suciedad interna.

d_o = Diámetro externo del tubo.

d_i = Diámetro interno del tubo.

k_m = Conductividad térmica del material.

r_{do} = Resistencia a la suciedad externa.

h_o = Coeficiente de película externa.

Coeficiente de película interna h_{io}

Para el cálculo de este coeficiente se tiene que despejar de la ecuación de Nu:

$$Nu_d = \frac{h \cdot d_i}{k} \quad \text{Ec. A.5.3}$$

$$h = \frac{Nu_d \cdot k}{d_i} \quad \text{Ec. A.5.4}$$

$$h_{io} = h \cdot \frac{d_i}{d_o} \quad \text{Ec. A.5.5}$$

Para resolver esta expresión es necesario acudir a los datos de la tabla A.5.2 de la corriente que circula por los tubos junto con los datos dados en el apartado A.5.6, con ello se pasa a calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{d_i \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.5.6}$$

$$G = \frac{4 \cdot Wm \cdot N_T}{\pi \cdot d_i^2 \cdot N_p} \quad \text{Ec. A.5.7}$$

Siendo:

d_i = Diámetro interno de los tubos (0,0135 m).

G = Velocidad másica del fluido que circula por el interior de los tubos ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

Wm = Caudal másico que circula por los tubos ($48,12 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

N_T = Número de tubos (1391).

N_p = Número de pasos por tubo (2).

μ = Viscosidad media del fluido que circula por los tubos ($1,520 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Se sustituyen los datos obteniéndose los siguientes valores:

$$G = \frac{4 \cdot 48,12 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1391}{\pi \cdot 0,0135^2 \text{ m}^2 \cdot 2} = 482,40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$Re = \frac{0,0135 \text{ m} \cdot 482,40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{1,520 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 4,29 \cdot 10^5$$

Con este valor de Re se determina el Nu mediante la ecuación de Dittus-Boelter para fluidos que se enfrían en el interior de un tubo:

$$Nu_d = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \quad \text{Ec. A.5.8}$$

$$Nu_d = 0,023 \cdot (4,29 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 0,356^{0,3} = 541,1$$

Conocidos todos los parámetros ya se está a disposición de calcular el coeficiente de película interna:

$$h = \frac{541,1 \cdot 0,131 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0135 \text{ m}} = 5235,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$h_{io} = 5235,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \cdot \frac{0,0135 \text{ m}}{0,0191 \text{ m}} = 3713,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficiente de película externa h_o

Para este coeficiente se procede de manera análoga al anterior, cambiando únicamente que en este caso se usan los datos de la tabla A.5.2 referentes al fluido que circula por la carcasa y que para el cálculo del Nu_d se usa la ecuación de Churchill y Berstein:

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 Re^{0,5} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / Pr)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} \quad \text{Ec. A.5.9}$$

$$Re = \frac{d_c \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.5.10}$$

$$Gc = \frac{4 \cdot Wm}{\pi \cdot (d_c^2 - N_T \cdot d_o^2) \cdot X} \quad \text{Ec. A.5.11}$$

Siendo:

Gc = Velocidad másica del fluido que circula por la carcasa.

Wm = Caudal másico que circula por la carcasa ($5,66 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

d_o = Diámetro externo de los tubos ($0,0191 \text{ m}$).

d_c = Diámetro de la carcasa ($42 \text{ pulgadas} = 1,067 \text{ m}$).

ρ = Densidad media del fluido que circula por la carcasa ($445,34 \text{ kg/m}^3$).

N_{def} = Número de deflectores (5).

N_T = Número de tubos (1391).

X = Relación entre Pitch y diámetro exterior de los tubos.

μ = Viscosidad media del fluido que circula por la carcasa ($8,131 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Se va a proceder ahora a la realización de los cálculo de los distintos parámetros:

$$X = \frac{1 \text{ in}}{0,75 \text{ in}} = 1,333$$

$$Gc = \frac{4 \cdot 5,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\pi \cdot (1,067^2 \text{ m}^2 - 1391 \cdot 0,0191^2 \text{ m}^2) \cdot 1,333} = 8,53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$Re = \frac{1,067 \text{ m} \cdot 6,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{8,131 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 8,95 \cdot 10^4$$

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 \cdot (8,95 \cdot 10^4)^{0,5} \cdot 0,805^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / 0,805)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{8,95 \cdot 10^4}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} = 210,2$$

Se sustituye ahora para calcular el coeficiente de película externo:

$$h_o = \frac{Nu_d \cdot k}{d_o} = \frac{210,2 \cdot 0,355 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0191 \text{ m}} = 3913,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficientes de suciedad interna r_{di} y de suciedad externa r_{do} :

Según la tabla A.12.12 del anexo 12 el valor del coeficiente r_{di} es de $0,0001 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$, así mismo el valor del coeficiente de suciedad externa r_{do} es $0,0002 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$.

Conductividad térmica K_m

Para el valor de la conductividad térmica se va a usar el valor obtenida mediante la figura A.12.4 del anexo 12 para la temperatura media de los tubos ($229,5 \text{ °C}$) siendo este valor de $16,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$.

Ahora se está en condiciones de calcular el coeficiente global de transmisión de calor U:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{3713,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}} + 0,0001 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} \cdot \frac{0,0191 \text{ m}}{0,0135 \text{ m}} + \frac{0,0191 \text{ m} \cdot \ln \frac{0,0191 \text{ m}}{0,0135 \text{ m}}}{2 \cdot 16,6 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}} + 0,0002 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} + \frac{1}{3913,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}}$$

$$\frac{1}{U} = 0,001173551 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}}$$

$$U = 852,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

A.5.8. Área de intercambio necesaria

Una vez calculado el coeficiente global de transmisión de calor se puede calcular el área de intercambio requerida mediante la siguiente expresión:

$$Q = U \cdot A_{\text{int}} \cdot MTD \quad \text{Ec. A.5.12}$$

Despejando el área queda lo siguiente:

$$A_{\text{int}} = \frac{Q}{U \cdot MTD} = \frac{11362389 \text{ W}}{852,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 35,34^\circ\text{C}} = 377,3 \text{ m}^2$$

A.5.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa ó Shell ID

Para llevar a cabo este cálculo se va a recurrir a la siguiente expresión:

$$A_{\text{int}} = \pi \cdot d_o \cdot L \cdot N_T \quad \text{Ec. A.5.13}$$

El número de tubos (N_T) se obtendrá despejando de la ecuación anterior sabiendo que la longitud de tubos (L) es de 4,88 m y que el diámetro externo (d_o) se corresponde al valor de 0,0191 m:

$$N_T = \frac{377,3 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,0191 \text{ m} \cdot 4,88 \text{ m}} = 1291,8 \text{ tubos}$$

Con un valor calculado de 1291,8 tubos se comprueba en las tablas A.12.4 y A.12.5 del anexo 12 que para un tamaño de carcasa o Shell ID de 42 pulgadas con dos pasos por tubo, disposición triangular con 1 pulgada de pitch y un diámetro de tubo de 3/4 pulgada, se obtiene un N_T en el cambiador de 1391 tubos (valor estimado al principio de este anexo), siendo el valor inmediatamente anterior de 39 pulgadas y dos pasos por tubo de 1171 tubos, valor menor al necesario y por lo tanto no aceptable.

A.5.10. Cálculo de altura de barrera, del diámetro del reboiler y de la distancia X

Para el cálculo de la altura de la barrera (h_w) y del diámetro del reboiler (d_K) se dispone de las siguientes expresiones:

$$h_w = d_c + 4 \text{ in} \quad \text{Ec. A.5.14}$$

$$d_K = 2,93 \cdot h_w^{0,788} \quad \text{Ec. A.5.15}$$

Conocido el diámetro de la carcasa o Shell ID (d_c) se pueden calcular ambos valores:

$$h_w = 42 + 4 = 46 \text{ in} = 1,168 \text{ m}$$

$$d_K = 2,93 \cdot 46^{0,788} = 59,9 \text{ in} = 1,521 \text{ m}$$

La distancia X para reboilers de 4,88 m es de 0,9 m por especificaciones de CEPESA.

A.5.11. Diseño de los Deflectores

Para el cálculo del número de deflectores presentes en la carcasa se va a usar la siguiente ecuación:

$$N_{def} = \frac{L}{P_{def}} \quad \text{Ec. A.5.11}$$

Siendo:

L= Longitud de los tubos.

P_{def} = Distancia entre deflectores.

Para saber a la distancia que se deben colocar los deflectores se debe calcular la media entre la separación máxima permisible y la mínima.

Distancia mínima permisible

Esta distancia toma un valor 2 pulgadas en caso de que 2 pulgadas sean mayor a 1/5 del diámetro interior de la carcasa, en caso contrario se toma el valor de 1/5 del d_c , al ser éste último valor de 8,4 pulgadas, se tomará como el valor de la distancia mínima permisible.

Distancia máxima permisible

Para el cálculo de esta distancia se va a hacer uso de la tabla A.12.6 del anexo 12. Con un diámetro exterior de tubos de 3/4 pulgada y para el material de construcción, se tiene un valor de 60 pulgadas (1524 mm).

Por lo tanto la distancia entre deflectores será la siguiente:

$$P_{def} = \frac{8,4 + 60}{2} = 34,2 \text{ in} = 869 \text{ mm}$$

El número de deflectores será:

$$N_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{0,869 \text{ m}} = 5,6$$

Se usarán por tanto cinco deflectores en el cambiador.

$$N_{def} = 6$$

La distancia de los deflectores será finalmente:

$$P_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{6} = 0,8 \text{ m}$$

Espesor de los deflectores

Para un diámetro de carcasa de 42 pulgadas y un espaciamiento entre deflectores de 31,49 pulgadas se acude a la tabla A.12.7 del anexo 12 encontrándose que el espesor recomendado es de 3/8 de pulgada (9,5 mm).

Diámetro de los deflectores

El diámetro de los deflectores deberá menor que el de la carcasa de manera que éste deje un segmento libre o ventana de paso igual al 25% de d_c .

A.5.12. Diseño mecánico de los tubos del reboiler

Para ejecutar el diseño mecánico de los tubos se va a recurrir al Código ASME B31.3 "Process Piping".

Espesor por presión interna

Según el Código ASME B31.3 la expresión para el cálculo del espesor de los tubos sometidos a presión interna es la siguiente:

$$t = \left(\frac{P_D \cdot d_o}{2 \cdot (S \cdot E + P_D \cdot Y)} + C \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{M}{100} \right)} \right) \quad \text{Ec. A.5.12}$$

Siendo:

P_D = Presión de diseño (un 10% superior a la Presión de operación de 3454 kpa = 501psi).

d_o = Diámetro externo del tubo (3/4 pulgada).

S = Tensión máxima admisible del Acero AISI 316L a la temperatura máxima del fluido que circula por los tubos (Según tabla A.12.3 del anexo12: $S=13500$ psi para una temperatura de 600 °F, valor inmediatamente superior al de la temperatura de operación de 514°F).

E = Eficiencia de soldadura (Para tubos sin costuras, la eficiencia de soldadura es igual a 1).

Y = Factor dado por la tabla A.12.8 del anexo 12. (Para aceros austeníticos y un temperatura inferior a 900 °F el valor de Y es igual a 0,4).

C = Margen de corrosión (En el caso de una vida media de operación de 15 años (Tabla A.12.18 anexo 12) y a razón de un desgaste por corrosión de cinco milésimas de pulgadas al año se toma como valor de $C=0,075$ pulgadas).

M = Tolerancia de fabricación (Toma un valor de 12,5% para la pared).

Sustituyendo los valores en la Ec. A.5.12 se obtiene lo siguiente:

$$t = \left(\frac{1,1 \cdot 501 \text{ psi} \cdot 0,75 \text{ in}}{2 \cdot (13500 \text{ psi} \cdot 1 + 1,1 \cdot 501 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,075 \text{ in} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{12,5}{100} \right)} \right)$$

$$t = 0,103 \text{ in} = 2,6 \text{ mm}$$

Por lo tanto al estar sometido el tubo únicamente a un esfuerzo por presión interna, el valor de espesor del tubo será el correspondiente al valor comercial inmediatamente superior al calculado en el apartado A.5.12, este será de 12 B.W.G (0,109 pulgadas).

A.5.13. Diseño mecánico de la carcasa

Para llevar a cabo este diseño se va a recurrir al Código ASME sección VIII div.1.

Al ser un recipiente cilíndrico horizontal sometido a presión interna, la ecuación usada para el cálculo del espesor será la dada por la figura A.12.6 del anexo 12:

$$t_c = \frac{P_D \cdot r_c}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_D} + C \quad \text{Ec. A.5.12}$$

Siendo:

t_c = Espesor requerido para la carcasa.

E = Eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas, la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo 12 es igual a 0,85).

S = Tensión máxima admisible (15700 psi para el acero al carbono Sa-285 grado C (Tabla A.12.15 a 400 °F que es la temperatura inmediatamente superior a la máxima del vapor de la carcasa de 358 °F).

P_D = Presión de diseño (33% superior a la presión de operación de 149 psi (1030 kPa)).

C = Margen por corrosión (0,075 pulgadas como ya se postuló en el apartado anterior).

r_c = Radio interno de la carcasa ($r_c = d_k/2 = 29,95$ pulgadas)

Sustituyendo los valores se obtiene lo siguiente:

$$t_c = \frac{1,33 \cdot 149 \text{ psi} \cdot 29,95 \text{ in}}{15700 \text{ psi} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,33 \cdot 149} + 0,075 = 0,524 \text{ in} = 13,3 \text{ mm}$$

El valor del espesor de la carcasa será el valor de espesor comercial inmediatamente superior al calculado:

$$t_{\text{carcasa}} = 9/16 \text{ in (14,30 mm)}$$

A.5.14. Aislamiento del cambiador

Según la tabla A.12.9 del anexo 12 para una temperatura máxima de operación en la carcasa del equipo de 181,17 °C el espesor de la lana de roca será de 80 mm en la carcasa, siendo el mismo en la cabeza de entrada debido a que la temperatura del vapor es en este caso de 268 °C.

A.5.15. Pérdidas de carga

En este apartado se va a proceder a calcular las pérdidas de carga del fluido que pasa por los tubos así como del fluido que pasa por la carcasa.

A.5.15.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos

Para estimar la pérdida de carga se va a usar la ecuación de Fanning:

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{d_i \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.5.13}$$

Siendo:

f= Factor de fricción.

G= Velocidad másica del fluido que circula por los tubos.

d_i= Diámetro interno de los tubos (0,0135 m).

L= Longitud de los tubos (4,88 m).

ρ= Densidad media del fluido que circula por los tubos (14,34 kg/m³).

Cálculo de f

Para el cálculo del factor de fricción f es necesario conocer el número de Reynolds a partir de la velocidad másica como se calculó ya en el apartado A.5.7.

$$G = \frac{4 \cdot 48,12 \frac{kg}{s} \cdot 1391}{\pi \cdot 0,0135^2 m^2 \cdot 2} = 482,40 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$Re = \frac{0,0135 m \cdot 482,40 \frac{kg}{m^2 \cdot s}}{1,520 \cdot 10^{-5} Pa \cdot s} = 4,29 \cdot 10^5$$

Con este valor de Re se acude al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material igual a 0,00015 se obtiene un valor de $f=0,015$.

Ahora se pueden sustituir todos los datos en la ecuación A.5.13:

$$\Delta P = \frac{0,015 \cdot \left(482,40 \frac{kg}{m^2 \cdot s} \right)^2 \cdot 4,88 m}{0,0135 m \cdot 14,34 \frac{kg}{m^3}} = 87878,9 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 0,8788 \text{ bar}$$

Según la tabla A.12.10 del anexo 12 una pérdida normal de presión para sistemas de alta presión puede ser de 0,35 a 0,7 bar, en este caso se encuentra un poco por encima de ese rango, pero se tiene suficiente margen aún en el sistema hasta los 32 bar del separador de fases y por lo tanto el intercambiador de calor tiene un diseño aceptable.

A.5.15.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa

Se va a usar la siguiente expresión del método CERN:

$$\Delta P = \frac{f \cdot Gc^2 \cdot (N_{def} + 1) \cdot d_c}{d_{eq} \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.5.14}$$

Siendo:

f = Factor de fricción.

Gc = Velocidad másica del fluido que circula por la.

d_c = Diámetro de la carcasa (42 pulgadas = 1,067 m).

ρ = Densidad media del fluido que circula por la carcasa (445,3 kg/m³).

N_{def} = Número de deflectores (6).

d_{eq} = Diámetro equivalente.

Cálculo de f

Se necesita conocer el Re y por lo tanto se procede exactamente igual que en el apartado A.5.7. para el caso del fluido que circula por la carcasa:

$$G_c = \frac{4 \cdot 5,66 \frac{kg}{s}}{\pi \cdot (1,067^2 m^2 - 1391 \cdot 0,0191^2 m^2)} \cdot 1,333 = 8,53 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$Re = \frac{1,067 m \cdot 8,53 \frac{kg}{m^2 \cdot s}}{8,131 \cdot 10^{-5} Pa \cdot s} = 1,12 \cdot 10^5$$

Ahora se acude al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material igual a 0,000002 se obtiene un valor de f=0,017.

Cálculo de d_{eq}

Para el cálculo del diámetro equivalente se va a hacer uso de la siguiente expresión:

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{Pitch^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{d_o^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{d_o}{2}} \right) \quad \text{Ec. A.5.19}$$

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{(1 \text{ in} \cdot 0,0254 (m/in))^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{0,0191^2 m^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{0,0191 m}{2}} \right)$$

$$d_{eq} = 0,096 m$$

Ahora se procede al cálculo de la variación de presión en la carcasa.

$$\Delta P = \frac{0,017 \cdot \left(8,53 \frac{kg}{m^2 \cdot s} \right)^2 \cdot (6+1) \cdot 1,067 m}{0,096 m \cdot 445,3 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\Delta P = 0,216 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 2,16 \cdot 10^{-5} bar$$

La pérdida de presión en la carcasa del fluido que circula por la misma es prácticamente despreciable.

ANEXO 6: DISEÑO DEL EVAPORADOR Ev-3

A.6.1. Introducción

El diseño de este cambiador vuelve a ser análogo al anterior, ya que son del mismo tipo y lo único que les diferencia de nuevo son la temperatura y presión de los distintos fluidos que van por el sistema.

La corriente que llega a este cambiador se encuentra aún una temperatura superior a los 25 grados que se necesitan para introducirla en el separador de fases, para seguir enfriándola se va a requerir del uso de otro intercambiador de calor de carcasa y tubos del tipo Kettle:

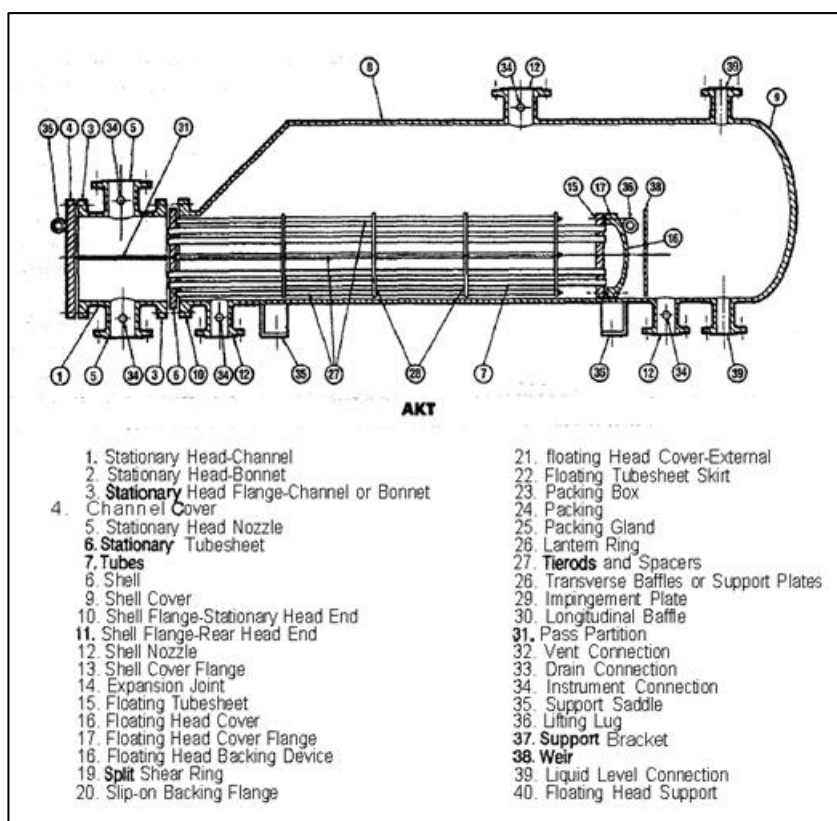


Figura A.6.1 Intercambiador de calor AKT (Norma TEMA)

A.6.2. Asignación de flujos

Al tratarse de un intercambiador del tipo AKT el fluido que se vaporiza debe ir por carcasa, mientras que el fluido calefactor irá por los

tubos, por lo tanto el agua saturada a 1 bar circulará por la carcasa y el vapor procedente del evaporador Ev-2 lo hará por los tubos.

A.6.3. Datos de distintas corrientes del sistema

Al evaporador llega una corriente de vapor procedente del Evaporador Ev-2 a una temperatura de 191 °C (Corriente C-6) siendo refrigerada hasta 110 °C, temperatura a la cual entrará en el siguiente intercambiador de calor. Para refrigerar la corriente de entrada se usa agua de condensación de baja presión procedente de la refinería, y se evapora totalmente en el intercambiador.

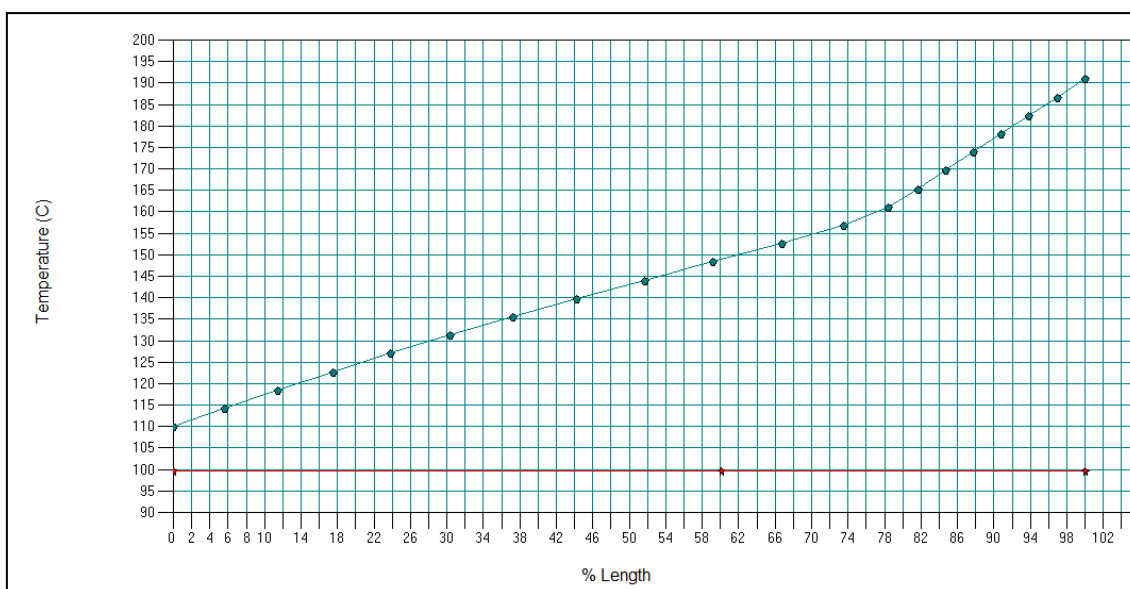


Figura A.6.2 Diagrama Térmico Corriente caliente VS Corriente fría

Como se aprecia en el diagrama térmico, hay un cambio de pendiente en la curva del fluido que va por los tubos (fluido caliente) esto es debido porque a la presión de trabajo del sistema la temperatura de rocío del vapor es de 160 °C y por lo tanto el fluido saldrá como una mezcla de líquido y vapor dirigido al condensador parcial (Cond-1).

El valor de 110 °C de la corriente refrigerada se obtiene mediante la tabla A.12.11 del Anexo 12, mediante la cual se obtiene un valor de temperatura mínima de aproximación para el servicio igual a 9 grados.

Tabla A.6.1 Valores de la temperatura del sistema

T1	191 °C
T2	110 °C
T3	99,63 °C
T4	99,7 °C
T media carcasa	99,63 °C
T media tubos	150,5 °C

Siendo:

T1= Temperatura de entrada del fluido que circula por los tubos.

T2= Temperatura de salida del fluido que circula por los tubos.

T3= Temperatura de entrada del fluido que circula por la carcasa.

T4= Temperatura de salida del fluido que circula por la carcasa.

Para el cálculo propiedades físicas medias del sistema se ha vuelto a usar, al igual que en los evaporadores Ev-1 y Ev-2, el simulador “CHEMCAD” obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla A.6.2 Datos físicos medios de las corrientes del intercambiador

Propiedad media	Fría (carcasa)	Caliente (tubos)
ρ (Kg/m ³)	479,33	17,67
μ (Pa·s)	$1,469 \cdot 10^{-4}$	$2,433 \cdot 10^{-5}$
Wm (kg/s)	8,66	48,11
Cp (J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)	3120,784	3420,981
k (W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)	0,350	0,129
Pr	1,309	0,645

A.6.4. Calor intercambiado Q

Como se ha apreciado en el diagrama térmico (figura A.6.2) hay un cambio de pendiente en la línea del fluido que circula por los tubos, esto es

debido a que están empezando a condensar parte de los compuestos condensables presentes en el mismo.

El cálculo de este calor intercambiado presenta la dificultad de que están envueltos tres factores como son el calor sensible cedido por el vapor caliente, el calor de condensación procedente de la condensación de los condensables del vapor y el calor sensible cedido por los condensables presentes ya en la mezcla líquido-vapor. Para evitar complicados cálculos analíticos se va a proceder a calcular este calor con el simulador, obteniendo el siguiente valor:

$$Q = 70423,4 \text{ MJ/h} = 19562055,6 \text{ J/s}$$

Junto al parámetro Q, el propio simulador suministra el valor del caudal másico de agua necesario (Corriente C-10), siendo en este caso un caudal másico de 8,663 kg/s.

A.6.5. Diferencia media de temperaturas MTD

Para el cálculo del área de intercambio del reboiler es necesario conocer el parámetro MTD (diferencia media de temperatura corregida), definido por la siguiente expresión:

$$MTD = F \cdot LMTD \quad \text{Ec. A.6.1}$$

Siendo F un factor de corrección y LMTD la diferencia media logarítmica de temperaturas, definida en la siguiente figura:

$$LMTD = \Delta T_{\ln} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}}$$

T: temperatura fluido caliente; t: temperatura fluido frío
1: entrada; 2: salida.

Figura A.6.3 Diferencia media logarítmica de temperaturas

$$\text{LMTD} = \frac{(191 - 99,7) - (110 - 99,63)}{\ln \frac{(191 - 99,7)}{(110 - 99,63)}} = 37,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Al tratarse de un intercambiador de carcasa y tubos con dos pasos por tubo y uno por carcasa, hay que aplicar el factor de corrección de la LMTD (F). Para el cálculo de F se tiene que hacer uso de la figura A.12.1 del anexo 12, debiendo calcular dos parámetros:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \qquad R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$
$$P = \frac{110 - 191}{99,63 - 191} = 0,89 \qquad R = \frac{99,63 - 99,7}{110 - 191} = 0,0009$$

Con esos valores de P y R se obtiene un valor del parámetro F = 1.
Por lo tanto MDT = LMTD = 37,22 °C.

A.6.6. Datos sobre el cambiador de calor

- El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y dos por tubos, definido por las letras AKT según la norma TEMA.
- El diámetro exterior de los tubos es de ¾ pulgada, siendo el interno de 0,532 pulgadas, espesor de tubo de 12 BWG (0,109 pulgadas).
- El pitch es de 15/16 pulgadas, siendo la configuración de los tubos triangular.
- La longitud de los tubos del cambiador es de 16 ft (4,88 m).
- El cambiador se conforma por 3343 tubos, teniendo un diámetro de carcasa de 60 pulgadas.
- El material de construcción de los tubos del cambiador es acero inoxidable AISI TP316L, siendo el material para la carcasa acero al carbono SA-285.

A.6.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U

Para determinar el coeficiente global de transmisión de calor U se va a hacer uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{io}} + r_{di} \cdot \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}}{2 \cdot k_m} + r_{do} + \frac{1}{h_o} \quad \text{Ec. A.6.2}$$

Siendo:

h_{io} = Coeficiente de película interna.

r_{di} = Resistencia de suciedad interna.

d_o = Diámetro externo del tubo.

d_i = Diámetro interno del tubo.

k_m = Conductividad térmica del material.

r_{do} = Resistencia a la suciedad externa.

h_o = Coeficiente de película externa.

Coeficiente de película interna h_{io}

Para el cálculo de este coeficiente se tiene que despejar del a ecuación de Nu:

$$Nu_d = \frac{h \cdot d_i}{k} \quad \text{Ec. A.6.3}$$

$$h = \frac{Nu_d \cdot k}{d_i} \quad \text{Ec. A.6.4}$$

$$h_{io} = h \cdot \frac{d_i}{d_o} \quad \text{Ec. A.6.5}$$

Para resolver esta expresión es necesario acudir a los datos de la tabla A.6.2 de la corriente que circula por los tubos junto con los datos dados en el apartado A.6.6, con ello se va a calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{d_i \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.6.6}$$

$$G = \frac{4 \cdot W_m \cdot N_T}{\pi \cdot d_i^2 \cdot N_p} \quad \text{Ec. A.6.7}$$

Siendo:

d_i = Diámetro interno de los tubos (0,0135 m).

G = Velocidad másica del fluido que circula por el interior de los tubos ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

W_m = Caudal másico que circula por los tubos ($48,12 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

N_T = Número de tubos (3343).

N_p = Número de pasos por tubo (2).

μ = Viscosidad media del fluido que circula por los tubos ($2,433 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Se sustituyen los datos y se obtienen los siguientes valores:

$$G = \frac{4 \cdot 48,12 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3343}{\pi \cdot 0,0135^2 \text{ m}^2 \cdot 2} = 200,72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{0,0135 \text{ m} \cdot 200,72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{2,433 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 1,12 \cdot 10^5$$

Con este valor de Re se determina el Nu mediante la ecuación de Dittus-Boelter para fluidos que se enfrían en el interior de un tubo:

$$\text{Nu}_d = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,3} \quad \text{Ec. A.6.8}$$

$$\text{Nu}_d = 0,023 \cdot (1,12 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 0,645^{0,3} = 219,96$$

Conocidos todos los parámetros ya se está a disposición de calcular el coeficiente de película interna:

$$h = \frac{219,96 \cdot 0,129 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0135 \text{ m}} = 2101,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$h_{io} = 2101,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \cdot \frac{0,0135 \text{ m}}{0,0191 \text{ m}} = 1490,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficiente de película externa h_o

Para este coeficiente se procede de manera análoga al anterior, cambiando únicamente que en este caso se usan los datos de la tabla A.6.2 referentes al fluido que circula por la carcasa y que para el cálculo del Nu_d se usa la ecuación de Churchill y Berstein:

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 Re^{0,5} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / Pr)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} \quad \text{Ec. A.6.9}$$

$$Re = \frac{d_c \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.6.10}$$

$$Gc = \frac{4 \cdot Wm}{\pi \cdot (d_c^2 - N_T \cdot d_o^2) \cdot X} \quad \text{Ec. A.6.11}$$

Siendo:

Gc = Velocidad másica del fluido que circula por la carcasa.

Wm = Caudal másico que circula por la carcasa ($8,68 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

d_o = Diámetro externo de los tubos ($0,0191 \text{ m}$).

d_c = Diámetro de la carcasa ($60 \text{ pulgadas} = 1,524 \text{ m}$).

ρ = Densidad media del fluido que circula por la carcasa ($479,3 \text{ kg/m}^3$).

N_{def} = Número de deflectores (6).

N_T = Número de tubos (3343).

X = Relación entre Pitch y diámetro exterior de los tubos.

μ = Viscosidad media del fluido que circula por la carcasa ($1,463 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Se va ahora a realizar el cálculo de los distintos parámetros:

$$X = \frac{\frac{15}{16} \text{ in}}{0,75 \text{ in}} = 1,25$$

$$Gc = \frac{4 \cdot 8,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\pi \cdot (1,524^2 \text{ m}^2 - 3343 \cdot 0,0191^2 \text{ m}^2) \cdot 1,25} = 7,95 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$Re = \frac{1,524 \text{ m} \cdot 7,95 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{1,463 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 8,25 \cdot 10^4$$

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 \cdot (8,25 \cdot 10^4)^{0,5} \cdot 1,309^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / 1,309)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{8,25 \cdot 10^4}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} = 240,96$$

Se sustituye ahora para calcular el coeficiente de película externo:

$$h_o = \frac{Nu_d \cdot k}{d_o} = \frac{240,96 \cdot 0,350 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0191 \text{ m}} = 4430,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficientes de suciedad interna r_{di} y de suciedad externa r_{do} :

Según la tabla A.12.12 del anexo 12 el valor del coeficiente r_{di} es de $0,0001 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$, así mismo el valor del coeficiente de suciedad externa r_{do} es $0,0002 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$.

Conductividad térmica K_m

Para el valor de la conductividad térmica se va a usar el valor obtenida mediante la figura A.12.4 del anexo 4 para la temperatura media de los tubos ($150,5 \text{ °C}$) siendo este valor de $15,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$.

Ahora ya se está en condiciones de calcular el coeficiente global de transmisión de calor U:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1490,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}} + 0,0001 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} \cdot \frac{0,0191 \text{ m}}{0,0135 \text{ m}} + \frac{0,0191 \text{ m} \cdot \ln \frac{0,0191 \text{ m}}{0,0135 \text{ m}}}{2 \cdot 15,4 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}} + 0,0002 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} + \frac{1}{4430,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}}$$

$$\frac{1}{U} = 0,001725002 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}}$$

$$U = 579,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

A.6.8. Área de intercambio necesaria

Una vez calculado el coeficiente global de transmisión de calor se puede calcular el área de intercambio requerida mediante la siguiente expresión:

$$Q = U \cdot A_{\text{int}} \cdot MTD \quad \text{Ec. A.6.12}$$

Despejando el área queda lo siguiente:

$$A_{\text{int}} = \frac{Q}{U \cdot MTD} = \frac{19562055,6 \text{ W}}{579,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 37,22^\circ\text{C}} = 907 \text{ m}^2$$

A.6.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa ó Shell ID

Para llevar a cabo este cálculo se debe recurrir a la siguiente expresión:

$$A_{\text{int}} = \pi \cdot d_o \cdot L \cdot N_T \quad \text{Ec. A.6.13}$$

El número de tubos (N_T) se obtendrá despejando de la ecuación anterior sabiendo que la longitud de tubos (L) es de 4,88 m y que el diámetro externo (d_o) se corresponde al valor de 0,0191 m:

$$N_T = \frac{907 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,0191 \text{ m} \cdot 4,88 \text{ m}} = 3103,9 \text{ tubos}$$

Con un valor calculado de 3108,9 tubos se comprueba en las tablas A.12.4 y A.12.5 del anexo 12 que para un tamaño de carcasa o Shell ID de 60 pulgadas con dos pasos por tubo, disposición triangular con 1 pulgada de pitch y un diámetro de tubo de 3/4 pulgada, se obtiene un N_T en el cambiador de 3343 tubos (valor estimado al principio), siendo el valor inmediatamente anterior de 56 pulgadas y dos pasos por tubo de 2341 tubos, valor menor al necesario y por lo tanto no aceptable.

A.6.10. Cálculo de altura de barrera, del diámetro del reboiler y de la distancia X

Para el cálculo de la altura de la barrera (h_w) y del diámetro del reboiler (d_K) se dispone de las siguientes expresiones:

$$h_w = d_c + 4 \text{ in} \quad \text{Ec. A.6.14}$$

$$d_K = 2,93 \cdot h_w^{0,788} \quad \text{Ec. A.6.15}$$

Conocido el diámetro de la carcasa o Shell ID (d_c) se pueden calcular ambos valores:

$$h_w = 60 + 4 = 64 \text{ in} = 1,626 \text{ m}$$

$$d_K = 2,93 \cdot 64^{0,788} = 77,7 \text{ in} = 1,972 \text{ m}$$

La distancia X para reboilers de 4,88 m es de 0,9 m por especificaciones de CEPESA.

A.6.11. Diseño de los Deflectores

Para el cálculo del número de deflectores presentes en la carcasa se va a usar la siguiente ecuación:

$$N_{def} = \frac{L}{P_{def}} \quad \text{Ec. A.6.11}$$

Siendo:

L= Longitud de los tubos.

P_{def} = Distancia entre deflectores.

Para saber a la distancia que deben tener entre si los deflectores se debe calcular la media entre la separación máxima permisible y la mínima.

Distancia mínima permisible

Esta distancia toma un valor 2 pulgadas en caso de que 2 pulgadas sean mayor a 1/5 del diámetro interior de la carcasa, en caso contrario se toma el valor de 1/5 del d_c , en este caso al ser éste último valor igual a 12 pulgadas, se tomará como el valor de la distancia mínima permisible.

Distancia máxima permisible

Para el cálculo de esta distancia se va a hacer uso de la tabla A.12.6 del anexo 12. Con un diámetro exterior de tubos de 3/4 pulgada y para el material de construcción, se obtiene un valor de 60 pulgadas (1524 mm)

Por lo tanto la distancia entre deflectores será la siguiente:

$$P_{def} = \frac{12 + 60}{2} = 36 \text{ in} = 914 \text{ mm}$$

El número de deflectores será:

$$N_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{0,914 \text{ m}} = 5,3$$

Se usarán por tanto seis deflectores en el cambiador.

$$N_{def} = 6$$

La distancia de los deflectores será finalmente:

$$P_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{6} = 0,8 \text{ m}$$

Espesor de los deflectores

Para un diámetro de carcasa de 60 pulgadas y un espaciamiento entre deflectores de 31,5 pulgadas se acude a la tabla A.12.7 del anexo 12 encontrándose que el espesor recomendado es de 3/8 de pulgada (9,5 mm).

Diámetro de los deflectores

El diámetro de los deflectores deberá ser menor que el de la carcasa de manera que éste deje un segmento libre o ventana de paso igual al 25% de d_c .

A.6.12. Diseño mecánico de los tubos del reboiler

Para ejecutar el diseño mecánico de los tubos se recurre al Código ASME B31.3 "Process Piping".

Espesor por presión interna

Según el Código ASME B31.3 la expresión para el cálculo del espesor de los tubos sometidos a presión interna es la siguiente:

$$t = \left(\frac{P_D \cdot d_o}{2 \cdot (S \cdot E + P_D \cdot Y)} + C \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{M}{100} \right)} \right) \quad \text{Ec. A.6.12}$$

Siendo:

P_D = Presión de diseño (un 10% superior a la Presión de operación de 3367 kpa = 488psi).

d_o = Diámetro externo del tubo (3/4 pulgada).

S = Tensión máxima admisible del Acero AISI TP316L a la temperatura máxima del fluido que circula por los tubos (Según tabla A.12.3 del anexo12: $S=15500$ psi para una temperatura de 400 °F, valor inmediatamente superior al de la temperatura máxima en el interior del tubo de 376 °F).

E = Eficiencia de soldadura (Para tubos sin costura, la eficiencia de soldadura es igual a 1).

Y = Factor dado por la tabla A.12.8 del anexo 12. (Para aceros austeníticos y un temperatura inferior a 900 °F el valor de Y es igual a 0,4).

C = Margen de corrosión (En el caso de una vida media de operación de 15 años (Tabla A.12.18 anexo 12) y a razón de un desgaste por corrosión de cinco milésimas de pulgadas al año se toma como valor de $C=0,075$ pulgadas).

M = Tolerancia de fabricación (Toma un valor de 12,5% para la pared).

Sustituyendo los valores en la Ec. A.6.12 se obtiene lo siguiente:

$$t = \left(\frac{1,1 \cdot 488 \text{ psi} \cdot 0,75 \text{ in}}{2 \cdot (15500 \text{ psi} \cdot 1 + 1,1 \cdot 488 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,075 \text{ in} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{12,5}{100} \right)} \right)$$

$$t = 0,100 \text{ in} = 2,5 \text{ mm}$$

Por lo tanto al estar sometido el tubo únicamente a un esfuerzo por presión interna, el valor de espesor del tubo será el correspondiente al valor comercial inmediatamente superior al calculado en el apartado A.6.12, este será de 12 B.W.G (0,109 pulgadas).

A.6.13. Diseño mecánico de la carcasa

Para llevar a cabo este diseño se va a recurrir al Código ASME sección VIII div.1.

Al ser un recipiente cilíndrico horizontal sometido a presión interna, la ecuación usada para el cálculo del espesor será la aportada por la figura A.12.6 del anexo 12:

$$t_c = \frac{P_D \cdot r_c}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_D} + C \quad \text{Ec. A.6.13}$$

Siendo:

t_c = Espesor requerido para la carcasa.

E = Eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo 12 es igual a 0,85).

S = Tensión máxima admisible (15700 psi para el acero al carbono Sa-285 grado C (Tabla A.12.15 a 300 °F que es la temperatura inmediatamente superior a la máxima del fluido de la carcasa de 212 °F)).

P_D = Presión de diseño (En este caso al ser la presión de diseño menor a 30 psi, se tendrá que tomar el valor mínimo de presión de diseño de 30 psi).

C = Margen por corrosión (0,075 pulgadas como ya se postuló en el apartado anterior).

r_c = Radio interno de la carcasa ($r_c = d_k/2 = 38,8$ pulgadas).

Sustituyendo los valores se obtiene el espesor mínimo.

$$t_c = \frac{30 \text{ psi} \cdot 38,8 \text{ in}}{15700 \text{ psi} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 30} + 0,075 = 0,162 \text{ in} = 4,1 \text{ mm}$$

El espesor calculado es menor al mínimo exigido por el código para aceros al carbono, por lo tanto habrá que calcularlo en función de la siguiente expresión:

$$t_{\min} = 5 \text{ mm} + C=5 \text{ mm} + 0,075 \text{ in} \cdot \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 6,91 \text{ mm}$$

El valor del espesor de la carcasa será el valor de espesor comercial inmediatamente superior al calculado anteriormente:

$$t_{\text{carcasa}} = 5/16 \text{ in} (7,90 \text{ mm})$$

A.6.14 Aislamiento del cambiador

Según la tabla A.12.9 del anexo 12 para una temperatura máxima de operación en la carcasa del equipo de 99,7 °C el espesor de la lana de roca será de 50 mm en la carcasa, siendo el espesor en la cabeza de entrada mayor, debido a que la temperatura del vapor es en este caso de 191 °C y por lo tanto el espesor del aislante será de 80 mm.

A.6.15. Pérdidas de carga

En este apartado se va a proceder a calcular las pérdidas de carga del fluido que pasa por los tubos así como del fluido que pasa por la carcasa.

A.6.15.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos

Para estimar la pérdida de carga se va a hacer uso de la ecuación de Fanning:

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{d_i \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.6.14}$$

Siendo:

f= Factor de fricción

G= Velocidad másica del fluido que circula por los tubos

d_i= Diámetro interno de los tubos (0,0135 m)

L= Longitud de los tubos (4,88 m)

ρ = Densidad media del fluido que circula por los tubos (17,67 kg/m³)

Cálculo de f

Para el cálculo del factor de fricción f se necesita conocer el número de Reynolds a partir de la velocidad másica como se calculó ya en el apartado A.6.7:

$$G = \frac{4 \cdot 48,12 \frac{kg}{s} \cdot 3343}{\pi \cdot 0,0135^2 m^2 \cdot 2} = 200,72 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$Re = \frac{0,0135 m \cdot 200,72 \frac{kg}{m^2 \cdot s}}{2,433 \cdot 10^{-5} Pa \cdot s} = 1,12 \cdot 10^5$$

Con este Re se acude al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material igual a 0,00018 se obtiene un valor de f=0,019.

Ahora se procede a sustituir todos los datos en la ecuación A.6.14:

$$\Delta P = \frac{0,018 \cdot \left(200,72 \frac{kg}{m^2 \cdot s} \right)^2 \cdot 4,88 m}{0,0135 m \cdot 17,67 \frac{kg}{m^3}} = 15643,7 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 0,1564 \text{ bar}$$

Según la tabla A.12.10 del anexo 12 una pérdida normal de presión para sistemas de alta presión puede encontrarse en el intervalo de 0,35 a 0,7 bar y por lo tanto el intercambiador de calor tiene un diseño aceptable.

A.6.15.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa

Se va a usar la siguiente expresión del método CERN:

$$\Delta P = \frac{f \cdot Gc^2 \cdot (N_{def} + 1) \cdot d_c}{d_{eq} \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.6.15}$$

Siendo:

f = Factor de fricción.

G_c = Velocidad másica del fluido que circula por la

d_c = Diámetro de la carcasa (60 pulgadas = 1,524 m)

ρ = Densidad media del fluido que circula por la carcasa (479,3 kg/m³)

N_{def} = Número de deflectores (6)

d_{eq} = Diámetro equivalente

Cálculo de f

Se necesita conocer el Re y por lo tanto se procede exactamente igual que en el apartado A.6.7 para el caso del fluido que circula por la carcasa:

$$G_c = \frac{4 \cdot 8,66 \frac{kg}{s}}{\pi \cdot (1,524^2 m^2 - 3343 \cdot 0,0191^2 m^2)} \cdot 1,25 = 7,95 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$Re = \frac{1,524 m \cdot 7,95 \frac{kg}{m^2 \cdot s}}{1,463 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s} = 8,25 \cdot 10^4$$

Ahora se recurre al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material de 0,000002 se obtiene un valor de $f=0,018$.

Cálculo de d_{eq}

Para el cálculo del diámetro equivalente se va a hacer uso de la siguiente expresión:

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{Pitch^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{d_o^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{d_o}{2}} \right) \quad \text{Ec. A.6.16}$$

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{(15/16 \text{ in} \cdot 0,0254 (m/in))^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{0,0191^2 \text{ m}^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{0,0191 \text{ m}}{2}} \right)$$

$$d_{eq} = 0,082 \text{ m}$$

Ahora ya se tiene todo listo para proceder al cálculo de la variación de presión en la carcasa:

$$\Delta P = \frac{0,017 \cdot \left(7,95 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)^2 \cdot (6+1) \cdot 1,524 \text{ m}}{0,082 \text{ m} \cdot 479,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\Delta P = 0,31 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ bar}$$

La pérdida de presión en la carcasa del fluido que circula por la misma es prácticamente despreciable.

ANEXO 7: DISEÑO DEL CONDESADOR PARCIAL Cond-1

A.7.1. Introducción

El diseño de este cambiador es algo diferente a los anteriores, ya que son de distinta configuración de carcasa y tubos pero siguen estando regulados por la norma TEMA y por lo tanto son muy similares en diseño.

La corriente que llega a este cambiador se encuentra aún a una temperatura superior a los 25 grados que se necesitan para introducirla en el separador de fases, para seguir enfriándola se va a requerir del uso de un intercambiador de calor de carcasa y tubos del tipo AJT

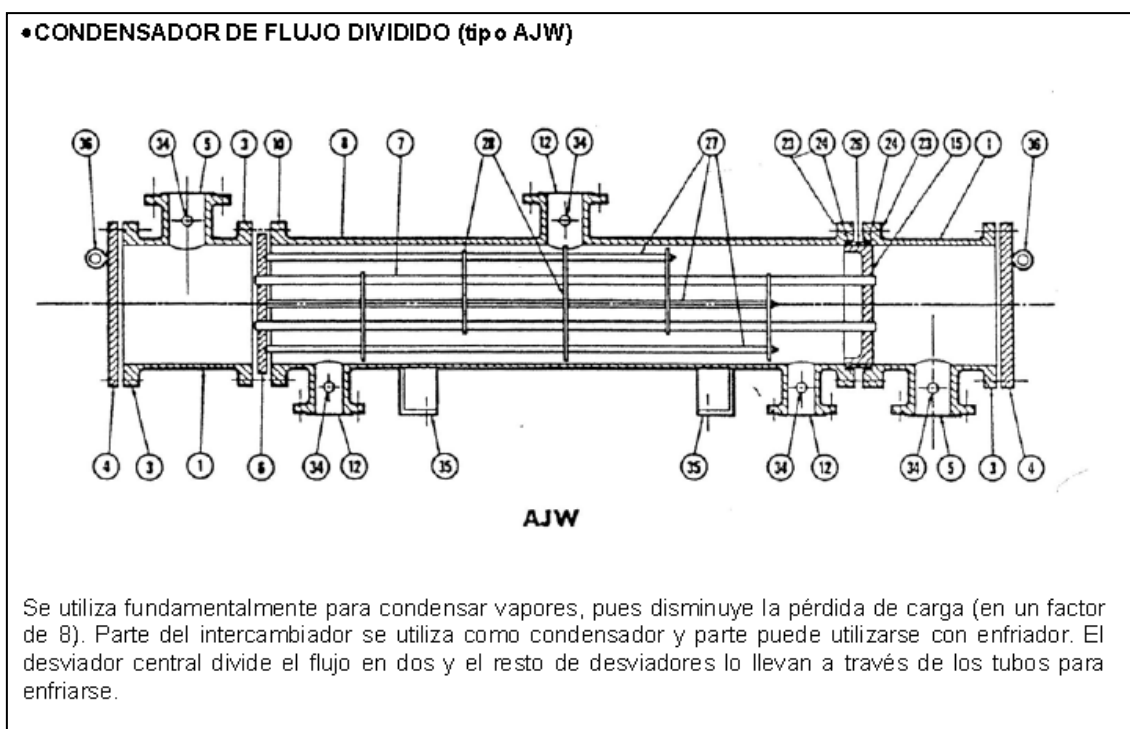


Figura A.7.1 Intercambiador de calor AJW (Norma TEMA)

A.7.2. Asignación de flujos

Al tratarse de un intercambiador del tipo AJW el fluido que condensa parcialmente debe ir por carcasa, mientras que el fluido refrigerante irá por los tubos, por lo tanto el agua de refrigeración a 2,5 bar circulará por los

tubos y la mezcla vapor-líquido procedente del evaporador Ev-3 lo hará por la carcasa.

A.7.3. Datos de distintas corrientes del sistema

Al evaporador llega una corriente de vapor-líquido procedente del Evaporador Ev-3 a una temperatura de 92,18 °C (Corriente C-11) siendo refrigerada hasta 25 °C, temperatura a la cual entrará en separador de fases. Para refrigerar la corriente de entrada se usa agua de refrigeración de baja temperatura procedente de la refinería (Corriente C-13).

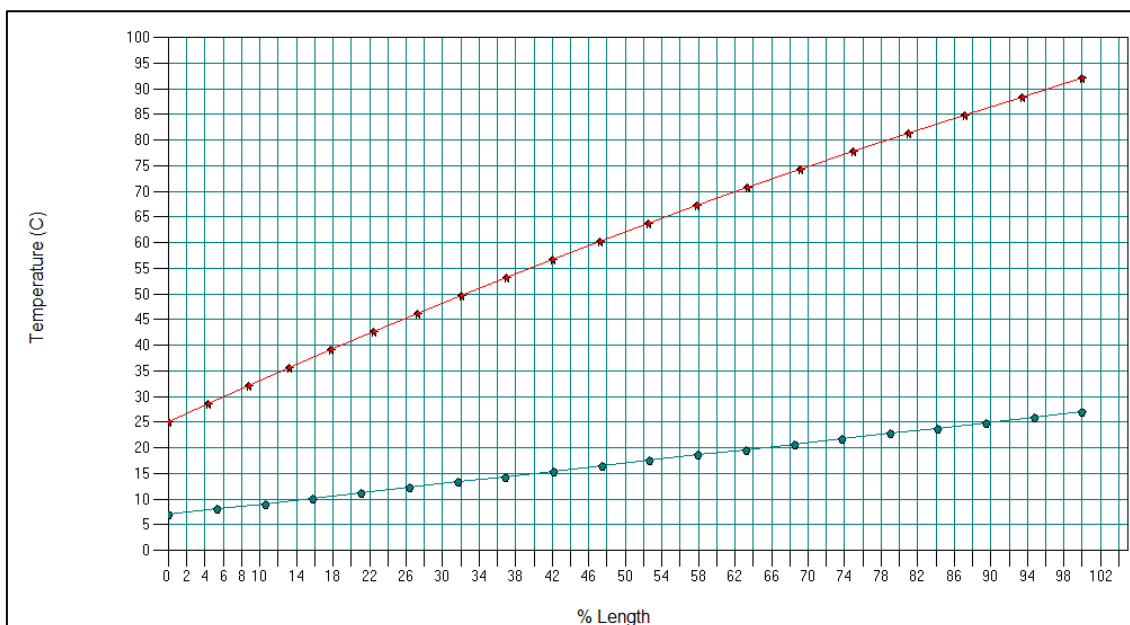


Figura A.7.2 Diagrama Térmico Corriente caliente VS Corriente fría

El valor de 25 °C de la corriente refrigerada va en función del necesario a la entrada del separador de fases como ya se explicó en el apartado del anexo A.2.

Tabla A.7.1 Valores de la temperatura del sistema

T1	92,18 °C
T2	25 °C
T3	7 °C
T4	27 °C
T media carcasa	58,59 °C
T media tubos	17 °C

Siendo:

T1= Temperatura de entrada del fluido que circula por los tubos.

T2= Temperatura de salida del fluido que circula por los tubos.

T3= Temperatura de entrada del fluido que circula por la carcasa.

T4= Temperatura de salida del fluido que circula por la carcasa.

Para el cálculo propiedades físicas medias del sistema se ha vuelto a usar, al igual que en los evaporadores Ev-1 y Ev-2 y Ev-3, el simulador “CHEMCAD” obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla A.7.2 Datos físicos medios de las corrientes del intercambiador

Propiedad media	Condensa (carcasa)	Se calienta (tubos)
ρ (Kg/m ³)	23,52	999,32
μ (Pa·s)	$6,007 \cdot 10^{-5}$	$1,154 \cdot 10^{-3}$
Wm (kg/s)	48,12	139,47
Cp (J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)	5200,835	4188,525
k (W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)	0,126	0,594
Pr	2,487	8,140

A.7.4. Calor intercambiado Q

Como se comprueba en el diagrama térmico (Figura A.7.2) el fluido que condensa parcialmente presenta una curva en vez de una línea recta,

esto es debido a que al ser un condensador parcial el fluido refrigerante emplea su calor sensible para tres factores:

- Permitir que condensen los condensables del vapor.
- Enfriar los vapores no condensables.
- Enfriar los condensables líquidos que se han formado.

El cálculo de este calor removido por el fluido refrigerante sería muy complicado analíticamente y por lo tanto se va a hacer uso del simulador una vez más, obteniendo el siguiente valor de calor:

$$Q = 42028,7 \text{ MJ/h} = 11674638,9 \text{ J/s}$$

Junto con el dato de Q el propio simulador da también el valor del caudal másico de agua de refrigeración que debe suministrarse (Corriente C-13), siendo en este caso un caudal másico de $139,47 \text{ kg/s}$.

A.7.5. Diferencia media de temperaturas MTD

Para el cálculo del área de intercambio del reboiler es necesario conocer el parámetro MTD (diferencia media de temperatura corregida), definido por la siguiente expresión:

$$MTD = F \cdot LMTD \quad \text{Ec. A.7.1}$$

Siendo F un factor de corrección y LMTD la diferencia media logarítmica de temperaturas, definida en la siguiente figura:

$$LMTD = \Delta T_{\ln} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}}$$

T: temperatura fluido caliente; t: temperatura fluido frío
1: entrada; 2: salida.

Figura A.7.3 Diferencia media logarítmica de temperaturas

$$\text{LMTD} = \frac{(92,18 - 27) - (25 - 7)}{\ln \frac{(92,18 - 27)}{(25 - 7)}} = 37,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Al tratarse de un intercambiador de carcasa y tubos con un paso por tubo y flujo dividido por carcasa, hay que aplicar el factor de corrección de la LMTD (F). Para el cálculo de F se tiene que hacer uso de la figura A.12.2. del anexo 12, debiéndose calcular dos parámetros:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \qquad R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$
$$P = \frac{27 - 7}{92,18 - 7} = 0,235 \qquad R = \frac{92,18 - 25}{27 - 7} = 3,36$$

Con esos valores de P y R se obtiene un valor del parámetro F = 0,93.

Por lo tanto MDT = 0,93 · 37,8 = 34,1 °C.

A.7.6. Datos sobre el cambiador de calor

- El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por tubos y flujo dividido por la carcasa, definido por las letras AJW según la norma TEMA.
- El diámetro exterior de los tubos es de ¾ pulgada, siendo el interno de 0,56 pulgadas, espesor de tubo de 13 BWG (0,095 pulgadas).
- El pitch es de 1 pulgada, siendo la configuración de los tubos triangular.
- La longitud de los tubos del cambiador es de 16 ft (4,88 m).
- El cambiador se conforma por 1569 tubos, teniendo un diámetro de carcasa de 44 pulgadas.
- El material de construcción de los tubos del cambiador es acero inoxidable AISI TP316, siendo el material para la carcasa acero inoxidable SA-240 AISI 316.

A.7.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U

Para determinar el coeficiente global de transmisión de calor U se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{io}} + r_{di} \cdot \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}}{2 \cdot k_m} + r_{do} + \frac{1}{h_o} \quad \text{Ec. A.7.2}$$

Siendo:

h_{io} = Coeficiente de película interna.

r_{di} = Resistencia de suciedad interna.

d_o = Diámetro externo del tubo.

d_i = Diámetro interno del tubo.

k_m = Conductividad térmica del material.

r_{do} = Resistencia a la suciedad externa.

h_o = Coeficiente de película externa.

Coeficiente de película interna h_{io}

Para el cálculo de este coeficiente se tiene que despejar de la ecuación de Nu:

$$Nu_d = \frac{h \cdot d_i}{k} \quad \text{Ec. A.7.3}$$

$$h = \frac{Nu_d \cdot k}{d_i} \quad \text{Ec. A.7.4}$$

$$h_{io} = h \cdot \frac{d_i}{d_o} \quad \text{Ec. A.7.5}$$

Para resolver esta expresión es necesario acudir a los datos de la tabla A.7.2 de la corriente que circula por los tubos junto con los datos dados en el apartado A.7.6, con ello se va a calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{d_i \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.7.6}$$

$$G = \frac{4 \cdot W_m \cdot N_T}{\pi \cdot d_i^2 \cdot N_p} \quad \text{Ec. A.7.7}$$

Siendo:

d_i = Diámetro interno de los tubos (0,0142 m).

G = Velocidad másica del fluido que circula por el interior de los tubos ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

W_m = Caudal másico que circula por los tubos ($139,47 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

N_T = Número de tubos (1569).

N_p = Número de pasos por tubo (1).

μ = Viscosidad media del fluido que circula por los tubos ($1,154 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Se sustituyen los datos obteniéndose los siguientes valores:

$$G = \frac{4 \cdot 139,47 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1569}{\pi \cdot 0,0142^2 \text{ m}^2 \cdot 1} = 559,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{0,0142 \text{ m} \cdot 559,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{1,154 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 6,89 \cdot 10^3$$

Con este valor de Re se puede determinar el Nu mediante la ecuación de Dittus-Boelter para fluidos que se calientan en el interior de un tubo:

$$\text{Nu}_d = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \quad \text{Ec. A.7.8}$$

$$\text{Nu}_d = 0,023 \cdot (6,89 \cdot 10^3)^{0,8} \cdot 8,140^{0,4} = 62,63$$

Conocidos todos los parámetros ya se estáa disposición de calcular el coeficiente de película interna:

$$h = \frac{62,63 \cdot 0,594 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0141 \text{ m}} = 2614,88 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$h_{io} = 2614,88 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \cdot \frac{0,0142 \text{ m}}{0,0191 \text{ m}} = 1952,44 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficiente de película externa h_o

Para este coeficiente se procede de manera análoga al anterior, cambiando únicamente que en este caso se usan los datos de la tabla A.7.2 referentes al fluido que circula por la carcasa y que para el cálculo del Nu_d se usa la ecuación de Churchill y Berstein:

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 Re^{0,5} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / Pr)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} \quad \text{Ec. A.7.9}$$

$$Re = \frac{d_c \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.7.10}$$

$$Gc = \frac{4 \cdot Wm}{\pi \cdot (d_c^2 - N_T \cdot d_o^2) \cdot X} \quad \text{Ec. A.7.11}$$

Siendo:

Gc= Velocidad másica del fluido que circula por la carcasa.

Wm= Caudal másico que circula por la carcasa (48,12 kg · s⁻¹).

d_o= Diámetro externo de los tubos (0,0191 m).

d_c= Diámetro de la carcasa (44 pulgadas = 1,118 m).

N_{def}= Número de deflectores (6).

N_T= Número de tubos (1569).

X= Relación entre Pitch y diámetro exterior de los tubos.

μ= Viscosidad media del fluido que circula por la carcasa (6,007 · 10⁻⁵ Pa · s).

Se va lleva a cabo el cálculo de los distintos parámetros:

$$X = \frac{1 \text{ in}}{0,75 \text{ in}} = 1,333$$

$$Gc = \frac{4 \cdot 48,12 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\pi \cdot (1,118^2 \text{ m}^2 - 1569 \cdot 0,0191^2 \text{ m}^2) \cdot 1,333} = 67,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$Re = \frac{1,118 \text{ m} \cdot 67,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{6,007 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 1,26 \cdot 10^6$$

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 \cdot (1,26 \cdot 10^6)^{0,5} \cdot 2,487^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / 2,487)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{1,26 \cdot 10^6}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} = 2430,9$$

Se sustituye ahora para calcular el coeficiente de película externo:

$$h_o = \frac{Nu_d \cdot k}{d_o} = \frac{2430,9 \cdot 0,126 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0191 \text{ m}} = 16032,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficientes de suciedad interna r_{di} y de suciedad externa r_{do}

Según la tabla A.12.12 del anexo 12 el valor del coeficiente r_{di} es de $0,0001 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$, así mismo el valor del coeficiente de suciedad externa r_{do} es $0,0002 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$.

Conductividad térmica K_m

Para el valor de la conductividad térmica se va a usar el valor obtenida mediante la figura A.12.4 del anexo 12 para la temperatura media de los tubos (17 °C) siendo este valor de $13,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$.

Ahora ya se está en condiciones de calcular el coeficiente global de transmisión de calor U:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1952,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}} + 0,0002 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} \cdot \frac{0,0191 \text{ m}}{0,0142 \text{ m}} + \frac{0,0191 \text{ m} \cdot \ln \frac{0,0191 \text{ m}}{0,0142 \text{ m}}}{2 \cdot 13,4 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}} + 0,0001 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} + \frac{1}{16032,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}}$$

$$\frac{1}{U} = 0,001326986 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}}$$

$$U = 753,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

A.7.8. Área de intercambio necesaria

Una vez calculado el coeficiente global de transmisión de calor se puede calcular el área de intercambio requerida mediante la siguiente expresión:

$$Q = U \cdot A_{\text{int}} \cdot MTD \quad \text{Ec. A.7.12}$$

Despejando el área queda lo siguiente:

$$A_{\text{int}} = \frac{Q}{U \cdot MTD} = \frac{11674638,9 \text{ W}}{753,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 34,1^\circ\text{C}} = 454,33 \text{ m}^2$$

A.7.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa o Shell ID

Para llevar a cabo este cálculo se va a recurrir a la siguiente expresión:

$$A_{\text{int}} = \pi \cdot d_o \cdot L \cdot N_T \quad \text{Ec. A.7.13}$$

El número de tubos (N_T) se obtendrá despejando de la ecuación anterior sabiendo que la longitud de tubos (L) es de 4,88 m y que el diámetro externo (d_o) se corresponde al valor de 0,0191 m:

$$N_T = \frac{454,33 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,0191 \text{ m} \cdot 4,88 \text{ m}} = 1555,64 \text{ tubos}$$

Con un valor calculado de 1555,64 tubos se comprueba en las tablas A.12.4 y A.12.5 del anexo 12 que para un tamaño de carcasa o Shell ID de 44 pulgadas con un paso por tubo, disposición triangular con 1 pulgada de pitch y un diámetro de tubo de 3/4 pulgada, se obtiene un N_T en el cambiador de 1569 tubos (valor estimado al principio de este anexo), siendo el valor inmediatamente anterior de 42 pulgadas y un paso por tubo de 1417 tubos, valor menor al necesario y por lo tanto no aceptable.

A.7.10. Diseño de los Deflectores

Para el cálculo del número de deflectores presentes en la carcasa se va a usar la siguiente ecuación:

$$N_{\text{def}} = \frac{L}{P_{\text{def}}} \quad \text{Ec. A.7.14}$$

Siendo:

L = Longitud de los tubos.

P_{def} = Distancia entre deflectores.

Para saber a la distancia deben situarse los deflectores se tiene calcular la media entre la separación máxima permisible y la mínima.

Distancia mínima permisible

Esta distancia toma un valor 2 pulgadas en caso de que 2 pulgadas sean mayor a 1/5 del diámetro interior de la carcasa, en caso contrario se toma el valor de 1/5 del d_c , por lo tanto al ser éste último valor de 8,8 pulgadas, se tomará como el valor de la distancia mínima permisible.

Distancia máxima permisible

Para el cálculo de esta distancia se va a hacer uso de la tabla A.12.6 del anexo 12. Con un diámetro exterior de tubos de 3/4 pulgada y para el material de construcción, se obtiene un valor de 60 pulgadas (1524 mm).

Por lo tanto la distancia entre deflectores será la siguiente:

$$P_{def} = \frac{8,8 + 60}{2} = 34,4 \text{ in} = 873 \text{ mm}$$

El número de deflectores será:

$$N_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{0,873 \text{ m}} = 5,59$$

Se usarán por tanto seis deflectores en el cambiador.

$$N_{def} = 6$$

La distancia de los deflectores será finalmente:

$$P_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{6} = 0,8 \text{ m}$$

Espesor de los deflectores

Para un diámetro de carcasa de 44 pulgadas y un espaciamento entre deflectores de 31,5 pulgadas se recurre a la tabla A.12.7 del anexo 12, encontrando que el espesor recomendado es de 3/8 de pulgada (9,5 mm).

Diámetro de los deflectores

El diámetro de los deflectores deberá ser menor que el de la carcasa de manera que éste deje un segmento libre o ventana de paso igual al 25% de d_c .

A.7.11. Diseño mecánico de los tubos del condensador

Para ejecutar el diseño mecánico de los tubos se va a recurrir al Código ASME B31.3 "Process Piping", y a la Sección VIII div.1 UG-28.

Espesor por presión interna

Según el Código ASME B31.3 la expresión para el cálculo del espesor de los tubos sometidos a presión interna es la siguiente:

$$t = \left(\frac{P_D \cdot d_o}{2 \cdot (S \cdot E + P_D \cdot Y)} + C \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{M}{100} \right)} \right) \quad \text{Ec. A.7.15}$$

Siendo:

P_D = Presión de diseño (un 10% superior a la Presión de operación de 250 kpa = 36 psi).

d_o = Diámetro externo del tubo (3/4 pulgada).

S = Tensión máxima admisible del Acero AISI TP316 a la temperatura máxima del fluido que circula por los tubos (Según tabla A.12.17 del anexo 12: $S=20000$ psi para una temperatura de 100 °F, valor inmediatamente superior al de la temperatura máxima en los tubos de 55,4 °F).

E = Eficiencia de soldadura (Para tubos sin costura, la eficiencia de soldadura es igual a 1).

Y = Factor dado por la tabla A.12.8 del anexo 12. (Para aceros austeníticos y un temperatura inferior a 900 °F el valor de Y es igual a 0,4).

C= Margen de corrosión (En el caso de una vida media de operación de 15 años (Tabla A.12.18 anexo 12) y a razón de un desgaste por corrosión de cinco milésimas de pulgadas al año se toma como valor de C=0,075 pulgadas.

M= Tolerancia de fabricación (Toma un valor de 12,5% para la pared).

Sustituyendo los valores en la Ec. A.7.15 se obtiene lo siguiente:

$$t = \left(\frac{1,1 \cdot 36 \text{ psi} \cdot 0,75 \text{ in}}{2 \cdot (20000 \text{ psi} \cdot 1 + 1,1 \cdot 36 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,075 \text{ in} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{12,5}{100} \right)} \right)$$
$$t = 0,087 \text{ in} = 2,2 \text{ mm}$$

Espesor por presión externa

El fluido que circula por la carcasa se encuentra a mayor presión que el fluido que circula por los tubos y por lo tanto hay que considerar la presión que ejerce sobre los mismos. Para ello se va a recurrir al Código ASME Sección VIII Div.1 UG-28:

$$P_{a1} = \left[\frac{2,167}{\left(\frac{d_o}{t} \right)} - 0,0833 \right] \cdot B \quad \text{Ec. A.7.16}$$

$$P_{a2} = \frac{2S}{\left(\frac{d_o}{t} \right)} \left[1 - \frac{1}{\frac{d_o}{t}} \right] \quad \text{Ec. A.7.17}$$

Siendo:

d_o = Diámetro externo del tubo (3/4 pulgada).

t = espesor del tubo (0,095 pulgadas).

B = factor obtenido de una gráfica (sus unidades son psi).

$S=0,9 \cdot B$ para un valor de B obtenido mediante la figura A.12.8 del anexo 12 al final de la línea de temperatura del material.

De las dos presiones calculadas para un valor supuesto de espesor (0,095 pulgadas es el considerado), se tomará como máxima presión de trabajo la menor de ellas.

Para el cálculo del factor B se acude a la figura A.12.7 del anexo 12 habiéndose calculado previamente los valores de:

$$\left(\frac{d_o}{t}\right) = \frac{0,75 \text{ in}}{0,095 \text{ in}} = 7,89$$

$$\frac{L}{d_o} = \left(\frac{4,88 \text{ m}}{0,0191 \text{ m}}\right) = 256,17$$

Al ser el valor de $\left(\frac{L}{d_o}\right)$ mayor a cincuenta, se considera que $\left(\frac{L}{d_o}\right) = 50$.

Con estas consideraciones mirando la figura A.12.7 del anexo 12, se obtiene el valor del factor A ($A=0,02$).

Con $A=0,02$ en la figura A.12.8 del anexo 12, se ve que aproximadamente para la temperatura máxima de operación de 230 °F el factor B es aproximadamente igual a 14000 psi.

Para el caso de S se considera mediante las gráficas que $B=16000$.

Se va a proceder a sustituir en las ecuaciones A.7.16 y A.7.17:

$$P_{a1} = \left[\frac{2,167}{\left(\frac{0,75 \text{ in}}{0,095 \text{ in}}\right)} - 0,0833 \right] \cdot 14000 \text{ psi} = 2676,61 \text{ psi}$$

$$P_{a2} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 16000}{\left(\frac{0,75 \text{ in}}{0,095 \text{ in}}\right)} \left[1 - \frac{1}{\frac{0,75 \text{ in}}{0,095 \text{ in}}} \right] = 3185,92 \text{ psi}$$

El valor de P_{a1} es el menor de los dos, y al ser un valor superior a la presión del fluido que circula por la carcasa (477 psi) el factor que controla el espesor del tubo es la presión interna a la que está sometido.

Por lo tanto el espesor del tubo será el valor correspondiente al comercial inmediatamente superior al calculado en el apartado de la presión interna, siendo el valor de espesor igual a 13 B.W.G. (0,095 pulgadas).

A.7.12. Diseño mecánico de la carcasa

Para llevar a cabo este diseño se va a recurrir al Código ASME sección VIII div.1.

Al ser un recipiente cilíndrico horizontal sometido a presión interna, la ecuación a usar para el cálculo del espesor será la proporcionada por la figura A.12.6 del anexo 12:

$$t_c = \frac{P_D \cdot r_c}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_D} + C \quad \text{Ec. A.7.18}$$

Siendo:

t_c = Espesor requerido para la carcasa.

E= Eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo 12 es igual a 0,85).

S= Tensión máxima admisible (20000 psi para el acero SA-240 AISI 316 (Tabla A.12.15 a 300 °F que es la temperatura inmediatamente superior a la máxima del vapor de la carcasa (230 °F)).

P_D = Presión de diseño (33% superior a la presión de operación de 477 psi).

C= Margen por corrosión (0,075 pulgadas como ya se postuló en el apartado anterior).

r_c = Radio interno de la carcasa ($r_c = d_c/2 = 22$ pulgadas).

Sustituyendo los valores se obtiene lo siguiente:

$$t_c = \frac{1,33 \cdot 477 \text{ psi} \cdot 22 \text{ in}}{20000 \text{ psi} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,33 \cdot 477} + 0,075 = 0,914 \text{ in} = 23,24 \text{ mm}$$

El valor del espesor de la carcasa será el valor de espesor comercial inmediatamente superior al calculado:

$$t_{\text{carcasa}} = 15/16 \text{ in (23,80 mm)}$$

A.7.13. Aislamiento del cambiador

Según la tabla A.12.9 del anexo 12 para una temperatura máxima de operación a la entrada de carcasa del equipo de 92,18 °C el espesor de la lana de roca será de 50 mm en la carcasa.

A.7.14. Pérdidas de carga

En este apartado se va a proceder a calcular las pérdidas de carga del fluido que pasa por los tubos así como del fluido que pasa por la carcasa.

A.7.14.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos

Para estimar la pérdida de carga se va a usar la ecuación de Fanning:

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{d_i \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.7.19}$$

Siendo:

f= Factor de fricción

G= Velocidad másica del fluido que circula por los tubos

d_i= Diámetro interno de los tubos (0,0142 m)

L= Longitud de los tubos (4,88 m)

ρ= Densidad media del fluido que circula por los tubos (999,32 kg/m³)

Cálculo de f

Para el cálculo del factor de fricción f es necesario conocer el número de Reynolds a partir de la velocidad másica como se calculó ya en el apartado A.7.7:

$$G = \frac{4 \cdot 139,47 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1569}{\pi \cdot 0,0142^2 \text{ m}^2 \cdot 1} = 559,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{0,0142 \text{ m} \cdot 559,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{1,154 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 6,89 \cdot 10^3$$

Con este Re se acude al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material de 0,00015 se obtiene un valor de $f=0,03$.

Ahora se pueden sustituir todos los datos en la ecuación A.7.19:

$$\Delta P = \frac{0,03 \cdot \left(559,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)^2 \cdot 4,88 \text{ m}}{0,0142 \text{ m} \cdot 999,32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3223,33 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 0,03223 \text{ bar}$$

Según la tabla A.12.10 del anexo 12 una pérdida normal de presión para líquidos puede ser de 0,7 a 1,7 bar, por lo tanto la pérdida se encuentra por debajo del rango ya que una característica de los intercambiadores tipo AJW es su baja pérdida de carga.

A.7.14.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa

Se va a usar la siguiente expresión del método CERN:

$$\Delta P = \frac{f \cdot Gc^2 \cdot (N_{def} + 1) \cdot d_c}{d_{eq} \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.7.20}$$

Siendo:

f = Factor de fricción.

Gc = Velocidad másica del fluido que circula por la carcasa.

d_c = Diámetro de la carcasa (44 pulgadas = 1,118 m).

ρ = Densidad media del fluido que circula por la carcasa (23,52 kg/m^3).

N_{def} = Número de deflectores (6).

d_{eq} = Diámetro equivalente.

Cálculo de f

Se necesita conocer el Re y por lo tanto se procede exactamente igual que en el apartado A.7.7 para el caso del fluido que circula por la carcasa:

$$G_c = \frac{4 \cdot 48,12 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\pi \cdot (1,118^2 \text{m}^2 - 1569 \cdot 0,0191^2 \text{m}^2) \cdot 1,333} = 67,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{1,118 \text{ m} \cdot 67,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{6,007 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 1,26 \cdot 10^6$$

Ahora se acude al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material de 0,0000025 se obtiene un valor de $f=0,012$.

Cálculo de d_{eq}

Para el cálculo del diámetro equivalente se va a hacer uso de la siguiente expresión:

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{\text{Pitch}^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{d_o^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{d_o}{2}} \right) \quad \text{Ec. A.7.21}$$

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{(1 \text{ in} \cdot 0,0254 \text{ (m/in)})^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{0,0191^2 \text{ m}^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{0,0191 \text{ m}}{2}} \right)$$

$$d_{eq} = 0,096 \text{ m}$$

Ahora ya se tiene todo listo para proceder al cálculo de la variación de presión en la carcasa.

$$\Delta P = \frac{0,012 \cdot \left(67,6 \frac{kg}{m^2 \cdot s}\right)^2 \cdot (6+1) \cdot 1,118 \text{ m}}{0,096 \text{ m} \cdot 23,55 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\Delta P = 269,4 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 0,00269 \text{ bar}$$

La pérdida de presión en la carcasa del fluido que circula por la misma es prácticamente despreciable.

ANEXO 8: DISEÑO DEL REBOILER Reb-1

A.8.1. Introducción

El diseño de este cambiador va a ser completamente análogo al de los evaporadores Ev-1 Ev.2 y Ev-3, ya que son del mismo tipo, lo que los diferencia es el servicio al que van destinados, ya que en este caso lo que se pretende es vaporizar parcialmente la corriente líquida que sale del último plato de la columna CE-1 y por lo tanto del Reboiler saldrán dos corrientes, una en fase vapor y la otra en fase líquida.

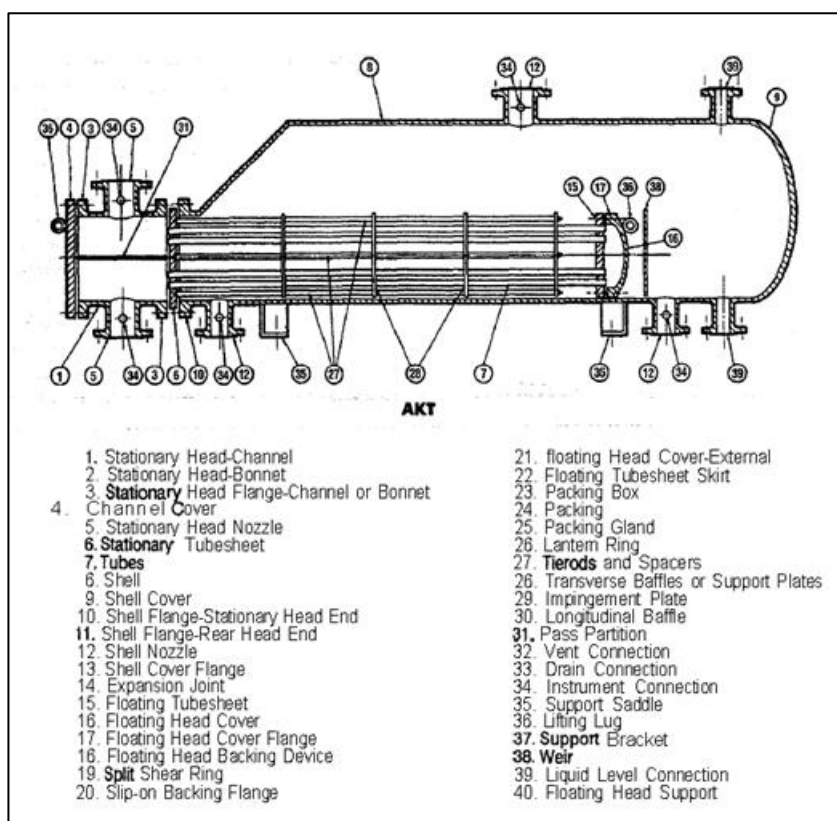


Figura A.8.1 Intercambiador de calor AKT (Norma TEMA)

A.8.2. Asignación de flujos

Al tratarse de un intercambiador del tipo AKT el fluido que se vaporiza parcialmente debe ir por carcasa, mientras que el fluido calefactor irá por los tubos, por lo tanto la salida del evaporador Ev-3 entrará por los

tubos y el líquido procedente del último plato de la columna CE-1 lo hará por la carcasa.

A.8.3. Datos de distintas corrientes del sistema

Al reboiler llega una corriente de líquido a una temperatura de 73,93 °C (Corriente C-23) siendo calentada y parcialmente evaporada hasta 91,91 °C, temperatura a la cual entrará el vapor en la columna estabilizadora y el líquido en el siguiente intercambiador de calor. Para evaporar parcialmente la corriente de entrada se va a aprovechar la mezcla líquido-vapor que sale por los tubos del evaporador Ev-3.

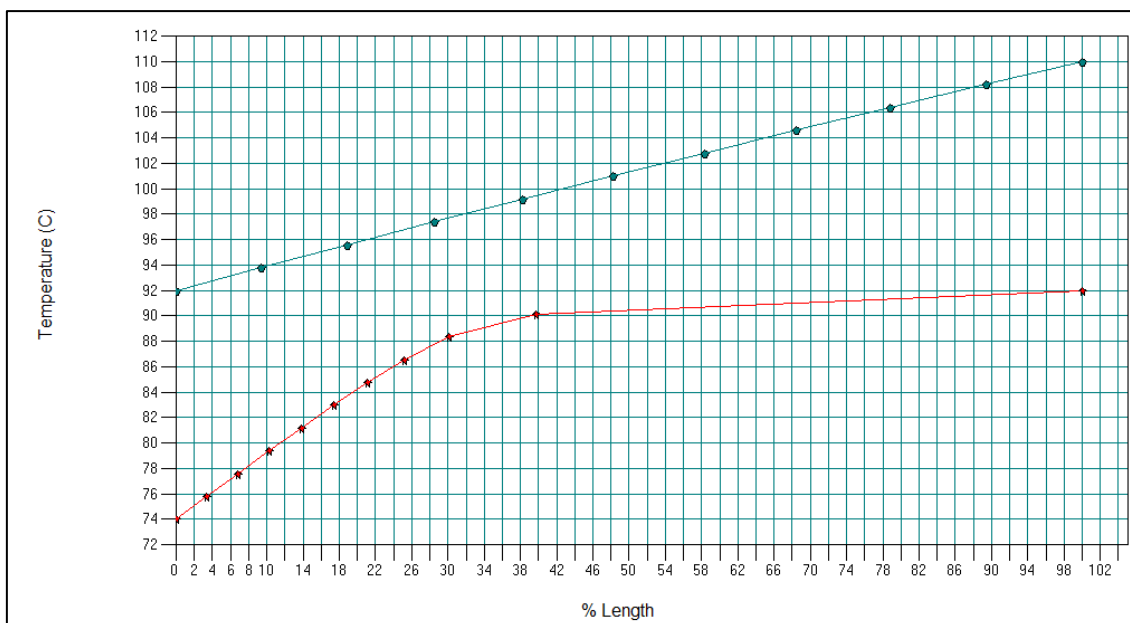


Figura A.8.2 Diagrama Térmico Corriente caliente VS Corriente fría

El valor de 91,91 °C de la corriente parcialmente evaporada viene de los requerimientos de funcionamiento de la columna CE-1, que coinciden con el valor del punto de ebullición de la mezcla a la presión de trabajo.

Tabla A.8.1 Valores de la temperatura del sistema

T1	110 °C
T2	92,18 °C
T3	73,93 °C
T4	91,91 °C
T media carcasa	82,92 °C
T media tubos	101,9 °C

Siendo:

T1= Temperatura de entrada del fluido que circula por los tubos.

T2= Temperatura de salida del fluido que circula por los tubos.

T3= Temperatura de entrada del fluido que circula por la carcasa.

T4= Temperatura de salida del fluido que circula por la carcasa.

Para el cálculo propiedades físicas medias del sistema se ha vuelto a usar, al igual que en todos los intercambiadores de calor, el simulador “CHEMCAD” obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla A.8.2 Datos físicos medios de las corrientes del intercambiador

Propiedad media	Se evapora (carcasa)	Se enfria (tubos)
ρ (Kg/m ³)	538,55	20,59
μ (Pa·s)	$2,123 \cdot 10^{-4}$	$8,131 \cdot 10^{-5}$
Wm (kg/s)	44,97	48,11
Cp (J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)	1660,73	4128,90
k (W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)	0,326	0,138
Pr	4,069	1,150

A.8.4. Calor intercambiado Q

El calor intercambiado entre las corrientes fría y caliente se ha calculado mediante el simulador en el apartado A.2 del diseño de la columna estabilizador, teniendo el siguiente valor:

$$Q = 15303 \text{ MJ/h} = 4250305,6 \text{ J/s}$$

A.8.5. Diferencia media de temperaturas MTD

Para el cálculo del área de intercambio del reboiler es necesario conocer el parámetro MTD (diferencia media de temperatura corregida), definido por la siguiente expresión:

$$MTD = F \cdot LMTD \quad \text{Ec. A.8.1}$$

Siendo F un factor de corrección y LMTD la diferencia media logarítmica de temperaturas, definida en la siguiente figura:

$$LMTD = \Delta T_{\ln} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}}$$

T: temperatura fluido caliente; t: temperatura fluido frío
1: entrada; 2: salida.

Figura A.8.3 Diferencia media logarítmica de temperaturas

$$LMTD = \frac{(92,18 - 73,93) - (110 - 91,91)}{\ln \frac{(92,18 - 73,93)}{(110 - 91,91)}} = 18,17 \text{ °C}$$

Al tratarse de un intercambiador de carcasa y tubos con dos pasos por tubo y uno por carcasa, hay que aplicar el factor de corrección de la LMTD (F). Para el cálculo de F se va a hacer uso de la figura A.12.1 del anexo 12, debiendo calcular dos parámetros:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \qquad R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$P = \frac{92,18 - 110}{73,93 - 110} = 0,49 \qquad R = \frac{73,93 - 91,91}{92,18 - 110} = 1,01$$

Con esos valores de P y R se obtiene un valor del parámetro $F = 0,8$.
Por lo tanto $MDT = 0,8 \cdot LMTD = 14,53 \text{ }^\circ\text{C}$.

A.8.6. Datos sobre el cambiador de calor

- El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y dos por tubos, definido por las letras AKT según la norma TEMA.
- El diámetro exterior de los tubos es de $\frac{3}{4}$ pulgada, siendo el interno de 0,532 pulgadas, espesor de tubo de 12 BWG (0,109 pulgadas).
- El pitch es de 1 pulgada, siendo la configuración de los tubos triangular.
- La longitud de los tubos del cambiador es de 16 ft (4,88 m).
- El cambiador se conforma por 1391 tubos, teniendo un diámetro de carcasa de 42 pulgadas.
- El material de construcción de los tubos es acero inoxidable AISI TP316, siendo el material para la carcasa acero SA-240 AISI 316.

A.8.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U

Para determinar el coeficiente global de transmisión de calor U se va a hacer uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{io}} + r_{di} \cdot \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}}{2 \cdot k_m} + r_{do} + \frac{1}{h_o} \quad \text{Ec. A.8.2}$$

Siendo:

h_{io} = Coeficiente de película interna.

r_{di} = Resistencia de suciedad interna.

d_o = Diámetro externo del tubo.

d_i = Diámetro interno del tubo.

k_m = Conductividad térmica del material.

r_{do} = Resistencia a la suciedad externa.

h_o = Coeficiente de película externa.

Coeficiente de película interna h_{i_o}

Para el cálculo de este coeficiente se tiene que despejar de la ecuación de Nu:

$$Nu_d = \frac{h \cdot d_i}{k} \quad \text{Ec. A.8.3}$$

$$h = \frac{Nu_d \cdot k}{d_i} \quad \text{Ec. A.8.4}$$

$$h_{i_o} = h \cdot \frac{d_i}{d_o} \quad \text{Ec. A.8.5}$$

Para resolver esta expresión es necesario acudir a los datos de la tabla A.8.2 de la corriente que circula por los tubos junto con los datos dados en el apartado A.8.6, con ello se va a calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{d_i \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.8.6}$$

$$G = \frac{4 \cdot Wm \cdot N_T}{\pi \cdot d_i^2 \cdot N_p} \quad \text{Ec. A.8.7}$$

Siendo:

d_i = Diámetro interno de los tubos (0,0135 m).

G = Velocidad másica del fluido que circula por el interior de los tubos ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

Wm = Caudal másico que circula por los tubos ($48,12 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

N_T = Número de tubos (1391).

N_p = Número de pasos por tubo (2).

μ = Viscosidad media del fluido que circula por los tubos ($3,836 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Se sustituyen los datos y se obtienen los respectivos valores de las variables.

$$G = \frac{4 \cdot 48,12 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1391}{\pi \cdot 0,0135^2 \text{ m}^2 \cdot 2} = 482,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{0,0135 \text{ m} \cdot 482,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{3,836 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 1,69 \cdot 10^5$$

Con este valor de Re se pasa a determinar el Nu mediante la ecuación de Dittus-Boelter para fluidos que ceden energía en el interior de un tubo:

$$Nu_d = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,3} \quad \text{Ec. A.8.8}$$

$$Nu_d = 0,023 \cdot (1,69 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 1,150^{0,3} = 366,53$$

Conocidos todos los parámetros ya se está a disposición de calcular el coeficiente de película interna:

$$h = \frac{366,53 \cdot 0,138 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0135 \text{ m}} = 3737,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$h_{io} = 3737,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \cdot \frac{0,0135 \text{ m}}{0,0191 \text{ m}} = 2650,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coeficiente de película externa h_o

Para este coeficiente se procede de manera análoga al anterior, cambiando únicamente que en este caso se usan los datos de la tabla A.8.2 referentes al fluido que circula por la carcasa y que para el cálculo del Nu_d se usa la ecuación de Churchill y Berstein:

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 \text{Re}^{0,5} \cdot \text{Pr}^{1/3}}{\left[1 + (0,4/\text{Pr})^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{\text{Re}}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} \quad \text{Ec. A.8.9}$$

$$\text{Re} = \frac{d_c \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.8.10}$$

$$Gc = \frac{4 \cdot Wm}{\pi \cdot (d_c^2 - N_T \cdot d_o^2) \cdot X} \quad \text{Ec. A.8.11}$$

Siendo:

G_c = Velocidad másica del fluido que circula por la carcasa.

W_m = Caudal másico que circula por la carcasa ($44,97 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

d_o = Diámetro externo de los tubos ($0,0191 \text{ m}$).

d_c = Diámetro de la carcasa ($42 \text{ pulgadas} = 1,069 \text{ m}$).

N_{def} = Número de deflectores (6).

N_T = Número de tubos (1391).

X = Relación entre Pitch y diámetro exterior de los tubos.

μ = Viscosidad media del fluido que circula por la carcasa
($2,123 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Se va ahora a realizar el cálculo de los distintos parámetros:

$$X = \frac{1 \text{ in}}{0,75 \text{ in}} = 1,333$$

$$G_c = \frac{4 \cdot 44,97 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\pi \cdot (1,067^2 \text{ m}^2 - 1391 \cdot 0,0191^2 \text{ m}^2) \cdot 1,333} = 67,81 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{1,067 \text{ m} \cdot 67,81 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{2,123 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 3,41 \cdot 10^5$$

$$\text{Nu}_d = 0,3 + \frac{0,62 \cdot (3,41 \cdot 10^5)^{0,5} \cdot 4,070^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / 4,070)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{3,41 \cdot 10^5}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} = 1006,8$$

Se sustituye ahora para calcular el coeficiente de película externo:

$$h_o = \frac{\text{Nu}_d \cdot k}{d_o} = \frac{1006,8 \cdot 0,355 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0191 \text{ m}} = 4578,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficientes de suciedad interna r_{di} y de suciedad externa r_{do} :

Según la tabla A.12.12 del anexo 12 el valor del coeficiente r_{di} es de $0,0001 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$, así mismo el valor del coeficiente de suciedad externa r_{do} es $0,0002 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$.

Conductividad térmica K_m

Para el valor de la conductividad térmica se va a usar el valor obtenida mediante la figura A.12.4 del anexo 4 para la temperatura media de los tubos (101,9 °C) siendo este valor de $14,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

Ahora ya se está en condiciones de calcular el coeficiente global de transmisión de calor U :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2650,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}} + 0,0001 \frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}} \cdot \frac{0,0191 \text{ m}}{0,0135 \text{ m}} + \frac{0,0191 \text{ m} \cdot \ln \frac{0,0191 \text{ m}}{0,0135 \text{ m}}}{2 \cdot 14,7 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}} + 0,0002 \frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}} + \frac{1}{4578,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$\frac{1}{U} = 0,001313747 \frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$U = 384,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

A.8.8. Área de intercambio necesaria

Una vez calculado el coeficiente global de transmisión de calor se puede calcular el área de intercambio requerida mediante la siguiente expresión:

$$Q = U \cdot A_{\text{int}} \cdot MTD \quad \text{Ec. A.8.12}$$

Despejando el área queda lo siguiente:

$$A_{\text{int}} = \frac{Q}{U \cdot MTD} = \frac{4250305,6 \text{ W}}{384,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 14,53^\circ\text{C}} = 384,2 \text{ m}^2$$

A.8.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa ó Shell ID

Para llevar a cabo este cálculo se va a recurrir a la siguiente expresión:

$$A_{\text{int}} = \pi \cdot d_o \cdot L \cdot N_T \quad \text{Ec. A.8.13}$$

El número de tubos (N_T) se obtendrá despejando de la ecuación anterior sabiendo que la longitud de tubos (L) es de 4,88 m y que el diámetro externo (d_o) se corresponde al valor de 0,0191 m:

$$N_T = \frac{384,2 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,0191 \text{ m} \cdot 4,88 \text{ m}} = 1315,44 \text{ tubos}$$

Con un valor calculado de 1315,44 tubos se comprueba en las tablas A.12.4 y A.12.5 del anexo 12 que para un tamaño de carcasa o Shell ID de 42 pulgadas con dos pasos por tubo, disposición triangular con 1 pulgada de pitch y un diámetro de tubo de 3/4 pulgada, se obtiene un N_T en el cambiador de 1391 tubos (valor estimado al principio), siendo el valor inmediatamente anterior de 39 pulgadas y dos pasos por tubo de 1171 tubos, valor menor al necesario y por lo tanto no aceptable.

A.8.10. Cálculo de altura de barrera, del diámetro del reboiler y distancia X

Para el cálculo de la altura de la barrera (h_w) y del diámetro del reboiler (d_K) se dispone de las siguientes expresiones:

$$h_w = d_c + 4 \text{ in} \quad \text{Ec. A.8.14}$$

$$d_K = 2,93 \cdot h_w^{0,788} \quad \text{Ec. A.8.15}$$

Conocido el diámetro de la carcasa ó Shell ID (d_c) se pueden calcular ambos valores:

$$h_w = 42 + 4 = 46 \text{ in} = 1,168 \text{ m}$$

$$d_K = 2,93 \cdot 46^{0,788} = 59,9 \text{ in} = 1,520 \text{ m}$$

La distancia X para reboilers de 4,88 m es de 0,9 m por especificaciones de CEPESA.

A.8.11. Diseño de los Deflectores

Para el cálculo del número de deflectores presentes en la carcasa se va a usar la siguiente ecuación:

$$N_{def} = \frac{L}{P_{def}} \quad \text{Ec. A.8.16}$$

Siendo:

L= Longitud de los tubos.

P_{def} = Distancia entre deflectores.

Para saber a la distancia que se deben tener los deflectores hay que calcular la media entre la separación máxima permisible y la mínima.

Distancia mínima permisible

Esta distancia toma un valor 2 pulgadas en caso de que 2 pulgadas sean mayor a 1/5 del diámetro interior de la carcasa, en caso contrario se toma el valor de 1/5 del d_c , al ser éste último valor igual a 8,4 pulgadas, será tomado como el valor de la distancia mínima permisible.

Distancia máxima permisible

Para el cálculo de esta distancia se va a hacer uso de la tabla A.12.6 del anexo 12. Con un diámetro exterior de tubos de 3/4 pulgada y para el material de construcción, se tiene un valor de 60 pulgadas (1524 mm)

Por lo tanto la distancia entre deflectores será la siguiente:

$$P_{def} = \frac{8,4 + 60}{2} = 34,2 \text{ in} = 869 \text{ mm}$$

El número de deflectores será:

$$N_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{0,869 \text{ m}} = 5,62$$

Se usarán por tanto seis deflectores en el cambiador.

$$N_{def} = 6$$

La distancia de los deflectores será finalmente:

$$P_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{6} = 0,8 \text{ m}$$

Espesor de los deflectores

Para un diámetro de carcasa de 42 pulgadas y un espaciamiento entre deflectores de 31,5 pulgadas se acude a la tabla A.12.7 del anexo encontrándose que el espesor recomendado es de 3/8 de pulgada (9,5 mm).

Diámetro de los deflectores

El diámetro de los deflectores deberá menor que el de la carcasa de manera que éste deje un segmento libre o ventana de paso igual al 25% de d_c .

A.8.12. Diseño mecánico de los tubos del reboiler

Para ejecutar el diseño mecánico de los tubos se va a recurrir al Código ASME B31.3 "Process Piping":

Espesor por presión interna

Según el Código ASME B31.3 la expresión para el cálculo del espesor de los tubos sometidos a presión interna es la siguiente:

$$t = \left(\frac{P_D \cdot d_o}{2 \cdot (S \cdot E + P_D \cdot Y)} + C \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{M}{100} \right)} \right) \quad \text{Ec. A.8.17}$$

Siendo:

P_D = Presión de diseño (un 10% superior a la Presión de operación de 3351 kpa = 486 psi).

d_o = Diámetro externo del tubo (3/4 pulgada).

S = Tensión máxima admisible del Acero AISI TP316 a la temperatura máxima del fluido que circula por los tubos (Según tabla A.12.17 del anexo 12: $S=20000$ psi para una temperatura de 300 °F, valor inmediatamente superior al de la temperatura máxima en el interior del tubo de 230 °F).

E = Eficiencia de soldadura (Para tubos sin costura, la eficiencia de soldadura es igual a 1).

Y = Factor dado por la tabla A.12.8 del anexo 12. (Para aceros austeníticos y un temperatura inferior a 900 °F el valor de Y es igual a 0,4).

C = Margen de corrosión (En el caso de una vida media de operación de 15 años (Tabla A.12.18 anexo 12) y a razón de un desgaste por

corrosión de cinco milésimas de pulgadas al año se toma como valor de $C=0,075$ pulgadas.

M = Tolerancia de fabricación (Toma un valor de 12,5% para la pared).

Sustituyendo los valores en la Ec. A.8.17 se obtiene lo siguiente:

$$t = \left(\frac{1,1 \cdot 486 \text{ psi} \cdot 0,75 \text{ in}}{2 \cdot (20000 \text{ psi} \cdot 1 + 1,1 \cdot 486 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,075 \text{ in} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{12,5}{100} \right)} \right)$$
$$t = 0,097 \text{ in} = 2,5 \text{ mm}$$

Por lo tanto al estar sometido el tubo únicamente a un esfuerzo por presión interna, el valor de espesor del tubo será el correspondiente al valor comercial inmediatamente superior al calculado en el apartado A.8.12, este será de 12 B.W.G (0,109 pulgadas).

A.8.13. Diseño mecánico de la carcasa

Para llevar a cabo este diseño se va a recurrir al Código ASME sección VIII div.1.

Al ser un recipiente cilíndrico horizontal sometido a presión interna, la ecuación que se debe usar para el cálculo del espesor viene reflejada en la figura A.12.6 del anexo 12:

$$t_c = \frac{P_D \cdot r_c}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_D} + C \quad \text{Ec. A.8.18}$$

Siendo:

t_c = Espesor requerido para la carcasa

E = Eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo 12 es igual a 0,85).

S = Tensión máxima admisible (20000 psi para el acero SA-240 AISI 316 (ver Tabla A.12.15 a 200 °F) que es la temperatura

inmediatamente superior a la máxima del fluido de la carcasa de 191,5 °F).

P_D = Presión de diseño (En este caso al ser la presión de diseño menor a 30 psi, se tendrá que tomar el valor mínimo de presión de diseño de 30 psi).

C = Margen por corrosión (0,075 pulgadas como ya se postuló en el apartado anterior).

r_c = Radio interno de la carcasa ($r_c = d_k/2 = 29,5$ pulgadas)

Sustituyendo los valores se obtiene lo siguiente:

$$t_c = \frac{30 \text{ psi} \cdot 29,5 \text{ in}}{20000 \text{ psi} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 30} + 0,075 = 0,127 \text{ in} = 3,2 \text{ mm}$$

El espesor calculado es menor al mínimo exigido por el código para aceros inoxidables, por lo tanto habrá que calcularlo en función de la siguiente expresión:

$$t_{\min} = 2,5 \text{ mm} + C = 2,5 \text{ mm} + 0,075 \text{ in} \cdot \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 4,41 \text{ mm}$$

El valor del espesor de la carcasa será el valor de espesor comercial inmediatamente superior al calculado anteriormente:

$$t_{\text{carcasa}} = 3/16 \text{ in} (4,80 \text{ mm})$$

A.8.14. Aislamiento del cambiador

Según la tabla A.12.9 del anexo 12 para una temperatura de operación comprendida entre 75 y 160 °C el espesor de la lana de roca será de 50 mm en el cambiador.

A.8.15. Pérdidas de carga

En este apartado se va a proceder a calcular las pérdidas de carga del fluido que pasa por los tubos así como del fluido que pasa por la carcasa.

A.8.15.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos

Para estimar la pérdida de carga se va a hacer uso de la ecuación de Fanning:

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{d_i \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.8.19}$$

Siendo:

f= Factor de fricción

G= Velocidad másica del fluido que circula por los tubos

d_i= Diámetro interno de los tubos (0,0135 m)

L= Longitud de los tubos (4,88 m)

ρ= Densidad media del fluido que circula por los tubos (20,59 kg/m³)

Cálculo de f

Para el cálculo del factor de fricción f es necesario conocer el número de Reynolds a partir de la velocidad másica como se calculó ya en el apartado A.8.7:

$$G = \frac{4 \cdot 48,12 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1391}{\pi \cdot 0,0135^2 \text{ m}^2 \cdot 2} = 482,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{0,0135 \text{ m} \cdot 482,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{3,836 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 1,69 \cdot 10^5$$

Con este Re se acude al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material de 0,00014 se obtiene un valor de f=0,016.

Ahora se pueden sustituir todos los datos en la ecuación A.8.19:

$$\Delta P = \frac{0,016 \cdot \left(482,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)^2 \cdot 4,88 \text{ m}}{0,0135 \text{ m} \cdot 20,59 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 65292,73 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 0,6529 \text{ bar}$$

Según la tabla A.12.10 del anexo 12 una pérdida normal de presión para sistemas de alta presión puede encontrarse ente 0,35 y 0,7 bar y por lo tanto el intercambiador de calor tiene un diseño aceptable.

A.8.15.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa

Se va a usar la siguiente expresión del método CERN:

$$\Delta P = \frac{f \cdot Gc^2 \cdot (N_{def} + 1) \cdot d_c}{d_{eq} \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.8.20}$$

Siendo:

f= Factor de fricción.

Gc= Velocidad másica del fluido que circula por la carcasa.

d_c= Diámetro de la carcasa (42 pulgadas = 1,067 m).

ρ = Densidad media del fluido que circula por la carcasa (538,55 kg/m³).

N_{def}= Número de deflectores (6).

d_{eq}= Diámetro equivalente.

Cálculo de f

Es necesario conocer el Re y por lo tanto se procede exactamente igual que en el apartado A.8.7 para el caso del fluido que circula por la carcasa:

$$Gc = \frac{4 \cdot 44,97 \frac{kg}{s}}{\pi \cdot (1,067^2 m^2 - 1391 \cdot 0,0191^2 m^2)} \cdot 1,333 = 67,81 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$Re = \frac{1,067 m \cdot 67,81 \frac{kg}{m^2 \cdot s}}{2,123 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s} = 3,41 \cdot 10^5$$

Ahora se recurre al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material de 0,000002 se obtiene un valor de f=0,013.

Cálculo de d_{eq}

Para el cálculo del diámetro equivalente se va a hacer uso de la siguiente expresión:

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{\text{Pitch}^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{d_o^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{d_o}{2}} \right) \quad \text{Ec. A.8.21}$$

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{(1 \text{ in} \cdot 0,0254 (m/in))^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{0,0191^2 \text{ m}^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{0,0191 \text{ m}}{2}} \right)$$

$$d_{eq} = 0,096 \text{ m}$$

Ahora ya se tiene todo listo para proceder al cálculo de la variación de presión en la carcasa:

$$\Delta P = \frac{0,013 \cdot \left(67,81 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)^2 \cdot (6+1) \cdot 1,067 \text{ m}}{0,096 \text{ m} \cdot 538,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\Delta P = 8,639 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 8,69 \cdot 10^{-5} \text{ bar}$$

La pérdida de presión en la carcasa del fluido que circula por la misma es prácticamente despreciable.

ANEXO 9: DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR IC-1

A.9.1. Introducción

El diseño de este cambiador es algo diferente a los anteriores, ya que son de distinta configuración de carcasa y tubos pero siguen estando regulados por la norma TEMA y por lo tanto son muy similares en diseño.

La corriente gaseosa procedente del separador de fases (Corriente C-20) que llega a este cambiador se encuentra a una temperatura de 25 °C y por lo tanto se va a aprovechar para enfriar el líquido saliente del reboiler (Corriente C-24) antes de mandarlo a depósito.

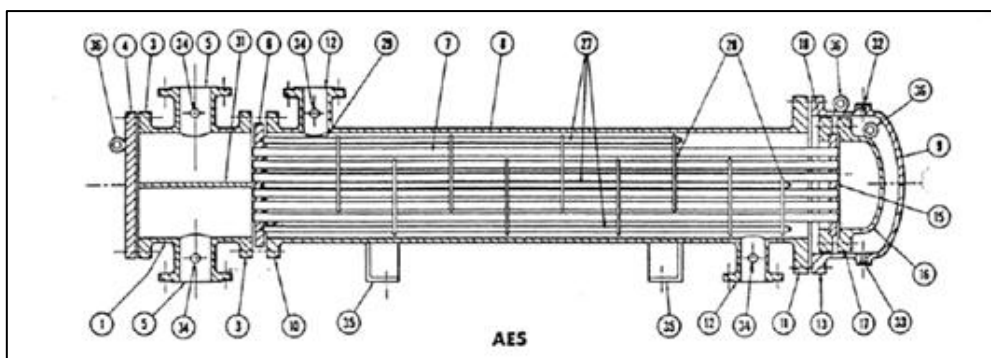


Figura A.9.1 Intercambiador de calor AES (Norma TEMA)

A.9.2. Asignación de flujos

Al tratarse de un intercambiador del tipo AES el fluido a mayor presión y más corrosivo es el que va por los tubos, en este caso será el vapor procedente del separador de fases, mientras tanto el producto de colas de la columna irá por la carcasa.

A.9.3. Datos de distintas corrientes del sistema

Al intercambiador llega una corriente de vapor procedente del separador SP-1 a una temperatura de 24,91 °C (Corriente C-20) siendo calentada hasta 56,36 °C, mientras por su parte la corriente líquida entra a 91,91 °C y se refrigera hasta 60°C.

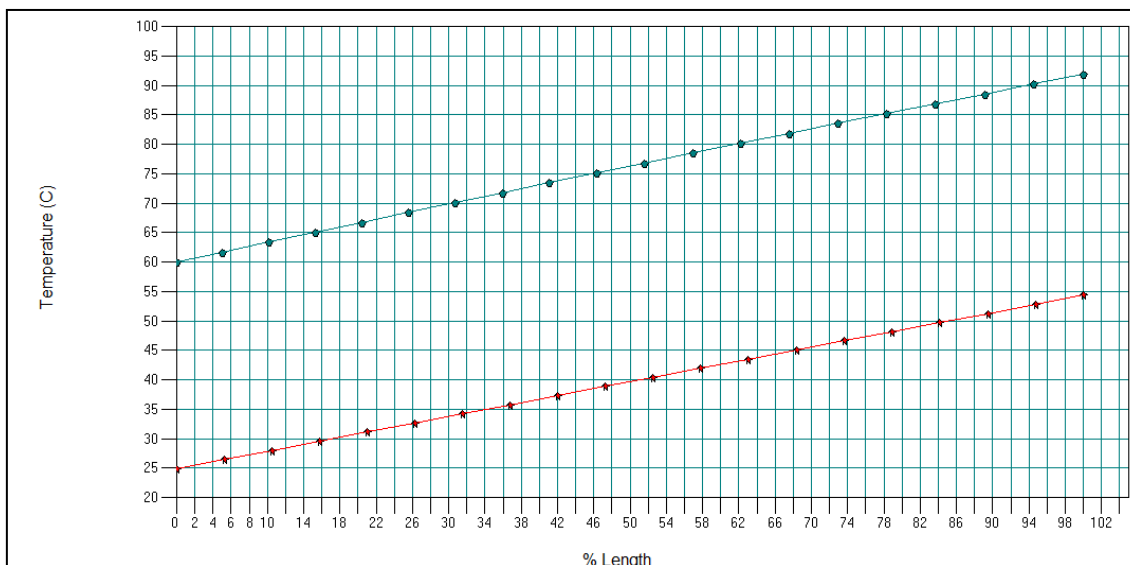


Figura A.9.2 Diagrama Térmico Corriente caliente VS Corriente fría

El valor de 60 °C de la corriente refrigerada va en función de la máxima temperatura recomendada por CEPSA para enviar un producto a un tanque de techo flotante.

Tabla A.9.1 Valores de la temperatura del sistema

T1	24,91 °C
T2	54,36 °C
T3	91,91 °C
T4	60 °C
T media carcasa	39,63 °C
T media tubos	10 °C

Siendo:

T1= Temperatura de entrada del fluido que circula por los tubos.

T2= Temperatura de salida del fluido que circula por los tubos.

T3= Temperatura de entrada del fluido que circula por la carcasa.

T4= Temperatura de salida del fluido que circula por la carcasa.

Para el cálculo propiedades físicas medias del sistema se ha vuelto a usar, al igual que en el resto de intercambiadores, el simulador “CHEMCAD” obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla A.9.2 Datos físicos medios de las corrientes del intercambiador

Propiedad media	Se enfria (carcasa)	Se calienta (tubos)
ρ (Kg/m ³)	817,87	5,31
μ (Pa·s)	$3,400 \cdot 10^{-4}$	$1,32410^{-3}$
Wm (kg/s)	37,60	10,24
Cp (J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)	1777,341	7076,140
k (W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)	0,123	0,143
Pr	4,897	0,535

A.9.4. Calor intercambiado Q

Se puede definir de dos maneras distintas el calor intercambiado en el sistema:

1. *Calor sensible cedido por el líquido caliente:*

$$Q = W_{m1} \cdot C_{p1} \cdot (\Delta T)_1$$

2. *Calor sensible obtenido por el vapor frio:*

$$Q = W_{m2} \cdot C_{p2} \cdot (\Delta T)_2$$

Siendo:

W_{m1} = Caudal Másico de la corriente caliente (kg/s).

W_{m2} = Caudal másico del vapor frio (kg/s).

Cp = Calor medio específico (J·kg⁻¹·K⁻¹).

ΔT = Diferencia entre la temperatura de entrada y salida del fluido

El cálculo de este calor se obtiene mediante el simulador, obteniendo el siguiente valor de calor:

$$Q = 7681,87 \text{ MJ/h} = 2133852,8 \text{ J/s}$$

A.9.5. Diferencia media de temperaturas MTD

Para el cálculo del área de intercambio del reboiler es necesario conocer el parámetro MTD (diferencia media de temperatura corregida), definido por la siguiente expresión:

$$MTD = F \cdot LMTD \quad \text{Ec. A.9.1}$$

Siendo F un factor de corrección y LMTD la diferencia media logarítmica de temperaturas, definida en la siguiente figura:

$$LMTD = \Delta T_{\ln} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}}$$

T: temperatura fluido caliente; t: temperatura fluido frío
1: entrada; 2: salida.

Figura A.9.3 Diferencia media logarítmica de temperaturas

$$LMTD = \frac{(91,91 - 54,36) - (60 - 24,91)}{\ln \frac{(91,91 - 54,36)}{(60 - 24,91)}} = 36,31 \text{ °C}$$

Al tratarse de un intercambiador de carcasa y tubos con un paso por tubo y flujo dividido por carcasa, hay que aplicar el factor de corrección de la LMTD (F). Para el cálculo de F se hace uso de la figura A.12.1 del anexo 5, debiendo calcular dos parámetros:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \qquad R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$P = \frac{54,36 - 24,91}{91,91 - 24,91} = 0,44 \qquad R = \frac{91,91 - 60}{54,36 - 24,91} = 1,1$$

Con esos valores de P y R se obtiene un valor del parámetro F = 0,9.

Por lo tanto MDT = 0,9 · 36,31 = 32,68 °C.

A.9.6. Datos sobre el cambiador de calor

- El intercambiador de calor es del tipo carcasa y tubos, con un paso por carcasa y dos por tubos, definido por las letras AES según la norma TEMA.
- El diámetro exterior de los tubos es de 1 pulgada, siendo el interno de 0,782 pulgadas, espesor de tubo de 12 BWG (0,109 pulgadas).
- El pitch es de 1,25 pulgadas, siendo la configuración de los tubos triangular.
- La longitud de los tubos del cambiador es de 16 ft (4,88 m).
- El cambiador se conforma por 192 tubos, teniendo un diámetro de carcasa de 21 pulgadas.
- El material de construcción de los tubos es acero inoxidable AISI TP316, siendo el material para la carcasa acero SA-240 AISI 316.

A.9.7. Cálculo del coeficiente global de intercambio de calor U

Para determinar el coeficiente global de transmisión de calor U se va a hacer uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{io}} + r_{di} \cdot \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}}{2 \cdot k_m} + r_{do} + \frac{1}{h_o} \quad \text{Ec. A.9.2}$$

Siendo:

h_{io} = Coeficiente de película interna.

r_{di} = Resistencia de suciedad interna.

d_o = Diámetro externo del tubo.

d_i = Diámetro interno del tubo.

k_m = Conductividad térmica del material.

r_{do} = Resistencia a la suciedad externa.

h_o = Coeficiente de película externa.

Coefficiente de película interna h_{i_o}

Para el cálculo de este coeficiente se tiene que despejar de la ecuación de Nu:

$$Nu_d = \frac{h \cdot d_i}{k} \quad \text{Ec. A.9.3}$$

$$h = \frac{Nu_d \cdot k}{d_i} \quad \text{Ec. A.9.4}$$

$$h_{i_o} = h \cdot \frac{d_i}{d_o} \quad \text{Ec. A.9.5}$$

Para resolver esta expresión es necesario acudir a los datos de la tabla A.9.2 de la corriente que circula por los tubos junto con los datos dados en el apartado A.9.6, con ello se va a calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{d_i \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.9.6}$$

$$G = \frac{4 \cdot Wm \cdot N_T}{\pi \cdot d_i^2 \cdot N_p} \quad \text{Ec. A.9.7}$$

Siendo:

d_i = Diámetro interno de los tubos (0,0199 m).

G = Velocidad másica del fluido que circula por el interior de los tubos ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

Wm = Caudal másico que circula por los tubos ($10,24 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

N_T = Número de tubos (192).

N_p = Número de pasos por tubo (2).

μ = Viscosidad media del fluido que circula por los tubos ($1,084 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Se sustituyen los datos obteniéndose los siguientes valores:

$$G = \frac{4 \cdot 10,24 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 192}{\pi \cdot 0,0199^2 \text{ m}^2 \cdot 2} = 344,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$Re = \frac{0,0199 \text{ m} \cdot 344,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{1,084 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 6,31 \cdot 10^5$$

Con este valor de Re se puede llevar a cabo la determinación del Nu mediante la ecuación de Dittus-Boelter para fluidos que se calientan en el interior de un tubo:

$$Nu_d = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad \text{Ec. A.9.8}$$

$$Nu_d = 0,023 \cdot (6,31 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 0,535^{0,4} = 781,69$$

Conocidos todos los parámetros ya se está a disposición de calcular el coeficiente de película interna:

$$h = \frac{781,69 \cdot 0,143 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0199 \text{ m}} = 5643,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$h_{io} = 5643,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \cdot \frac{0,0199 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 4413,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficiente de película externa h_o

Para este coeficiente se procede de manera análoga al anterior, cambiando únicamente que en este caso se usan los datos de la tabla A.9.2 referentes al fluido que circula por la carcasa y que para el cálculo del Nu_d se usa la ecuación de Churchill y Berstein:

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 Re^{0,5} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / Pr)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} \quad \text{Ec. A.9.9}$$

$$Re = \frac{d_c \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.9.10}$$

$$Gc = \frac{4 \cdot Wm}{\pi \cdot (d_c^2 - N_T \cdot d_o^2) \cdot X} \quad \text{Ec. A.9.11}$$

Siendo:

Gc= Velocidad másica del fluido que circula por la carcasa.

Wm= Caudal másico que circula por la carcasa (37,60 kg · s⁻¹).

d_o = Diámetro externo de los tubos (0,0254 m).

d_c = Diámetro de la carcasa (21 pulgadas = 0,533 m).

N_T = Número de tubos (192).

X = Relación entre Pitch y diámetro exterior de los tubos.

μ = Viscosidad media del fluido que circula por la carcasa
($3,400 \cdot 10^{-4}$ Pa·s).

Se va a proceder ahora a la realización del cálculo de los distintos parámetros:

$$X = \frac{1,25 \text{ in}}{1 \text{ in}} = 1,25$$

$$G_c = \frac{4 \cdot 37,60 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\pi \cdot (0,533^2 \text{ m}^2 - 192 \cdot 0,0254^2 \text{ m}^2) \cdot 1,25} = 238,38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{0,533 \text{ m} \cdot 238,38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{3,400 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 3,74 \cdot 10^5$$

$$Nu_d = 0,3 + \frac{0,62 \cdot (3,74 \cdot 10^5)^{0,5} \cdot 4,897^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / 4,897)^{2/3}\right]^{0,25}} \left[1 + \left(\frac{3,74 \cdot 10^5}{282000}\right)^{5/8}\right]^{0,8} = 1156,1$$

Se sustituye ahora para calcular el coeficiente de película externo:

$$h_o = \frac{Nu_d \cdot k}{d_o} = \frac{1156,1 \cdot 0,123 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}}{0,0254 \text{ m}} = 5616,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Coefficientes de suciedad interna r_{di} y de suciedad externa r_{do} :

Según la tabla A.12.12 del anexo 12 el valor del coeficiente r_{di} es de $0,0001 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$, así mismo el valor del coeficiente de suciedad externa r_{do} es $0,0002 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-2}$.

Conductividad térmica K_m

Para el valor de la conductividad térmica se va a usar el valor obtenida mediante la figura A.12.4 del anexo 4 para la temperatura media de los tubos (181,17 °C) siendo este valor de $14,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$.

Ahora ya se está en condiciones de calcular el coeficiente global de transmisión de calor U:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{4413,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}} + 0,0001 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} \cdot \frac{0,0254 \text{ m}}{0,0199 \text{ m}} + \frac{0,0254 \text{ m} \cdot \ln \frac{0,0254 \text{ m}}{0,0199 \text{ m}}}{2 \cdot 14,3 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}} + 0,0002 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} + \frac{1}{5616,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}}$$

$$\frac{1}{U} = 0,00101453 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}}$$

$$U = 985,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

A.9.8. Área de intercambio necesaria

Una vez calculado el coeficiente global de transmisión de calor se puede calcular el área de intercambio requerida mediante la siguiente expresión:

$$Q = U \cdot A_{\text{int}} \cdot MTD \quad \text{Ec. A.9.12}$$

Despejando el área queda lo siguiente:

$$A_{\text{int}} = \frac{Q}{U \cdot MTD} = \frac{2133852,8 \text{ W}}{985,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \cdot 32,68 \text{ °C}} = 66,3 \text{ m}^2$$

A.9.9. Cálculo del número de tubos necesario y tamaño de la carcasa ó Shell ID

Para llevar a cabo este cálculo se va a recurrir a la siguiente expresión:

$$A_{\text{int}} = \pi \cdot d_o \cdot L \cdot N_T \quad \text{Ec. A.9.13}$$

El número de tubos (N_T) se obtendrá despejando de la ecuación anterior sabiendo que la longitud de tubos (L) es de 4,88 m y que el diámetro externo (d_o) se corresponde al valor de 0,0254 m:

$$N_T = \frac{66,3 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,0254 \text{ m} \cdot 4,88 \text{ m}} = 170,1 \text{ tubos}$$

Con un valor calculado de 170,1,2 tubos se comprueba en las tablas A.12.4 y A.12.5 del anexo 12 que para un tamaño de carcasa o Shell ID de 21 pulgadas con dos pasos por tubo, disposición triangular con 1,25 pulgadas de pitch y un diámetro de tubo de 1 pulgada, se obtiene un N_T en el cambiador de 192 tubos (valor estimado al principio), siendo el valor inmediatamente anterior de 19,25 pulgadas y dos pasos por tubo de 158 tubos, valor menor al necesario y por lo tanto no aceptable.

A.9.10. Diseño de los Deflectores

Para el cálculo del número de deflectores presentes en la carcasa se va a usar la siguiente ecuación:

$$N_{def} = \frac{L}{P_{def}} \quad \text{Ec. A.9.14}$$

Siendo:

L= Longitud de los tubos

P_{def} = Distancia entre deflectores.

Para saber a la distancia que deben situarse los deflectores se debe calcular la media entre la separación máxima permisible y la mínima.

Distancia mínima permisible

Esta distancia toma un valor 2 pulgadas en caso de que 2 pulgadas sean mayor a 1/5 del diámetro interior de la carcasa, en caso contrario se toma el valor de 1/5 del d_c , al ser éste último valor igual a 4,2 pulgadas, se toma como el valor de la distancia mínima permisible.

Distancia máxima permisible

Para el cálculo de esta distancia se va a hacer uso de la tabla A.12.6 del anexo 12. Con un diámetro exterior de tubos de 1 pulgada y para el material de construcción, se tiene un valor de 74 pulgadas (1880 mm)

Por lo tanto la distancia entre deflectores será la siguiente:

$$P_{def} = \frac{4,2 + 74}{2} = 39,1 \text{ in} = 993 \text{ mm}$$

El número de deflectores será:

$$N_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{0,993 \text{ m}} = 4,91$$

Se usarán por tanto seis deflectores en el cambiador.

$$N_{def} = 5$$

La distancia de los deflectores será finalmente:

$$P_{def} = \frac{4,88 \text{ m}}{5} = 0,97 \text{ m}$$

Espesor de los deflectores

Para un diámetro de carcasa de 21 pulgadas y un espaciamiento entre deflectores de 38,43 pulgadas se recurre a la tabla A.12.7 del anexo 12 encontrándose que el espesor recomendado es de 1/4 de pulgada (6,4 mm).

Diámetro de los deflectores

El diámetro de los deflectores deberá menor que el de la carcasa de manera que éste deje un segmento libre ó ventana de paso igual al 25% de d_c .

A.9.11. Diseño mecánico de los tubos del reboiler

Para ejecutar el diseño mecánico de los tubos se va a recurrir al Código ASME B31.3 "Process Piping":

Espesor por presión interna

Según el Código ASME B31.3 la expresión para el cálculo del espesor de los tubos sometidos a presión interna es la correspondiente a la ecuación A.9.15.

$$t = \left(\frac{P_D \cdot d_o}{2 \cdot (S \cdot E + P_D \cdot Y)} + C \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{M}{100} \right)} \right) \quad \text{Ec. A.9.15}$$

Siendo:

P_D = Presión de diseño (un 10% superior a la Presión de operación de 3200 kpa = 464 psi).

d_o = Diámetro externo del tubo (1 pulgada).

S = Tensión máxima admisible del Acero AISI TP316 a la temperatura máxima del fluido que circula por los tubos (Según tabla A.12.3 del anexo 12: $S=20000$ psi para una temperatura de 200 °F, valor inmediatamente superior al de la temperatura máxima en el interior del tubo de 130 °F).

E = Eficiencia de soldadura (Para tubos sin costura, la eficiencia de soldadura es igual a 1).

Y = Factor dado por la tabla A.12.8 del anexo 12. (Para aceros austeníticos y un temperatura inferior a 900 °F el valor de Y es igual a 0,4).

C = Margen de corrosión (En el caso de una vida media de operación de 15 años (Tabla A.12.18 anexo 12) y a razón de un desgaste por corrosión de cinco milésimas de pulgadas al año se toma como valor de $C=0,075$ pulgadas).

M = Tolerancia de fabricación (Toma un valor de 12,5% para la pared).

Sustituyendo los valores en la Ec. A.9.15 se obtiene lo siguiente:

$$t = \left(\frac{1,1 \cdot 464 \text{ psi} \cdot 1 \text{ in}}{2 \cdot (20000 \text{ psi} \cdot 1 + 1,1 \cdot 464 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,075 \text{ in} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{12,5}{100} \right)} \right)$$

$$t = 0,100 \text{ in} = 2,5 \text{ mm}$$

Por lo tanto al estar sometido el tubo únicamente a un esfuerzo por presión interna, el valor de espesor del tubo será el correspondiente al valor comercial inmediatamente superior al calculado en el apartado A.9.11., este será de 13 B.W.G (0,095 pulgadas).

A.9.12. Diseño mecánico de la carcasa

Para llevar a cabo este diseño se va a recurrir al Código ASME sección VIII div.1.

Al ser un recipiente cilíndrico horizontal sometido a presión interna, la ecuación a usar para el cálculo del espesor será la reflejada en la figura A.12.6 del anexo 12:

$$t_c = \frac{P_D \cdot r_c}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_D} + C \quad \text{Ec. A.9.16}$$

Siendo:

t_c = Espesor requerido para la carcasa.

E= Eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo 12 es igual a 0,85).

S= Tensión máxima admisible (20000 psi para el acero SA-240 AISI 316 (ver Tabla A.12.15 a 200 °F que es la temperatura inmediatamente superior a la máxima del fluido de la carcasa de 196 °F).

P_D = Presión de diseño (En este caso al ser el 1,1 veces la presión de trabajo menor a 30 psi, se tendrá que tomar el valor mínimo de presión de diseño de 30 psi).

C= Margen por corrosión (0,075 pulgadas como ya se postuló en el apartado anterior).

r_c = Radio interno de la carcasa ($r_c = d/2 = 10,5$ pulgadas)

Sustituyendo los valores se obtiene lo siguiente:

$$t_c = \frac{30 \text{ psi} \cdot 10,5 \text{ in}}{20000 \text{ psi} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 30} + 0,075 = 0,094 \text{ in} = 2,4 \text{ mm}$$

El espesor calculado es menor al mínimo exigido por el código para aceros inoxidables, por lo tanto habrá que calcularlo en función de la siguiente expresión:

$$t_{\min} = 2,5 \text{ mm} + C=2,5 \text{ mm} + 0,075 \text{ in} \cdot \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 4,41 \text{ mm}$$

El valor del espesor de la carcasa será el valor de espesor comercial inmediatamente superior al calculado anteriormente:

$$t_{\text{carcasa}} = 3/16 \text{ in (4,80 mm)}$$

A.9.13. Aislamiento del cambiador

Según la tabla A.12.9 del anexo 12 para una temperatura máxima de operación en la carcasa del equipo de 99,91 °C el espesor de la lana de roca será de 50 mm en la carcasa, siendo el espesor en la cabeza de entrada mayor, debido a que la temperatura del vapor es en este caso de 181,17 °C y por lo tanto el espesor del aislante será de 80 mm.

A.9.14. Pérdidas de carga

En este apartado se va a proceder a calcular las pérdidas de carga del fluido que pasa por los tubos así como del fluido que pasa por la carcasa.

A.9.14.1. Pérdida de carga del fluido que circula por los tubos

Para estimar la pérdida de carga se va a usar la ecuación de Fanning:

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{d_i \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.9.17}$$

Siendo:

f= Factor de fricción.

G= Velocidad másica del fluido que circula por los tubos.

d_i= Diámetro interno de los tubos (0,0199 m).

L= Longitud de los tubos (4,88 m).

ρ= Densidad media del fluido que circula por los tubos (5,31 kg/m³).

Cálculo de f

Para el cálculo del factor de fricción f es necesario conocer el número de Reynolds a partir de la velocidad másica como se calculó ya en el apartado A.9.7:

$$G = \frac{4 \cdot 10,24 \frac{kg}{s} \cdot 192}{\pi \cdot 0,0199^2 m^2 \cdot 2} = 344,26 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$Re = \frac{0,0199 m \cdot 344,26 \frac{kg}{m^2 \cdot s}}{1,084 \cdot 10^{-5} Pa \cdot s} = 6,31 \cdot 10^5$$

Con este Re se recurre al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material de 0,0001 se obtiene un valor de f=0,014.

Ahora se pueden sustituir todos los datos en la ecuación A.9.17:

$$\Delta P = \frac{0,014 \cdot \left(344,26 \frac{kg}{m^2 \cdot s} \right)^2 \cdot 4,88 m}{0,0199 m \cdot 5,31 \frac{kg}{m^3}} = 76758,9 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 0,768 \text{ bar}$$

Según la tabla A.12.10 del anexo 12 una pérdida normal de presión para sistemas de alta presión puede ser de 0,35 a 0,7 bar, en el presente caso se obtiene una pérdida ligeramente por encima del rango lo cual no supone ningún problema y por lo tanto el diseño del cambiador es admisible.

A.9.14.2. Pérdida de carga del fluido que circula por la carcasa

Se va a usar la siguiente expresión del método CERN:

$$\Delta P = \frac{f \cdot Gc^2 \cdot (N_{def} + 1) \cdot d_c}{d_{eq} \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.9.18}$$

Siendo:

f= Factor de fricción.

Gc= Velocidad másica del fluido que circula por la carcasa.

d_c = Diámetro de la carcasa (21 pulgadas = 0,533 m).

ρ = Densidad media del fluido que circula por la carcasa (817,87 kg/m³).

N_{def} = Número de deflectores (5).

d_{eq} = Diámetro equivalente.

Cálculo de f

Se necesita conocer el Re y por lo tanto se procede exactamente igual que en el apartado A.9.7 para el caso del fluido que circula por la carcasa:

$$G_c = \frac{4 \cdot 37,60 \frac{kg}{s}}{\pi \cdot (0,533^2 m^2 - 192 \cdot 0,0254^2 m^2)} \cdot 1,25 = 238,38 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$Re = \frac{0,533 m \cdot 238,38 \frac{kg}{m^2 \cdot s}}{3,400 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s} = 3,74 \cdot 10^5$$

Ahora se acude al gráfico de Moody (Figura A.12.3 Anexo 12) y junto con una rugosidad relativa para el material de 0,000004 se obtiene un valor de $f=0,014$.

Cálculo de d_{eq}

Para el cálculo del diámetro equivalente se va a hacer uso de la siguiente expresión:

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{Pitch^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{d_o^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{d_o}{2}} \right) \quad \text{Ec. A.9.19}$$

$$d_{eq} = 4 \cdot \left(\frac{\left(4 \cdot \frac{(1,25 \text{ in} \cdot 0,0254 (m / \text{in}))^2}{2} \right) - \left(\pi \cdot \frac{0,0254^2 m^2}{8} \right)}{\pi \cdot \frac{0,0254 m}{2}} \right)$$

$$d_{eq} = 0,109 \text{ m}$$

Ahora ya se puede proceder al cálculo de la variación de presión en la carcasa:

$$\Delta P = \frac{0,013 \cdot \left(238,38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)^2 \cdot (5+1) \cdot 0,533 \text{ m}}{0,109 \text{ m} \cdot 817,87 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\Delta P = 28,47 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 2,85 \cdot 10^{-4} \text{ bar}$$

La pérdida de presión en la carcasa del fluido que circula por la misma es prácticamente despreciable.

ANEXO 10: DISEÑO DE LOS DEPÓSITOS DE PRODUCTO (Tanques 1 y 2)

A.10.1. Introducción

Para el presente proceso se va a requerir de un tanque de almacenamiento cilíndrico de disposición vertical y fondo plano, el techo del tanque será flotante cubierto ya que como se explica en la memoria descriptiva es el tipo de tanque adecuado para el fluido que va a contener.

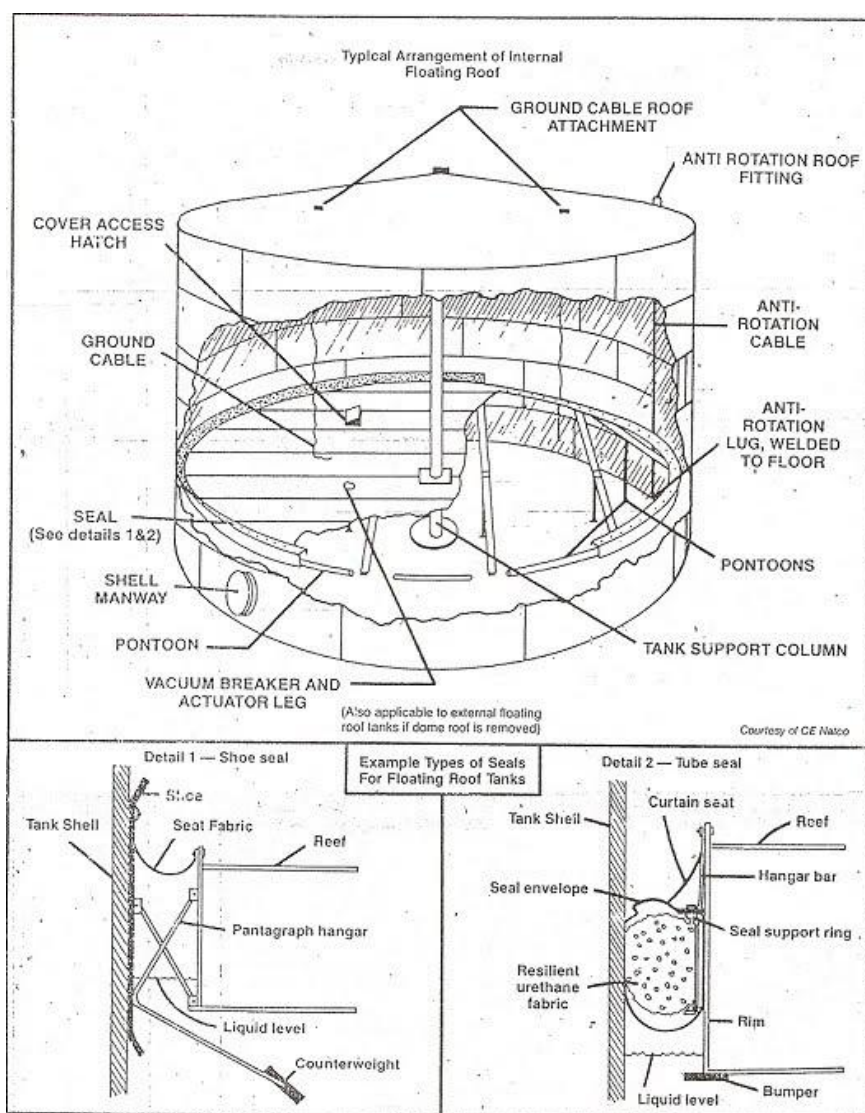


Figura A.10.1 Esquema de tanque de techo flotante cubierto

A este tanque entra la corriente C-27 y tendrá una salida en dirección a la planta de benceno (que no es objeto del presente proyecto fin de carrera), para el cálculo del mismo se debe considerar que el tanque se mantiene constantemente al 50% de su capacidad, siendo el volumen útil del tanque aquél que satisface el caudal de un día de proceso.

A.10.2. Dimensionamiento del tanque

La corriente C-27 presenta las siguientes características:

Tabla A.10.1 Datos de la corriente C-29

Temperatura (°C)	60
Presión absoluta (bar)	1,2
Presión de vapor (bar)	0,36
Densidad (kg/m ³)	834,398
Caudal Molar (kmol/h)	1583,507
Caudal volumétrico (m ³ /h)	162,203

Conociendo el caudal volumétrico y sabiendo que se va a calcular el volumen del tanque en función de un día de operación, se puede saber el volumen total del tanque:

$$V_{\text{tanque}} = \frac{162,203 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 24 \text{ h}}{0,5} = 7785,68 \text{ m}^3 \text{ (2056757,81 U.S. Gal)}$$

Este volumen es el que se necesita, ahora se procede a buscar el volumen según la norma API 650 que se ajuste mejor al calculado, para esto se va a recurrir a la tabla A.10.2.

Como se aprecia en la tabla, el tanque que mejor se aproxima para el volumen calculado anteriormente es el de 100 pies de diámetro por 40 pies de altura.

Tabla A.10.2 Tanques verticales según norma API 650

c. Large Vertical, API Standard			
Dimensions		Capacity	
Diameter	Height	42 gal per bbl	U.S. Gal
21'0"	18'0 ³ / ₄ "	1,114	46,788
24'0"	24'0"	1,933	81,186
30'0"	24'0"	3,024	127,008
30'0"	29'11 ¹ / ₄ "	3,769	158,300
30'0"	35'10 ¹ / ₂ "	4,510	189,420
30'0"	37'10 ¹ / ₄ "	4,766	200,161
30'0"	41'9 ³ / ₄ "	5,264	221,088
40'0"	33'10 ³ / ₄ "	7,586	318,612
50'0"	47'9"	16,700	701,400
60'0"	39'10"	20,054	842,268
70'0"	40'1"	27,472	1,153,824
100'0"	40'0"	55,960	2,350,320
150'0"	48'0"	151,076	6,345,192

Por lo tanto el volumen disponible en el tanque será de:

$$V_{\text{tanque}} = 2350320 \text{ U.S Gal } (8896,93\text{m}^3)$$

Como medida de contención se dispondrá de otro tanque de las mismas características que el calculado anteriormente.

A.10.3. Diseño mecánico del tanque

Cálculo del espesor de la cubierta

Se debe calcular la presión de diseño del recipiente, ésta según el código ASME Sección VIII div.1 10% superior a la de trabajo o como mínimo debe tener un valor de 30 psi (2,06 bar), para la presión de trabajo se va a considerar el caso más desfavorable del recipiente, que sería el fondo del mismo estando a su máxima capacidad:

$$P_{trab} = P_{abs} + P_{H_{liq}} = 1,2 \text{ bar} + \left(834,398 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 12,192 \text{ m} \right) \cdot \frac{1 \text{ bar}}{100000 \text{ Pa}} = 2,198 \text{ bar}$$

$$P_{dis} = 1,1 \cdot 2,198 = 2,42 \text{ bar} = 35,1 \text{ psi}$$

El espesor de la cubierta de un cuerpo cilíndrico sometido a presión interna se calcula mediante la siguiente expresión (Ver tabla Anexo 5):

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{Ec. A.10.1}$$

Siendo:

P: Presión de diseño (35,1 psi).

R: Radio externo del recipiente (600 in).

S: Máximo esfuerzo permisible del material a la temperatura de diseño [S para Acero inoxidable Sa-240 316 a 80°C (Se toma el valor para 200 °F de la tabla A.12.15 del anexo 12): 20000 psi].

E: Eficiencia de soldadura (Para soldaduras de tipo 1 radiografiadas por zonas la eficiencia de soldadura según la tabla A.12.19 del anexo 12 es igual a 0,85).

C: Sobre-espesor por corrosión (Para una vida útil de 10 años y una pérdida de espesor de 0,005 pulgadas/año el valor de C es de 0,075 in = 1,27 mm).

$$t = \frac{35,1 \text{ psi} \cdot 600 \text{ in}}{20000 \text{ psi} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 35,1 \text{ psi}} + 0,005 = 1,256 \text{ in}$$

Se tomará como valor de espesor como el espesor comercial inmediatamente superior al calculado, siendo este de 1,5 pulgadas, por lo tanto:

$$t = 38,10 \text{ mm}$$

Cálculo del espesor del fondo

El fondo del tanque de almacenamiento consiste en una chapa plana, pegada directamente a la carcasa, para tener un espesor homogéneo se opta por tomar el mismo espesor:

$$t = 38,10 \text{ mm}$$

Cálculo del espesor del techo

El techo superior tiene una doble misión de proteger la pantalla flotante del depósito, y de evitar en caso de fallo de la pantalla flotante que salgan vapores del producto a la atmósfera.

El espesor del techo será igual que el de la envolvente por los mismos motivos que se expusieron en el apartado anterior.

$$t = 38,10 \text{ mm}$$

Cálculo del espesor de la pantalla flotante interna

El diseño más aconsejable para el presente servicio es el de una pantalla flotante metálica de pontón.

Para techos flotantes de acero inoxidable la norma API 650 requiere que el espesor sea de 1,2 mm.

A este espesor hay que añadirle el calculado previamente por corrosión (1,27 mm) por lo tanto:

$$t = 2,47 \text{ mm}$$

Se tomará el valor comercial inmediatamente superior al calculado, este se corresponde con un BWG 12:

$$t = 2,76 \text{ mm}$$

A.10.4. Cálculo de las dimensiones del cubeto de retención

Por norma los tanques deben ir situados en un recinto acotado por un cubeto de retención, tal que el volumen retenido por dicho cubeto sea igual al volumen del tanque mayor presente en su interior, esto se hace para evitar un posible derrame descontrolado ante el fallo de un tanque.

Según las especificaciones de CEPSA la distancia mínima de un tanque al cubeto es igual a la altura del tanque más alto, siendo la distancia mínima entre cada tanque igual al diámetro del tanque que mayor volumen dispone dentro del cubeto.

Conociendo esto y sabiendo que el diámetro de los dos tanques es idéntico e igual a 100 pies (30,48 m), que la altura es igual a 40 pies

(12,192 m) y que el cubeto es cuadrado, se pueden calcular las distintas dimensiones del mismo:

$$L=L_{\text{cubeto a Tanque 1}}+D_{\text{Tanque 1}}+L_{\text{Tanque 1 a 2}}+D_{\text{Tanque 2}}+L_{\text{Cubeto a Tanque 2}}$$

$$L = 30,48 \text{ m} \cdot 3 + 12,192 \text{ m} \cdot 2 = 115,824 \text{ m}$$

El área del cubeto se calcula multiplicando un lado por otro lado, ya que este es de forma cuadrada:

$$A=L^2$$

$$A = 128,44^2 \text{ m}^2 = 13415,19898 \text{ m}^2$$

El la altura se calcula sabiendo que es igual al volumen del recipiente dividido por su sección:

$$H = \frac{8896,93 \text{ m}^3}{13415,19898 \text{ m}^2} = 0,663 \text{ m}$$

Por especificaciones de CEPESA la altura mínima del cubeto de retención debe ser de un metro y por lo tanto se construirá un cubeto de 116 metros de lado por 1 metro de alto.

ANEXO 11: DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS, BOMBAS Y ACCESORIOS

A.11.1. Introducción

En el presente apartado del anexo se va a proceder a dimensionar el sistema de tuberías que son objeto de este proyecto, calculando en función del fluido que circula por cada sección, el diámetro óptimo, el espesor adecuado y la pérdida de carga que sufre cada línea de tubería.

Las pérdidas de carga irán en función de la propia longitud de la tubería y de sus cambios de altura, así como también habrá que considerar la cantidad de accesorios presente en cada conducción de tubería, debido a esto habrá que estimar si las pérdidas de carga son admisibles o hay que suministrar presión mediante el uso de un sistema de bombeo.

A.11.2. Diseño mecánico e hidrodinámico de las tuberías

Para llevar a cabo este apartado se va a seguir de la siguiente manera:

- ***Cálculo preliminar del diámetro interior***

Para determinar este diámetro se va a usar la siguiente expresión:

$$v = \frac{Q}{\pi \cdot r^2} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{d_i^2}{4}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_i^2} \quad \text{Ec. A.11.1}$$

Dónde:

v = velocidad tabulada del fluido por el interior de la tubería (m/s).

Q = caudal volumétrico del fluido que circula por el interior de la tubería (m³/s).

d_i = diámetro interno de la tubería (m).

La velocidad del fluido se obtendrá de las tablas A.12.14 y A.12.15.

De la ecuación anterior se puede despejar el diámetro, obteniendo la siguiente:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad \text{Ec. A.11.2}$$

Una vez obtenido ese diámetro se recurre a las tablas del anexo 12 A.12.23 y A.12.34 y se selecciona un diámetro comercial inmediatamente superior al que se ha calculado con lo cual ya se está en condiciones de seguir al próximo punto.

- ***Cálculo del diámetro interior real de la tubería***

Para calcular este diámetro se debe conocer el espesor de pared de tubería necesario para el servicio. Este espesor mínimo viene dado por el código ASME B.31.3 y la expresión para su cálculo es la siguiente:

$$t = \left(\frac{P_D \cdot d_o}{2 \cdot (S \cdot E + P_D \cdot Y)} + C \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{M}{100} \right)} \right) \quad \text{Ec. A.11.3}$$

Siendo:

P_D = Presión de diseño (un 10% superior a la Presión de operación).

d_o = Diámetro externo de la tubería.

S = Tensión máxima admisible del material a la temperatura máxima del fluido que circula por la tubería.

E = Eficiencia de soldadura (Para tuberías son costura, la eficiencia de soldadura es igual a 1).

Y = Factor dado por la tabla A.12.8 del anexo 12.

C = Margen de corrosión (En el caso de una vida media de operación de 15 años (Tabla A.12.18 anexo 12) y a razón de un desgaste por corrosión de cinco milésimas de pulgadas al año se toma como valor de $C=0,075$ pulgadas).

M = Tolerancia de fabricación (Toma un valor de 12,5% para la pared).

Conocido este espesor, se recurre a las tablas A.12.23 y A.12.24 para llevar a cabo la selección de la tubería con un diámetro interior correspondiente al de la tubería con un espesor inmediatamente superior al calculado.

- ***Cálculo de la velocidad real del fluido***

Una vez se obtiene el diámetro interno real de la tubería se usa la ecuación A.11.1 para calcular la velocidad real del fluido, siendo en este caso $D=d_i$.

- ***Cálculo de la pérdida de carga del fluido por metro de tubería***

Para saber si es admisible la tubería se debe comprobar la pérdida de carga por metro de tubería, estando sus valores normales tabulados en la tabla A.12.14. Para llevar a cabo este cálculo se va a proceder de manera similar a como se han calculado en los anexos de los intercambiadores de calor, esto requiere el uso de las siguientes expresiones:

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{d_i \cdot \rho} \quad \text{Ec. A.11.4}$$

$$\text{Re} = \frac{d_i \cdot G}{\mu} \quad \text{Ec. A.11.5}$$

$$G = \rho \cdot v \quad \text{Ec. A.11.6}$$

Siendo:

d_i = Diámetro interno de la tubería.

G = Velocidad másica del fluido que circula por el interior de la tubería ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

μ = Viscosidad del fluido que circula por la tubería.

f = Factor de fricción.

L = Longitud unitaria de tubería (1 m).

ρ = Densidad del fluido que circula por la tubería (kg/m^3).

v = velocidad del fluido en el interior de la tubería.

ΔP = Variación de presión por metro de tubería (Pa/m).

Obtenida la variación de presión por metro de tubería se puede saber si es aceptable el diseño considerado.

Explicado el método a seguir se va a empezar a diseñar cada tubería del proceso.

Tubería C-1.1

Esta tubería es la que conduce la salida de la planta de reacción hasta la entrada a tubos del intercambiador la Te-1.

Del balance de materia del anexo 1 y de las propiedades obtenidas a parti rdel simulador se va a proceder a la resolución de cada una de las ecuaciones consideradas antes.

Cálculo preliminar del diámetro interior

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,474 \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot 30 \frac{m}{s}}} = 0,482m = 18,97 \text{ in}$$

El diámetro normalizado inmediatamente superior al calculado corresponde a 20 pulgadas.

Cálculo del diámetro interior real de la tubería

$$t_{\min} = \left(\frac{P_D \cdot d_o}{2 \cdot (S \cdot E + P_D \cdot Y)} + C \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{M}{100} \right)} \right)$$

Los valores de las distintas variables son los siguientes:

$$P_D = 1,1 \cdot 507,63 \text{ psi.}$$

$$d_o = 20 \text{ in.}$$

$$S = 10800 \text{ psi (Acero AISI TP316L a } 1050 \text{ °F).}$$

$$E = 1.$$

$$Y = 0,4 \text{ (Aceros austeníticos hasta } 1050 \text{ °F).}$$

$$C = 0,075 \text{ in.}$$

$$M = 12,5.$$

$$t_{\min} = \left(\frac{1,1 \cdot 507,63 \text{ psi} \cdot 20 \text{ in}}{2 \cdot (10800 \text{ psi} \cdot 1 + 507,63 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,075 \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{12,5}{100} \right)} \right) = 0,664 \text{ in}$$

El espesor inmediatamente superior al mínimo calculado para una tubería con un diámetro externo de 20 pulgadas es según la tabla A.12.X de 0,75 pulgadas, siendo el correspondiente a un diámetro interno de tubería de 18,5 pulgadas, por lo tanto:

$$d_i = 18,5 \text{ in} = 0,469 \text{ m}$$

Cálculo de la velocidad real del fluido

Conocido el diámetro interno real, la velocidad del fluido es la siguiente:

$$v = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{d_i^2}{4}} = \frac{4 \cdot 5,474 \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot 0,469^2 m^2} = 31,57 \frac{m}{s}$$

Cálculo de la pérdida de carga del fluido por metro de tubería

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{d_i \cdot \rho}$$

$$Re = \frac{d_i \cdot G}{\mu}$$

$$G = \rho \cdot v$$

Del simulador se obtienen los valores necesarios de densidad y viscosidad:

$$G = \rho \cdot v = 8,791 \frac{kg}{m^3} \cdot 31,57 \frac{m}{s} = 277,45 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$Re = \frac{d_i \cdot G}{\mu} = \frac{0,469 \text{ m} \cdot 277,45 \frac{kg}{m^2 \cdot s}}{2,22 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot s} = 5,87 \cdot 10^6$$

Con este valor del Reynolds y una rugosidad absoluta de 0,000004 se acude al gráfico de Moody (Figura A.12.3 del anexo 12) obteniéndose un factor $f=0,009$.

Por lo tanto:

$$\Delta P = \frac{0,009 \cdot \left(277,45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)^2 \cdot 1 \text{ m}}{0,469 \text{ m} \cdot 8,791 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 167,75 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 167,75 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 0,1678 \frac{\text{kPa}}{\text{m}_{\text{tub}}}$$

Como se puede ver la pérdida de carga por metro de tubería es admisible.

Ahora se va a proceder a la realización de tablas resúmenes de las distintas tuberías, se empieza con la tubería C-1 ya que es la conducción que lleva la alimentación al sistema hasta la entrada de carcasa del intercambiador de calor Ev-1:

Tabla A.11.1 Tubería C-1

Tª trabajo (°F)	1000
Presión de trabajo (psi)	507,63
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316L</i>
S (psi)	10800
Y	0,4
Presión diseño (psi)	558,39
Velocidad admisible (m/s)	30,00
Q tubería (m ³ /s)	5,47
Diámetro inicial (m)	0,482
Diámetro inicial (in)	18,977
Diámetro exterior (in)	20,000
t _{min} (in)	0,664
t _{pared} (in)	0,750
Diámetro exterior (m)	0,508
Diámetro interior (in)	18,500
Diámetro interior (m)	0,470
Velocidad real (m/s)	31,57

Tabla A.11.1 Cont.

Pérdida de carga	
G ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	277,45
Viscosidad ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	0,0000222
Densidad (kg/m^3)	8,79
Diámetro interno (m)	0,47
Re	$5,87 \cdot 10^6$
Rugosidad relativa	0,000004
f	0,01
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	167,75
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00168
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,1677
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,7

A partir de ahora para cada tubería se dispondrá de la tabla con las características descritas.

Tubería C-02

Esta tubería lleva el agua de condensado de alta presión desde el colector de la refinería hasta la entrada a carcasa del intercambiador Ev-01.

Tabla A.11.2 Tubería C-2

Tª trabajo (°F)	498
Presión de trabajo (psi)	668,5
Material de la tubería	<i>Acero al carbono A.285 Gr B</i>
S (psi)	16000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	735,35
Velocidad admisible (m/s)	1
Q tubería (m^3/s)	0,0348
Diámetro inicial (m)	0,210
Diámetro inicial (in)	8,282
Diámetro exterior (in)	8,625
t_{\min} (in)	0,308
t_{pared} (in)	0,322
Diámetro exterior (m)	0,219
Diámetro interior (in)	7,981
Diámetro interior (m)	0,203

Tabla A.11.2 Cont.

Velocidad real (m/s)	1,08
Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	277,45
Viscosidad (Pa·s)	0,0001034
Densidad (kg/m ³)	780,324
Diámetro interno (m)	0,203
Re	1,65·10 ⁶
Rugosidad relativa	0,00022
f	0,015
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	66,97
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00067
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,067
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,5

Tubería C-3

Esta conducción lleva la salida de tubos del intercambiador Ev-1 hasta la entrada de tubos del intercambiador Ev-2

Tabla A.11.3 Tubería C-3

Tª trabajo (°F)	514,4
Presión de trabajo (psi)	50
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316L</i>
S (psi)	13500
Y	0,4
Presión diseño (psi)	551,12
Velocidad admisible (m/s)	30,00
Q tubería (m ³ /s)	3,65
Diámetro inicial (m)	0,394
Diámetro inicial (in)	15,503
Diámetro exterior (in)	16
t _{min} (in)	0,453
t _{pared} (in)	0,5
Diámetro exterior (m)	0,406
Diámetro interior (in)	15
Diámetro interior (m)	0,381
Velocidad real (m/s)	32,05

Tabla A.11.3 Cont.

Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	422,03
Viscosidad (Pa·s)	0,0000165
Densidad (kg/m ³)	13,17
Diámetro interno (m)	0,381
Re	9,73·10 ⁶
Rugosidad relativa	0,000005
f	0,0085
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	301,75
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,003
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,302
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,7

Tubería C-4

Esta conducción lleva la salida de vapor del intercambiador Ev-1 (carcasa) hasta el colector de alta presión de la refinería

Tabla A.11.4 Tubería C-4

T ^a trabajo (°F)	498
Presión de trabajo (psi)	668,5
Material de la tubería	<i>Acero al carbono A.285 Gr B</i>
S (psi)	16000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	735,35
Velocidad admisible (m/s)	10
Q tubería (m ³ /s)	1,207
Diámetro inicial (m)	0,392
Diámetro inicial (in)	15,43
Diámetro exterior (in)	16
t _{min} (in)	0,498
t _{pared} (in)	0,625
Diámetro exterior (m)	0,406
Diámetro interior (in)	14,75
Diámetro interior (m)	0,375
Velocidad real (m/s)	10,95

Tabla A.11.4 Cont.

Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	246,04
Viscosidad (Pa·s)	0,0000194
Densidad (kg/m ³)	22,476
Diámetro interno (m)	0,375
Re	4,75·10 ⁶
Rugosidad relativa	0,00012
f	0,012
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	86,26
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00086
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,086
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,8

Tubería C-5

Esta conducción lleva el agua de condensado de media presión desde el colector de refinería hasta la entrada de carcasa del intercambiador de calor Ev-2.

Tabla A.11.5 Tubería C-5

T ^a trabajo (°F)	358
Presión de trabajo (psi)	149,4
Material de la tubería	<i>Acero al carbono A.285 Gr B</i>
S (psi)	16000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	164,33
Velocidad admisible (m/s)	1
Q tubería (m ³ /s)	0,00635
Diámetro inicial (m)	0,090
Diámetro inicial (in)	3,54
Diámetro exterior (in)	4
t _{min} (in)	0,109
t _{pared} (in)	0,12
Diámetro exterior (m)	0,102
Diámetro interior (in)	3,76
Diámetro interior (m)	0,096
Velocidad real (m/s)	0,89

Tabla A.11.5 Cont.

Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	784,38
Viscosidad (Pa·s)	0,000147
Densidad (kg/m ³)	885,5
Diámetro interno (m)	0,096
Re	5,10·10 ⁵
Rugosidad relativa	0,00047
f	0,017
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	123,68
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00124
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,124
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,5

Tubería C-6

Esta conducción lleva la salida de tubos el intercambiador de calor Ev-2 hasta la entrada de tubos del intercambiador de calor Ev-3.

Tabla A.11.6 Tubería C-6

T ^a trabajo (°F)	373,8
Presión de trabajo (psi)	488,28
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316L</i>
S (psi)	15500
Y	0,4
Presión diseño (psi)	537,1
Velocidad admisible (m/s)	30
Q tubería (m ³ /s)	3,182
Diámetro inicial (m)	0,368
Diámetro inicial (in)	14,47
Diámetro exterior (in)	16
t _{min} (in)	0,398
t _{pared} (in)	0,5
Diámetro exterior (m)	0,406
Diámetro interior (in)	15
Diámetro interior (m)	0,381
Velocidad real (m/s)	27,91

Tabla A.11.6 Cont.

Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	422,03
Viscosidad (Pa·s)	0,0000149
Densidad (kg/m ³)	15,12
Diámetro interno (m)	0,381
Re	1,8·10 ⁷
Rugosidad relativa	0,000005
f	0,0085
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	262,81
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00263
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,263
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,7

Tubería C-7

Esta conducción lleva el vapor de media presión desde la salida de carcasa del intercambiador Ev-2 hasta la red de vapor de media presión de refinería.

Tabla A.11.7 Tubería C-7

T trabajo (°F)	358
Presión de trabajo (psi)	149,4
Material de la tubería	<i>Acero al carbono A.285 Gr B</i>
S (psi)	16000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	164,33
Velocidad admisible (m/s)	10
Q tubería (m ³ /s)	1,09
Diámetro inicial (m)	0,372
Diámetro inicial (in)	14,64
Diámetro exterior (in)	16
t _{min} (in)	0,179
t _{pared} (in)	0,25
Diámetro exterior (m)	0,406
Diámetro interior (in)	15,5
Diámetro interior (m)	0,394
Velocidad real (m/s)	8,93

Tabla A.11.7 Cont.

Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	46,36
Viscosidad (Pa·s)	0,0000156
Densidad (kg/m ³)	5,2
Diámetro interno (m)	0,394
Re	1,17·10 ⁶
Rugosidad relativa	0,0001
f	0,013
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	13,67
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00014
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,014
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,2

Tubería C-8

Esta conducción lleva agua de condensado de baja presión desde el colector de refinería hasta la entrada a carcasa del intercambiador Ev-3.

Tabla A.11.8 Tubería C-8

Tª trabajo (°F)	211,33
Presión de trabajo (psi)	14,5
Material de la tubería	<i>Acero al carbono A.285 Gr B</i>
S (psi)	16000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	30
Velocidad admisible (m/s)	1
Q tubería (m ³ /s)	0,0091
Diámetro inicial (m)	0,107
Diámetro inicial (in)	4,23
Diámetro exterior (in)	4,5
t _{min} (in)	0,09
t _{pared} (in)	0,12
Diámetro exterior (m)	0,114
Diámetro interior (in)	4,26
Diámetro interior (m)	0,108
Velocidad real (m/s)	0,986

Tabla A.11.8 Cont.

Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	994,87
Viscosidad (Pa·s)	0,000282
Densidad (kg/m ³)	885,5
Diámetro interno (m)	0,108
Re	3,65·10 ⁵
Rugosidad relativa	0,00041
f	0,017
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	146,41
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,0015
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,146
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,5

Tuberías C-9, C-11 y C-12.2

Estas conducciones son las encargadas de lleva la salida de tubos el intercambiador de calor Ev-3 hasta la entrada de tubos del intercambiador de calor Reb-1, presentando una Te para poder hacer un bypass a la corriente en caso de ser necesario.

Tabla A.11.9 Tuberías C-9, C-11 y C-12.2

T ^a trabajo (°F)	230
Presión de trabajo (psi)	488,28
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	545,4
Velocidad admisible (m/s)	9,4
Q tubería (m ³ /s)	2,414
Diámetro inicial (m)	0,572
Diámetro inicial (in)	22,51
Diámetro exterior (in)	24
t _{min} (in)	0,528
t _{pared} (in)	0,562
Diámetro exterior (m)	0,610
Diámetro interior (in)	22,876
Diámetro interior (m)	0,581
Velocidad real (m/s)	9,1

En esta conducción presenta dos fases, y por lo tanto la estimación de la pérdida de carga es más complicada, y por ello se va a usar el simulador para el cálculo de la misma, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla A.11.10 Pérdida de carga tuberías C-9, C-11 y C-12.2

Stream Properties:	
- - Overall - -	
Mass flow kg/h	173214.0838
Actual dens kg/m3	19.9276
- - Vapor only - -	
Mass flow kg/h	80784.5601
Actual dens kg/m3	9.4258
Visc Pa-sec	0.0000
- - Liquid only - -	
Mass flow kg/h	92429.5236
Actual dens kg/m3	760.3431
Visc Pa-sec	0.0002
Pipe Parameters:	
	Calculated
Schedule	
Flow Regime	Annular
Pipe ID in	22.8764
Nominal Dia. in	22.8764
- - Overall - -	
Press Drop psi/100ft	0.0480
Velocity m/sec	9.1000

Por lo tanto:

Tabla A.11.11 Pérdida de carga tuberías C-9, C-11 y C-12.2

Pérdida de carga (psi/100ft)	<i>0,0480</i>
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	<i>10,86</i>
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	<i>0,00011</i>
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	<i>0,109</i>
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	<i>0,7</i>

Tubería C-10

Esta conducción lleva el vapor de baja presión desde la salida de carcasa del intercambiador Ev-3 hasta el colector de vapor de baja de la refinería.

Tabla A.11.12 Tubería C-10

T ^a trabajo (°F)	<i>211,3</i>
Presión de trabajo (psi)	<i>14,5</i>
Material de la tubería	<i>Acero al carbono A.285 Gr B</i>
S (psi)	<i>16000</i>

Tabla A.11.12 Cont.

Y	0,4
Presión diseño (psi)	30
Velocidad admisible (m/s)	10
Q tubería (m ³ /s)	14,82
Diámetro inicial (m)	1,37
Diámetro inicial (in)	54,07
Diámetro exterior (in)	24
t _{min} (in)	0,111
t _{pared} (in)	0,25
Diámetro exterior (m)	0,609
Diámetro interior (in)	23,5
Diámetro interior (m)	0,596
Velocidad real (m/s)	52,96
Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	31,05
Viscosidad (Pa·s)	0,0000156
Densidad (kg/m ³)	0,5864
Diámetro interno (m)	0,596
Re	1,18·10 ⁶
Rugosidad relativa	0,00008
f	0,013
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	35,82
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00036
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,0358
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,02

En este caso la pérdida de carga es superior a la admisible, pero al ser el diámetro exterior máximo de una tubería en refinería de 24 pulgadas, se tomará esta sección por válida.

Tubería C-12 y C-12.1

Estas conducciones son las encargadas de llevar la salida de tubos del intercambiador de calor Reb-1 hasta la entrada de carcasa del condensador parcial Cond-1. Para el diseño de la misma se va a optar por considerar que el bypass de la sección C-12.2 está cerrado, ya que es la operación más normal de la planta.

Tabla A.11.13 Tuberías C-12 y C-12.1

Tª trabajo (°F)	198
Presión de trabajo (psi)	476,5
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	524,2
Velocidad admisible (m/s)	9,4
Q tubería (m³/s)	2,307
Diámetro inicial (m)	0,559
Diámetro inicial (in)	22,01
Diámetro exterior (in)	24
t _{min} (in)	0,441
t _{pared} (in)	0,500
Diámetro exterior (m)	0,609
Diámetro interior (in)	23
Diámetro interior (m)	0,584
Velocidad real (m/s)	8,606

En estas conducciones se presenta el problema de que existen dos fases, y por lo tanto la estimación de la pérdida de carga es más complicada, y por ello se va a usar el simulador para calcular la misma, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla A.11.14 Pérdida de carga tuberías C-12 y C-12.1

Stream Properties:	
- - Overall - -	
Mass flow kg/h	173214.0483
Actual dens kg/m3	20.8567
- - Vapor only - -	
Mass flow kg/h	63115.7553
Actual dens kg/m3	7.7313
Visc Pa-sec	0.0000
- - Liquid only - -	
Mass flow kg/h	110098.2931
Actual dens kg/m3	779.1403
Visc Pa-sec	0.0002
Pipe Parameters:	
	Calculated
Schedule	
Flow Regime	Annular
Pipe ID in	22.9939
Nominal Dia. in	22.9939
- - Overall - -	
Press Drop psi/100ft	0.0387
Velocity m/sec	8.6060

Por lo tanto:

Tabla A.11.15 Pérdida de carga tuberías C-12 y C-12.1

Pérdida de carga (psi/100ft)	0,0387
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	8,75
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,000088
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,00875
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	-

Tubería C-13

Esta conducción lleva agua de refrigeración de 7° C desde el colector de refinería hasta la entrada a tubos del intercambiador Cond-1.

Tabla A.11.16 Tubería C-13

T ^a trabajo (°F)	44,6
Presión de trabajo (psi)	36,3
Material de la tubería	<i>Acero al carbono A.285 Gr B</i>
S (psi)	16000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	39,9
Velocidad admisible (m/s)	3
Q tubería (m ³ /s)	0,629
Diámetro inicial (m)	0,517
Diámetro inicial (in)	20,34
Diámetro exterior (in)	20
t _{min} (in)	0,115
t _{pared} (in)	0,25
Diámetro exterior (m)	0,508
Diámetro interior (in)	19,5
Diámetro interior (m)	0,495
Velocidad real (m/s)	3,26
Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	3262,43
Viscosidad (Pa·s)	0,00142
Densidad (kg/m ³)	999,6149
Diámetro interno (m)	0,495
Re	1,13·10 ⁶
Rugosidad relativa	0,0001
f	0,013

Tabla A.11.16 Cont.

Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	279,46
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,0028
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,279
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,5

Tuberías C-14.1 y C-14.2

Esta conducciones son simétricas y llevan la salida de carcasa (que en el intercambiador Cond-1 es doble) hasta la Te-3 donde se unen para formar la corriente C-16.

Tabla A.11.17 Tuberías C-14.1 y C-14.2

Tª trabajo (°F)	60,8
Presión de trabajo (psi)	485,3
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316L</i>
S (psi)	16700
Y	0,4
Presión diseño (psi)	534
Velocidad admisible (m/s)	9,4
Q tubería (m ³ /s)	0,903
Diámetro inicial (m)	0,350
Diámetro inicial (in)	13,77
Diámetro exterior (in)	14
t _{min} (in)	0,338
t _{pared} (in)	0,375
Diámetro exterior (m)	0,356
Diámetro interior (in)	13,25
Diámetro interior (m)	0,337
Velocidad real (m/s)	10,15

En esta conducción se vuelven a dar las dos fases, y por ello se va a usar el simulador para calcular la pérdida de carga, los resultados se muestran en la tabla A.11.18.

Tabla A.11.18 Pérdida de carga tuberías C-14.1 y C-14.2

Stream Properties:	
- - Overall - -	
Mass flow kg/h	86607.1517
Actual dens kg/m3	26.6548
- - Vapor only - -	
Mass flow kg/h	18392.2174
Actual dens kg/m3	5.8053
Visc Pa-sec	0.0000
- - Liquid only - -	
Mass flow kg/h	68215.0000
Actual dens kg/m3	842.0020
Visc Pa-sec	0.0005
Pipe Parameters:	
	Calculated
Schedule	
Flow Regime	Annular
Pipe ID in	13.2434
Nominal Dia. in	13.2434
- - Overall - -	
Press Drop psi/100ft	0.0879
Velocity m/sec	10.1500

Por lo tanto:

Tabla A.11.19 Pérdida de carga tuberías C-14.1 y C-14.2

Pérdida de carga (psi/100ft)	0,0879
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	19,88
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,000199
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,0199
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,7

Tubería C-15

Esta conducción lleva agua la salida de tubos del intercambiador Cond-1 hasta el colector de refinería de agua de refrigeración de retorno.

Tabla A.11.20 Tubería C-15

Tª trabajo (°F)	80,6
Presión de trabajo (psi)	36
Material de la tubería	<i>Acero al carbono A.285 Gr B</i>
S (psi)	16000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	39,6

Tabla A.11.20 Cont.

Velocidad admisible (m/s)	3
Q tubería (m ³ /s)	0,632
Diámetro inicial (m)	0,518
Diámetro inicial (in)	20,39
Diámetro exterior (in)	20
t _{min} (in)	0,114
t _{pared} (in)	0,25
Diámetro exterior (m)	0,508
Diámetro interior (in)	19,5
Diámetro interior (m)	0,495
Velocidad real (m/s)	3,28
Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	3278,28
Viscosidad (Pa·s)	0,000884
Densidad (kg/m ³)	999,02
Diámetro interno (m)	0,495
Re	1,84 · 10 ⁶
Rugosidad relativa	0,0001
f	0,013
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	282,35
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00282
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,282
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,5

Tubería C-16

Esta conducción lleva la salida de la Te-3 hasta válvula reductora de presión VR-1.

Tabla A.11.21 Tubería C-16

T trabajo (°F)	60,8
Presión de trabajo (psi)	488,28
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño	542,9
Velocidad admisible (m/s)	9,4
Q tubería (m ³ /s)	1,805
Diámetro inicial (m)	0,494

Tabla A.11.21 Cont.

Diámetro inicial (in)	19,47
Diámetro exterior (in)	20
t _{min} (in)	0,392
t _{pared} (in)	0,437
Diámetro exterior (m)	0,508
Diámetro interior (in)	19,126
Diámetro interior (m)	0,486
Velocidad real (m/s)	9,74

En esta conducción se tienen dos fases, por ello se va a usar el simulador para calcular la pérdida de carga, obteniéndose el siguiente resultado:

Tabla A.11.22 Pérdida de carga tubería C-16

Stream Properties:	
- - Overall - -	
Mass flow kg/h	173214.0412
Actual dens kg/m3	27.3103
- - Vapor only - -	
Mass flow kg/h	36733.6111
Actual dens kg/m3	5.9437
Visc Pa-sec	0.0000
- - Liquid only - -	
Mass flow kg/h	136480.4302
Actual dens kg/m3	841.3500
Visc Pa-sec	0.0005
Pipe Parameters:	
	Calculated
Schedule	
Flow Regime	Annular
Pipe ID in	18.8883
Nominal Dia. in	18.8883
- - Overall - -	
Press Drop psi/100ft	0.0551
Velocity m/sec	9.7400

Por lo tanto:

Tabla A.11.23 Pérdida de carga tubería C-16

Pérdida de carga (psi/100ft)	0,0551
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	12,46
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00012
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,0124
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,7

Tubería C-17

Esta conducción lleva la salida de la válvula reductora VR-1 hasta la Te-4.

Tabla A.11.24 Tubería C-17

T ^a trabajo (°F)	60,8
Presión de trabajo (psi)	464,12
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño	510,5
Velocidad admisible (m/s)	9,4
Q tubería (m ³ /s)	1,885
Diámetro inicial (m)	0,505
Diámetro inicial (in)	19,89
Diámetro exterior (in)	20
t _{min} (in)	0,374
t _{pared} (in)	0,437
Diámetro exterior (m)	0,508
Diámetro interior (in)	19,126
Diámetro interior (m)	0,486
Velocidad real (m/s)	10,17

En esta conducción se tienen dos fases, por ello se va a usar el simulador para calcular la pérdida de carga, obteniéndose el siguiente resultado:

Tabla A.11.25 Pérdida de carga tubería C-17

Stream Properties:	
- - Overall - -	
Mass flow kg/h	173214.0802
Actual dens kg/m3	25.5248
- - Vapor only - -	
Mass flow kg/h	36866.0849
Actual dens kg/m3	5.5652
Visc Pa-sec	0.0000
- - Liquid only - -	
Mass flow kg/h	136348.0000
Actual dens kg/m3	843.2178
Visc Pa-sec	0.0005
Pipe Parameters:	
	Calculated
Schedule	
Flow Regime	Annular
Pipe ID m	0.4857
Nominal Dia. m	0.4857
- - Overall - -	
Press Drop psi/100ft	0.0553
Velocity m/sec	10.1700

Por lo tanto:

Tabla A.11.26 Pérdida de carga tubería C-17

Pérdida de carga (psi/100ft)	0,0553
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	12,50
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00012
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,0125
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,7

Tuberías C-18.1 y C-18.2

Estas conducciones son simétricas y salen desde la Te-4 hasta cada entrada del separador de fases SP-1 como se aprecia en el Plano P-02.

Tabla A.11.27 Tuberías C-18.1 y C-18.2

Tª trabajo (°F)	60,8
Presión de trabajo (psi)	464,1
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	510,5
Velocidad admisible (m/s)	9,4
Q tubería (m ³ /s)	0,943
Diámetro inicial (m)	0,357
Diámetro inicial (in)	14,07
Diámetro exterior (in)	16
t _{min} (in)	0,316
t _{pared} (in)	0,375
Diámetro exterior (m)	0,406
Diámetro interior (in)	15,25
Diámetro interior (m)	0,387
Velocidad real (m/s)	8

Para este servicio diámetro de 16 pulgadas ha sido elegido en función de la necesidad del separador de fases SP-01 como se puede ver en el Anexo 2.

Respecto a las pérdidas de carga, se vuelen a tener dos fases, y por ello se va a usar el simulador para calcular la pérdida de carga, los resultados se adjuntan en la tabla A.11.28.

Tabla A.11.28 Pérdida de carga tuberías C-18.1 y C-18.2

Stream Properties:	
- - Overall - -	
Mass flow kg/h	86607.1641
Actual dens kg/m3	25.5220
- - Vapor only - -	
Mass flow kg/h	18435.0871
Actual dens kg/m3	5.5652
Visc Pa-sec	0.0000
- - Liquid only - -	
Mass flow kg/h	68172.0770
Actual dens kg/m3	843.1897
Visc Pa-sec	0.0005
Pipe Parameters:	
	Calculated
Schedule	
Flow Regime	Annular
Pipe ID in	15.2447
Nominal Dia. in	15.2447
- - Overall - -	
Press Drop psi/100ft	0.0461
Velocity m/sec	8.0000

Por lo tanto:

Tabla A.11.29 Pérdida de carga tuberías C-18.1 y C-18.2

Pérdida de carga (psi/100ft)	<i>0,0461</i>
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	<i>10,42</i>
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	<i>0,000104</i>
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	<i>0,0104</i>
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	<i>0,7</i>

Tubería C-19

Esta conducción lleva la fase líquida de la corriente que sale por la parte baja del separador de fases, ya que esta es más densa, y lleva la misma hasta la válvula reductora VR-2.

Tabla A.11.30 Tubería C-19

Tª trabajo (°F)	<i>76,9</i>
Presión de trabajo (psi)	<i>464,1</i>
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	<i>20000</i>
Y	<i>0,4</i>
Presión diseño (psi)	<i>510,5</i>
Velocidad admisible (m/s)	<i>3</i>
Q tubería (m ³ /s)	<i>0,0449</i>
Diámetro inicial (m)	<i>0,138</i>

Tabla A.11.30 Cont.

Diámetro inicial (in)	5,435
Diámetro exterior (in)	6,625
t_{\min} (in)	0,181
t_{pared} (in)	0,28
Diámetro exterior (m)	0,168
Diámetro interior (in)	6,065
Diámetro interior (m)	0,154
Velocidad real (m/s)	2,41
Pérdida de carga	
G ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	2031,95
Viscosidad ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	0,000492
Densidad (kg/m^3)	843,2
Diámetro interno (m)	0,154
Re	$6,37 \cdot 10^5$
Rugosidad relativa	0,00001
f	0,013
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	413,22
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,0041
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,413
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,5

Tuberías C-20 y C-20.1

Estas conducciones comprenden la salida de la fase gaseosa del separador de fases SP-1 (Parte alta, ya que esta es menos densa), y la entrada de tubos del cambiador IC-1 pasando por la Te-5.

Tabla A.11.31 Tuberías C-20 y C20.1

Tª trabajo (°F)	76,9
Presión de trabajo (psi)	464,1
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP304L</i>
S (psi)	16700
Y	0,4
Presión diseño (psi)	510,5
Velocidad admisible (m/s)	30
Q tubería (m^3/s)	1,8401
Diámetro inicial (m)	0,279

Tabla A.11.31 Cont.

Diámetro inicial (in)	11,002
Diámetro exterior (in)	12,75
t_{\min} (in)	0,305
t_{pared} (in)	0,33
Diámetro exterior (m)	0,324
Diámetro interior (in)	12,09
Diámetro interior (m)	0,307
Velocidad real (m/s)	24,84
Pérdida de carga	
G ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	216,28
Viscosidad ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	0,0000109
Densidad (kg/m^3)	8,71
Diámetro interno (m)	0,307
Re	$6,98 \cdot 10^6$
Rugosidad relativa	0,000007
f	0,009
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	157,5
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00158
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,157
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,7

Tubería C-21

Esta tubería conduce el líquido que sale de la válvula reductora VR-1 hasta la entrada de la alimentación de la columna estabilizadora CE-1.

Tabla A.11.32 Tuberías C-18.1 y C-18.2

Tª trabajo (°F)	78,5
Presión de trabajo (psi)	15,95
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	30
Velocidad admisible (m/s)	7
Q tubería (m^3/s)	0,503
Diámetro inicial (m)	0,303
Diámetro inicial (in)	11,91
Diámetro exterior (in)	12,75
t_{\min} (in)	0,097

Tabla A.11.32 Cont.

t _{pared} (in)	0,165
Diámetro exterior (m)	0,324
Diámetro interior (in)	12,42
Diámetro interior (m)	0,315
Velocidad real (m/s)	6,44

Respecto a las pérdidas de carga, se vuelven a tener dos fases, y por ello se va a usar el simulador para calcular la pérdida de carga, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla A.11.33 Pérdida de carga tubería C-21

Stream Properties:	
- - Overall - -	
Mass flow kg/h	136344.0000
Actual dens kg/m3	75.2468
- - Vapor only - -	
Mass flow kg/h	896.4216
Actual dens kg/m3	0.5414
Visc Pa-sec	0.0000
- - Liquid only - -	
Mass flow kg/h	135447.5295
Actual dens kg/m3	867.0403
Visc Pa-sec	0.0006
Pipe Parameters:	
	Calculated
Schedule	
Flow Regime	Slug
Pipe ID in	12.4158
Nominal Dia. in	12.4158
- - Overall - -	
Press Drop psi/100ft	0.0699
Velocity m/sec	6.4400

Por lo tanto:

Tabla A.11.34 Pérdida de carga tubería C-21

Pérdida de carga (psi/100ft)	0,0699
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	15,81
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,000158
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,0158
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,5

Tubería C-22

Esta conducción lleva la salida de cabezas la columna estabilizadora CE-1 hasta el colector de la red de fuel-gas de refinería.

Tabla A.11.35 Tubería C-22

Tª trabajo (°F)	76,9
Presión de trabajo (psi)	14,5
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	30
Velocidad admisible (m/s)	15
Q tubería (m ³ /s)	0,532
Diámetro inicial (m)	0,212
Diámetro inicial (in)	8,365
Diámetro exterior (in)	8,625
t _{min} (in)	0,093
t _{pared} (in)	0,109
Diámetro exterior (m)	0,219
Diámetro interior (in)	8,407
Diámetro interior (m)	0,214
Velocidad real (m/s)	14,85
Perdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	7,81
Viscosidad (Pa·s)	0,0000105
Densidad (kg/m ³)	0,53
Diámetro interno (m)	0,214
Re	1,59·10 ⁵
Rugosidad relativa	0,00001
f	0,016
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	8,69
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	8,69 · 10 ⁻⁵
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,00869
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,02

Tubería C-23

Esta conducción lleva la salida de colas de la columna estabilizadora CE-1 hasta la entrada por carcasa del intercambiador Reb-1.

Tabla A.11.36 Tubería C-23

Tª trabajo (°F)	165
Presión de trabajo (psi)	14,5
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	30
Velocidad admisible (m/s)	1
Q tubería (m ³ /s)	0,0549
Diámetro inicial (m)	0,264
Diámetro inicial (in)	10,404
Diámetro exterior (in)	10,75
t _{min} (in)	0,094
t _{pared} (in)	0,134
Diámetro exterior (m)	0,273
Diámetro interior (in)	10,482
Diámetro interior (m)	0,266
Velocidad real (m/s)	0,985
Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	807,71
Viscosidad (Pa·s)	0,000314
Densidad (kg/m ³)	819,8
Diámetro interno (m)	0,266
Re	6,86·10 ⁵
Rugosidad relativa	0,000008
f	0,012
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	35,87
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00036
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,0358
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,05

Tubería C-24

Esta conducción lleva la salida de líquido de carcasa del intercambiador Reb-1 hasta la entrada por carcasa del intercambiador IC-1.

Tabla A.11.37 Tubería C-24

T ^a trabajo (°F)	197
Presión de trabajo (psi)	14,5
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	30
Velocidad admisible (m/s)	1
Q tubería (m ³ /s)	0,0469
Diámetro inicial (m)	0,244
Diámetro inicial (in)	9,62
Diámetro exterior (in)	10,75
t _{min} (in)	0,095
t _{pared} (in)	0,134
Diámetro exterior (m)	0,273
Diámetro interior (in)	10,482
Diámetro interior (m)	0,266
Velocidad real (m/s)	0,843
Perdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	675,28
Viscosidad (Pa·s)	0,000314
Densidad (kg/m ³)	801,3
Diámetro interno (m)	0,266
Re	5,73·10 ⁵
Rugosidad relativa	0,000008
f	0,012
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	25,65
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00026
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,0257
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,05

Tubería C-25

Esta conducción lleva la salida de vapor de carcasa del intercambiador Reb-1 hasta la entrada de vapor presente en el fondo de la columna estabilizadora CE-1 carcasa.

Tabla A.11.38 Tubería C-25

Tª trabajo (°F)	197
Presión de trabajo (psi)	14,5
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	30
Velocidad admisible (m/s)	15
Q tubería (m ³ /s)	2,647
Diámetro inicial (m)	0,474
Diámetro inicial (in)	18,66
Diámetro exterior (in)	20
t _{min} (in)	0,103
t _{pared} (in)	0,25
Diámetro exterior (m)	0,508
Diámetro interior (in)	19,5
Diámetro interior (m)	0,495
Velocidad real (m/s)	13,74
Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	38,26
Viscosidad (Pa·s)	0,00000908
Densidad (kg/m ³)	2,8
Diámetro interno (m)	0,495
Re	2,09·10 ⁶
Rugosidad relativa	0,000004
f	0,001
Perdida de carga (Pa/metro tubería)	10,61
Perdida de carga (bar/metro tubería)	0,00011
Perdida de carga (kPa/metro tubería)	0,0106
Perdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,02

Tubería C-26

Esta conducción lleva la salida de tubos del intercambiador de calor IC-1 hasta la planta de Hidrógeno.

Tabla A.11.39 Tuberías C-26

Tª trabajo (°F)	129,2
Presión de trabajo (psi)	453
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP304L</i>
S (psi)	16700
Y	0,4
Presión diseño (psi)	498,25
Velocidad admisible (m/s)	30
Q tubería (m³/s)	2,025
Diámetro inicial (m)	0,293
Diámetro inicial (in)	11,54
Diámetro exterior (in)	12,75
t _{min} (in)	0,305
t _{pared} (in)	0,33
Diámetro exterior (m)	0,324
Diámetro interior (in)	12,09
Diámetro interior (m)	0,307
Velocidad real (m/s)	27,35
Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	214,68
Viscosidad (Pa·s)	0,0000108
Densidad (kg/m ³)	7,85
Diámetro interno (m)	0,307
Re	5,60·10 ⁶
Rugosidad relativa	0,000009
f	0,009
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	172,06
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,00172
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,172
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,7

Tuberías C-27, C-27.1 y C-27.2

Estas conducciones se encargan de llevar la salida de líquido de carcasa del intercambiador IC-1 hasta los depósitos TANQUE-1 y TANQUE-2.

Tabla A.11.40 Tuberías C-27, C-27.1 y C-27.2

Tª trabajo (°F)	140
Presión de trabajo (psi)	14,5
Material de la tubería	<i>Acero AISI TP316</i>
S (psi)	20000
Y	0,4
Presión diseño (psi)	30
Velocidad admisible (m/s)	3
Q tubería (m³/s)	0,0451
Diámetro inicial (m)	0,138
Diámetro inicial (in)	5,454
Diámetro exterior (in)	6,625
t _{min} (in)	0,091
t _{pared} (in)	0,109
Diámetro exterior (m)	0,168
Diámetro interior (in)	6,407
Diámetro interior (m)	0,163
Velocidad real (m/s)	2,17
Pérdida de carga	
G (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	1807,44
Viscosidad (Pa·s)	0,000393
Densidad (kg/m ³)	834,4
Diámetro interno (m)	0,163
Re	7,49·10 ⁵
Rugosidad relativa	0,00001
f	0,012
Pérdida de carga (Pa/metro tubería)	288,7
Pérdida de carga (bar/metro tubería)	0,0029
Pérdida de carga (kPa/metro tubería)	0,289
Pérdida de carga máxima admisible (kPa/m)	0,5

A.11.3. Cálculo de las pérdidas de carga por tuberías

Hasta este punto se ha llevado a cabo el dimensionamiento cada sección de tubería y se ha calculado la pérdida por metro de tubería, a partir de ahora se va a calcular la pérdida total presente en toda la tubería, esta pérdida va a estar condicionada por las siguientes variables:

- Longitud total de la tubería.

- Pérdida de carga debida a accesorios (válvulas, codos, té, etc.).
- Pérdida de carga debidas a diferencia de altura entre el inicio y el final de la tubería.

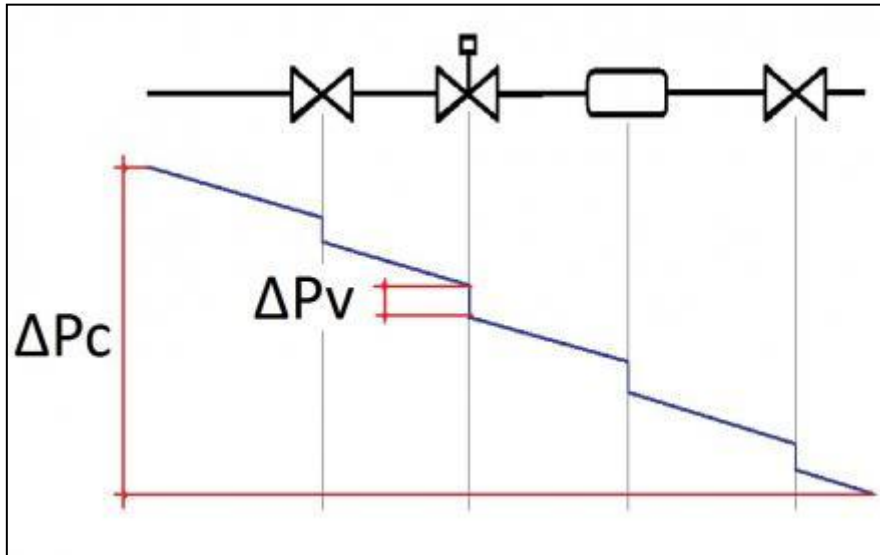


Figura A.11.1 Representación de la pérdida de carga de una tubería

La ecuación que se va a usar para el cálculo de las pérdidas de carga total en la tubería es la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}} \quad \text{Ec. A.11.7}$$

Siendo:

ΔP_t = Variación de presión total (Pa).

L_t = Longitud total de la tubería (m).

$\left(\frac{\Delta P}{m}\right)$ = Pérdida de carga por cada metro de tubería (Pa/m).

L_{eq} = Longitud equivalente del accesorio montado en la tubería (m).

H_1 = Altura del punto inicial de la tubería (m).

H_2 = Altura del punto final de la tubería (m).

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

ρ = Densidad del fluido que circula por la tubería (kg/m^3).

Para el cálculo de la longitud equivalente de los accesorios se va a usar la tabla A.12.21 del anexo 12. En el caso de que se use el valor de L_{eq}/D habrá que multiplicar el mismo valor por el diámetro interno de la tubería en metros para obtener L_{eq} , si se usa el valor de L_{eq} en pies, deberá convertirse a metros.

Ahora se puede proceder al cálculo de las pérdidas de carga presentes en las tuberías que son objeto de este proyecto.

Tubería C-3

Esta conducción presenta las siguientes características:

- $L_t = 3,5$ m.
- Accesorios:
 - 4 codos de radio largo 90° .
- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 301,75$ Pa/m.
- Diámetro interno de la tubería: 0,381 m (15 in).
- $\rho = 13,17$ kg/m³.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = \left(L_t + \sum L_{eq}\right) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(3,5 \text{ m} + \left(4 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}}\right) \cdot 0,381 \text{ m}\right) \cdot 301,75 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 10253,5 \text{ Pa}$$

Tubería C-6

Esta conducción presenta las siguientes características:

- $L_t = 3,5$ m.
- Accesorios:

- 4 codos de radio largo 90°.
- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 262,81 \text{ Pa/m}$.
- Diámetro interno de la tubería: 0,381 m (15 in).
- $\rho = 15,12 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(3,5 \text{ m} + \left(4 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}}\right) \cdot 0,381 \text{ m}\right) \cdot 262,81 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 8930,3 \text{ Pa}$$

Tuberías C-9 y C-11

Estas dos conducciones presentan las siguientes características:

- $L_t = 13 \text{ m}$.
- Accesorios:
 - 4 codos de radio largo 90°.
 - 1 Válvula de 3 vías (Se la tratará como si fuera una válvula de globo abierta).
- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 10,86 \text{ Pa/m}$.
- Diámetro interno de la tubería: 0,581 m (22,876 in).
- $\rho = 19,93 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la expuesta a continuación.

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(13 \text{ m} + \left(3 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}} + 350 \frac{\text{m}}{\text{m}}\right) \cdot 0,581 \text{ m}\right) \cdot 10,86 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 2728,1 \text{ Pa}$$

Tubería C-12 y C12.1

Estas dos conducciones presentan las siguientes características:

- $L_t = 16 \text{ m}$.
- Accesorios:
 - 4 codos de radio largo 90° .
 - 1 Te.
- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 16,14 \text{ Pa/m}$.
- Diámetro interno de la tubería: $0,584 \text{ m}$ (23 in).
- $\rho = 20,86 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(16 \text{ m} + \left(4 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}} + 67 \frac{\text{m}}{\text{m}}\right) \cdot 0,584 \text{ m}\right) \cdot 8,75 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 891,2 \text{ Pa}$$

Tuberías C-14.1 y C-14.2

Estas conducciones son simétricas y presentan las características mostradas a continuación.

- $L_t = 2$ m.
- Accesorios:
 - 2 codos de radio largo 90° .
- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 19,88$ Pa/m.
- Diámetro interno de la tubería: 0,337 m (13,25 in).
- $\rho = 27,6$ kg/m³.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = \left(L_t + \sum L_{eq}\right) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(2 \text{ m} + \left(2 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}}\right) \cdot 0,337 \text{ m}\right) \cdot 19,88 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 295,6 \text{ Pa}$$

Tubería C-16

Esta conducción presenta las siguientes características:

- $L_t = 11,5$ m.
- Accesorios:
 - 1 Te.
 - 5 Codos largos 90° .
- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 12,46$ Pa/m.
- Diámetro interno de la tubería: 0,486 m (19,126 in).

- $\rho = 27,6 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(11,5 \text{ m} + \left(5 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}} + 67 \frac{\text{m}}{\text{m}} \right) \cdot 0,486 \text{ m} \right) \cdot 12,46 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 1154,2 \text{ Pa}$$

Tubería C-17

Esta tubería presenta las siguientes características:

- $L_t = 1 \text{ m}$.
- Accesorios:
 - 1 Te.
- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 12,51 \text{ Pa/m}$.
- Diámetro interno de la tubería: 0,486 m (19,126 in).
- $\rho = 27,6 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(1 \text{ m} + \left(67 \frac{\text{m}}{\text{m}} \right) \cdot 0,486 \text{ m} \right) \cdot 12,51 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 419,7 \text{ Pa}$$

Tuberías C-18.1 y C-18.2

Estas conducciones son simétricas y presentan las siguientes características:

- $L_t = 6$ m.
- Accesorios:
 - 1 Codo largo 90°.
- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 10,42$ Pa/m.
- Diámetro interno de la tubería: 0,387 m (15,25 in).
- $\rho = 27,6$ kg/m³.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(6 \text{ m} + \left(20 \frac{\text{m}}{\text{m}}\right) \cdot 0,387 \text{ m}\right) \cdot 10,42 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 143,2 \text{ Pa}$$

Tubería C-19

Esta tubería presenta las siguientes características:

- $L_t = 8,8$ m.
- Accesorios:
 - 4 Codos de radio largo 90°.
 - 1 Válvula de globo.
- Diferencia de altura: 4 m.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 413,22$ Pa/m.

- Diámetro interno de la tubería: 0,154 m (6,065 in).
- $\rho = 843,2 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right) + (\Delta H) \cdot g \cdot \rho$$

$$\Delta P_t = \left(8,8 \text{ m} + \left(4 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}} + 350 \frac{\text{m}}{\text{m}} \right) \cdot 0,154 \text{ m} \right) \cdot 413,22 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} + 4 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 843,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta P_t = 64086,9 \text{ Pa}$$

Tubería C-20

Esta tubería presenta las siguientes características:

- $L_t = 4,5 \text{ m}$.
- Accesorios:
 - 4 Codos de radio largo 90°.
- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 157,48 \text{ Pa/m}$.
- Diámetro interno de la tubería: 0,307 m (12,09 in).
- $\rho = 8,7 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(4,5 \text{ m} + \left(4 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}} \right) \cdot 0,307 \text{ m} \right) \cdot 157,48 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 4576,4 \text{ Pa}$$

Tubería C-20.1

Esta tubería presenta las siguientes características:

- $L_t = 6,5 \text{ m}$.
- Accesorios:
 - 3 Codos de radio largo 90° .
 - 1 Válvula de globo.
 - 1 Te.
- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m} \right) = 157,48 \text{ Pa/m}$.
- Diámetro interno de la tubería: $0,307 \text{ m}$ ($12,09 \text{ in}$).
- $\rho = 8,7 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m} \right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m} \right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = \left(L_t + \sum L_{eq} \right) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m} \right)$$

$$\Delta P_t = \left(5 \text{ m} + \left(3 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}} + 350 \frac{\text{m}}{\text{m}} + 67 \frac{\text{m}}{\text{m}} \right) \cdot 0,307 \text{ m} \right) \cdot 157,48 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 22398,2 \text{ Pa}$$

Tubería C-21

Esta tubería presenta las siguientes características:

- $L_t = 1 \text{ m}$.
- Accesorios:
 - 1 Codos de radio largo 90° .

- Diferencia de altura: 1 m.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 15,81 \text{ Pa/m}$.
- Diámetro interno de la tubería: 0,315 m (12,42 in).
- $\rho = 75,3 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right) + (\Delta H) \cdot g \cdot \rho$$

$$\Delta P_t = \left(1 \text{ m} + \left(20 \frac{\text{m}}{\text{m}}\right) \cdot 0,315 \text{ m}\right) \cdot 15,81 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} + 1 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 75,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta P_t = 854,1 \text{ Pa}$$

Tubería C-23

Esta tubería presenta las siguientes características:

- $L_t = 6,5 \text{ m}$.
- Accesorios:
 - 1 Codos de radio largo 90°.
 - 1 Válvula de globo.
- Diferencia de altura: -1 m.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 35,87 \text{ Pa/m}$.
- Diámetro interno de la tubería: 0,266 m (10,482 in).
- $\rho = 819,8 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = \left(L_t + \sum L_{eq} \right) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m} \right) + (\Delta H) \cdot g \cdot \rho$$

$$\Delta P_t = \left(6,5 \text{ m} + \left(20 \frac{\text{m}}{\text{m}} + 350 \frac{\text{m}}{\text{m}} \right) \cdot 0,266 \text{ m} \right) \cdot 35,86 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} - 1 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 819,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta P_t = -4279,8 \text{ Pa}$$

En este caso como se puede ver al ser una tubería con poca pérdida de presión en la misma y los accesorios, se obtiene más presión a la salida que a la entrada debido a la diferencia de altura entre la salida de la columna estabilizadora CE-1 y la entrada de carcasa del intercambiador Reb-1.

Tubería C-24

Esta tubería presenta las siguientes características:

- $L_t = 8,5 \text{ m}$.
- Accesorios:
 - 4 Codos de radio largo 90° .
 - 1 Válvula de globo.
- Diferencia de altura: Despreciable.
- $\left(\frac{\Delta P}{m} \right) = 25,64 \text{ Pa/m}$.
- Diámetro interno de la tubería: $0,272 \text{ m}$ ($10,482 \text{ in}$).
- $\rho = 801,3 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m} \right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m} \right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = \left(L_t + \sum L_{eq} \right) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m} \right)$$

$$\Delta P_t = \left(8,5 \text{ m} + \left(4 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}} + 350 \frac{\text{m}}{\text{m}} \right) \cdot 0,266 \text{ m} \right) \cdot 25,65 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 3151,9 Pa$$

Tubería C-27

Esta tubería presenta las siguientes características:

- $L_t = 40,5 m$.
- Accesorios:
 - 6 Codos de radio largo 90° .
 - 1 Válvula de retención.
 - 1 Te.
- Diferencia de altura: Despreciable.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 288,7 Pa/m$.
- Diámetro interno de la tubería: $0,163 m$ ($6,407 in$).
- $\rho = 834,4 kg/m^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(40,5 m + \left(3 \cdot 60 \frac{m}{m} + 67 \frac{m}{m} \right) \cdot 0,163 m + 13 ft \cdot \frac{0,3048}{1 ft} \right) \cdot 288,7 \frac{Pa}{m}$$

$$\Delta P_t = 24459,6 Pa$$

Tuberías C-27.1 C-27.2

Estas tuberías son simétricas y presentan las siguientes propiedades:

- $L_t = 71,5 m$.
- Accesorios:
 - 1 Codo de radio largo 90° .
 - 1 Válvula de compuerta.

- Diferencia de altura: Despreciable, $(H_1 - H_2) \approx 0$.
- $\left(\frac{\Delta P}{m}\right) = 288,7 \text{ Pa/m}$.
- Diámetro interno de la tubería: 0,163 m (6,407 in).
- $\rho = 834,4 \text{ kg/m}^3$.

Por lo tanto la pérdida de carga total será la siguiente:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = (L_t + \sum L_{eq}) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

$$\Delta P_t = \left(71,5 \text{ m} + \left(1 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}} + 7 \frac{\text{m}}{\text{m}}\right) \cdot 0,163 \text{ m}\right) \cdot 288,7 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 21912,6 \text{ Pa}$$

A.11.4. Cálculo del sistema de bombeo

Llegados a este punto se puede asumir que en la mayoría del sistema de tuberías las pérdidas de carga se pueden despreciar, salvo en el caso de la conducción que lleva el producto final del proceso hasta el tanque de almacenamiento (conducción C-27 hasta C-27.1 y C-27.2). Si se quiere que el producto circule hasta el depósito y pueda vencer las distintas pérdidas de carga presentes en el camino, deberá instalarse una bomba.

La bomba que se va a proceder a diseñar en el presente punto (bomba B-1) irá situada en la tubería C-27, y se instalará junto a otra bomba idéntica y conectada en bypass para garantizar que ante un fallo de la bomba B-1, se pueda mantener la planta operativa. En el diagrama P&Id (Plano P-2) sólo va representada una bomba, ya que el sistema se comporta de la misma manera con una u otra bomba.

A.11.4.1. Balance de energía mecánica

Para llevar a cabo este balance se recurre a la ecuación de Bernoulli.

Energía de presión + Energía potencial + Energía cinética + Energía de bombeo + Pérdidas por fricción = 0

Numéricamente esta expresión queda como se puede observar en la ecuación Ec.11.8.

$$\frac{(P_2 - P_1)}{\rho \cdot g} + (Z_2 - Z_1) + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} + h_f = h_s \quad \text{Ec. A.11.8}$$

Siendo:

P_2 = Presión del fluido en el punto 2 (Pa).

P_1 = Presión del fluido a la entrada de la bomba (Pa).

ρ = Densidad del fluido en el interior de la tubería (834,4 kg/m³).

$Z_2 - Z_1$ = Diferencia de altura entre la entrada de la bomba y el punto 2.

V_2 = Velocidad del fluido en el punto 2 (m/s).

V_1 = Velocidad del fluido a la entrada de la bomba (2,17 m/s).

h_s = Altura manométrica proporcionada por la bomba (m).

h_f = Pérdidas por fricción (m).

g = Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

Dicho esto se van a hacer las siguientes consideraciones:

- $\frac{(P_2 - P_1)}{\rho \cdot g} \approx 0$ ya que la presión del depósito es prácticamente la misma que la presión de trabajo del intercambiador de calor Reb-1.
- El punto 2 va a ser el punto más alto del depósito de almacenamiento, ya que la bomba hay que diseñarla para que sea capaz de llenar el depósito entero.
- Z_1 va a ser despreciable en comparación a la altura que tiene el depósito, y por lo tanto $(Z_2 - Z_1) \approx Z_2$.
- $V_2 = 0$ ya que el líquido se mantiene a un nivel constante.

La ecuación A.11.8 queda de la siguiente forma:

$$Z_2 - \frac{V_1^2}{2g} + h_f = h_s$$

Siendo las distintas variables las mostradas a continuación.

$$Z_2 = 12,192 \text{ m.}$$

$$V_1 = 2,17 \text{ m/s.}$$

Para el cálculo de h_f se tienen que considerar las pérdidas de cargas calculadas en el apartado A.11.2 entre la conducción C-27 y C-27.1:

$$h_f = \underbrace{24459,6 \text{ Pa}}_{C-27} + \underbrace{21912,6 \text{ Pa}}_{C-27.1} = 46372,2 \text{ Pa}$$

Esta expresión hay que pasarla a altura manométrica:

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{46372,2 \text{ Pa}}{834,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 5,67 \text{ m}$$

Por lo tanto h_s será:

$$h_s = 12,192 \text{ m} + 5,67 \text{ m} - \frac{\left(2,17 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 17,382 \text{ m}$$

A.11.4.2. Selección del tipo de bomba

Los tipos de bombas son muy variados pero se pueden clasificar brevemente según se ve en la figura A.11.2.

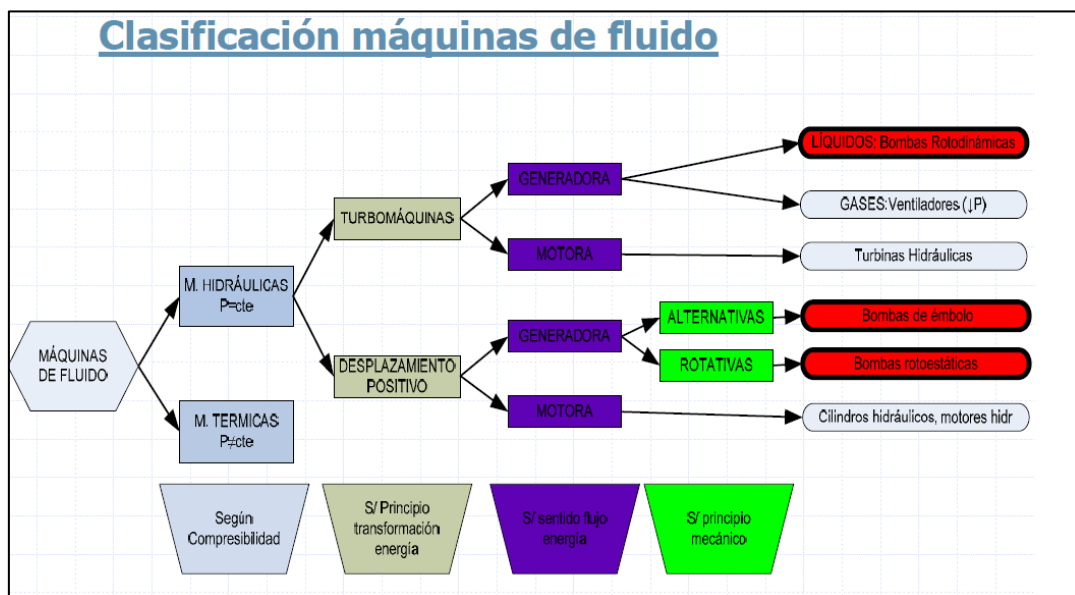


Figura A.11.2 Clasificación máquinas de fluido

En refinería la distribución de bombas es la siguiente:

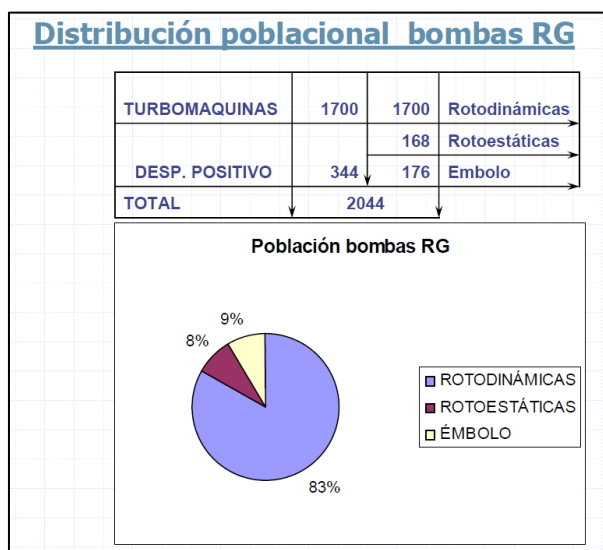


Figura A.11.3 Porcentaje de bombas por tipo en refinería

Como se puede observar las bombas rotodinámicas son las más usadas, para ver el tipo de bomba que usar en el presente servicio se va a hacer uso de la siguiente figura.

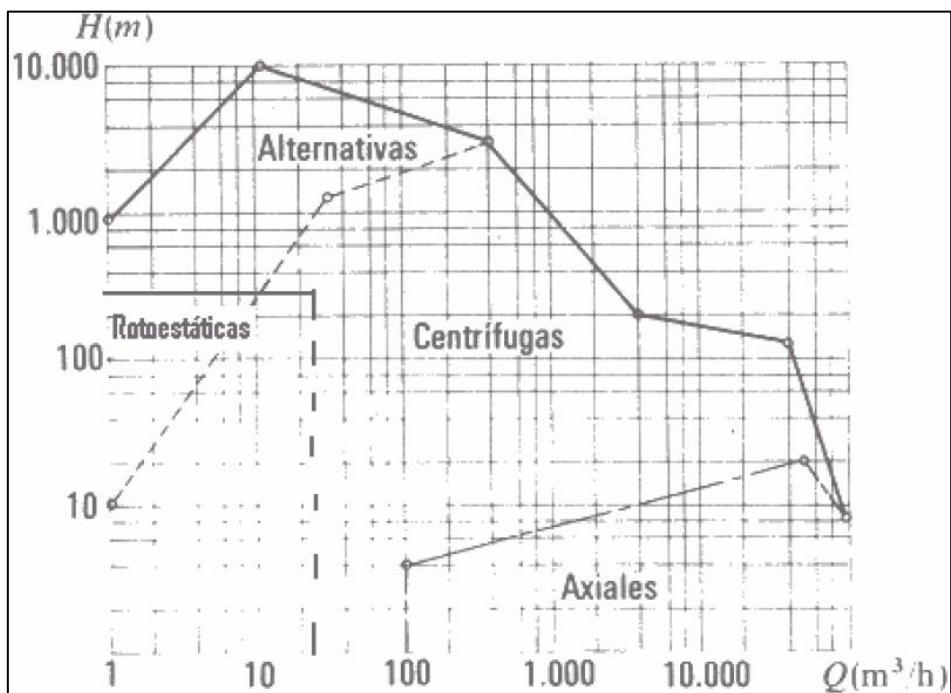


Figura A.11.4 Criterios de selección de bombas

El caudal que debe impulsar la bomba es igual a 168,894 m³/h (obtenido mediante el simulador “CHEMCAD”) y la altura manométrica calculada es igual a 17,382 metros, por lo tanto según la figura A.11.4 el sistema está dentro del rango de uso de las bombas centrífugas, por lo tanto se usará una bomba centrífuga para el proceso.

A.11.4.3. Cálculo de la potencia hidráulica de la bomba

Para el cálculo de la potencia hidráulica de la bomba se recurre a la siguiente expresión:

$$W_{H-B} = w_m \cdot h_s \cdot g \quad \text{Ec. A.11.9}$$

Dónde:

W_{H-B} = Potencia hidráulica proporcionada por la bomba (W).

w_m = Caudal másico impulsado por la bomba (37,595 kg/s).

h_s = Altura manométrica (17,382 m).

g = Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

Y por tanto la potencia hidráulica será la siguiente:

$$W_{H-B} = 37,595 \frac{kg}{s} \cdot 17,382 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{H-B} = 6410,6 \text{ W}$$

A.11.4.4. Cálculo de la altura neta de succión positiva disponible (NPSH_d)

Un parámetro importante a calcular en el sistema debido al uso de una bomba centrífuga es la NPSH_d ya que este parámetro da una idea a la hora de comprar la bomba de si ésta funcionará correctamente para el servicio destinado o no. Para esto el fabricante de la bomba aporta un dato llamado NPSH_r o carga neta de succión positiva requerida por la bomba para su correcto funcionamiento sin cavitación, teniendo que cumplirse siempre que la disponible sea mayor a la requerida.

$$\text{NPSH}_d > \text{NPSH}_r$$

De no cumplirse esta premisa no se podrá usar la bomba, ya que el riesgo de cavitación sería demasiado alto y se podrían formar burbujas de vapor en el seno del líquido que dañarían los rodetes de la bomba.

Para el cálculo de la altura neta de succión positiva se hace uso de la siguiente expresión:

$$\text{NPSH}_d = \frac{P_1 - P_v}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} - h_f + (Z_1 - Z_2) \quad \text{Ec. A.11.10}$$

Siendo:

P_1 = Presión en el punto de aspiración de la bomba (100000 Pa).

P_v = Presión de vapor del fluido a la entrada de la bomba (Pa).

ρ = Densidad del fluido (834,4 kg/m³).

$Z_1 - Z_2$ = Diferencia de altura entre el punto de succión y la entrada a la bomba (Despreciable).

V_1 = Velocidad del fluido a la entrada de la bomba (2,17 m/s).

h_f = Pérdidas por fricción en el tramo de tubería (m).

El valor de la presión de vapor del fluido se obtiene mediante el simulador, siendo este igual a 36083,7 Pa.

El valor de la pérdida por fricción se considera de la siguiente manera al igual que en el apartado A.11.2:

$$\Delta P_t = \underbrace{L_t \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Tubería}} + \underbrace{\sum L_{eq} \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)}_{\text{Accesorios}} + \underbrace{(H_1 - H_2) \cdot g \cdot \rho}_{\text{Diferencia altura}}$$

$$\Delta P_t = \left(L_t + \sum L_{eq}\right) \cdot \left(\frac{\Delta P}{m}\right)$$

Para 4,5 metros de tubería y dos codos largos de 90°:

$$\Delta P_t = \left(4,5 \text{ m} + \left(2 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{m}}\right) \cdot 0,163 \text{ m}\right) \cdot 288,7 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_t = 3181,5 \text{ Pa}$$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{3181,5 \text{ Pa}}{834,41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,39 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$\text{NPSH}_d = \frac{100000 - 36083,7}{834,41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{\left(2,17 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 0,39 \text{ m}$$

$$\text{NPSH}_d = 7,66 \text{ m}$$

A.11.4.5. Cálculo de la altura neta de succión positiva requerida (NPSH_d), selección de la bomba

La bomba elegida va a ser una 4BC de la serie 1510 del fabricante Bell & Gosset, la cual presenta la siguiente curva característica para una velocidad de operación de 1750 rpm como puede apreciarse en la figura A.11.5.

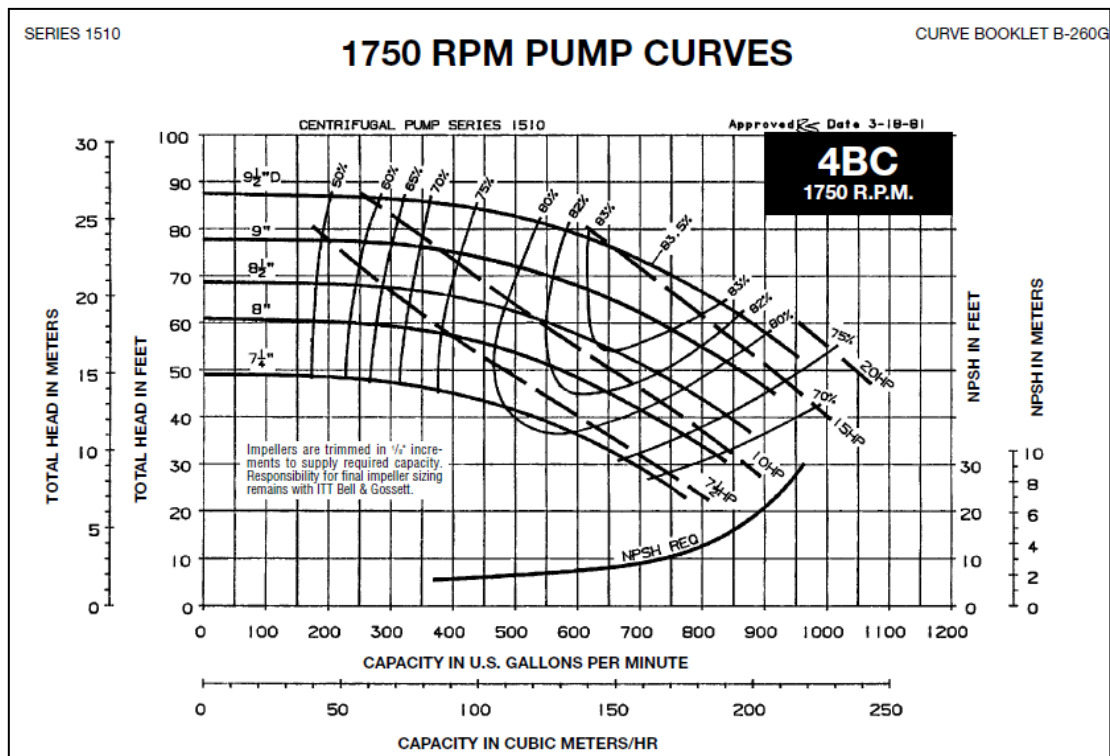


Figura A.11.5 Curva característica de la bomba 4BC serie 1510

Como se puede observar para un caudal de 168,894 m³/h, la NPSH_r es igual a 3 metros, y por lo tanto:

$$NPSH_d > NPSH_r$$

Respecto al diámetro del rotor de la bomba, se va a seleccionar aquel que dé una altura manométrica suficiente para el proceso (se calculó en el apartado A.11.3.1 y es igual a 17,382 m), como se observa en la figura A.11.11 para un diámetro de rotor igual a 9 pulgadas, la altura manométrica aportada por la bomba es 18 metros, y por lo tanto aceptable.

El último dato de interés sobre la bomba seleccionada es que su rendimiento es del 83% y por lo tanto la potencia del rotor de la bomba se puede calcular de la siguiente manera:

$$P_B = \frac{P_w}{\eta} \quad \text{Ec. A.11.11}$$

Siendo:

P_B = Potencia del rotor de la bomba (W)

P_w = Potencia aportada al agua

η = Rendimiento de la bomba (0,83)

Por lo tanto con la ecuación Ec. A.11.11 y sustituyendo en la ecuación Ec. A.11.9 la altura manométrica aportada por la bomba al fluido, se puede calcular la potencia del rotor:

$$W_{H-B} = 37,595 \frac{kg}{s} \cdot 18 m \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 6638,53 W$$

$$P_B = \frac{6638,53 W}{0,83} = 7998,2 W$$

A.11.5. Cálculo del espesor de aislante de las tuberías

Llegados a este punto se va a proceder a realizar una tabla en la que queden reflejadas todas las tuberías, habiendo realizado la pérdida de carga sólo para las que son objeto del presente proyecto aunque se ha seleccionado el diámetro óptimo de cada tubería que entra o sale del sistema, así como el espesor de lana de roca aislante en función de la

temperatura del fluido y del diámetro nominal de la tubería, para ello se hace uso de la tabla A.12.22 del anexo 12.

La tabla queda de la siguiente manera:

Tabla A.11.41 Resumen del sistema de tuberías

Tubería	Diámetro Nominal Interno (in)	Diámetro Nominal Externo (in)	Espesor (in)	Pérdida de carga unitaria (Pa/m)	Pérdida de carga total (Pa)	Espesor de aislante (mm)
C-1	18,5	20	0,75	167,75	-	150
C-2	7,981	8,625	0,322	66,97	-	90
C-3	15	16	0,5	301,75	10253,5	80
C-4	14,75	16	0,625	86,26	-	80
C-5	3,76	4	0,12	123,68	-	50
C-6	15	16	0,5	262,81	8930,3	60
C-7	15,5	16	0,25	13,67	-	60
C-8	4,26	4,5	0,12	146,41	-	40
C-9 y C-11	22,876	24	0,610	10,86	2728,1	60
C-10	23,5	24	0,25	35,82	-	60
C-12 y C-12.1	23	24	0,5	8,75	891,2	60
C-13	19,5	20	0,25	279,46	-	60
C-14.1	13,25	14	0,375	19,88	295,6	50
C-14.2	13,25	14	0,375	19,88	295,6	50
C-15	19,5	20	0,25	282,35	-	60
C-16	19,126	20	0,437	12,46	1154,2	60
C-17	19,126	20	0,437	12,51	419,7	60
C-18.1	15,25	16	0,375	10,42	143,2	50
C-18.2	15,25	16	0,375	10,42	143,2	50
C-19	6,065	6,625	0,28	413,22	64086,9	-
C-20	12,09	12,75	0,33	157,5	4576,4	-
C-20.1	12,09	12,75	0,33	157,5	22398,2	-
C-21	12,42	12,75	0,165	15,81	854,1	-
C-22	8,407	8,625	0,109	8,69	-	-
C-23	10,482	10,75	0,134	35,87	-4279,8	50
C-24	10,482	10,75	0,134	25,64	3151,9	50
C-25	19,5	20	0,25	10,61	-	60
C-26	12,09	12,75	0,33	172,06	-	-

ANEXO 12. FIGURAS Y TABLAS

Tabla A.12.1 Áreas y volúmenes de recipientes cilíndricos

DRUM DIAMETER, mm	CYLINDRICAL PART OF VESSEL			2:1 ELLIPSOIDAL HEAD ⁽¹⁾	
	SURFACE AREA, ⁽²⁾ m ²	CROSS-SECTIONAL AREA, m ²	VOLUME, ⁽²⁾ m ³	SURFACE AREA, m ²	VOLUME, m ³
300	0.94	0.071	0.071	0.098	0.004
400	1.25	0.126	0.126	0.173	0.008
500	1.57	0.196	0.196	0.271	0.016
600	1.88	0.283	0.283	0.390	0.028
700	2.19	0.385	0.385	0.531	0.045
800	2.51	0.503	0.503	0.694	0.067
900	2.827	0.636	0.636	0.878	0.095
1000	3.14	0.785	0.785	1.08	0.131
1100	3.46	0.950	0.950	1.31	0.174
1200	3.77	1.13	1.13	1.56	0.226
1300	4.08	1.33	1.33	1.83	0.288
1400	4.40	1.54	1.54	2.12	0.359
1500	4.71	1.77	1.77	2.44	0.442
1600	5.03	2.01	2.01	2.78	0.536
1700	5.34	2.27	2.27	3.13	0.643
1800	5.65	2.54	2.54	3.51	0.763
1900	5.97	2.84	2.84	3.91	0.898
2000	6.28	3.14	3.14	4.33	1.05
2100	6.80	3.46	3.46	4.78	1.21
2200	6.91	3.80	3.80	5.25	1.39
2300	7.23	4.15	4.15	5.73	1.59
2400	7.54	4.52	4.52	6.24	1.81
2500	7.85	4.91	4.91	6.77	2.05
2600	8.17	5.31	5.31	7.33	2.30
2700	8.48	5.73	5.73	7.90	2.58
2800	8.80	6.16	6.16	8.50	2.87
2900	9.11	6.61	6.61	9.12	3.19
3000	9.42	7.07	7.07	9.76	3.53
3200	10.05	8.04	8.04	11.10	4.29
3400	10.68	9.08	9.08	12.53	5.14
3600	11.31	10.18	10.18	14.05	6.11
3800	11.94	11.34	11.34	15.65	7.18
4000	12.56	12.56	12.56	17.34	8.38
4200	13.19	13.85	13.85	19.12	9.70
4400	13.82	15.21	15.21	20.99	11.15
4600	14.45	16.62	16.62	22.94	12.74
4800	15.08	18.10	18.10	24.98	14.48
5000	15.71	19.63	19.63	27.10	16.36
5200	16.34	21.24	21.24	29.31	18.41
5400	16.96	22.90	22.90	31.61	20.61
5600	17.59	24.63	24.63	34.00	22.99
5800	18.22	26.42	26.42	36.47	25.54
6000	18.85	28.27	28.27	39.02	28.27
6200	19.48	30.19	30.19	41.67	31.20
6400	20.11	32.17	32.17	44.40	34.31
6600	20.73	34.21	34.21	47.22	37.63
6800	21.36	36.32	36.32	50.12	41.16
7000	21.99	38.48	38.48	53.11	44.90
7200	22.62	40.72	40.72	56.19	48.86
7400	23.25	43.01	43.01	59.36	53.04
7600	23.88	45.36	45.36	62.61	57.46
7800	24.50	47.78	47.78	65.95	62.12
8000	25.13	50.27	50.27	69.38	67.02

Notes:
 (1) Each head.
 (2) Per meter of straight side.

Tabla A.12.3 Tensión máxima admisible de tuberías de aceros inoxidables
304L y 316L (Código ASME B31.3)

Material	Spec. No.	P-No. or S-No. (5)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Min. Temp. to 100	200	300	400	500	600
						Tensile	Yield						
Stainless Steel (3) (4) Pipes and Tubes (2)													
18Cr-10Ni-Ti pipe smis > 1/8 in. thick	A 312	8	TP321	(30)(36)	-425	70	25	16.7	26.7	26.7	16.7	16.1	15.2
18Cr-10Ni-Ti pipe > 1/8 in. thick	A 376												
18Cr-8Ni tube	A 269	8	TP304L	(34)(36)	-425	70	25	16.7	26.7	26.7	15.8	14.8	14.0
18Cr-8Ni pipe	A 312												
Type 304L A 240	A 358												
16Cr-12Ni-2Mo tube	A 269	8	TP316L	(14)(36)	-425	70	25	16.7	26.7	26.7	15.5	14.4	13.5
16Cr-12Ni-2Mo pipe	A 312												
Type 316L A 240	A 358												

Basic Allowable Stress S, ksi (1), at Metal Temperature, °F (7)														Grade	Spec. No.				
650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300			1350	1400	1450	1500
Stainless Steel (3) (4) Pipes and Tubes (2)																			
14.9	14.6	14.3	14.1	14.0	13.8	13.6	13.5	9.6	6.9	5.0	3.6	2.6	1.7	1.1	0.8	0.5	0.3	TP321	A 312 A 376
13.7	13.5	13.3	13.0	12.8	11.9	8.9	7.8	6.3	5.1	4.0	3.2	2.6	2.1	1.7	1.1	1.0	0.9	TP304L TP304L 304L		A 269 A 312 A 358
13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	11.8	11.5	11.2	10.8	10.2	8.8	6.4	4.7	3.5	2.5	1.8	1.3	1.0	TP316L TP316L 316L	A 269 A 312 A 358

Tabla A.12.4 Número de tubos de 3/4 de pulgada con un pitch triangular de
15/16 pulgadas en función del diámetro de carcasa y del número de pasos
por tubo

Shell ID In.	Diam. of Outer Tube Limit - In.	Number of Tube Passes				
		1	2	4	6	8
8.07	6.821	38	32	26	24	18
10.02	8.770	62	56	47	42	36
12.00	10.750	109	98	36	82	80
13.25	12.000	127	114	96	90	86
15.25	14.000	170	160	140	136	128
17.25	16.000	239	224	194	188	178
19.25	18.000	301	282	252	244	234
21.00	19.250	361	342	314	306	290
23.25	21.500	442	420	386	378	364
25.00	23.375	531	506	458	446	434
27.00	25.375	637	602	550	536	524
29.00	27.375	721	692	640	629	594
31.00	29.375	847	822	766	722	720
33.00	31.375	974	938	872	852	826
35.00	33.375	1102	1068	1004	988	958
37.00	35.250	1220	1200	1144	1104	1078
39.00	37.250	1377	1330	1258	1248	1212
42.00	40.250	1611	1580	1498	1464	1456
44.00	42.250	1782	1738	1650	1624	1592
48.00	46.000	1965	1908	1834	1801	1766
52.00	50.000	2347	2273	2178	2152	2110
56.00	54.000	2704	2660	2556	2526	2489
60.00	58.000	3399	3343	3232	3195	3162

Tabla A.12.5 Factor de corrección para la tabla A.12.4

Tube-Layout Multipliers for Split-Ring Floating Head

TUBE OD IN.	TUBE PITCH	LAYOUT	MULTIPLIER
5/8	13/16	Tri., Rot. Tri.	1.33
5/8	13/16	Sq., Rot. Sq.	1.15
3/4	15/16	Tri., Rot. Tri.	1.00
3/4	15/16	Sq., Rot. Sq.	0.86
3/4	1	Tri., Rot. Tri.	0.88
3/4	1	Sq., Rot. Sq.	0.76
1	1-1/4	Tri., Rot. Tri.	0.56
1	1-1/4	Sq., Rot. Sq.	0.49

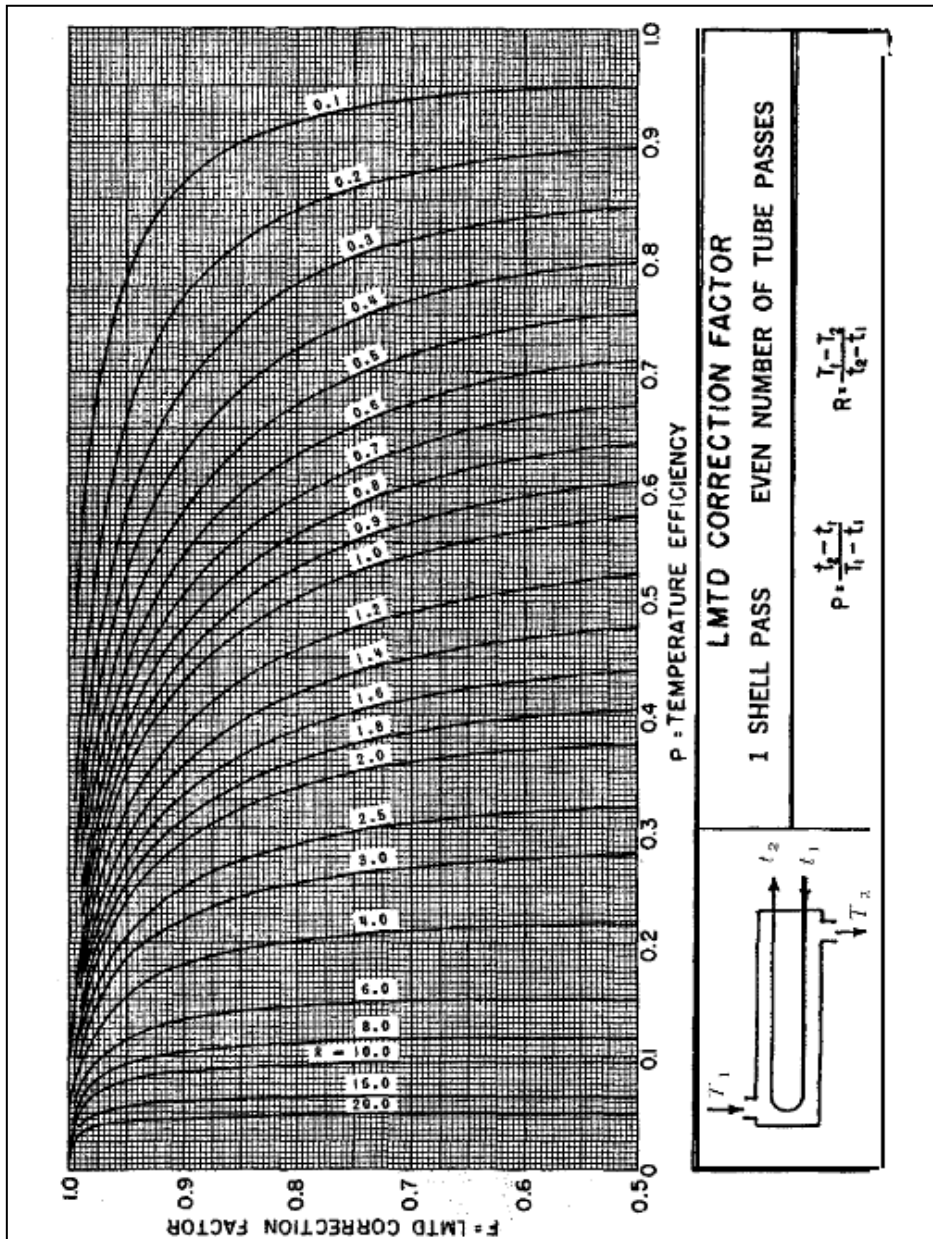


Figura A.12.1 Factor de corrección F para un paso por carcasa y cualquier paso por tubos según norma TEMA

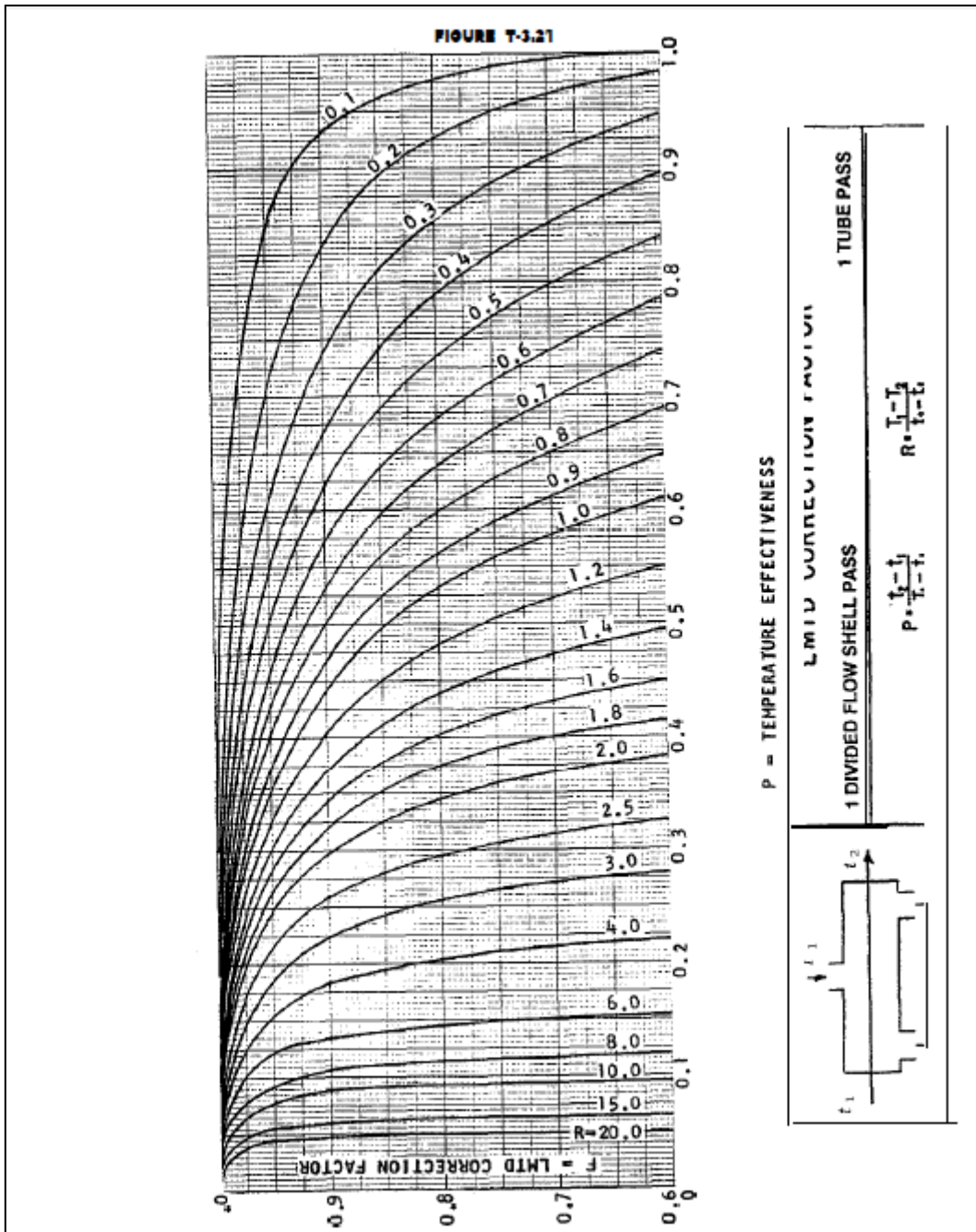


Figura A.12.2 Factor de corrección F para un paso dividido por carcasa y un paso por tubos según norma TEMA

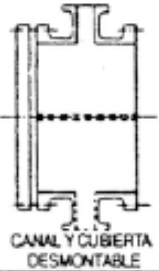
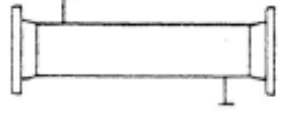
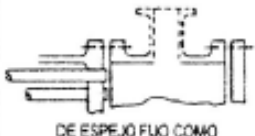
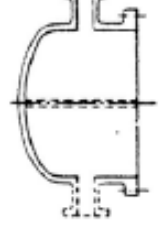
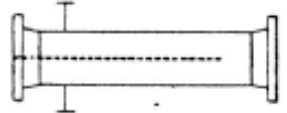


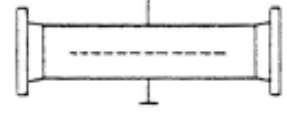


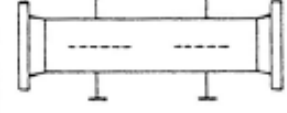

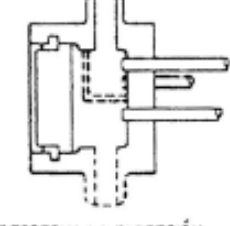
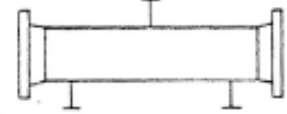

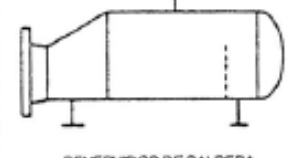
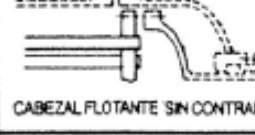

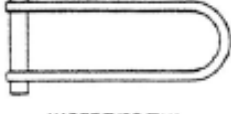

	TIPOS DE CABEZAL ESTACIONARIO, EXTREMO FRONTAL		TIPOS DE CORAZAS		TIPOS DE CABEZALES, EXTREMO POSTERIOR
A	 CANAL Y CUBIERTA DESMONTABLE	E	 CORAZA DE UN PASO	L	 DE ESPEJO FUO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "A"
B	 CASQUETE (CUBIERTA INTEGRADA)	F	 CORAZA DE DOS PASOS CON DEFLECTOR LONGITUDINAL	M	 DE ESPEJO FUO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "B"
C	 SOLÓ HAZ DE TUBOS DESMONTABLE CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	G	 DE FLUJO PARTIDO	N	 DE ESPEJO FUO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "C"
N	 CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	H	 DE FLUJO PARTIDO DOBLE	P	 CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR
D	 CIERRE ESPECIAL A ALTA PRESIÓN	J	 DE FLUJO DIVIDIDO	S	 CABEZAL FLOTANTE CON DISPOSITIVO DE APOYO
		K	 REHERVIDOR DE CALDERA	T	 CABEZAL FLOTANTE SIN CONTRABRIDA
		X	 FLUJO CRUZADO	U	 HAZ DE TUBO EN U
				W	 ESPEJO FLOTANTE SELLADO EXTERNAMENTE

Figura A.12.3 Nomenclatura norma TEMA

Tabla A.12.6 Separación máxima de deflectores según la norma TEMA

Dimensions in Inches (mm)		
Tube OD	Tube Materials and Temperature Limits °F (°C)	
	Carbon Steel & High Alloy Steel, 759 (399) Low Alloy Steel, 850 (454) Nickel-Copper, 600 (316) Nickel, 850 (464) Nickel-Chromium-Iron, 1000 (538)	Aluminum & Aluminum Alloys, Copper & Copper Alloys, Titanium Alloys At Code Maximum Allowable Temperature
1/4 (6.4)	26 (660)	22 (559)
3/8 (9.5)	35 (889)	30 (762)
1/2 (12.7)	44 (1118)	38 (965)
5/8 (15.9)	52 (1321)	45 (1143)
3/4 (19.1)	60 (1524)	52 (1321)
7/8 (22.2)	69 (1753)	60 (1524)
1 (25.4)	74 (1880)	64 (1626)
1-1/4 (31.8)	88 (2235)	76 (1930)
1-1/2 (38.1)	100 (2540)	87 (2210)
2 (50.8)	125 (3175)	110 (2794)

Tabla A.12.7 Espesor de deflectores según la norma TEMA

Dimensions in Inches (mm)							
Nominal Shell ID	Plate Thickness						
	Unsupported tube length between central baffles. End spaces between tubesheets and baffles are not a consideration.						
	12 (305) and Under	Over 12 (305) to 24 (610) Inclusive	Over 24 (610) to 36 (914) Inclusive	Over 36 (914) to 48 (1219) Inclusive	Over 48 (1219) to 60 (1524) Inclusive	Over 60 (1524)	
8-24 (152-356)	1/16 (1.6)	1/8 (3.2)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	3/8 (9.5)	
8-38 (381-711)	1/8 (3.2)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	
9-38 (737-985)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)	5/16 (7.5)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	
10-60 (991-1524)	1/4 (6.4)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	5/8 (15.9)	
11-100 (1549-2540)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	3/4 (19.1)	3/4 (19.1)	

Tabla A.12.8 Valor del factor Y según el tipo de material (Norma TEMA)

Materials	Temperature, °C (°F)					
	≤ 482 (900 & Lower)	510 (950)	538 (1000)	566 (1050)	593 (1100)	≥ 621 (1150 & Up)
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.0	...	...	...	...	...

Tabla A.12.9 Especificaciones sobre el espesor de lana de roca para aislar equipos (CEPSA)

TEMPERATURA DE OPERACIÓN °C	ESPESOR mm.
65 - 75	40
75 - 160	50
160 - 180	60
180 - 310	80
310 - 450	120
450 - 650	150
650 - 750	180

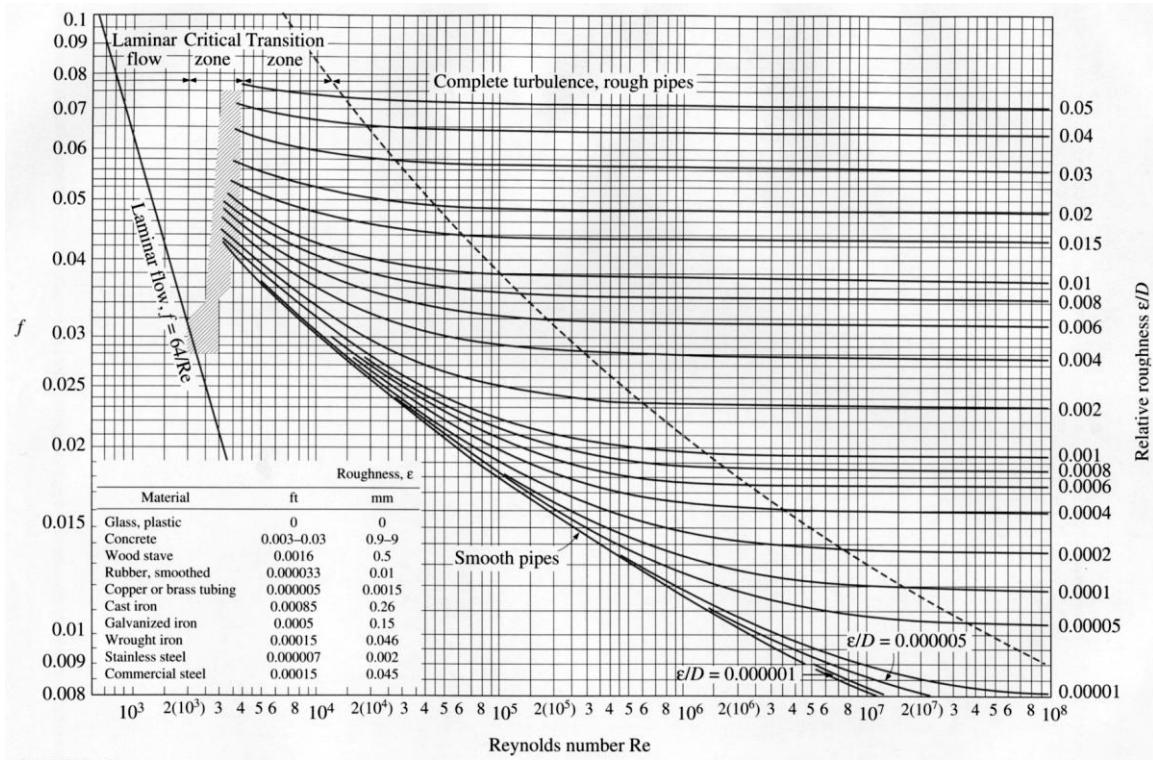


FIGURE A-27
The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

Figura A.12.4 Diagrama de Moody

Tabla A.12.10 Pérdidas de presiones típicas en intercambiadores de calor
(CEPSA)

SHELL AND TUBE, AIR COOLED, PLATE AND FRAME, SPIRAL, AND DOUBLE PIPE EXCHANGERS	TYPICAL PRESSURE DROPS	
	CUSTOMARY	METRIC
Gases and Vapors (high pressure)	5 - 10 psi	(35 - 70 kPa)
Gases and Vapors (low pressure)	2 - 5 psi	(15 - 35 kPa)
Gases and Vapors (atmospheric pressure)	0.5 - 2 psi	(3.5 - 14 kPa)
Vapors (vacuum)	< 0.5 psi	(< 3.5 kPa)
Vapors (vacuum tower condensers)	3 - 12 mm HG	(0.4 - 1.6 kPa)
Liquids	10 - 25 psi	(70 - 170 kPa)
Special Requirement:		
F shell, shell side stream	5 - 10 psi maximum*	(35 - 70 kPa maximum)
PLATE FIN EXCHANGERS		
Gases and Vapors	1 - 3 psi	(5 - 20 kPa)
Liquids	3 - 8 psi	(20 - 55 kPa)

Tabla A.12.11 Mínima temperatura de aproximación en intercambiados de calor

HEAT EXCHANGER TYPE	MINIMUM TEMPERATURE APPROACH	
	°F	°C
Shell and Tube	15	9
Double Pipe	10	6
Air-cooled	25	14
Plate-fin, Plate Frame, Spiral	5	3
Recuperative Exchangers	36	20

Tabla A.12.12 Coeficientes de ensuciamiento

SERVICE	FOULING FACTORS	
	$\frac{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{Btu}}$	$\frac{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}}$
FOULING RESISTANCE FOR NATURAL GAS - GASOLINE PROCESSING STREAMS		
Gases and Vapors:		
Natural Gas	0.0010 - 0.0020	0.0002 - 0.0004
Overhead Products	0.0010 - 0.0020	0.0002 - 0.0004
Liquids:		
Lean Oil	0.0020	0.0004
Rich Oil	0.0010 - 0.0020	0.0002 - 0.0004
Natural Gasoline and Liquefied Petroleum Gases	0.0010 - 0.0020	0.0002 - 0.0004
MISCELLANEOUS		
Steam:		
Oil Bearing	0.0010	0.0002
Non-oil bearing	0.0005	0.0001
Air (atmospheric):	0.0020	0.0004
Fuel Oil Heater:	0.0050	0.0009
Organic Vapors:	0.0005	0.0001
Organic Liquids:	0.0010	0.0002
Refrigerant Liquids (Heating, Cooling or Evaporating):	0.0010	0.0002
Refrigerant Vapors Condensing from:		
Lubricated Reciprocating Compressors	0.0020	0.0004
Others	0.0005	0.0001

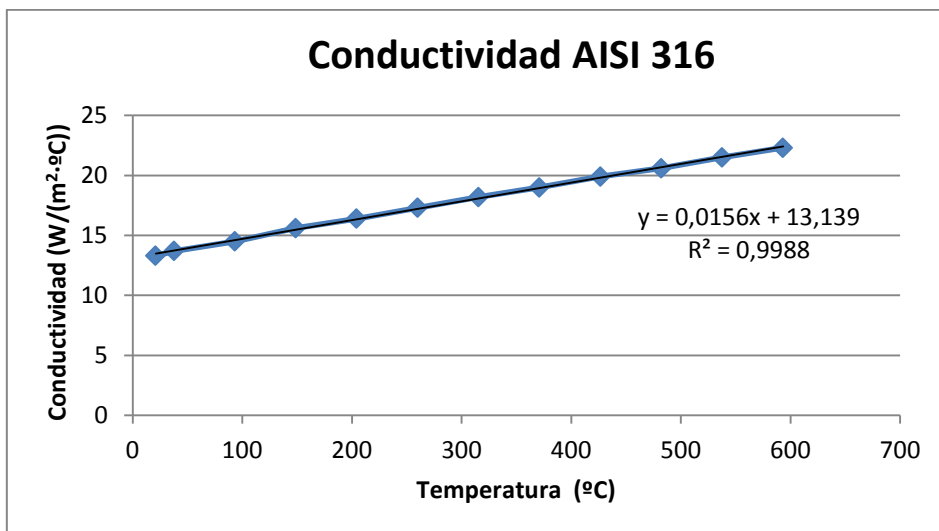


Figura A.12.5 Conductividad térmica Acero AISI 316 (Norma TEMA)

Tabla A.12.13 Valores típicos de velocidad de fluidos en tuberías junto a la pérdida de carga máxima admisible

	Velocidad (m/s)	ΔP (kPa/m)
Líquidos bombeados (no viscosos)	1 - 3	0.5
Líquidos, flujo por gravedad	---	0.05
Gases y vapores	15 - 30	0.02 % presión de línea
Flujos a alta presión	30 - 60	---

Tabla A.12.14 Valores de velocidad en tubería para fluidos bifásicos

Densidad del fluido (kg/m³)	Velocidad (m/s)
1600	2.4
800	3.0
160	4.9
16	9.4
0.16	18.0
0.016	34.0

Tabla A.12.15 Valores de máxima tensión admisible según código ASME
Sección 2.

A99	11	16Cr-12Ni-2Mo	Plate	SA-240	316L	S31603	...	...	...	...	...	...	8	1
	12	16Cr-12Ni-2Mo	Plate	SA-240	316L	S31603	...	...	...	...	...	...	8	1
	13	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. tube	SA-249	TP316L	S31603	...	...	...	...	...	...	8	1
	14	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. tube	SA-249	TP316L	S31603	...	...	...	...	...	...	8	1
	15	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. tube	SA-249	TP316L	S31603	...	...	...	...	...	...	8	1
Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding														
Line No.	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
1	27.1	...	23.6	...	20.6	18.9	18.1	17.9	17.9	17.9	17.8	17.7	17.4	16.9
2	27.1	...	23.6	...	20.3	17.9	16.5	15.8	15.4	15.5	15.3	15.1	14.8	14.3
3	16.7	...	16.7	...	16.7	15.7	14.8	14.0	13.7	13.5	13.2	12.9	12.7	...
4	16.7	...	14.2	...	12.7	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.6	9.4	...
5	16.7	...	16.7	...	16.7	15.7	14.8	14.0	13.7	13.5	13.2	12.9	12.7	...
6	16.7	...	14.2	...	12.7	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.6	9.4	...
A99	7	16.7	...	16.7	...	16.7	15.7	14.8	14.0	13.7	13.5	13.2	12.9	12.7
	8	16.7	...	14.2	...	12.7	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.6	9.4
	9	16.7	...	16.7	...	16.7	15.7	14.8	14.0	13.7	13.5	13.2	12.9	12.7
	10	16.7	...	14.2	...	12.7	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.6	9.4
	11	16.7	...	16.7	...	16.7	15.7	14.8	14.0	13.7	13.5	13.2	12.9	12.7
	12	16.7	...	14.2	...	12.7	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.6	9.4
A99	13	16.7	...	16.7	...	16.7	15.7	14.8	14.0	13.7	13.5	13.2	12.9	...
	14	14.2	...	14.2	...	14.2	13.4	12.5	11.9	11.7	11.4	11.2	11.0	10.8
	15	14.2	...	12.1	...	10.8	9.9	9.3	8.8	8.7	8.5	8.3	8.1	8.0

Tabla A.12.15 Cont1.

TABLE 1A (CONT'D) SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3; * AND SECTION VIII, DIVISION 1 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES S FOR FERROUS MATERIALS (*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)														
Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec No.	Type/Grade	Alloy Desig./UNS No.	Class/Cond./Temper	Size/Thickness, in.	P-No.	Group No.					
1	C-Si	Plate	SA-515	60	K02401	...	...	1	1			
2	C-Mn-Si	Plate	SA-516	60	K02100	...	...	1	1			
A99	C-Si	Wld. pipe	SA-671	CB60	K02401	...	...	1	1			
A99	C-Mn-Si	Wld. pipe	SA-671	CC60	K02100	...	...	1	1			
A99	C-Mn-Si	Wld. pipe	SA-671	CE60	K02402	...	...	1	1			
A99	C-Si	Wld. pipe	SA-672	B60	K02401	...	...	1	1			
A99	C-Mn-Si	Wld. pipe	SA-672	C60	K02100	...	...	1	1			
A99	C-Mn-Si	Wld. pipe	SA-672	E60	K02402	...	...	1	1			
A99	C	Wld. pipe	SA-134	A283D	K02702	...	...	1	1			
10	C	Plate	SA-283	D	K02702	...	...	1	1			
Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding														
Line No.	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
1	17.1	17.1	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	13.0	10.8	8.7	5.9
2	17.1	17.1	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	13.0	10.8	8.7	5.9
A99	3	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3
A99	4	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3
A99	5	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3
A99	6	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3
A99	7	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3
A99	8	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3
A99	9	17.1	...	17.1	...	17.1
A99	10	17.1	17.1	17.1	...	17.1	17.1	16.9	16.3

Tabla A.12.15 Cont2.

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec No.	Type/Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Cond./ Temper	Size/ Thickness, in.	P-No.	Group No.
A99	1	18Cr-8Ni	SA-182	F304L	S30403	...	≤ 5	8	1
	2	18Cr-8Ni	SA-182	F304L	S30403	...	≤ 5	8	1
	3	18Cr-8Ni	SA-213	TP304L	S30403	...	...	8	1
	4	18Cr-8Ni	SA-213	TP304L	S30403	...	...	8	1
	5	18Cr-8Ni	SA-240	304L	S30403	...	...	8	1

Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding														
Line No.	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
A99	1	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.0	...	...
	2	16.7	...	14.3	...	12.8	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.7	...
	3	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	...
	4	16.7	...	14.3	...	12.8	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.7	...
	5	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	...
	6	16.7	...	14.3	...	12.8	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.7	...

Tabla A.12.15 Cont3.

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec No.	Type/Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Cond./ Temper	Size/ Thickness, in.	P-No.	Group No.
A99	1	C	SA-134	A283B	...	...	...	1	1
	2	C	SA-283	B	...	...	...	1	1
	3	C	SA-285	B	K02200	...	...	1	1
A99	4	C	SA-285	B	K02200	...	...	1	1
	5	C	SA-672	A50	K02200	...	...	1	1
A99	6	C	SA-414	B	K02201	...	...	1	1
	7	C	SA-675	55	...	...	...	1	1
	8	C	SA-675	55	...	...	...	1	1
A99	9	C	SA-134	A283C	K02401	...	...	1	1
	10	C	SA-283	C	K02401	...	...	1	1
	11	C	SA-285	C	K02801	...	...	1	1

Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding														
Line No.	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
A99	1	14.3	...	14.3	...	14.3	...	...	...	...	...	...	...	...
	2	14.3	14.3	14.3	...	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	...	...	...	...
	3	14.3	...	14.3	...	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	12.5	11.0	9.4	7.3
	4	14.3	14.3	14.3	...	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	12.5	11.2	9.6	8.1
A99	5	14.3	...	14.3	...	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	12.5	...	...	...
	6	14.3	14.3	14.3	...	14.3	14.3	14.3	14.3	12.5	11.2	9.6	8.1	5.9
	7	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	14.9	14.1	13.6	13.1	12.7	10.8	8.7
	8	15.7	...	15.7	...	15.7	15.7	14.9	14.1	13.6	...	...	...	...
A99	9	15.7	...	15.7	...	15.7	...	...	...	...	...	...	...	...
	10	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	15.3	14.8	...	...	...	...	...
	11	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9

Tabla A.12.15 Cont4.

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec No.	Type/Grade	Desig./ UNS No.	Class/ Cond./ Temper	Size/ Thickness, in.	P-No.	Group No.
A99	1	...	...	...	...	...	...	...	...
A99	2	16Cr-12Ni-2Mo	SA-351	CF8M	J92900	...	...	8	1
	3	16Cr-12Ni-2Mo	SA-351	CF8M	J92900	...	...	8	1
	4	16Cr-12Ni-2Mo	SA-451	CPF8M	J92900	...	...	8	1
	5	16Cr-12Ni-2Mo	SA-182	F316	S31600	...	> 5	8	1
	6	16Cr-12Ni-2Mo	SA-182	F316	S31600	...	> 5	8	1
	7	16Cr-12Ni-2Mo	SA-336	F316	S31600	...	...	8	1
	8	16Cr-12Ni-2Mo	SA-336	F316	S31600	...	...	8	1
	9	16Cr-12Ni-2Mo	SA-430	FP316	S31600	...	...	8	1
	10	16Cr-12Ni-2Mo	SA-430	FP316	S31600	...	...	8	1
	11	16Cr-12Ni-2Mo	SA-182	F316H	S31609	...	> 5	8	1
	12	16Cr-12Ni-2Mo	SA-182	F316H	S31609	...	> 5	8	1
A99	13	16Cr-12Ni-2Mo	SA-336	F316H	S31609	...	...	8	1
	14	16Cr-12Ni-2Mo	SA-336	F316H	S31609	...	...	8	1
	15	16Cr-12Ni-2Mo	SA-430	FP316H	S31609	...	...	8	1
	16	16Cr-12Ni-2Mo	SA-430	FP316H	S31609	...	...	8	1
	17	16Cr-12Ni-2Mo	SA-182	F316	S31600	...	≤ 5	8	1
	18	16Cr-12Ni-2Mo	SA-182	F316	S31600	...	≤ 5	8	1
	19	16Cr-12Ni-2Mo	SA-213	TP316	S31600	...	...	8	1
	20	16Cr-12Ni-2Mo	SA-213	TP316	S31600	...	...	8	1
	21	16Cr-12Ni-2Mo	SA-240	316	S31600	...	...	8	1

Line No.	Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding														
	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	
A99	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
A99	2	20.0	...	...	...	19.4	19.2	17.9	17.0	16.6	16.3	16.0	15.8	15.7	15.5
	3	20.0	...	17.2	...	15.5	14.2	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.7	11.6	11.5
	4	20.0	...	20.0	...	19.4	19.2	17.9	17.0	16.6	16.3	16.0	15.8	...	...
	5	20.0	...	20.0	...	19.4	19.2	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6
	6	20.0	...	17.3	...	15.6	14.3	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5
	7	20.0	...	20.0	...	19.4	19.2	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6
	8	20.0	...	17.3	...	15.6	14.3	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5
	9	20.0	...	20.0	...	19.4	19.2	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6
	10	20.0	...	17.3	...	15.6	14.3	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5
	11	20.0	...	20.0	...	19.4	19.2	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6
	12	20.0	...	17.3	...	15.6	14.3	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5
A99	13	20.0	...	20.0	...	19.4	19.2	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6
	14	20.0	...	17.3	...	15.6	14.3	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5
	15	20.0	...	20.0	...	19.4	19.2	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6
	16	20.0	...	17.3	...	15.6	14.3	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5
	17	20.0	...	20.0	...	20.0	19.3	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6
	18	20.0	...	17.3	...	15.6	14.3	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5
	19	20.0	...	20.0	...	20.0	19.3	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6
	20	20.0	...	17.3	...	15.6	14.3	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5
	21	20.0	...	20.0	...	20.0	19.3	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6

Tabla A.12.16 Valores de máximo tensión admisible para tuberías de acero al carbono (ASME B31.3)

TABLE A-1 (CONT'D) BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS ¹ Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated													
Material	Spec. No.	P-No. or S-No. (5)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Min. Temp. to 100	200	300			
						Tensile	Yield						
Carbon Steel Pipes and Tubes (2)													
A 285 Gr. A	A 134	1	...	(8b)(57)	B	45	24	15.0	14.6	14.2			
A 285 Gr. A	A 672	1	A45	(57)(59)(67)	B	45	24	15.0	14.6	14.2			
Butt weld Smls & ERW	API 5L	S-1	A25	(8a)	-20	45	25	15.0	15.0	14.5			
...	API 5L	S-1	A25	(57)(59)	B	45	25	15.0	15.0	14.5			
...	A 179	1	...	(57)(59)	-20	47	26	15.7	15.0	14.2			
Type F	A 53	1	Gr. A	(8a)(77)	20	48	30	16.0	16.0	16.0			
...	A 139	S-1	A	(8b)(77)	A	48	30	16.0	16.0	16.0			
...	A 587	1	...	(57)(59)	-20	48	30	16.0	16.0	16.0			
...	A 53	1	A	(57)(59)	B	48	30	16.0	16.0	16.0			
...	A 106	1	A	(57)									
...	A 135	1	A	(57)(59)									
...	A 369	1	FPA	(57)									
...	API 5L	S-1	A	(57)(59)(77)									
A 285 Gr. B	A 134	1	...	(8b)(57)	B	50	27	16.7	16.4	16.0			
A 285 Gr. B	A 672	1	A50	(57)(59)(67)	B	50	27	16.7	16.4	16.0			
A 285 Gr. C	A 134	1	...	(8b)(57)	A	55	30	18.3	18.3	17.7			
...	A 524	1	Gr. II	(57)	-20	55	30	18.3	18.3	17.7			
...	A 333	1	1	(57)(59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7			
...	A 334	1	1										
A 285 Gr. C	A 671	1	CA55								(59)(67)		
A 285 Gr. C	A 672	1	A55	(57)(59)(67)	A	55	30	18.3	18.3	17.7			
A 516 Gr. 55	A 672	1	C55	(57)(67)	C								

Basic Allowable Stress S, ksi (1), at Metal Temperature, °F (7)														
400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	Grade	Spec. No.
Carbon Steel Pipe and Tubes (2)														
13.7	13.0	11.8	11.6	11.5	10.3	9.0	7.8	6.5	...	...	...	...	A 134	A 134
13.7	13.0	11.8	11.6	11.5	10.3	9.0	7.8	6.5	4.5	2.5	1.6	1.0	A45	A 672
13.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A25	API 5L
13.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A25	API 5L
13.5	12.8	12.1	11.8	11.5	10.6	9.2	7.9	6.5	4.5	2.5	1.6	1.0	...	A 179
16.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Gr. A	A 53
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A	A 139
16.0	16.0	14.8	14.5	14.4	10.7	9.3	7.9	...	...	...	...	...	...	A 587
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A	A 53
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A	A 106
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A	A 135
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	FPA	A 369
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A	API 5L
15.4	14.6	13.3	13.1	13.0	11.2	9.6	8.1	6.5	...	...	...	...	...	A 134
15.4	14.6	13.3	13.1	13.0	11.2	9.6	8.1	6.5	4.5	2.5	1.6	1.0	A 50	A 672
17.2	16.2	14.8	14.5	14.4	12.0	10.2	8.3	6.5	...	...	...	...	...	A 134
17.2	16.2	14.8	14.5	14.4	12.0	10.2	8.3	6.5	4.5	2.5	...	...	Gr. II	A 524
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	A 333
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	A 334
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	CA55	A 671
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A55	A 672
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	C55	A 672


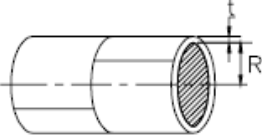
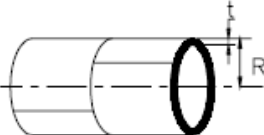
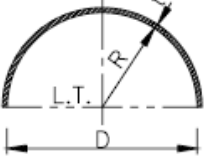
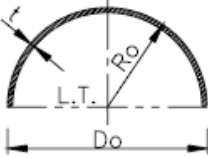
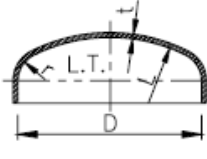
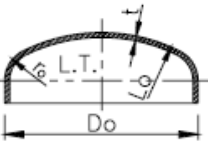
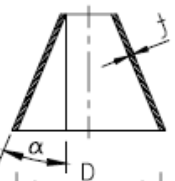
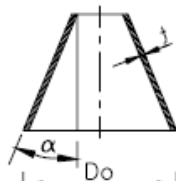
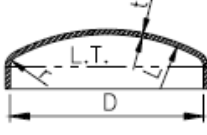
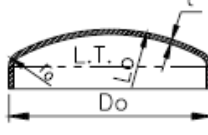
 INGLESA	FORMULAS PARA EL CALCULO DE RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESION INTERNA										NORMAS								
	FIGURA No. 89																		
α = ANGULO DEL VERTICE/2 D = DIAMETRO INTERIOR Do = DIAMETRO EXTERIOR E = EFICIENCIA DE SOLDADURA		r = RADIO DE ESQUINA INT. ro = RADIO DE ESQUINA EXT. M = FACTOR (VER TABLA) P = PRESION DE DISEÑO L = RADIO INTERIOR DE LA TAPA		R = RADIO INT. Ro = RADIO EXT. S = ESFUERZO EN LA TENSION t = ESPESOR MINIMO REQUERIDO Lo = RADIO EXTERIOR DE LA TAPA															
TABLA FACTOR M	L/r	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16.67	
	M	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77	
EN FUNCION DE DIMENSIONES INTERNAS										EN FUNCION DE DIMENSIONES EXTERNAS									
 $t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$ $P = \frac{SE t}{R + 0.6t}$					CUERPO CILINDRICO					 $t = \frac{PRo}{SE + 0.4P}$ $P = \frac{SE t}{Ro + 0.4t}$					CUERPO CILINDRICO				
 $t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SE t}{R + 0.2t}$					TAPA SEMIESFERICA					 $t = \frac{PRo}{2SE + 0.8P}$ $P = \frac{2SE t}{Ro - 0.8t}$					TAPA SEMIESFERICA				
 $t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SE t}{D + 0.2t}$					TAPA SEMIELIPTICA 2:1					 $t = \frac{PDo}{2SE + 1.8P}$ $P = \frac{2SE t}{Do - 1.8t}$					TAPA SEMIELIPTICA				
 $t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)}$ $P = \frac{2SE t \cos \alpha}{D + 1.2t \cos \alpha}$					TAPA Y/O SECCION CONICA α MAX. = 30°					 $t = \frac{PDo}{2 \cos \alpha (SE + 0.4P)}$ $P = \frac{2SE t \cos \alpha}{Do - 0.8t \cos \alpha}$					TAPA Y/O SECCION CONICA α MAX. = 30°				
 $t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SE t}{rM + 0.2t}$					TAPA TORIESFERICA ASME					 $t = \frac{PLoM}{2SE + P(M - 0.2)}$ $P = \frac{2SE t}{Mro - t(M - 0.2)}$					TAPA TORIESFERICA ASME				

Figura A.12.6 Formulas para el cálculo de espesores de recipientes sometidos a presión interna según el código ASME

Tabla A.12.17 Tensión máxima admisible de tuberías de aceros
inoxidables (Código ASME B31.3)

TABLE A-1 (CONT'D)																				
BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS ¹																				
Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated																				
Material	Spec. No.	P-No. or S-No. (5)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Min. Temp.												
						Tensile	Yield	to 100	200	300	400	500	600							
Stainless Steel (3) (4) (Cont'd)																				
Pipes and Tubes (2) (Cont'd)																				
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 312	8	TP347	...	-425	75	30	20.0	20.0	20.0	19.9	19.3								
Type 347 A 240	A 358	8	347	(30)(36)	-425															
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 376	8	TP347	(30)(36)	-425															
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 409	8	TP347	(30)(36)	-425															
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 312	8	TP348	...	-325															
Type 348 A 240	A 358	8	348	(30)(36)	-325															
18Cr-10Ni-b pipe	A 376	8	TP348	(30)(36)	-325															
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 409	8	TP348	(30)(36)	-325															
23Cr-13Ni	A 451	8	CPH10 or CPH20	(12)(14)(28)(35)(39)	-325								70	30	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.2
25Cr-20Ni pipe	A 312	8	TP310	(28)(29)(35)(39)	-325								75	30	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.2
Type 310S A 240	A 358	8	310S	(28)(29)(31)(35)(36)																
18Cr-10Ni-Cb	A 451	8	CPFC	(28)	-325	70	30	20.0	20.0	20.0	20.0	19.3	18.3							
18Cr-10Ni-Ti pipe sems ≤ 3/8 in. thk; wld	A 312	8	TP321	(28)(30)	-425	75	30	20.0	20.0	20.0	20.0	19.3	18.3							
Type 321 A 240	A 358	8	321	(28)(30)(36)																
18Cr-10Ni-Ti pipe ≤ 3/8 in. thick	A 376	8	TP321																	
18Cr-10Ni-Ti pipe	A 409	8	TP321H	(30)(36)										-325						
18Cr-10Ni-Ti pipe ≤ 3/8 in. thick	A 376	8	TP321H	...										-325						
18Cr-10Ni-Ti pipe sems ≤ 3/8 in. thk; wld	A 312	8	TP321H	...										-325						
16Cr-12Ni-Mo tube	A 269	8	TP316	(14)(26)(28)(31)(36)										-425	75	30	20.0	20.0	20.0	19.3	17.9	17.0
16Cr-12Ni-2Mo pipe	A 312	8	TP316	(26)(28)	-425															
Type 316 A 240	A 358	8	316	(26)(28)(31)(36)	-425															
16Cr-12Ni-2Mo pipe	A 376	8	TP316	(26)(28)(31)(36)	-425															
16Cr-12Ni-2Mo pipe	A 409	8	TP316	(26)(28)(31)(36)	-425															
18Cr-3Ni-3Mo pipe	A 312	8	TP317	(26)(28)	-325															
18Cr-3Ni-3Mo pipe	A 409	8	TP317	(26)(28)(31)(36)	-325															
16Cr-12Ni-2Mo pipe	A 376	8	TP316H	(26)(31)(36)	-325															
16Cr-12Ni-2Mo pipe	A 312	8	TP316H	(26)	-325	75	30	20.0	20.0	20.0	19.3	17.9	17.0							
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 376	8	TP347H	(30)(36)	-325	75	30	20.0	20.0	20.0	19.9	19.3								
18Cr-0Ni-Cb pipe	A 312	8	TP347	(28)	-425															
Type 347 A 240	A 358	8	347	(28)(30)(36)	-425															
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 376	8	TP347	(28)(30)(36)	-425															
18Cr-10Ni-b pipe	A 409	8	TP347	(28)(30)(36)	-425															
18Cr-10Ni-b pipe	A 312	8	TP348	(28)	-325															
Type 348 A 240	A 358	8	348	(28)(30)(36)	-325															
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 376	8	TP348	(28)(30)(36)	-325															
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 409	8	TP348	(28)(30)(36)	-325															
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 312	8	TP347H	..	-325								75	30	20.0	20.0	20.0	19.9	19.3	
18Cr-10Ni-Cb pipe	A 312	8	TP348H																	

(continued)

Tabla A.12.17 Continuación

TABLE A-1 (CONT'D)																		Grade	Spec. No.
BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS ¹																			
Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated																			
Basic Allowable Stress S, ksi (1), at Metal Temperature, °F (7)																			
650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500		
																		Stainless Steel (3) (4) (Cont'd) Pipes and Tubes (2) (Cont'd)	
19.0	18.6	18.5	18.4	18.2	18.1	18.1	18.0	12.2	9.1	6.1	4.4	3.3	2.2	1.5	1.2	0.9	0.8	TP347 347 TP347 TP347 TP348 348 TP348 TP348	A 312 A 358 A 376 A 409 A 312 A 358 A 376 A 409
18.8	18.3	18.0	17.4	13.5	13.3	12.4	10.5	8.4	6.4	5.0	3.7	2.9	2.3	1.7	1.3	0.9	0.8	CPH10 or CPH20	A 451
18.8	18.3	18.0	17.5	14.6	13.9	12.5	11.0	9.8	8.5	7.3	6.0	4.8	3.5	2.3	1.6	1.1	0.8	TP310 310S	A 312 A 358
18.0	17.5	17.2	17.1	14.0	13.9	13.7	13.4	13.0	10.8	8.0	5.0	3.5	2.7	2.0	1.4	1.1	1.0	CPF8C	A 451
17.9	17.5	17.2	16.9	16.7	16.6	16.4	16.2	11.7	9.1	6.9	5.4	4.1	3.2	2.5	1.9	1.5	1.1	TP321 321 TP321 TP321 TP321H TP321H	A 312 A 358 A 376 A 409 A 376 A 312
16.7	16.3	16.1	15.9	15.7	15.5	15.4	15.3	14.5	12.4	9.8	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.3	TP316 316 TP316 TP316 TP317 TP317 TP316H	A 269 A 312 A 358 A 376 A 409 A 312 A 409 A 376
16.7	16.3	16.1	15.9	15.7	15.5	15.4	15.3	14.5	12.4	9.8	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.3	TP316H	A 312
19.0	18.6	18.5	18.4	18.2	18.1	18.1	18.0	12.2	14.2	10.5	7.9	5.9	4.4	3.2	2.5	1.8	1.3	TP347H TP347 347 TP347 TP347 TP348 348 TP348 TP348	A 376 A 312 A 358 A 376 A 409 A 312 A 358 A 376 A 409
19.0	18.6	18.5	18.4	18.2	18.1	18.1	18.0	12.2	14.2	10.5	7.9	5.9	4.4	3.2	2.5	1.8	1.3	TP347H TP348H	A 312 A 312

(continued)

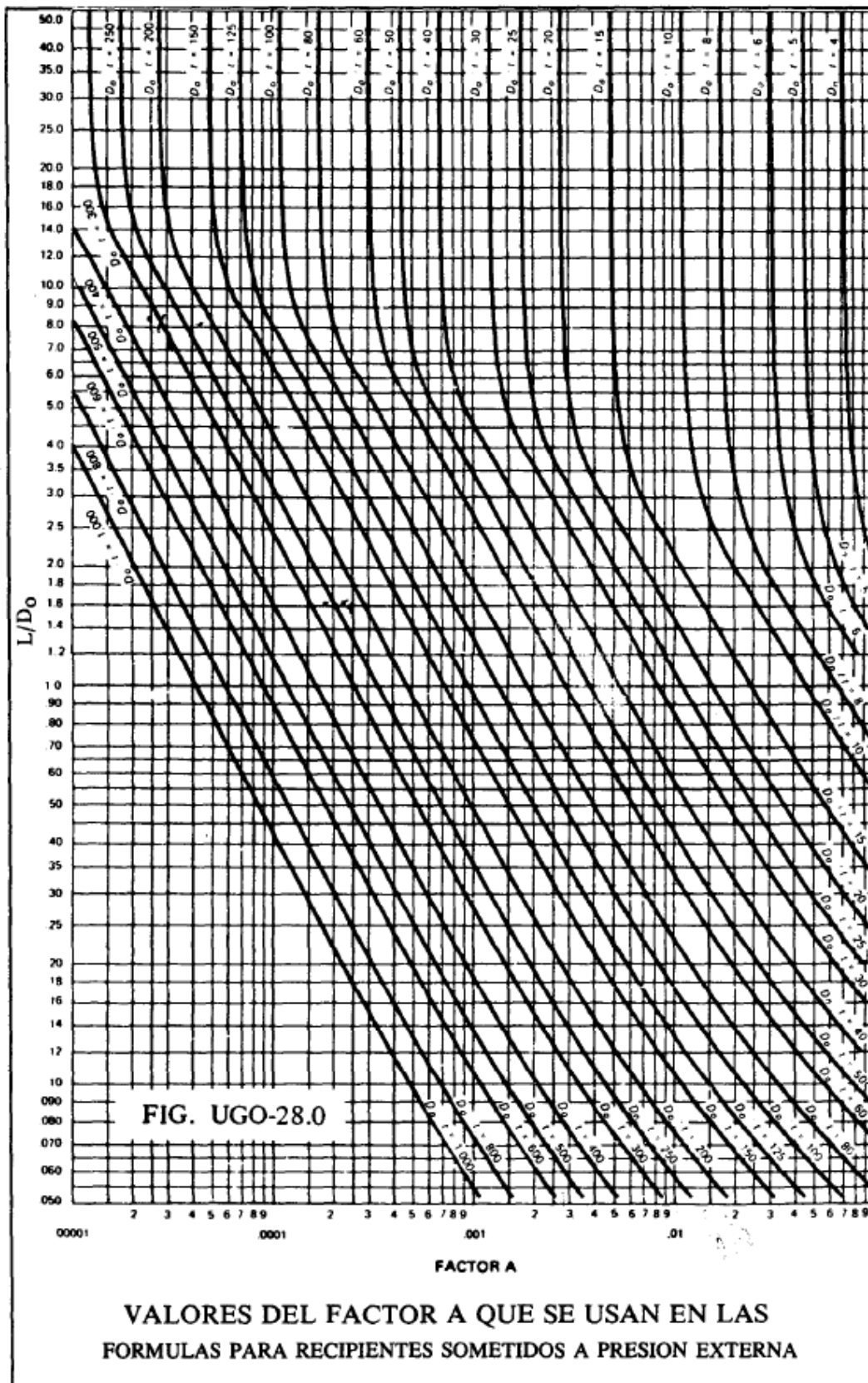


Figura A.12.7 Valores del Factor A (Megyesy, E.F., 2001)

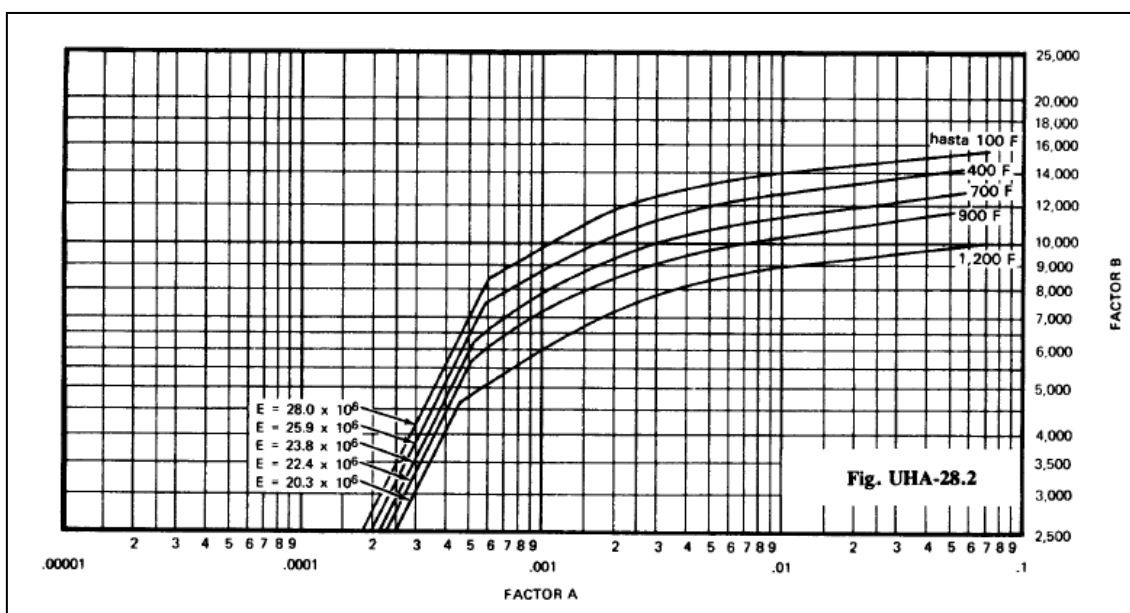


Figura A.12.8 Valores del Factor B para acero AISI 316L
(Megyesy, E.F., 2001)

Tabla A.12.18 Vida útil de los equipos
(Aries y Newton, 1998)

Aparato	Vida (años)	Aparato	Vida (años)
Calderas vapor	25	Digestores	10
Edificio hormigón	50	Espesadores	5
Edificio ladrillo y acero	33	Filtros prensa	17
Motores eléctricos	14	Hornos eléctricos	20
Transformadores	15	Hornos de gas	8
Bombas	20	Molinos	12
Columnas	8	Refrigerantes	17
Compresores	20	Secaderos	25
Condensadores y evaporadores	17	Tamizadoras	12
Depósitos	10	Tuberías	15

Tabla A.12.19 Tipos de juntas soldadas
(Megyesy, E.F., 2001)







TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E		
TIPOS NORMA UW-12		Cuando la junta es:		
		a. Radiogra- fiada 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

Tabla A.12.20 Espesores comerciales de chapas de acero

Chapas gruesas			Chapas finas Calibre B.W.G. (Birmingham Wire Gauge)			Chapas finas Calibre B.G. (Birmingham Gauge)		
Espesor		Peso [N/m ²]	Espesor		Peso [N/m ²]	Espesor		Peso [N/m ²]
[pulg.]	[mm]		nº	[mm]		nº	[mm]	
1/8	3.20	247.4	10	3.40	262.8	10	3.10	239.6
3/16	4.80	371.0	11	3.05	235.8	11	2.76	213.3
1/4	6.40	494.7	12	2.78	213.3	12	2.45	189.4
5/16	7.90	610.7	13	2.41	186.3	13	2.19	169.3
3/8	9.50	734.4	14	2.10	162.3	14	1.94	150.0
7/16	11.10	858.0	15	1.83	141.5	15	1.73	133.7
1/2	12.70	981.7	16	1.65	127.5	16	1.55	119.8
9/16	14.30	1105.4	17	1.47	113.6	17	1.38	106.7
5/8	15.90	1229.1	18	1.24	95.9	18	1.23	95.1
11/16	17.50	1352.8	19	1.07	82.7	19	1.09	84.3
3/4	19.10	1476.4	20	0.89	68.8	20	0.97	75.0
13/16	20.60	1592.4	21	0.81	62.8	21	0.86	66.5
7/8	22.20	1716.1	22	0.71	54.9	22	0.77	59.5
15/16	23.80	1839.7	23	0.63	48.7	23	0.69	53.3
1	25.40	1963.4	24	0.56	43.3	24	0.61	47.2
1 1/4	31.70	2450.4	25	0.51	39.4	25	0.54	41.7
1 1/2	38.10	2945.1	26	0.46	35.6	26	0.48	37.1
1 3/4	44.40	3432.1	28	0.36	27.8	28	0.38	29.4
2	50.80	3926.8	30	0.30	23.2	30	0.30	23.2
2 1/2	63.50	4908.6						
3	76.30	5898.0						

Tabla A.12.21 Longitud equivalente de accesorios

Pérdidas en codos y accesorios (longitud equivalente de tubería recta, en pies)														
Diámetro interior (in)	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Codo de 90°	2-2,5	4-5	6-7	9-10	10-11	12-14	18	27	26	31	35	40	45	52
Codo largo de 90°	1,5-2	2,5-4	5	6-7	7-8	9-11	12-14	16-17	20	23	27	30	34	40
Codo de 45°	1,5	2,5	3,5	4,5	6	7,5	10	12,5	15	17	19	21	23	28
Codo largo de 45°	1	1,5	2	2,7	3,5	4	5	6	7	9	10	12	14	16
Curva de 180°						36	46	60	75					
Curva de 180°, gran radio						20	25	30	40					
Curvas de 90° Soldadas														
0,5		7	10	12	15	19	25	32	38	44	50	56		
1		3	5	6	7	8	11	14	17	20	23	26		
1,5		2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18		
2		1	2	3	3,5	4	6	8	10	12	14	16		
3		1	1,5	2,5	3	4	6	7	9	11	13	15		
Tes	5,5	10	15	20	25	32	41	55	65	75	85	100	115	130
V. de compuerta abierta	0,6	1,25	1,7	2,3	2,9	3,5	4,5	6	7	8	9	10	12	14
cerrada 1/4		7	10	13	16	19	26	33	40					
cerrada 1/2		33	50	70	85	100	130	160	190					
cerrada 3/4		140	200	280	340	400	540	700	800					
Válvula esférica	27	56	80	107	133	160	215	270	320	375	430	480	540	600
Válvula de retención	7	13	20	27	33	40	53	67	80	93	107	120	135	160
Válvula de pie	2	4	6	8	10	12	16	20	24	28	32	36	40	48
Colador	4	5	6	8	10	11	13	16	18	21	24	30	35	40
Entrada típica	1,5	3	4,5	6	7,5	9	12	15	18	21	24	27	30	35

Tabla A.12.21 Cont.

Codos	K	L_{eq}/D
Codo de radio corto	0,9	32
Codo de radio medio	0,75	27
Codo de radio largo	0,60	20
Codo de 45°	0,42	15
Otros accesorios	K	L_{eq}/D
Válvula de globo, completamente abierta	10	350
Válvula de ángulo, completamente abierta	5	175
Válvula de compuerta		
- Completamente abierta	0,19	7
- entreabierta	2,06	72
Empalme en T normal	1,8	67

Tabla A.12.22 Espesor de aislante de tuberías (CEPSA)

DIÁMETRO NOMINAL	TEMPERATURA DE OPERACIÓN °C.					
	65-200	200-300	300-400	400-550	550-650	650-800
Menores de 2"	30	40	60	60	60	60
2"	30	40	60	70	70	80
3"	30	50	70	80	90	100
4"	40	60	70	90	100	120
6"	40	60	90	110	120	140
8"	40	70	90	110	130	140
10"	50	70	100	130	140	150
12"	50	70	100	130	150	160
14"	50	80	110	130	150	160
16"	60	80	110	140	150	180
18"	60	90	120	150	180	190
20"	60	90	120	160	180	190
24"	60	100	140	170	180	200

Tabla A.12.23 Tabla Schedules de tuberías (CHEMCAD)

Pipe Schedules									
Nominal		Schedule 10		Schedule 40		Schedule 80		Schedule 160	
Size	OD	Thickness	ID	Thickness	ID	Thickness	ID	Thickness	ID
0.50	0.840	0.083	0.674	0.109	0.622	0.147	0.546	0.187	0.466
0.75	1.050	0.083	0.884	0.113	0.824	0.154	0.742	0.218	0.614
1.00	1.315	0.109	1.097	0.133	1.049	0.179	0.957	0.250	0.815
1.5	1.900	0.109	1.682	0.145	1.610	0.200	1.500	0.281	1.338
2.00	2.375	0.109	2.157	0.154	2.065	0.218	1.939	0.343	1.689
3.00	3.500	0.120	3.260	0.216	3.068	0.300	2.900	0.438	2.624
4.00	4.500	0.120	4.260	0.237	4.026	0.337	3.826	0.531	3.438
6.00	6.625	0.134	6.357	0.280	6.065	0.432	5.761	0.718	5.189
8.00	8.625	0.148	8.329	0.322	7.981	0.500	7.685	0.906	6.813
10.00	10.750	0.165	10.420	0.365	10.020	0.593	9.564	1.125	8.500
12.00	12.750	0.180	12.390	0.406	11.938	0.687	11.376	1.312	10.128
14.00	14.000	0.250	13.500	0.438	13.124	0.750	12.500	1.406	11.188
16.00	16.000	0.250	15.500	0.500	15.000	0.843	14.314	1.593	12.814
18.00	18.000	0.250	17.500	0.562	16.876	0.937	16.126	1.781	14.438
20.00	20.000	0.250	19.500	0.594	18.812	1.031	17.938	1.968	16.064
24.00	24.000	0.250	23.500	0.688	22.624	1.218	21.564	2.343	19.314

Tabla A.12.24 Tabla características de tuberías
(normas ANSI, ASME y API)

(1)	(2)	(3)	(3)	(4)	(5)	(6)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(3)	
Nominal Pipe Size	Nominal Outside Diam.	Design- nation	Wall Thick- ness	Inside Diam.	Weight per Feet	Wt. of Water per ft of Pipe	Sq ft Outside Surface per ft	Sq ft Inside Surface per ft	Flow Area in. ²	Area of Metal in. ²	Moment of Inertia in. ⁴	Section Modulus in. ³	Radius of Gyration in.
	D			d					a	A	I	Z	R
1/8 6	.405 10.3	10S	.049	.307	.186	.0320	.106	.0804	.0740	.0548	.00090	.00440	.1270
		Std.	.068	.269	.244	.0246	.106	.0705	.0568	.0720	.00106	.00530	.1215
		X-Stg.	.095	.215	.314	.0157	.106	.0563	.0364	.0925	.00122	.00600	.1146
1/4 8	.540 13.7	10S	.065	.410	.330	.0570	.141	.1073	.1320	.0970	.00280	.01030	.1695
		Std.	.088	.364	.424	.0451	.141	.0955	.1041	.1250	.00331	.01230	.1628
		X-Stg.	.119	.302	.535	.0310	.141	.0794	.0716	.1574	.00378	.01395	.1547
3/8 10	.675 17.1	10S	.065	.545	.423	.1010	.177	.1427	.2333	.1245	.00590	.01740	.2160
		Std.	.091	.493	.567	.0827	.177	.1295	.1910	.1670	.00730	.02160	.2090
		X-Stg.	.126	.423	.738	.0609	.177	.1106	.1405	.2173	.00862	.02554	.1991
1/2 15	.840 21.3	10S	.083	.670	.671	.1550	.220	.1764	.3568	.1974	.01430	.03410	.2692
		Std.	.109	.622	.850	.1316	.220	.1637	.3040	.2503	.01710	.04070	.2613
		X-Stg.	.147	.546	1.087	.1013	.220	.1433	.2340	.3200	.02010	.04780	.2505
		160	.187	.466	1.310	.0740	.220	.1220	.1706	.3836	.02213	.05269	.2402
XX-Stg.	.294	.252	1.714	.0216	.220	.0660	.0499	.5043	.02424	.05772	.2192		
3/4 20	1.050 26.7	10S	.083	.884	.857	.2660	.275	.2314	.6138	.2522	.02970	.05660	.3430
		Std.	.113	.824	1.130	.2301	.275	.2168	.5330	.3326	.03704	.07055	.3337
		X-Stg.	.154	.742	1.473	.1875	.275	.1948	.4330	.4335	.04479	.08531	.3214
160	.218	.614	1.940	.1280	.275	.1607	.2961	.5698	.05270	.10038	.3041		
XX-Stg.	.308	.434	2.440	.0633	.275	.1137	.1479	.7180	.05792	.11030	.2840		
1 25	1.315 33.4	10S	.109	1.097	1.404	.4090	.344	.2872	.9448	.4129	.07560	.1150	.4282
		Std.	.133	1.049	1.678	.3740	.344	.2740	.8640	.4939	.08734	.1328	.4205
		X-Stg.	.179	.957	2.171	.3112	.344	.2520	.7190	.6388	.10560	.1606	.4066
160	.250	.815	2.850	.2261	.344	.2134	.5217	.8364	.12516	.1903	.3868		
XX-Stg.	.358	.599	3.659	.1221	.344	.1570	.2818	1.0760	.14050	.2136	.3613		

Tabla A.12.24 Cont.

(1) Nominal Pipe Size	(2) Nominal Outside Diam. D	Designation	(3) Wall Thick- ness	(3)	(4)	(5)	(6)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(3)
				Inside Diam. d	Weight per Feet	Wt. of Water per ft of Pipe	Sq ft Outside Surface per ft	Sq ft Inside Surface per ft	Flow Area in. ² a	Area of Metal in. ² A	Moment of Inertia in. ⁴ I	Section Modulus in. ³ Z	Radius of Gyration in. R
1 1/4 32	1.660 42.2	10S Std.	.109 .140	1.442 1.380	1.806 2.272	.7080 .6471	.434 .434	.3775 .3620	1.633 1.495	.5314 .6685	.1606 .1947	.1934 .2346	.5499 .5397
		X-Stg. 160	.191 .250	1.278 1.160	2.996 3.764	.5553 .4575	.434 .434	.3356 .3029	1.283 1.057	.8815 1.1070	.2418 .2833	.2913 .3421	.5237 .5063
		XX-Stg.	.382	.896	5.214	.2732	.434	.2331	.6305	1.5340	.3411	.4110	.4716
1 1/2 40	1.900 48.3	10S Std.	.109 .145	1.682 1.610	2.085 2.717	.9630 .8820	.497 .497	.4403 .4213	2.221 2.036	.613 .800	.2469 .3099	.2599 .3262	.6344 .6226
		X-Stg. 160	.200 .281	1.500 1.337	3.631 4.862	.7648 .6082	.497 .497	.3927 .3519	1.767 1.405	1.088 1.430	.3912 .4826	.4118 .5080	.6052 .5809
		XX-Stg.	.400	1.100	6.408	.4117	.497	.2903	.950	1.885	.5678	.5977	.5489
2 50	2.375 60.3	10S Std.	.109 .154	2.157 2.067	2.638 3.652	1.583 1.452	.622 .622	.5647 .5401	3.654 3.355	.775 1.075	.5003 .6657	.4213 .5606	.8034 .7871
		X-Stg.	.218	1.939	5.022	1.279	.622	.5074	2.953	1.477	.8679	.7309	.7665
		-- 160 XX-Stg.	.250 .343 .436	1.875 1.689 1.503	5.673 7.450 9.029	1.196 .970 .769	.622 .622 .622	.4920 .4422 .3929	2.761 2.240 1.774	1.689 2.190 2.656	.9555 1.162 1.311	.8046 .9790 1.1040	.7565 .7286 .7027
2 1/2 65	2.875 73.0	10S Std.	.120 .203	2.635 2.469	3.53 5.79	2.360 2.072	.753 .753	.6900 .6462	5.453 4.788	1.038 1.704	.9878 1.530	.6872 1.064	.9756 .9474
		X-Stg. 160	.276 .375	2.323 2.125	7.66 10.01	1.834 1.535	.753 .753	.6095 .5564	4.238 3.547	2.254 2.945	1.924 2.353	1.339 1.638	.9241 .8938
		XX-Stg.	.552	1.771	13.69	1.067	.753	.4627	2.464	4.028	2.871	1.997	.8442
3 80	3.500 88.9	10S API	.120 .125	3.260 3.250	4.33 4.52	3.62 3.60	.916 .916	.853 .851	8.346 8.300	1.272 1.329	1.821 1.900	1.041 1.086	1.196 1.195
		API	.156	3.188	5.58	3.46	.916	.835	7.962	1.639	2.298	1.313	1.184
		API Std.	.188 .216	3.125 3.068	6.65 7.57	3.34 3.20	.916 .916	.819 .802	7.700 7.393	1.958 2.228	2.700 3.017	1.545 1.724	1.175 1.164
		API	.250	3.000	8.68	3.06	.916	.785	7.184	2.553	3.388	1.936	1.152
		API X-Stg.	.281 .300	2.938 2.900	9.65 10.25	2.94 2.86	.916 .916	.769 .761	6.780 6.605	2.842 3.016	3.819 3.892	2.182 2.225	1.142 1.136
		XX-Stg. 160	.438 .600	2.624 2.300	14.32 18.58	2.34 1.80	.916 .916	.687 .601	5.407 4.155	4.214 5.466	5.044 5.993	2.882 3.424	1.094 1.047
3 1/2 90	4.000 101.6	10S API	.120 .125	3.760 3.750	4.97 5.18	4.81 4.79	1.047 1.047	.984 .982	11.10 11.04	1.46 1.52	2.754 2.859	1.377 1.430	1.372 1.371
		API	.156	3.688	6.41	4.63	1.047	.966	10.68	1.88	3.485	1.743	1.360
		API Std.	.188 .226	3.624 3.548	7.71 9.11	4.48 4.28	1.047 1.047	.950 .929	10.32 9.89	2.27 2.68	4.130 4.788	2.065 2.394	1.350 1.337
		API	.250	3.500	10.02	4.17	1.047	.916	9.62	2.94	5.201	2.601	1.329
		API X-Stg.	.281 .318	3.438 3.364	11.17 12.51	4.02 3.85	1.047 1.047	.900 .880	9.28 8.89	3.29 3.68	5.715 6.280	2.858 3.140	1.319 1.307
		XX-Stg.	.636	2.728	22.85	2.53	1.047	.716	5.84	6.72	9.848	4.924	1.210
4 100	4.500 114.3	10S API	.120 .125	4.260 4.250	5.61 5.84	6.18 6.15	1.178 1.178	1.115 1.113	14.25 14.19	1.65 1.72	3.97 4.12	1.761 1.829	1.550 1.548
		API	.156	4.188	7.24	5.97	1.178	1.096	13.77	2.13	5.03	2.235	1.537
		API Std.	.188 .219	4.124 4.062	8.56 10.02	5.80 5.62	1.178 1.178	1.082 1.063	13.39 12.96	2.52 2.94	5.86 6.77	2.600 3.867	1.525 1.516
		API	.237	4.026	10.79	5.51	1.178	1.055	12.73	3.17	7.23	3.214	1.510
		API X-Stg.	.250 .281	4.000 3.938	11.35 12.67	5.45 5.27	1.178 1.178	1.049 1.031	12.57 12.17	3.34 3.73	7.56 8.33	3.360 3.703	1.506 1.495
		API	.312	3.876	14.00	5.12	1.178	1.013	11.80	4.11	9.05	4.020	1.482
		X-Stg. 120	.337 .438	3.826 3.624	14.98 19.00	4.98 4.47	1.178 1.178	1.002 .949	11.50 10.32	4.41 5.59	9.61 11.65	4.271 5.177	1.477 1.444
		-- 160	.500	3.500	21.36	4.16	1.178	.916	9.62	6.28	12.77	5.676	1.425
		XX-Stg.	.674	3.152	27.54	3.38	1.178	.826	7.80	8.10	15.28	6.793	1.374

Tabla A.12.24 Cont.

(1) Nominal Pipe Size	(2) Nominal Outside Diam. D	Designation	(3) Wall Thick- ness	(3)	(4) Weight per Feet	(5) Wt. of Water per ft of Pipe	(6) Sq ft Outside Surface per ft	(6) Sq ft Inside Surface per ft	(7) Flow Area in. ²	(8) Area of Metal in. ²	(9) Moment of Inertia in. ⁴	(10) Section Modulus in. ³	(3) Radius of Gyration in.
				Inside Diam. d									
5 125	5.563 141.3	10S	.134	5.295	7.77	9.54	1.456	1.386	22.02	2.29	8.42	3.028	1.920
		API	.156	5.251	9.02	9.39	1.456	1.375	21.66	2.65	9.70	3.487	1.913
		API	.188	5.187	10.80	9.16	1.456	1.358	21.13	3.17	11.49	4.129	1.902
		API	.219	5.125	12.61	8.94	1.456	1.342	20.63	3.68	13.14	4.726	1.891
		Std.	.258	5.047	14.62	8.66	1.456	1.321	20.01	4.30	15.16	5.451	1.878
		API	.281	5.001	15.86	8.52	1.456	1.309	19.64	4.66	16.31	5.862	1.870
		API	.312	4.939	17.51	8.31	1.456	1.293	19.16	5.15	17.81	6.402	1.860
		API	.344	4.875	19.19	8.09	1.456	1.278	18.67	5.64	19.28	6.932	1.849
		X-Stg.	.375	4.813	20.78	7.87	1.456	1.260	18.19	6.11	20.67	7.431	1.839
		120	.500	4.583	27.10	7.08	1.456	1.195	16.35	7.95	25.74	9.253	1.799
		160	.625	4.313	32.96	6.32	1.456	1.129	14.81	9.70	30.03	10.800	1.760
		XX-Stg.	.750	4.083	38.55	5.62	1.456	1.064	12.97	11.34	33.63	12.090	1.722
6 150	6.625 168.3	12 Ga.	.104	6.417	7.25	14.02	1.734	1.680	32.34	2.13	11.33	3.42	2.31
		10S	.134	6.357	9.29	13.70	1.734	1.660	31.75	2.73	14.38	4.34	2.29
		8 Ga.	.164	6.297	11.33	13.50	1.734	1.649	31.14	3.33	17.38	5.25	2.28
		API	.188	6.249	12.93	13.31	1.734	1.639	30.70	3.80	19.71	5.95	2.28
		6 Ga.	.194	6.237	13.34	13.25	1.734	1.633	30.55	3.92	20.29	6.12	2.27
		API	.219	6.187	15.02	13.05	1.734	1.620	30.10	4.41	22.66	6.84	2.27
		API	.250	6.125	17.02	12.80	1.734	1.606	29.50	5.01	25.55	7.71	2.26
		API	.277	6.071	18.86	12.55	1.734	1.591	28.95	5.54	28.00	8.46	2.25
		Std.	.280	6.085	18.97	12.51	1.734	1.587	28.90	5.58	28.14	8.50	2.24
		API	.312	6.001	21.05	12.26	1.734	1.571	28.28	6.19	30.91	9.33	2.23
		API	.344	5.937	23.09	12.00	1.734	1.554	27.68	6.79	33.51	10.14	2.22
		API	.375	5.875	25.10	11.75	1.734	1.540	27.10	7.37	36.20	10.90	2.21
X-Stg.	.432	5.781	28.57	11.29	1.734	1.510	26.07	8.40	40.49	12.22	2.19		
--	.500	5.625	32.79	10.85	1.734	1.475	24.85	9.63	45.60	13.78	2.16		
120	.562	5.501	36.40	10.30	1.734	1.470	23.77	10.74	49.91	15.07	2.15		
160	.718	5.189	45.30	9.16	1.734	1.359	21.15	13.36	58.99	17.81	2.10		
XX-Stg.	.864	4.897	53.16	8.14	1.734	1.280	18.83	15.64	66.33	20.02	2.06		
8 200	8.625 219.1	12 Ga.	.104	8.417	9.47	24.1	2.26	2.204	56.6	2.78	25.3	5.86	3.01
		10 Ga.	.134	8.357	12.16	23.8	2.26	2.188	54.8	3.57	32.2	7.46	3.00
		10S	.148	8.329	13.40	23.6	2.26	2.180	54.5	3.94	35.4	8.22	3.00
		8 Ga.	.164	8.297	14.83	23.4	2.26	2.172	54.1	4.36	39.1	9.06	2.99
		API	.188	8.249	16.90	23.2	2.26	2.161	53.5	5.00	44.5	10.30	2.98
		6 Ga.	.194	8.237	17.48	23.1	2.26	2.156	53.3	5.14	45.7	10.60	2.98
		API	.203	8.219	18.30	23.1	2.26	2.152	53.1	5.38	47.7	11.05	2.98
		API	.219	8.187	19.64	22.9	2.26	2.148	52.7	5.80	51.3	11.90	2.97
		3 Ga.	.239	8.147	21.42	22.6	2.26	2.133	52.1	6.30	55.4	12.84	2.96
		20	.250	8.125	22.40	22.5	2.26	2.127	51.8	6.58	57.7	13.39	2.96
		30	.277	8.071	24.70	22.2	2.26	2.115	51.2	7.26	63.3	14.69	2.95
		API	.312	8.001	27.72	21.8	2.26	2.095	50.3	8.15	70.6	16.37	2.94
		Std.	.322	7.981	28.55	21.6	2.26	2.090	50.0	8.40	72.5	16.81	2.94
		API	.344	7.937	30.40	21.4	2.26	2.078	49.5	8.94	76.8	17.81	2.93
		API	.375	7.875	33.10	21.1	2.26	2.062	48.7	9.74	83.1	19.27	2.92
		60	.406	7.813	35.70	20.8	2.26	2.045	47.9	10.48	88.8	20.58	2.91
		API	.438	7.749	38.33	20.4	2.26	2.029	47.2	11.27	94.7	21.97	2.90
		X-Stg.	.500	7.625	43.39	19.8	2.26	2.006	45.6	12.76	105.7	24.51	2.88
100	.593	7.439	50.90	18.8	2.26	1.947	43.5	14.96	121.4	28.14	2.85		
--	.625	7.375	53.40	18.5	2.26	1.931	42.7	15.71	126.5	29.33	2.84		
120	.718	7.189	60.70	17.6	2.26	1.882	40.6	17.84	140.6	32.61	2.81		
140	.812	7.001	67.80	16.7	2.26	1.833	38.5	19.93	153.8	35.65	2.78		
XX-Stg.	.875	6.875	72.42	16.1	2.26	1.800	37.1	21.30	162.0	37.56	2.76		
160	.906	6.813	74.70	15.8	2.26	1.784	36.4	21.97	165.9	38.48	2.76		

Tabla A.12.24 Cont.

(1) Nominal Pipe Size	(2) Nominal Outside Diam. D	Designation	(3) Wall Thick- ness	(3) Inside Diam. d	(4) Weight per Feet	(5) Wt. of Water per ft of Pipe	(6) Sq ft Outside Surface per ft	(6) Sq ft Inside Surface per ft	(7) Flow Area in. ² a	(8) Area of Metal in. ² A	(9) Moment of Inertia in. ⁴ I	(10) Section Modulus in. ³ Z	(3) Radius of Gyration in. R
10 Ga.	.134	10.482	15.21	37.4	2.81	2.74	86.3	4.47	63.0	11.71	3.75		
8 Ga.	.164	10.422	18.56	37.0	2.81	2.73	85.3	5.45	76.4	14.22	3.74		
10S API	.185	10.420	18.65	36.9	2.81	2.73	85.3	5.50	76.8	14.29	3.74		
6 Ga.	.194	10.362	21.89	36.6	2.81	2.71	84.3	6.43	89.7	16.68	3.73		
API	.203	10.344	22.86	36.5	2.81	2.71	84.0	6.71	93.3	17.35	3.73		
API	.219	10.310	24.60	36.2	2.81	2.70	83.4	7.24	100.5	18.70	3.72		
3 Ga.	.239	10.272	28.05	35.9	2.81	2.69	82.9	7.89	109.2	20.32	3.72		
20	.250	10.250	28.03	35.9	2.81	2.68	82.6	8.26	113.6	21.12	3.71		
API	.279	10.192	31.20	35.3	2.81	2.66	81.6	9.18	125.9	23.42	3.70		
30	.307	10.136	34.24	35.0	2.81	2.65	80.7	10.07	137.4	25.57	3.69		
API	.344	10.062	38.26	34.5	2.81	2.63	79.5	11.25	152.3	28.33	3.68		
Std.	.365	10.020	40.48	34.1	2.81	2.62	78.9	11.91	160.7	29.90	3.67		
API	.438	9.874	48.28	33.2	2.81	2.58	76.6	14.19	188.8	35.13	3.65		
X-Stg.	.500	9.750	54.74	32.3	2.81	2.55	74.7	16.10	212.0	39.43	3.63		
80	.593	9.564	64.40	31.1	2.81	2.50	71.8	18.91	244.9	45.56	3.60		
100	.718	9.314	77.00	29.5	2.81	2.44	68.1	22.62	286.2	53.25	3.56		
--	.750	9.250	80.10	29.1	2.81	2.42	67.2	23.56	296.2	55.10	3.54		
120	.843	9.064	89.20	27.9	2.81	2.37	64.5	26.23	324.3	60.34	3.51		
140	1.000	8.750	104.20	26.1	2.81	2.29	60.1	30.63	367.8	68.43	3.46		
160	1.125	8.500	116.00	24.6	2.81	2.22	56.7	34.01	399.4	74.31	3.43		
12 300	12.750 323.8	12 Ga.	.104	12.542	14.1	53.6	3.34	3.28	123.5	4.13	82.6	12.9	4.47
		10 Ga.	.134	12.482	18.1	53.0	3.34	3.27	122.4	5.31	105.7	16.6	4.46
		8 Ga.	.164	12.422	22.1	52.5	3.34	3.25	121.2	6.48	128.4	20.1	4.45
		10S	.180	12.390	24.2	52.2	3.34	3.24	120.6	7.11	140.4	22.0	4.44
		6 Ga.	.194	12.362	26.0	52.0	3.34	3.23	120.0	7.65	150.9	23.7	4.44
		API	.203	12.344	27.2	52.0	3.34	3.23	119.9	7.99	157.2	24.7	4.43
		API	.219	12.312	29.3	51.7	3.34	3.22	119.1	8.52	167.6	26.3	4.43
		3 Ga.	.239	12.272	32.0	51.3	3.34	3.21	118.3	9.39	183.8	28.8	4.42
		20	.250	12.250	33.4	51.3	3.34	3.12	118.0	9.84	192.3	30.2	4.42
		API	.281	12.188	37.4	50.6	3.34	3.19	118.7	11.01	214.1	33.6	4.41
		API	.312	12.126	41.5	50.1	3.34	3.17	115.5	12.19	236.0	37.0	4.40
		30	.330	12.090	43.8	49.7	3.34	3.16	114.8	12.88	248.5	39.0	4.39
		API	.344	12.062	45.5	49.7	3.34	3.16	114.5	13.46	259.0	40.7	4.38
		Std.	.375	12.000	49.6	48.9	3.34	3.14	113.1	14.58	279.3	43.8	4.37
		40	.406	11.938	53.6	48.5	3.34	3.13	111.9	15.74	300.3	47.1	4.37
		API	.438	11.874	57.5	48.2	3.34	3.11	111.0	16.95	321.0	50.4	4.35
		X-Stg.	.500	11.750	65.4	46.9	3.34	3.08	108.4	19.24	361.5	56.7	4.33
		60	.562	11.626	73.2	46.0	3.34	3.04	106.2	21.52	400.5	62.8	4.31
		--	.625	11.500	80.9	44.9	3.34	3.01	103.8	23.81	438.7	68.8	4.29
		80	.687	11.376	88.6	44.0	3.34	2.98	101.6	26.03	475.2	74.6	4.27
--	.750	11.250	96.2	43.1	3.34	2.94	99.4	28.27	510.7	80.1	4.25		
100	.843	11.064	108.0	41.6	3.34	2.90	96.1	31.53	561.8	88.1	4.22		
--	.875	11.000	110.9	41.1	3.34	2.88	95.0	32.64	578.5	90.7	4.21		
120	1.000	10.750	125.5	39.3	3.34	2.81	90.8	36.91	641.7	100.7	4.17		
140	1.125	10.500	140.0	37.5	3.34	2.75	86.6	41.08	700.7	109.9	4.13		
--	1.250	10.250	153.6	35.8	3.34	2.68	82.5	45.16	755.5	118.5	4.09		
160	1.312	10.126	161.0	34.9	3.34	2.65	80.5	47.14	781.3	122.6	4.07		
--	1.375	10.000	167.2	34.0	3.34	2.62	78.5	49.14	807.2	126.6	4.05		
--	1.500	9.750	180.4	32.4	3.34	2.55	74.7	53.01	853.8	133.9	4.01		

Tabla A.12.24 Cont.

(1) Nominal Pipe Size	(2) Nominal Outside Diam. D	Designation	(3) Wall Thick- ness	(3)	(4) Weight per Feet	(5) Wt. of Water per ft of Pipe	(6)	(6)	(7) Flow Area in. ² a	(8)	(9) Moment of Inertia in. ⁴ I	(10)	(3) Radius of Gyration in. R
				Inside Diam. d			Sq ft Outside Surface per ft	Sq ft Inside Surface per ft		Area of Metal in. ² A		Section Modulus in. ³ Z	
14 350	14.000 355.6	10 Ga.	.134	13.732	20	64.2	3.67	3.59	148.1	5.84	140.4	20.1	4.90
		8 Ga.	.164	13.672	24	63.6	3.67	3.58	146.8	7.13	170.7	24.4	4.89
		6 Ga.	.194	13.612	29	63.1	3.67	3.56	145.5	8.41	200.6	28.7	4.88
		API	.210	13.580	31	62.8	3.67	3.55	144.8	9.10	216.2	30.9	4.87
		3 Ga.	.239	13.522	35	62.3	3.67	3.54	143.6	10.33	244.9	35.0	4.87
		10	.250	13.500	37	62.1	3.67	3.54	143.0	10.82	256.0	36.6	4.86
		API	.281	13.438	41	61.5	3.67	3.52	141.8	12.11	285.2	40.7	4.85
		20	.312	13.375	46	60.8	3.67	3.50	140.5	13.44	314.9	45.0	4.84
		API	.344	13.312	50	60.3	3.67	3.48	139.2	14.76	344.3	49.2	4.83
		Std.	.375	13.250	55	59.7	3.67	3.47	137.9	16.05	372.8	53.2	4.82
		40	.438	13.124	63	58.5	3.67	3.44	135.3	18.66	429.6	61.4	4.80
		X-Stg.	.500	13.000	72	57.4	3.67	3.40	132.7	21.21	483.8	69.1	4.78
		60	.593	12.814	85	55.9	3.67	3.35	129.0	24.98	562.4	80.3	4.74
		--	.625	12.750	89	55.3	3.67	3.34	127.7	26.26	588.5	84.1	4.73
		80	.750	12.500	107	51.2	3.67	3.27	122.7	31.22	687.5	98.2	4.69
		--	.875	12.250	123	51.1	3.67	3.21	117.9	36.08	780.1	111.4	4.65
		100	.937	12.125	131	50.0	3.67	3.17	115.5	38.47	820.5	117.2	4.63
		--	1.000	12.000	139	49.0	3.67	3.14	113.1	40.84	868.0	124.0	4.61
		120	1.093	11.814	151	47.5	3.67	3.09	109.6	44.32	929.8	132.8	4.58
		--	1.125	11.750	155	47.0	3.67	3.08	108.4	45.50	950.3	135.8	4.57
		140	1.250	11.500	171	45.0	3.67	3.01	103.9	50.07	1027.5	148.8	4.53
		--	1.375	11.250	186	43.1	3.67	2.94	99.4	54.54	1099.5	157.1	4.49
		160	1.406	11.188	190	42.6	3.67	2.93	98.3	55.63	1116.9	159.6	4.48
		--	1.500	11.000	200	41.2	3.67	2.88	95.0	58.90	1166.5	166.6	4.45
16 400	16.000 406.4	10 Ga.	.134	15.732	23	84.3	4.19	4.12	194.4	6.68	210	26.3	5.61
		8 Ga.	.164	15.672	28	83.6	4.19	4.10	192.9	8.16	256	32.0	5.60
		--	.188	15.624	32	83.3	4.19	4.09	192.0	9.39	294	36.7	5.59
		6 Ga.	.194	15.612	33	83.0	4.19	4.09	191.4	9.63	301	37.6	5.59
		API	.219	15.562	37	82.5	4.19	4.07	190.2	10.86	338	42.3	5.58
		3 Ga.	.239	15.522	40	82.0	4.19	4.06	189.2	11.83	368	45.9	5.57
		10	.250	15.500	42	82.1	4.19	4.06	189.0	12.40	385	48.1	5.57
		API	.281	15.438	47	81.2	4.19	4.04	187.0	13.90	430	53.8	5.56
		20	.312	15.375	52	80.1	4.19	4.03	185.6	15.40	474	59.2	5.55
		API	.344	15.312	57	80.0	4.19	4.01	184.1	16.94	519	64.9	5.54
		Std.	.375	15.250	63	79.1	4.19	4.00	182.6	18.41	562	70.3	5.53
		API	.438	15.124	73	78.2	4.19	3.96	180.0	21.42	650	81.2	5.51
		X-Stg.	.500	15.000	83	76.5	4.19	3.93	176.7	24.35	732	91.5	5.48
		--	.625	14.750	103	74.1	4.19	3.86	170.9	30.19	893	111.7	5.44
		60	.656	14.688	108	73.4	4.19	3.85	169.4	31.62	933	116.6	5.43
		--	.750	14.500	122	71.5	4.19	3.80	165.1	35.93	1047	130.9	5.40
		80	.843	14.314	137	69.7	4.19	3.75	160.9	40.14	1157	144.6	5.37
		--	.875	14.250	141	69.1	4.19	3.73	159.5	41.58	1192	149.0	5.35
		--	1.000	14.000	160	66.7	4.19	3.66	153.9	47.12	1331	166.4	5.31
		100	1.031	13.938	165	66.0	4.19	3.65	152.6	48.49	1366	170.7	5.30
		--	1.125	13.750	179	64.4	4.19	3.60	148.5	52.57	1463	182.9	5.27
		120	1.218	13.564	193	62.6	4.19	3.55	144.5	56.56	1556	194.5	5.24
		--	1.250	13.500	197	62.1	4.19	3.53	143.1	57.92	1586	198.3	5.23
		--	1.375	13.250	215	59.8	4.19	3.47	137.9	63.17	1704	213.0	5.19
140	1.438	13.124	224	58.6	4.19	3.44	135.3	65.79	1761	220.1	5.17		
--	1.500	13.000	232	57.4	4.19	3.40	132.7	68.33	1816	227.0	5.15		
160	1.593	12.814	245	55.9	4.19	3.35	129.0	72.10	1893	236.6	5.12		

Tabla A.12.24 Cont.

(1) Nominal Pipe Size	(2) Nominal Outside Diam. D	Designation	(3)	(3)	(4)	(5)	(6)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(3)
			Wall Thick- ness	Inside Diam.	Weight per Feet	Wt. of Water per ft of Pipe	Sq ft Outside Surface per ft	Sq ft Inside Surface per ft	Flow Area in. ²	Area of Metal in. ²	Moment of Inertia in. ⁴	Section Modulus in. ³	Radius of Gyration in.
				d									
			a	A									
			l	Z									
			R										
18 450	18.000 457	10 Ga.	.134	17.732	26	107.1	4.71	4.64	248.9	7.52	300	33.4	6.32
		8 Ga.	.164	17.672	31	106.3	4.71	4.63	245.3	9.19	366	40.6	6.31
		6 Ga.	.194	17.612	37	105.6	4.71	4.61	243.6	10.85	430	47.8	6.29
		3 Ga.	.239	17.522	45	104.5	4.71	4.59	241.1	13.34	526	58.4	6.28
		10	.250	17.500	47	104.6	4.71	4.58	241.0	13.96	550	61.1	6.28
		API	.281	17.438	49	104.0	4.71	4.56	240.0	14.49	570	63.4	6.27
		20	.312	17.375	59	102.5	4.71	4.55	237.1	17.36	679	75.5	6.25
		API	.344	17.312	65	102.0	4.71	4.53	235.4	19.08	744	82.6	6.24
		Std.	.375	17.250	71	101.2	4.71	4.51	233.7	20.76	807	89.6	6.23
		API	.406	17.188	76	100.6	4.71	4.50	232.0	22.44	869	96.6	6.22
		30	.438	17.124	82	99.5	4.71	4.48	229.5	24.95	963	107.0	6.21
		X-Stg.	.500	17.000	93	98.2	4.71	4.45	227.0	27.49	1053	117.0	6.19
		40	.562	16.876	105	97.2	4.71	4.42	224.0	30.85	1177	130.9	6.17
		--	.625	16.750	116	95.8	4.71	4.39	220.5	34.15	1290	143.2	6.14
		60	.750	16.500	138	92.5	4.71	4.32	213.8	40.64	1515	168.3	6.10
		--	.875	16.250	160	89.9	4.71	4.25	207.4	47.07	1730	192.3	6.06
80	.937	16.126	171	88.5	4.71	4.22	204.2	50.23	1834	203.8	6.04		
--	1.000	16.000	182	87.2	4.71	4.19	201.1	53.41	1935	215.0	6.02		
--	1.125	15.750	203	84.5	4.71	4.12	194.8	59.64	2133	237.0	5.98		
100	1.156	15.688	208	83.7	4.71	4.11	193.3	61.18	2182	242.3	5.97		
--	1.250	15.500	224	81.8	4.71	4.06	188.7	65.78	2319	257.7	5.94		
--	1.375	15.250	244	79.2	4.71	3.99	182.7	71.82	2498	277.5	5.90		
120	1.500	15.000	265	76.6	4.71	3.93	176.7	77.75	2668	296.5	5.86		
--	1.562	14.876	275	75.3	4.71	3.89	173.8	80.66	2750	305.5	5.84		
140	1.781	14.438	309	71.0	4.71	3.78	163.7	90.75	3020	335.5	5.77		
20 500	20.000 508	10 Ga.	.134	19.732	28	132.6	5.24	5.17	305.8	8.36	413	41.3	7.02
		8 Ga.	.164	19.672	35	131.8	5.24	5.15	303.9	10.22	503	50.3	7.01
		6 Ga.	.194	19.612	41	131.0	5.24	5.13	302.1	12.07	592	59.2	7.00
		3 Ga.	.239	19.522	50	129.8	5.24	5.11	299.3	14.84	725	72.5	6.99
		10	.250	19.500	53	130.0	5.24	5.11	299.0	15.52	759	75.9	6.98
		API	.281	19.438	59	128.6	5.24	5.09	296.8	17.41	846	84.6	6.97
		API	.312	19.374	66	128.1	5.24	5.08	295.0	19.36	937	93.7	6.95
		API	.344	19.312	72	127.0	5.24	5.06	292.9	21.24	1026	102.6	6.95
		API	.375	19.250	79	126.0	5.24	5.04	291.1	23.12	1113	111.3	6.94
		API	.406	19.188	85	125.4	5.24	5.02	289.2	24.99	1200	120.0	6.93
		API	.438	19.124	92	125.1	5.24	5.01	288.0	26.95	1290	129.0	6.92
		X-Stg.	.500	19.000	105	122.8	5.24	4.97	283.5	30.63	1457	145.7	6.90
		40	.593	18.814	123	120.4	5.24	4.93	278.0	36.15	1704	170.4	6.86
		--	.625	18.750	129	119.5	5.24	4.91	276.1	38.04	1787	178.7	6.85
		60	.812	18.376	167	114.9	5.24	4.81	265.2	48.95	2257	225.7	6.79
		--	.875	18.250	179	113.2	5.24	4.78	261.6	52.57	2409	240.9	6.77
80	1.000	18.000	203	110.3	5.24	4.71	254.5	60.69	2702	270.2	6.73		
--	1.031	17.938	209	109.4	5.24	4.80	252.7	61.44	2771	277.1	6.72		
--	1.125	17.750	227	107.3	5.24	4.65	247.4	66.71	2981	298.1	6.68		
100	1.250	17.500	250	104.3	5.24	4.58	240.5	73.63	3249	324.9	6.64		
--	1.281	17.438	256	103.4	5.24	4.56	238.8	75.34	3317	331.7	6.63		
--	1.375	17.250	274	101.3	5.24	4.52	233.7	80.45	3508	350.8	6.60		
120	1.500	17.000	297	98.3	5.24	4.45	227.0	87.18	3755	375.5	6.56		
140	1.750	16.500	342	92.6	5.24	4.32	213.8	100.33	4217	421.7	6.48		
160	1.968	16.064	379	87.9	5.24	4.21	202.7	111.49	4586	458.6	6.41		

Tabla A.12.24 Cont.

(1) Nominal Pipe Size	(2) Nominal Outside Diam. D	Designation	(3) Wall Thick- ness	(3)	(4) Weight per Feet	(5) Wt. of Water per ft of Pipe	(6) Sq ft Outside Surface per ft	(6) Sq ft Inside Surface per ft	(7) Flow Area in. ² a	(8) Area of Metal in. ² A	(9) Moment of Inertia in. ⁴ I	(10) Section Modulus in. ³ Z	(3) Radius of Gyration in. R
				Inside Diam. d									
22 550	22.000 550	8 Ga.	.164	21.672	38	159.9	5.76	5.67	368.9	11.25	671	61.0	7.72
		6 Ga.	.194	21.612	45	159.0	5.76	5.66	368.8	13.29	790	71.8	7.71
		3 Ga.	.239	21.522	56	157.7	5.76	5.63	363.8	16.34	967	87.9	7.69
		API	.250	21.500	58	157.4	5.76	5.63	363.1	17.18	1010	91.8	7.69
		API	.281	21.438	65	156.5	5.76	5.61	361.0	19.17	1131	102.8	7.68
		API	.312	21.376	72	155.6	5.76	5.60	358.9	21.26	1250	113.6	7.67
		API	.344	21.312	80	154.7	5.76	5.58	356.7	23.40	1373	124.8	7.66
		API	.375	21.250	87	153.7	5.76	5.56	354.7	25.48	1490	136.4	7.65
		API	.406	21.188	94	152.9	5.76	5.55	352.6	27.54	1607	146.1	7.64
		API	.438	21.124	101	151.9	5.76	5.53	350.5	29.67	1725	156.8	7.62
		API	.500	21.000	115	150.2	5.76	5.50	346.4	33.77	1953	177.5	7.61
		--	.625	20.750	143	146.6	5.76	5.43	338.2	41.97	2400	218.2	7.56
		--	.750	20.500	170	143.1	5.76	5.37	330.1	50.07	2829	257.2	7.52
		--	.875	20.250	198	139.6	5.76	5.30	322.1	58.07	3245	295.0	7.47
		--	1.000	20.000	224	136.2	5.76	5.24	314.2	65.97	3645	331.4	7.43
		--	1.125	19.750	251	132.8	5.76	5.17	306.4	73.78	4029	366.3	7.39
		--	1.250	19.500	277	129.5	5.76	5.10	298.6	81.48	4400	400.0	7.35
		--	1.375	19.250	303	126.2	5.76	5.04	291.0	89.09	4758	432.6	7.31
--	1.500	19.000	329	122.9	5.76	4.97	283.5	96.60	5103	463.9	7.27		
24 600	24.000 610	8 Ga.	.164	23.672	42	190.8	6.28	6.20	440.1	12.28	872	72.7	8.43
		6 Ga.	.194	23.612	49	189.8	6.28	6.18	437.9	14.51	1028	85.7	8.42
		3 Ga.	.239	23.522	61	188.4	6.28	6.16	434.5	17.94	1260	105.0	8.40
		10	.250	23.500	63	189.0	6.28	6.15	435.0	18.67	1320	110.0	8.40
		API	.281	23.438	71	187.0	6.28	6.14	431.5	20.94	1472	122.7	8.38
		API	.312	23.376	79	186.9	6.28	6.12	430.0	23.20	1630	136.0	8.38
		API	.344	23.312	87	185.0	6.28	6.10	426.8	25.57	1789	149.1	8.36
		Std.	.375	23.250	95	183.8	6.28	6.09	424.6	27.83	1942	161.9	8.35
		API	.406	23.188	102	183.1	6.28	6.07	422.3	30.09	2095	174.6	8.34
		API	.438	23.124	110	182.1	6.28	6.05	420.0	32.42	2252	187.7	8.33
		X-Stg.	.500	23.000	125	181.0	6.28	6.02	416.0	36.90	2550	213.0	8.31
		30	.562	22.876	141	178.5	6.28	5.99	411.0	41.40	2840	237.0	8.28
		--	.625	22.750	156	175.9	6.28	5.96	406.5	45.90	3137	261.4	8.27
		40	.687	22.626	171	174.2	6.28	5.92	402.1	50.30	3422	285.2	8.25
		--	.750	22.500	186	172.1	6.28	5.89	397.6	54.78	3705	308.8	8.22
		--	.875	22.250	216	168.6	6.28	5.82	388.8	63.57	4257	354.7	8.18
		60	.968	22.064	238	165.8	6.28	5.78	382.3	70.04	4652	387.7	8.15
		--	1.000	22.000	246	164.8	6.28	5.76	380.1	72.26	4788	399.0	8.14
--	1.125	21.750	275	161.1	6.28	5.69	371.5	80.85	5302	441.8	8.10		
80	1.218	21.564	297	158.2	6.28	5.65	365.2	87.17	5673	472.8	8.07		
--	1.250	21.500	304	157.4	6.28	5.63	363.1	89.34	5797	483.0	8.05		
--	1.375	21.250	332	153.8	6.28	5.56	354.7	97.73	6275	522.9	8.01		
--	1.500	21.000	361	150.2	6.28	5.50	346.4	106.03	6740	561.7	7.97		
100	1.531	20.938	367	149.3	6.28	5.48	344.3	108.07	6847	570.6	7.96		
120	1.812	20.376	429	141.4	6.28	5.33	326.1	126.30	7823	651.9	7.87		
140	2.062	19.876	484	134.4	6.28	5.20	310.3	142.10	8627	718.9	7.79		
160	2.343	19.314	542	127.0	6.28	5.06	293.1	159.40	9457	788.1	7.70		
26 650	26.000 660	8 Ga.	.164	25.672	45	224.4	6.81	6.72	517.6	13.31	1111	85.4	9.13
		6 Ga.	.194	25.612	54	223.4	6.81	6.70	515.2	15.73	1310	100.7	9.12
		3 Ga.	.239	25.522	66	221.8	6.81	6.68	511.6	19.34	1605	123.4	9.11
		API	.250	25.500	67	221.4	6.81	6.68	510.7	19.85	1646	126.6	9.10
		API	.281	25.438	77	220.3	6.81	6.66	508.2	22.70	1877	144.4	9.09
API	.312	25.376	84	219.2	6.81	6.64	505.8	25.18	2076	159.7	9.08		

ANEXO 13: FICHAS DE SEGURIDAD DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS


Fichas Internacionales de Seguridad Química

BENCENO

ICSC: 0015

					MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA	
Ciclohexatrieno Benzol C_6H_6 Masa molecular: 78.1						
Nº ICSC 0015 Nº CAS 71-43-2 Nº RTECS CY1400000 Nº NU 1114 Nº CE 601-020-00-8						

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas. Riesgo de incendio y explosión: véanse Peligros Químicos.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas. Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra).	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Jadeo. Convulsiones. Pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
• PIEL	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca. Enrojecimiento. Dolor. Para mayor información, véase Inhalación.	Guantes protectores. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento. Dolor.	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. Dolor de garganta. Vómitos. (Para mayor información, véase Inhalación).	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

<p>Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo al alcantarillado. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).</p>	<p>A prueba de incendio. Separado de alimentos y piensos, oxidantes y halógenos.</p>	<p>NU (transporte): Ver pictograma en cabecera. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II</p> <p>CE: Nota: E símbolo F símbolo T R: 45-11-48/23/24/25 S: 53-45</p>
		
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE		
<p>ICSC: 0015 Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2003</p>		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

BENCENO

ICSC: 0015

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO: ASPECTO: Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FISICOS: El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.</p> <p>PELIGROS QUIMICOS: Reacciona violentamente con oxidantes, ácido nítrico, ácido sulfúrico y halógenos, originando peligro de incendio y explosión. Ataca plásticos y caucho.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION: TLV: 0.5 ppm como TWA; 2.5 ppm como STEL: (piel); A1; BEI disponible; (ACGIH 2003). MAK: H (absorción dérmica); Cancerígeno categoría: 1; Mutágeno categoría: 3A; (DFG 2003).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION: La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION: Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION: La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y la consiguiente neumonitis química. La sustancia puede causar efectos en sistema nervioso central, dando lugar a disminución del estado de alerta. La exposición muy por encima del valor límite de exposición profesional puede producir pérdida del conocimiento y muerte.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA: El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar a la médula ósea y al sistema inmune, dando lugar a una disminución de células sanguíneas. Esta sustancia es carcinógena para los seres humanos.</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de ebullición: 80°C Punto de fusión: 6°C Densidad relativa (agua = 1): 0.88 Solubilidad en agua, g/100 ml a 25°C: 0.18 Presión de vapor, kPa a 20°C: 10 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.7</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.2 Punto de inflamación: -11°C c.c. Temperatura de autoignición: 498°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.2-8.0 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 2.13 Energía mínima de ignición: 0.2 mJ (no en la ficha)</p>
DATOS AMBIENTALES	<p>La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos.</p>	
NOTAS		

El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. La alerta por el olor es insuficiente.

Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1114/30GF1-II
Código NFPA: H 2; F 3; R 0;

INFORMACION ADICIONAL

<p>Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm</p>	<p>Última revisión IPCS: 2003 Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003 FISQ: 3-029</p>
---	--

ICSC: 0015

© CE, IPCS, 2003








BENCENO

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.

Figura A.13.1 Ficha seguridad Benceno

Fichas Internacionales de Seguridad Química

TOLUENO		ICSC: 0078	
		Octubre 2002	
Metilbenceno Fenilmetano		Toluol	
CAS:	108-88-3	C₆H₅CH₃ / C₇H₈	
RTECS:	XS5250000	Masa molecular: 92,1	
NU:	1294		
CE Índice Anexo I:	601-021-00-3		
CE / EINECS:	203-625-9		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SINTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej., mediante conexión a tierra). NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bñones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡HIGIENE ESTRICTA! ¡EVITAR LA EXPOSICIÓN DE MUJERES (EMBARAZADAS)!	
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor abdominal. (Ver Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
¡Evacuar la zona de peligro en caso de grandes derrames! Consultar a un experto en caso de grandes derrames. Eliminar toda fuente de ignición. 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 en el alcantarillado. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Protección personal: equipo autónomo de respiración en caso de grandes derrames.		Clasificación UE Símbolo: F, Xn R: 11-38-48/20-63-65-67 S: (2-)36/37-46-62 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1294. Código NFPA: H2; F3; R0;		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.	
IPCS International Programme on Chemical Safety    	 MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACIÓN 		
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2003			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

TOLUENO	ICSC: 0078
DATOS IMPORTANTES	
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS: El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 50 ppm como TWA; (piel); A4 (no clasificable como cancerígeno humano); BEI establecido; (ACGIH 2004). MAK: Riesgo para el embarazo: grupo C; (DFG 2004). LEP UE: 192 mg/m³, 50 ppm como TWA; 384 mg/m³, 100 ppm como STEL (piel) (EU 2006).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y a la consiguiente neumonitis química. La exposición a altas concentraciones puede producir arritmia cardíaca y pérdida del conocimiento.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar a sistema nervioso central. La exposición a esta sustancia puede potenciar el daño auditivo causado por la exposición a ruido. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS	
<p>Punto de ebullición: 111 °C Punto de fusión: -95 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,87 Solubilidad en agua: ninguna Presión de vapor, kPa a 25 °C: 3,8 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,1</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1,01 Punto de inflamación: 4 °C c.c. Temperatura de autoignición: 480 °C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1,1-7,1 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 2,69</p>
DATOS AMBIENTALES	
<p>La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.</p>	
NOTAS	
<p>Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2004: ver Clasificación UE, Respuesta de Emergencia, y en octubre de 2006: ver Límites de exposición.</p>	
INFORMACIÓN ADICIONAL	
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011):</p> <p>VLA-ED: 50 ppm; 192 mg/m³</p> <p>VLA-EC: 100 ppm, 384 mg/m³</p> <p>VLB: 0,5 mg/L en orina de o-cresol; 1,6 g/g creatinina en orina de ácido hipúrico; 0,05 mg/L en sangre.</p> <p>Notas: vía dérmica. Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH.</p>	
Nota legal	<p>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.</p>
© IPCS, CE 2003	

Figura A.13.2 Ficha de seguridad Tolueno

HOJA DE SEGURIDAD DEL MATERIAL (MSDS) METANO

PRODUCTO Metano	CAS DOT. N° Ficha de intervención: N° 04	74-82-8 UN 1971
NOMBRE COMERCIAL Y SINONIMOS Metano, Metil hidruro, Gas de Pantano	Clase de riesgo:	División 2.1
NOMENCLATURA QUÍMICA Y SINONIMOS Metano	Fórmula:	CH ₄
FECHA DE EMISIÓN Y REVISIONES Revisado en Marzo de 1991	Familia:	Hidrocarburo alifático

INFORME SOBRE RIESGO PARA LA SALUD

CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE PONDERADA EN EL TIEMPO (CMP-CPT): El metano está definido como un asfixiante simple. "F". El contenido mínimo de oxígeno debe ser del 18% molar, a presión atmosférica normal equivalente a una presión parcial de (pO ₂ > 135 torr.) (ACGIH 1990 - 1991) OSHA 1989 no tiene listado el TWA. Ley 19587 Dec. Reg. 351/79 Anexo III Cap. 9 Art. 61 "Contaminación Ambiental".
SINTOMAS DE EXPOSICIÓN: Altas concentraciones de metano de modo tal que impidan un adecuado suministro de oxígeno a los pulmones causa mareos, respiración profunda debido a la falta de aire, posibles náuseas y eventual pérdida de conocimiento.
CARACTERÍSTICAS TOXICAS: El metano es inactivo biológicamente y principalmente no tóxico, de esta manera su principal propiedad es la de impedir un adecuado suministro de oxígeno a los pulmones. El metano no está listado en el IARC, NTP, o por OSHA como carcinogénico o potencial carcinogénico. Las personas enfermas, cuya afección podría verse agravada, por la exposición al metano no deben ser autorizadas a trabajar o manipular este producto.
TRATAMIENTO DE PRIMEROS AUXILIOS - RECOMENDACIONES UNA RÁPIDA ATENCIÓN MÉDICA ES OBLIGATORIA EN TODOS LOS CASOS DE SOBRE EXPOSICIÓN AL METANO. EL PERSONAL DE RESCATE DEBE ESTAR EQUIPADO CON EQUIPOS DE RESPIRACIÓN AUTÓNOMA Y RECONOCER LOS RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN. Inhalación: Si la persona está consciente, deberá ser trasladada fuera del área contaminada para inhalar aire fresco. Retirla rápido, del área contaminada es lo más importante. Si la víctima estuviera inconsciente, se le deberá trasladar a un área descontaminada, brindar ayuda respiratoria y suplemento de oxígeno. El tratamiento posterior será de soporte y continuará según los síntomas.

MEZCLAS PELIGROSAS CON OTROS LIQUIDOS, SOLIDOS O GASES
 Forma mezclas explosivas o inflamables con la mayoría de los oxidantes, (oxígeno, cloro, flúor etc.)
 Es inflamable en aire, en un amplio rango.

DATOS FÍSICOS

PUNTO DE EBULLICIÓN: - 258.6 °F (- 161.4 °C)	DENSIDAD LIQUIDA EN EL PUNTO DE EBULLICIÓN 26.5 lb/ft ³ (424.9 kg/m ³)
PRESION DE VAPOR a 70° F (21.1°C) Encima de la temp. crítica de - 116.6°F (-82.6°C)	DENSIDAD GASEOSA A 70° F (21.1°C).1 atm 0.0416 lb/ft3 (0.6670 kg/m ³)
% de Evaporación N/A	PUNTO DE CONGELACION - 255.8 °F (-159.9 °C)
SOLUBILIDAD EN AGUA Depreciable	GRAVEDAD ESPECÍFICA (AIRE=1) 70°F (21.1°C) 0.56
APARIENCIA Y OLOR: Gas incoloro e inodoro.	

INFORMACION SOBRE RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSION

PUNTO DE INFLAMACION Método empleado - 306 °F (- 188 °C) (C.C.)	TEMPERATURA DE AUTO INGNICION 1076 °F (580 °C)	LIMITE DE INFLAMABILIDAD % EN Volumen LEL: 5 UEL: 15
MEDIO DE EXTINCIÓN Dióxido de carbono, polvo químico, agua		CLASIFICACION ELÉCTRICA Clase 1, Grupo D
PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR EL FUEGO Si es posible, detenga el flujo de metano. Emplee niebla de agua, para enfriar los cilindros que se encontraren en las proximidades.		
RIESGOS INUSUALES DE FUEGO Y EXPLOSION Si al extinguirse la llama, el flujo de gas continúa, aumentar la ventilación para prevenir la formación de mezclas explosivas o inflamables.		

INFORMACION SOBRE REACTIVIDAD

ESTABILIDAD		CONDICIONES QUE SE DEBEN EVITAR
Inestable	---	
Estable	X	N/A
INCOMPATIBILIDAD (MATERIALES QUE SE DEBEN EVITAR) Oxidantes		
PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN RIESGOSA Ninguna		
POLIMERIZACION RIESGOSA		CONDICIONES QUE SE DEBEN EVITAR
Puede Ocurrir:	NO	N/A
No puede Ocurrir	---	

PROCEDIMIENTOS EN CASO DE DERRAMES O PERDIDAS

MEDIDAS A TOMAR EN CASO QUE SE PRODUZCAN DERRAMES O PERDIDAS

Evacuar al personal que se encuentre dentro del área afectada. Utilizar equipos de protección adecuados. Si la pérdida se produjera en el equipo del usuario, se deberá efectuar el purgado de la cañería con un gas inerte, antes de intentar reparaciones. Si la pérdida se encontrara en la válvula del container o del cilindro, contactar a su proveedor más cercano o telefonar al Departamento Técnico de AGA.

PROCEDIMIENTO PARA ELIMINAR PRODUCTO RESIDUAL:

No intente eliminar el producto residual o remanente de uso. Devuélvalos al proveedor dentro de su container o cilindro de carga adecuadamente etiquetados, con los cierres de las válvulas de salida bien asegurados y las tapas de protección de válvulas colocadas en su lugar. En caso de ayuda, para eliminación de producto residual de emergencia, contacte a su proveedor mas cercano o llame al departamento técnico de AGA S.A.

INFORMACION SOBRE PROTECCION ESPECIAL

PROTECCION RESPIRATORIA: Para casos de emergencia debe hallarse una línea de presión positiva de aire con máscara, o equipo de respiración autónoma

VENTILACION Campana de ventilación forzada	VENTEO DEL LOCAL: Para prevenir la acumulación encima del LEL MECANICA: Conforme a los códigos de electricidad
--	---

GUANTES DE PROTECCION: plástico o goma

PROTECCION OCULAR: Anteojos de seguridad o antiparras

OTROS MATERIALES DE PROTECCION: Zapatos de seguridad, ducha de seguridad, lava ojos.

PRECAUCIONES ESPECIALES

ETIQUETADO:

Nombre: Metano, comprimido
Etiqueta de embarque: Gas inflamable

Clase de Riesgo DOT : División 2.1
I.D. N° : UN: 1971

ALMACENAJE:

Proteger los cilindros de cualquier daño físico. Almacenar en un área fresca, seca, bien ventilada, lejos de los lugares de tráfico vehicular y de las salidas de emergencia. No permitir, que en el lugar de almacenaje la temperatura exceda 125°F (52°C). Los cilindros serán colocados parados y bien asegurados para evitar que se caigan o se golpeen. Se deben separar los cilindros llenos de los vacíos. Utilizar un sistema de inventario con fecha de ingreso y egreso de las unidades para evitar que cilindros llenos queden almacenados durante períodos excesivamente largos.

Coloque carteles en el área de almacenaje con la leyenda NO FUMAR o el símbolo de LLAMAS ABIERTAS.

No deben encontrarse fuentes de ignición en el área de almacenaje o uso.

Para información adicional sobre recomendaciones de almacenaje, consulte los boletines de Compressed Gas Association P-1, P-14, y Safety Bulletin SB-2

<p>MANIPULEO: Utilizar solamente en áreas muy bien ventiladas. Las tapas protectoras de las válvulas deben estar colocadas, a menos que el cilindro posea caño de salida desde la válvula al punto de uso. No arrastrar, deslizar o hacer rodar los cilindros, sino utilizar auto elevadores o zorras para desplazarlos. Utilizar un regulador reductor de presión cuando se conectan los cilindros a una presión menor (< 3000 psig) cañerías o sistemas. De ninguna manera se deben calentar los cilindros para incrementar su velocidad de descarga. Utilizar una válvula de control o de retención para evitar riesgos de retroceso de flujo al interior del cilindro.</p> <p>Para información adicional sobre recomendaciones de manipuleo, consulte el boletín de la Compressed Gas Association's P-1, P-14, y Safety Bulletin SB-2</p>
<p>ENVASADO El metano es no corrosivo y puede utilizarse con cualquier material de construcción.</p>
<p>OTRAS RECOMENDACIONES O PRECAUCIONES:</p> <ul style="list-style-type: none">• Todos los equipos y líneas relacionados con el sistema de metano deben estar conectados a tierra. El equipo eléctrico debe ser antichispa o a prueba de explosión.• Los cilindros de gas comprimido no deben ser recargados, excepto por fabricantes calificados de gases comprimidos. La carga de cilindros de gas comprimido debe ser efectuada por el fabricante o bien se debe contar con su consentimiento escrito para poder realizarla, caso contrario, constituye una violación a las leyes vigentes.• Asegurarse siempre que los cilindros se encuentren en posición vertical antes de transportarlos. NUNCA transporte cilindros en baúles de vehículos, compartimientos cerrados, cabinas de camiones o en compartimientos de pasajeros. Transporte los cilindros asegurados en plataformas o en vehículos abiertos tipo pick up.
<p>NFPA 704 NR. PARA METANO GASEOSO – 140</p>

Los datos proporcionados en este informe, se brindan sin cargo para ser utilizado por personal técnico calificado a su discreción y riesgo. Toda la información técnica y recomendaciones están basadas en test e informaciones consideradas confiables, pero no se garantiza una precisión completa y no damos garantías de ninguna clase. Esta información no intenta constituirse en una licencia para operar una recomendación para practicar o infringir cualquier patente de la Compañía u otras cubriendo cualquier proceso o uso. Como la empresa no tendrá control del uso del producto aquí descrito, la Compañía no asume obligación por pérdida o daño incurrido debido al uso propio o impropio del producto.

Para recomendaciones adicionales favor consultar Compressed Gas Association's Pamphlet P-1. Pueden existir otras normas específicas relativas al transporte, manipuleo, anclaje y utilización de este producto que no hayan sido mencionadas en este informe. El usuario deberá revisar toda la reglamentación al respecto para asegurarse que esté actuando de conformidad a las mismas.

Figura A.13.3 Ficha de seguridad Metano

HOJA DE SEGURIDAD DEL MATERIAL (MSDS) HIDROGENO

PRODUCTO Hidrógeno	CAS 133-74-0 DOT. N° UN 1049 Ficha de intervención: N° 04
NOMBRE COMERCIAL Y SINONIMOS Hidrógeno comprimido, Gas de agua, Hidrógeno Normal	Clase de riesgo: División 2.1
NOMENCLATURA QUÍMICA Y SINONIMOS Hidrógeno	Fórmula: H ₂
FECHA DE EMISIÓN Y REVISIONES Revisado en Marzo de 1991	Familia Química: Gas inorgánico inflamable

INFORME SOBRE RIESGO PARA LA SALUD

CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE PONDERADA EN EL TIEMPO (CMP-CPT): El hidrógeno está definido como un asfixiante simple. "F". El contenido mínimo de oxígeno debe ser del 18% molar, a presión atmosférica normal equivalente a una presión parcial de (pO ₂ > 135 torr.) (ACGIH 1990 - 1991) OSHA 1989 no tiene listado el TWA. Ley 19587 Dec. Reg. 351/79 Anexo III Cap. 9 Art. 61 "Contaminación Ambiental".
SINTOMAS DE EXPOSICIÓN: Altas concentraciones de hidrógeno de modo tal que impidan un adecuado suministro de oxígeno a los pulmones causa mareos, respiración profunda debido a la falta de aire, posibles náuseas y eventual pérdida de conocimiento.
CARACTERÍSTICAS TOXICAS: El hidrógeno es inactivo biológicamente y principalmente no tóxico, de esta manera su principal propiedad es la de impedir un adecuado suministro de oxígeno a los pulmones. El hidrógeno no está listado en el IARC, NTP, o por OSHA como carcinogénico o potencial carcinogénico. Las personas enfermas, cuya afección podría verse agravada, por la exposición al hidrógeno no deben ser autorizadas a trabajar o manipular este producto.

TRATAMIENTO DE PRIMEROS AUXILIOS - RECOMENDACIONES

UNA RÁPIDA ATENCIÓN MÉDICA ES OBLIGATORIA EN TODOS LOS CASOS DE SOBRE EXPOSICIÓN AL HIDROGENO. EL PERSONAL DE RESCATE DEBE ESTAR EQUIPADO CON EQUIPOS DE RESPIRACIÓN AUTÓNOMA Y RECONOCER LOS RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSION.

Inhalación: Si la persona esta consciente, deberá ser trasladada fuera del área contaminada para inhalar aire fresco. Retirlarla rápido, del área contaminada es lo más importante. Si la víctima estuviera inconsciente, se le deberá trasladar a un área descontaminada, brindar ayuda respiratoria y suplemento de oxígeno. El tratamiento posterior será de soporte y continuará según los síntomas.

MEZCLAS PELIGROSAS CON OTROS LIQUIDOS, SOLIDOS O GASES

Forma mezclas explosivas o inflamables con la mayoría de los oxidantes, (oxígeno, cloro, flúor etc.)
Es inflamable en aire, en un amplio rango.

DATOS FÍSICOS

PUNTO DE EBULLICION: -423 °F (- 252.8 °C)	DENSIDAD LIQUIDA EN EL PUNTO DE EBULLICION 4.43 lb/ft ³ (70.96 kg/m ³)
PRESION DE VAPOR a 70° F (21.1°C) Encima de la temp. crítica de - 399.8°F (- 239.9°C)	DENSIDAD GASEOSA A 70° F (21.1°C). 1 atm 0.0416 lb/ft ³ (0.6670 kg/m ³)
% de Evaporación N/A	PUNTO DE CONGELACION - 434.6 °F (-259.2 °C)
SOLUBILIDAD EN AGUA Muy pequeña	GRAVEDAD ESPECÍFICA (AIRE=1) a 70°F (21.1°C) 0.69
APARIENCIA Y OLOR: Gas incoloro e inodoro.	

INFORMACION SOBRE RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSION

PUNTO DE NFLAMACION Método empleado Gas	TEMPERATURA DE AUTO INGNICION 1058 °F (570 °C)	LIMITE DE INFLAMABILIDAD % EN Volumen LEL:4 UEL: 74.5
MEDIO DE EXTINCIÓN Dióxido de carbono, polvo químico, agua		CLASIFICACION ELÉCTRICA Clase 1, Grupo B
PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR EL FUEGO Si es posible, detenga el flujo de metano. Emplee niebla de agua, para enfriar los cilindros que se encontraren en las proximidades. El hidrógeno quema con una llama casi invisible de radiación térmica relativamente baja		
RIESGOS INUSUALES DE FUEGO Y EXPLOSION El hidrógeno es muy liviano y se difunde muy rápidamente en el aire. Si al extinguirse la llama, el flujo de gas continúa, aumentar la ventilación para prevenir el peligro de explosión, particularmente en las partes superiores de los edificios o cobertizos donde el gas podría "acumularse".		

INFORMACION SOBRE REACTIVIDAD

ESTABILIDAD		CONDICIONES QUE SE DEBEN EVITAR
Inestable	---	
Estable	X	N/A
INCOMPATIBILIDAD (MATERIALES QUE SE DEBEN EVITAR)		
Oxidantes		
PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN RIESGOSA		
Ninguna		
POLIMERIZACION RIESGOSA		CONDICIONES QUE SE DEBEN EVITAR
Puede Ocurrir	----	N/A
No puede Ocurrir	X	

PROCEDIMIENTOS EN CASO DE DERRAMES O PERDIDAS

MEDIDAS A TOMAR EN CASO QUE SE PRODUZCAN DERRAMES O PERDIDAS
Evacuar al personal que se encuentre dentro del área afectada. Utilizar equipos de protección adecuados. Si la pérdida se produjera en el equipo del usuario, se deberá efectuar el purgado de la cañería con un gas inerte, antes de intentar reparaciones. Si la pérdida se encontrara en la válvula del container o del cilindro, contactar a su proveedor más cercano o telefonear al Departamento Técnico de AGA.

PROCEDIMIENTO PARA ELIMINAR PRODUCTO RESIDUAL:
No intente eliminar el producto residual o remanente de uso. Devuélvalos al proveedor dentro de su container o cilindro de carga adecuadamente etiquetados, con los cierres de las válvulas de salida bien asegurados y las tapas de protección de válvulas colocadas en su lugar. En caso de ayuda, para eliminación de producto residual de emergencia, contacte a su proveedor mas cercano o llame al Departamento técnico de AGA S.A.

INFORMACION SOBRE PROTECCION ESPECIAL

PROTECCION RESPIRATORIA: Para casos de emergencia debe hallarse una línea de presión positiva de aire con máscara, o equipo de respiración autónoma	
VENTILACION Campana de ventilación forzada	VENTEO DEL LOCAL: Para prevenir la acumulación encima del LEL MECANICA: Conforme a los códigos de electricidad
GUANTES DE PROTECCION: Plástico o goma	
PROTECCION OCULAR: Anteojos de seguridad o antiparras	
OTROS MATERIALES DE PROTECCION: Zapatos de seguridad, ducha de seguridad, lava ojos.	

PRECAUCIONES ESPECIALES

ETIQUETADO: Nombre: Hidrógeno, comprimido Etiqueta de embarque: Gas inflamable	Clase de Riesgo DOT : División 2.1 I.D. N° : UN: 1049
ALMACENAJE: Proteger los cilindros de cualquier daño físico. Almacenar en un área fresca, seca, bien ventilada, lejos de los lugares de tráfico vehicular y de las salidas de emergencia. No permitir, que en el lugar de almacenaje la temperatura exceda 125°F (52°C). Los cilindros serán colocados parados y bien asegurados para evitar que se caigan o se golpeen. Se deben separar los cilindros llenos de los vacíos. Utilizar un sistema de inventario con fecha de ingreso y egreso de las unidades para evitar que cilindros llenos queden almacenados durante períodos excesivamente largos. Coloque carteles en el área de almacenaje con la leyenda NO FUMAR o el símbolo de LLAMAS ABIERTAS. No deben encontrarse fuentes de ignición en el área de almacenaje o uso. Para información adicional sobre recomendaciones de almacenaje, consulte los boletines de Compressed Gas Association P-1, P-14, G-5 y Safety Bulletin SB-2.	
MANIPULEO: Utilizar solamente en áreas muy bien ventiladas. Las tapas protectoras de las válvulas deben estar colocadas, a menos que el cilindro posea caño de salida desde la válvula al punto de uso. No arrastrar, deslizar o hacer rodar los cilindros, sino utilizar autoelevadores o zorras para desplazarlos. Utilizar un regulador reductor de presión cuando se conectan los cilindros a una presión menor (< 3000 psig) cañerías o sistemas. De ninguna manera se deben calentar los cilindros para incrementar su velocidad de descarga. Utilizar una válvula de control o de retención para evitar riesgos de retroceso de flujo al interior del cilindro. Para información adicional sobre recomendaciones de manipuleo, consulte el boletín de la Compressed Gas Association's P-1, P-14, G-5 y Safety Bulletin SB-2	
ENVASADO: El hidrógeno es no corrosivo y puede utilizarse con cualquier material de construcción.	
OTRAS RECOMENDACIONES O PRECAUCIONES: <ul style="list-style-type: none">• Todos los equipos y líneas relacionados con el sistema de hidrógeno deben estar conectados a tierra.• El equipo eléctrico debe ser antichispa o a prueba de explosión.• Los cilindros de gas comprimido no deben ser recargados, excepto por fabricantes calificados de gases comprimidos. La carga de cilindros de gas comprimido debe ser efectuada por el fabricante o bien se debe contar con su consentimiento escrito para poder realizarla, caso contrario, constituye una violación a las leyes vigentes.• Asegurarse siempre que los cilindros se encuentren en posición vertical antes de transportarlos. NUNCA transporte cilindros en baúles de vehículos, compartimientos cerrados, cabinas de camiones o en compartimientos de pasajeros. Transporte los cilindros asegurados en plataformas o en vehículos abiertos tipo pick up.	
NFPA 704 N°. PARA HIDROGENO = 140	

Figura A.13.4 Ficha de seguridad Hidrógeno

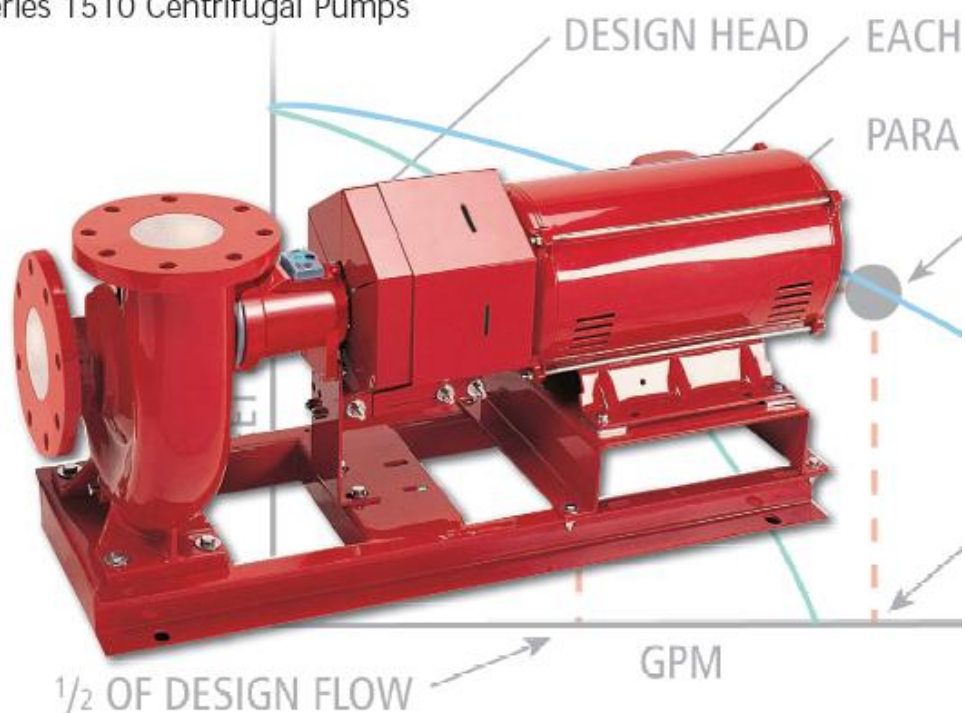
ANEXO 14: CATÁLOGO DE BOMBAS E INSTRUMENTOS

BULLETIN NO. B-207H



Bell & Gossett®

Series 1510 Centrifugal Pumps



Engineered for life



Table of Contents

Useful Pump Formulas	2
Standard Features	3
Technical Data	4
Materials of Construction	5
Selection Charts	6
Performance Curves	7
Centrifugal Pump Dimensions	8-9
The B&G End Suction Pump System	10
Typical Specifications	11

Useful Pump Formulas

$$\begin{aligned} \text{Pressure (PSI)} &= \frac{\text{Head (Feet)} \times \text{Specific Gravity}}{2.31} \\ \text{Head (Feet)} &= \frac{\text{Pressure (PSI)} \times 2.31}{\text{Specific Gravity}} \\ \text{Vacuum (Inches of Mercury)} &= \frac{\text{Dynamic Suction Lift (Feet)} \times .883}{\text{Specific Gravity}} \\ \text{Horsepower (Brake)} &= \frac{\text{GPM} \times \text{Head (Feet)} \times \text{Specific Gravity}}{3960 \times \text{Pump Efficiency}} \\ \text{Horsepower (Water)} &= \frac{\text{GPM} \times \text{Head (Feet)} \times \text{Specific Gravity}}{3960} \\ \text{Efficiency (Pump)} &= \frac{\text{Horsepower (Water)}}{\text{Horsepower (Brake)}} \times 100 \text{ Per Cent} \\ \text{NPSH (Available)} &= \text{Positive Factors} - \text{Negative Factors} \end{aligned}$$

Affinity Laws: Effect of change of speed or impeller diameter on centrifugal pumps.

	GPM Capacity	Ft. Head	BHP
Impeller Diameter Change	$Q_2 = \frac{D_2}{D_1} Q_1$	$H_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 H_1$	$P_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 P_1$
Speed Change	$Q_2 = \frac{RPM_2}{RPM_1} Q_1$	$H_2 = \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^2 H_1$	$P_2 = \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^3 P_1$

Where Q = GPM, H = Head, P = BHP, D = Impeller Dia., RPM = Pump Speed

Take away these eight standard features and you'll have a pump like everyone else's.



True Back Pullout

A B&G standard in design and construction. Ease in service is assured, while piping and motor remain undisturbed. Extended delays for repairs are virtually eliminated.

Internally Self-Flushing Mechanical Seal

This design is way ahead of its time. This unique seal design is proven in many years of service. It requires no special external flushing provisions, since the design provides for constant efficient flushing action internally. This standard feature ensures maximum seal face lubrication, heat dissipation and debris removal without vulnerable, external flush tubing. The internal flushing action passes two and a half to three times the flow over the seal faces — compared to a few GPM for conventional, stuffing-box designed pumps.



Computer Controlled Impeller Balancing

1510 impellers are balanced to ANSI/HI 9.6.4-2009, balance grade G6.3 standards. This method of computer balancing Impellers provides for quiet, efficient, vibration free performance. Diameters are computer selected at the factory to furnish assurance that your capacity requirements will be met.



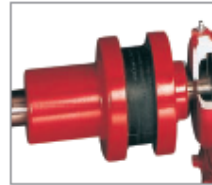
Heavy Duty, Rugged Baseplate

The Bell & Gossett fabricated heavy duty baseplate is supplied as standard on every Series 1510 pump. Unlike rolled steel and "C" channel baseplates, the Series 1510 baseplate provides a heavy duty saddle assembly, full seam welds, closed baseplate ends and an open top to provide ease of access for proper equipment grouting.



Solid-Foot Mounted Volute

All Series 1510 pumps are provided as standard with an integrally cast volute foot located directly beneath the pump volute. This integrally cast foot ensures that the alignment between the volute and motor assembly is maintained. Without solid support beneath the volute, the piping weight alone will cause distortion which can lead to premature failure of the bearings, shaft and mechanical seal. This feature is equally important on hot water applications. The Series 1510 volute foot provides a solid foundation and eliminates the deflections which would otherwise exist within an unsupported overhung volute during the normal thermal expansion of the system piping against the volute.



Center Drop-Out Spacer Coupling

Unlike conventional jaw type or rigid style couplings, a center drop-out spacer coupling allows removal of the bearing frame and rotating element without disturbing the pump end pipe alignment or motor electrical connections.



ANSI/OSHA-Compliant Coupling Guard

The coupler guard complies with ANSI B15.1 and OSHA 1910.219. The guard offers increased protection against potential injuries and is standard on all 1510 pumps. The guards include slotted viewing windows for easy inspection.



Patented I-ALERT™ Condition Monitor

Continuously measures vibration and temperature at the outboard bearing and automatically indicates when pre-set levels of vibration and temperature have been exceeded, so that changes can be made before failure occurs. A visual indication of pump health makes walk-around inspections more efficient and accurate. This onboard pump intelligence helps minimize life-cycle costs while maximizing performance.

Technical Data

BALANCE STANDARDS

Impellers are balanced to Hydraulic Institute Standards ANSI/HI 9.6.4-2009.

The allowable residual unbalance in the impeller rotating assembly conforms to ANSI grade G6.3 (Ref. ISO 1940).

ANSI Balance Quality Grades of G2.5 and G1 for the rotating assembly are also available. Consult your local Bell & Gossett Representative for additional details.

VIBRATION LIMITS

Series 1510 pumps conform to Hydraulic Institute ANSI/HI 9.6.4-2009 for recommended acceptable unfiltered field vibration limits (as measured at the pump bearings per ANSI/HI 9.6.4-2009, Figure 9.6.4.2.3.1) for pumps with rolling contact bearings.

PUMP SPEED RPM	OVERALL DISPLACEMENT (Unfiltered) Peak to Peak-Mils (.001")
3600	2.2
1800	3.8
1200	5.8

SEISMIC CAPABILITIES

Series 1510 pumps are capable of withstanding a horizontal load of 0.5g* without adversely affecting pump operation.

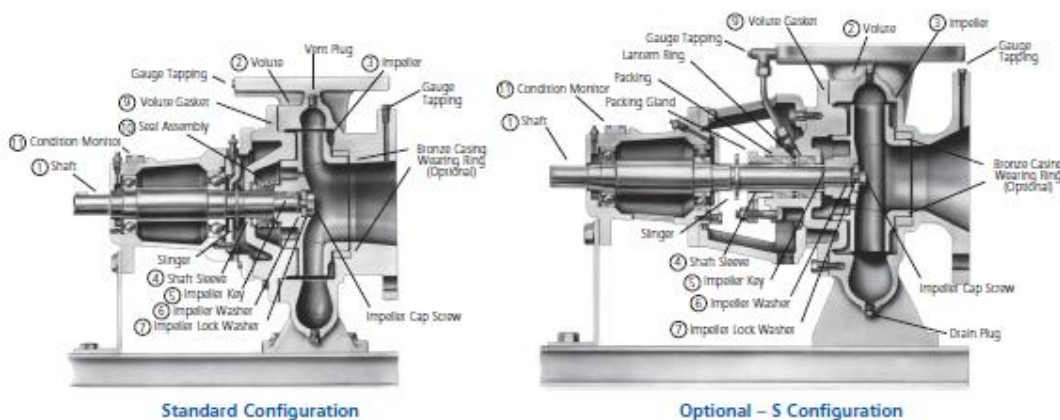
*Piping and/or fasteners used to anchor the pump to the mounting pads on the floor are excluded.

MECHANICAL SEAL

Seal Features	
Standard Seal Type	B&G
Internally Flushed Seal	Yes
Enlarged Seal Chamber	Yes
Standard Seal Construction	Buna-Carbon-Ceramic
Standard Working Pressure	175 psig (12 Bar)
Maximum Working Pressure	250 psig (17 Bar)
Standard Seal Temperature Rating	225 deg F (107°C)
Optional Temperature Rating	250 deg F (121°C)

The ceramic material is 99.5% pure alumina oxide, ceramic seat hardness of 68 Rockwell C, or a tensile strength of 300,000 psi.

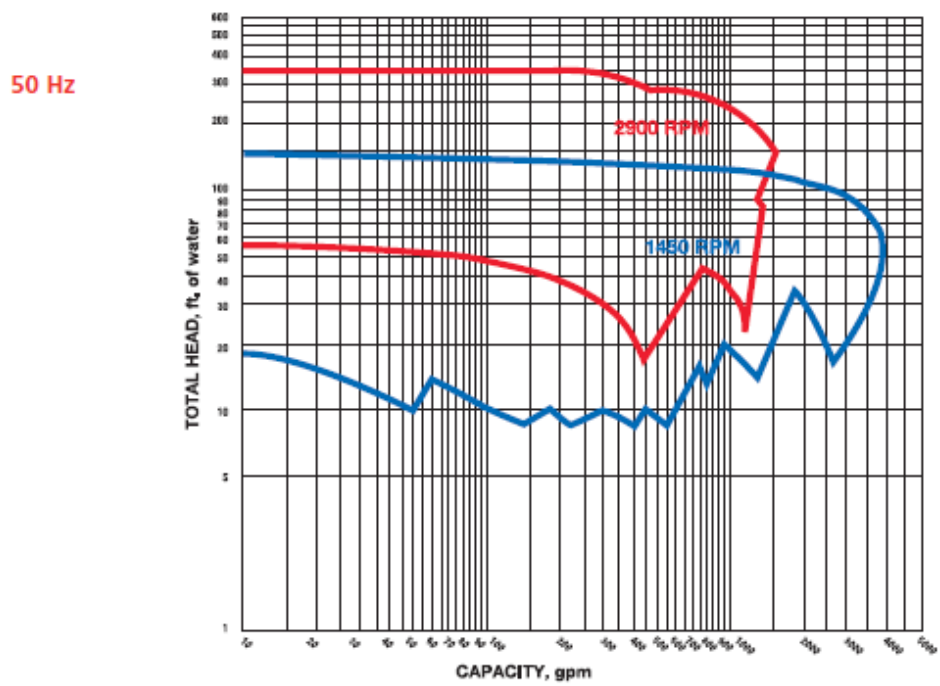
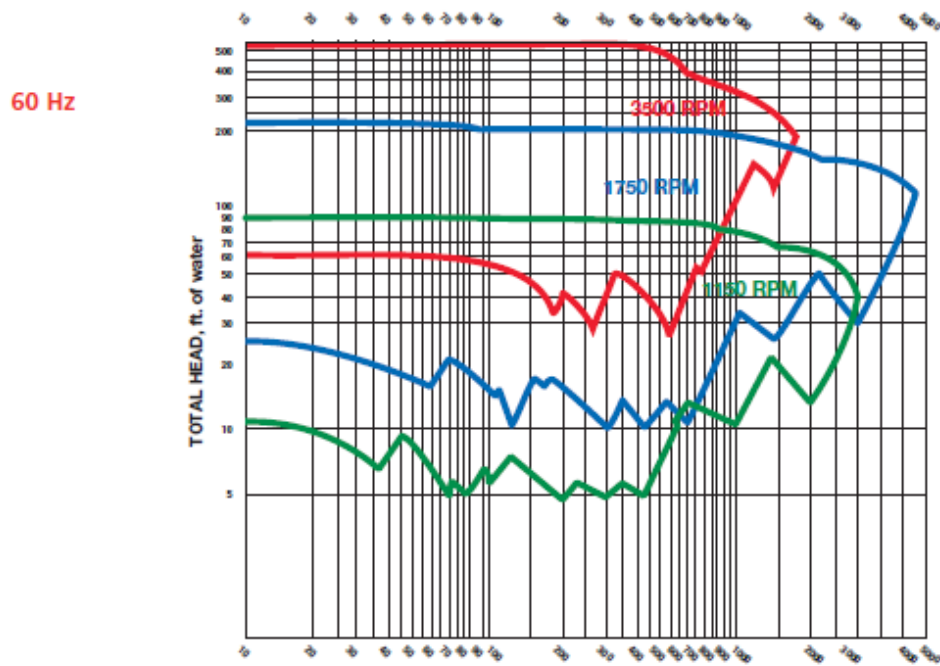
Materials of Construction



DESCRIPTION	BRONZE FITTED PUMP (STANDARD CONFIGURATION)	ALL IRON PUMP (OPTIONAL)	OPTIONAL FEATURES
1 Shaft	Steel SAE 1144	Steel SAE 1144	All Iron Construction
2 Volute	Cast Iron ASTM #A159	Cast Iron ASTM #A159	Bronze Casing Wear Ring
3 Impeller	Cast Bronze ASTM #B584	Cast Iron ASTM #A536	Stainless Steel Shaft Sleeve
4 Shaft Sleeve	Bismuth Bronze #CB9835	#304 Stainless Steel ASTM #A312	Stainless Steel Shaft
5 Impeller Key	#304 Stainless Steel	#304 Stainless Steel	Drip Pan
6 Impeller Washer	1510 - Steel	Stainless Steel	EPR/Tungsten Carbide Seal (Standard Configuration only)
7 Impeller Lock Washer	#304 Stainless Steel	#304 Stainless Steel	Stuffing Box Construction with several seal and packing options
8 Impeller Cap Screw	#304 Stainless Steel	#304 Stainless Steel	Seal Selection Guide For:
9 Volute Gasket	Cellulose Fiber	Cellulose Fiber	A. Standard Seals
10 Seal Assemblies			• Buna-PH Limitations 7-9; Temperature Range -20°F to +225°F
11 Condition Monitor	Stainless Steel Encloser	Stainless Steel Encloser	• EPR-PH Limitations 7-11; Temperature Range -20°F to +250°F
Standard Seal			For use on open or closed clear water systems. Maximum working pressure 175 psi.
Bellows	Buna N	Buna N	B. Flushed Single Seals (Stuffing Box Design)
Faces	Carbon-Ceramic	Carbon-Ceramic	• PH Limitations 7-11; Temperature Range -20°F to +300°F**
Metal Parts	Brass	Stainless Steel	For use on closed or open systems where the temperature or pressure requirements exceed the limitations of the standard seal. Available in 175 psi, or 250 psi working pressures.
Spring	Stainless Steel	Stainless Steel	C. Flushed double Seals (Stuffing Box Design)
For Stuffing Box			PH Limitations 7-9; Temperature Range 0°F to +250°F
10A Flushed Single	EPREPR	Carbon-Tungsten	For use on closed or open low pressure systems which may contain a high concentration of abrasives. An external flush is required. Maximum working pressure 175 psi.
O-Rings	Carbon-Tungsten Carbide	Carbide	D. Packing (Stuffing Box Design)
Faces	Stainless Steel	Stainless Steel	PH Limitations 7-9; Temperature Range 0°F to +190°F
Metal Parts	Stainless Steel	Stainless Steel	For use on open or closed systems which require a large amount of make-up water, as well as systems which are subjected to widely varying chemical conditions and solids buildup.
Spring	Stainless Steel		
Packed	Graphited Impregnated Teflon	Graphited Impregnated Teflon	
Packing	Bronze Filled TFE	Cast Iron Filled TFE	
Gland			
Lantern Ring			

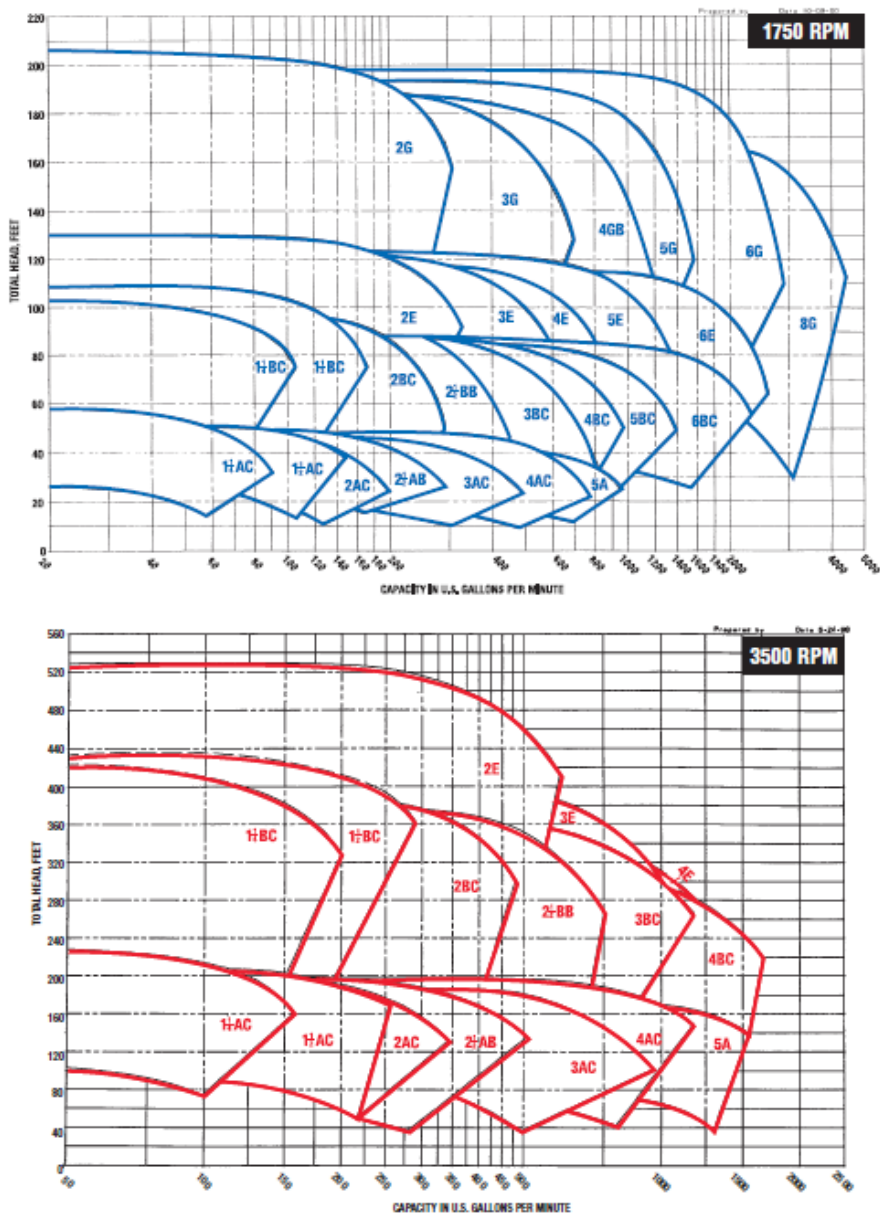
** For operating temperatures above 250°F, a cooled flush is required – and is recommended for temperatures above 225°F for optimum seal life. On closed systems, cooling is accomplished by inserting a small heat exchanger in the flush line to cool the fluid. Flush-line Filters and Sediment Separators are available on special request.

Selection Charts



6

Series 1510 Performance Curves



7

Figura A.14.1 Catálogo Serie 1510 Bell & Gossett

SUBMERSIBLE PRESSURE TRANSMITTER FOR LEVEL AND DEPTH MEASUREMENT STANDARD AND METRIC MODELS

PX78/PXM78 Series
4-20 mA Output
0-4 to 0-15 psi
0-275 mbar to 1 bar
38 mm (1.5") Dia.

Starts at
\$725

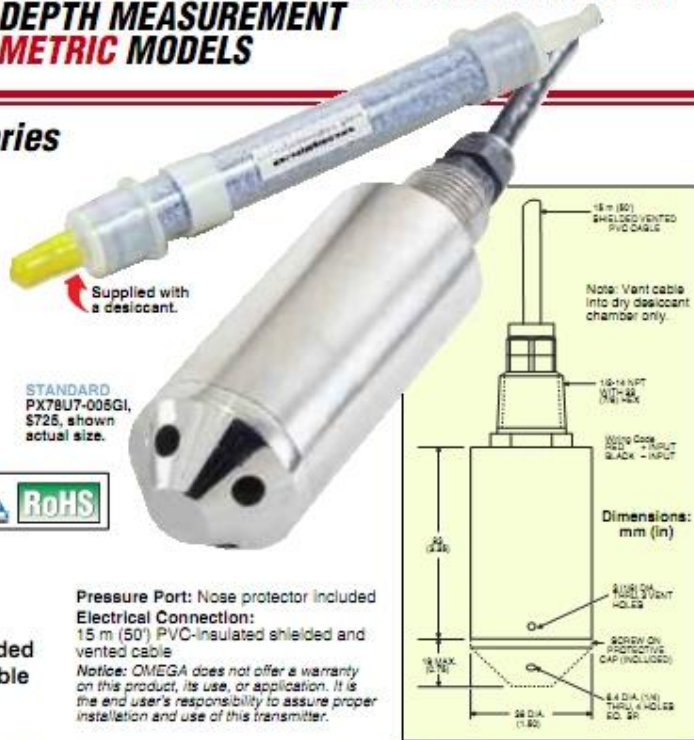


- ✓ All Stainless Steel Housing
- ✓ Hermetically Sealed
- ✓ Protective Cap Included
- ✓ 15 m (50') Vented Cable Standard

OMEGA's PX78/PXM78 are submersible transmitter suitable for liquid level and depth measurement. Their all stainless steel, hermetically sealed housing makes them suitable for immersion in most industrial liquids and oils. A 15 m (50') vented cable (longer lengths available) provides an atmospheric pressure reference.

SPECIFICATIONS

Excitation: 10 to 40 Vdc
Output: 4 to 20 mA ±10%
Max Loop Resistance: (input voltage - 10) x 50
Zero Balance: 4 mA ±0.5%
Accuracy: 0.5% linearity, hysteresis and repeatability combined
Operating Temp Range: -29 to 93°C (-20 to 200°F)
Compensated Temp Range: 16 to 71°C (60 to 160°F)
Thermal Effects:
Span: 0.0054% rdg/°C
Zero: 0.009% FSO/°C
Proof Pressure: 150% of rated pressure
Burst Pressure: 300% of rated pressure
Wetted Parts: 316 stainless steel diaphragm, 17-4 stainless steel housing



Pressure Port: Nose protector included
Electrical Connection: 15 m (50') PVC-insulated shielded and vented cable
Notice: OMEGA does not offer a warranty on this product, its use, or application. It is the end user's responsibility to assure proper installation and use of this transmitter.

STANDARD MODELS **MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!**

To Order (Specify Model Number) 15 m (50') Cable

psig	bar	mH ₂ O	MODEL NO.	PRICE	COMPATIBLE METERS*
0 to 4	0 to 0.27	9.2	PX78U7-004GI	\$725	DP41-E, DP25B-E, DP24-E
0 to 5	0 to 0.34	11.5	PX78U7-005GI	725	DP41-E, DP25B-E, DP24-E
0 to 10	0 to 0.69	23.1	PX78U7-010GI	725	DP41-E, DP25B-E, DP24-E
0 to 15	0 to 1.0	34.6	PX78U7-015GI	725	DP41-E, DP25B-E, DP24-E

METRIC MODELS

mbar	psi	mH ₂ O	MODEL NO.	PRICE	COMPATIBLE METERS*
0 to 270	0 to 4	2.8	PXM78U7-275MBARGI	\$725	DP41-E, DP25B-E, DP24-E
0 to 350	0 to 5	3.6	PXM78U7-350MBARGI	725	DP41-E, DP25B-E, DP24-E
0 to 700	0 to 10	7.1	PXM78U7-700MBARGI	725	DP41-E, DP25B-E, DP24-E
0 to 1 bar	0 to 15	10.2	PXM78U7-001BARGI	725	DP41-E, DP25B-E, DP24-E

Comes complete with NIST traceable calibration, desiccant and operator's manual.
* See section D for compatible meters.
To order with extra cable, add suffix "-(length in meters)M" and \$8/m beyond standard 15 m (50') length.
Ordering Examples: PX78U7-015GI-100FT, 15 psi transmitter with 4 to 20 mA output and 30 m (100') vented cable, \$725 + (15 x 8) = \$845.
PXM78U7-350MBARGI-30M, 350 mbar gage pressure transmitter with 4 to 20 mA output and 30 m (100') total length of vented cable, \$725 + (15 x 8) = \$845.

ACCESSORY

MODEL NO.	PRICE	DESCRIPTION
A019385	\$35	Replacement desiccant

B-279

Figura A.14.2 PXM78 Series

VORTEX FLOWMETERS

FV-505C Series
Starts at

\$2080



- ✓ SSP (Spectral Signal Processing) Technology
- ✓ Measures Steam, Gas, and Low Viscosity Liquids
- ✓ Clear Parallel Two-Line LCD Display. Displays Simultaneous Flow Rate and Total Along with Process Diagnosis
- ✓ New, Compact Amplifier Housing: Lighter, Small and Easier to Handle
- ✓ No Start-Up Tuning
- ✓ Low Flow Stability
- ✓ Advanced Self-Diagnostics
- ✓ No Moving Parts
- ✓ Simultaneous Analog and Pulse Outputs
- ✓ Status Output (Flow Switch Function) or Alarm Output
- ✓ Configurable Through Local Display Interface
- ✓ High Accuracy: $\pm 0.75\%$ of Reading (Liquid), $\pm 1\%$ of Reading (Gas, Steam)



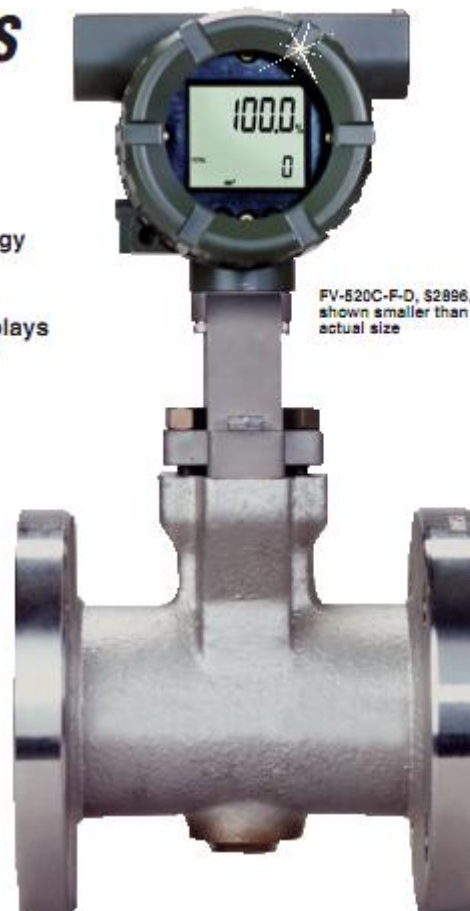
OMEGA's FV-505C Series vortex flowmeter provides accurate, reliable, low-maintenance flow measurement. Vortices generated by the flowing fluid stress the shedder bar in pulses, and the shedder bar transmits the stress pulses to the encapsulated piezoelectric sensor.

Based on the field proven sensor technology of the FV-505C Series vortex flowmeters, FV-505C features a new amplifier with proprietary spectral signal processing (SSP) technology to analyze the vortex waveform into its spectral components to filter noise from signal for the most stable measurement possible.

The FV-505C Series will provide excellent vibration immunity for stable, accurate measurements at low flows without any need for start-up tuning. The user benefits through greater reliability, reduced maintenance and a lower total cost of ownership.

The programmable display allows access to the full power of OMEGA's new intelligent amplifier. It permits the user to display flow rate and/or total in engineering units for liquids and gases. Rate and total are displayed simultaneously. If the density or enthalpy of the fluid is constant (i.e. the temperature and pressure do not change), the density value can be entered into the meter to display in kilograms, pounds or metric tons; the enthalpy value can be entered to display in BTUs, kilojoules, etc. Analog output span adjustment and low cutoff are also settable from the display, there is no need to adjust pots. The analog and pulse outputs can also be forced to output from 0 to 100% FS or 0 to 6000 Hz without any flow through the meter as a test of the amplifier. For steam flow measurement, the FV-505C can be used with the OMEGA[®] FC-20 mass flow computer. The standard

G-8



FV-520C-F-D, \$2896, shown smaller than actual size

FV-505C is wafer-style to slip between 150# ANSI flanges, and comes supplied with extra long bolts for installation. Units with the suffix "-F" have 150# ANSI flanges.

SPECIFICATIONS

Performance Specifications

Fluid to be Measured: Liquid, gas, steam (avoid multiphase flow and sticky fluids)

Measuring Flow Rates:

Refer to Table on following pages

Accuracy: $\pm 0.75\%$ of reading (liquid), $\pm 1\%$ of reading (gas, steam).

Repeatability: $\pm 0.2\%$ of reading

Calibration: Factory-calibrated using water flow

Normal Operating Condition

Process Temperature Range:

General: -40 to 260°C

(-40 to 500°F)

High Process Temperature

Version Option (-HT): -40 to 450°C (-40 to 842°F)

G

Process Pressure Limit: -14.2 PSIA (-1 kg/cm²) to flange rating

Ambient Temperature Range:

Remote Type Detector, Remote

Type Converter: -40 to 85°C

(-40 to 185°F)

Integral Type:

-40 to 85°C (-40 to 185°F)

Integral Type with Indicator

-30 to 80°C (-22 to 176°F)

Ambient Humidity: 5 to 100% RH

[at 40°C (104°F)] (non-condensing)

Power Supply Voltage:

16.4 to 42 Vdc

Mechanical Specifications

Material (General Type):

Body: CF8M casting stainless

steel (SUS316)

Shedder Bar: Duplex stainless steel (ASTM CD4MCu equivalent to JIS SUS329J1). -HT option has Hastelloy C

Gasket: JIS SUS316 stainless steel with polytetrafluoroethylene coating

Converter Housing and

Case, Cover: Aluminum alloy

(Polyurethane corrosion-resistance coating)

Protection: NEMA 4X (IP67)

Immersion proof and dust proof

Electrical Connection:

ANSI 1/2" NPT female

Signal Cable: Cable used for remote detector and converter

Max. Length: 30 m (98')

Outer Sheath Material:

Heat-resistant polyethylene

Temperature Rating: -40 to 150°C

(-40 to 302°F)

Mounting:

Integral Type and Remote Type

Detector: Flange mounting or

wafer mounting

Remote Type Converter:

2" pipe mounting

Electrical Specifications

Note: Pulse output, alarm output and status output use common terminals, therefore, these functions are not used simultaneously

Output Signal: Simultaneous output (both analog and transistor contact output available). Refer to "Installation" for power supply and pulse output wiring

Analog: 4 to 20 mA DC, 2-wire system

Transistor Contact Output:

Open collector, 3-wire system.

Pulse, alarm, status output are

selected by parameter setting.

Contact Rating: 30 Vdc,

120 mA DC

Low Level: 0 to 2 Vdc

Communication Requirement:

Conditions of Communications

Line: 250 to 600 (including cable

resistance)

Display Unit: %, l, t, Nm³, m³, kg scf,

cf, gal, lb, /h, /m

Cable Length for Specific

Applications: Use the following formula to determine cable length for specific applications:

$$L = \frac{65 \times 10^4 - (Cf + 10,000)}{(R \times C)}$$

Where:

L=length in meters

R=resistance in

(including barrier resistance)

C=cable capacitance in pF/m

Cf=maximum shunt capacitance

of receiving devices in pF/m

Functions

Damping Time Constant:

0 to 99 sec (63% response time)

Note: Delay time is 0.5 sec. Analog

output circuit time constant is 0.3 sec.

Pulse Output Function: Pulse output

is selected from scaled pulse, unscaled

pulse, frequency (number of pulses

output per second at 100% of output)

Pulse Frequency: Max. 10 kHz

Duty Cycles: Approx. 50%

Self-Diagnostics and Alarm Output:

In an alarm condition (over range

output signal, EEPROM error, vibration

noise, abnormal flow such as clogging,

bubble) an alarm signal is output and

indicated. The alarm signal output

goes from close (ON) to open (OFF)

during alarm.



Status Output Function:

Flow Switch: In case flow rate falls below the flow set value, a status signal is output. The status signal output mode can be reversed (ON/OFF)

Data Security During Power Failure:

Data (parameter, totalizer value, etc)

storage by EEPROM. No back-up

battery required.

Correction:

Instrument for Correction: Vortex

flowmeter errors can be corrected by

line segment approximations

Reynolds Number Correction: Output

error at Reynolds number 20000 or less

is corrected by using five-break-point

line-segment approximation

Gas Expansion Correction:

When measuring a compressible gas

and steam, this expansion factor is

useful to correct the error at velocities

above 115 f/s (35m/s or more)

Down-Scale or Up-Scale Burn:

In case a CPU or EEPROM failure

occurs, the output can be driven up-

scale (21.6 Ma) or down-scale (3.6 Ma).

Selection can be made by the end user

via a jumper setting.

Indicator: Flow rate (% or engineering

units) and totalizer can be indicated

simultaneously. Short message for self-

diagnosis is displayed. Local parameter

setting can be accomplished by push

buttons. Rotatable 90° right and left.

EMC Conformity Standards:

EN61326, AS/NZS 2064

Sizing:

The following tables show typical operating ranges. For specific operating conditions, please contact OMEGA's Flow Department.

Note: For remote converter type, the signal cable should be used with meter conduit.

SIZING

The following tables show typical operating ranges. For specific operating conditions, please contact OMEGA's Flow Department.

Typical Fluid Example: Range of Measurable Water Flow Rate (At Standard Condition of 15°C (59°F), P=62.428 lb/cubic ft)

Nominal Size		Measurable Flow Rate in GPM (m ³ /h)	Range of Guaranteed Accuracy Flow Rate in GPM (m ³ /h)
mm	inch		
15	0.5	1.3 to 26 (0.30 to 6)	4.13 to 26 (0.94 to 6)
25	1	2.9 to 79.3 (0.65 to 18)	7.5 to 79.3 (1.7 to 18)
40	1.5	5.7 to 193 (1.3 to 44)	11.4 to 193 (2.6 to 44)
50	2	9.6 to 321 (2.2 to 73)	14.5 to 321 (3.3 to 73)
80	3	18.9 to 625 (4.3 to 142)	20.2 to 625 (4.6 to 142)
100	4	33.0 to 1091 (7.5 to 248)	33 to 1091 (7.5 to 248)
150	6	74.8 to 239.5 (17 to 544)	79.2 to 239.5 (18 to 544)
200	8	149 to 4284 (34 to 973)	150 to 4284 (34 to 973)
250	10	264 to 6630 (60 to 1506)	265 to 6630 (60 to 1506)
300	12	379 to 9492 (86 to 2156)	379 to 9492 (86 to 215)

Typical Range of Measurable Air Flow Rate at Selected Process Pressures

Nominal Size	Flow Rate Limits	Minimum and Maximum Measurable Flow Rate in SCFM (Nm ³ /h at MPa in parenthesis)									
		0 PSI (0)	15 PSI (0.1)	25 PSI (0.2)	50 PSI (0.4)	75 PSI (0.6)	100 PSI (0.8)	150 PSI (1.0)	250 PSI (1.5)	300 PSI (2.0)	350 PSI (2.5)
0.5 in (15 mm)	min.	4.05 (4.3)	5.75 (5.7)	6.55 (6.2)	8.51 (10.5)	10.0 (12.5)	11.34 (15.1)	13.5 (19.7)	19.3 (26.5)	23 (37.5)	25.7 (45.4)
	max.	25.35 (48.2)	37.32 (55.8)	43.54 (143)	125 (235)	173.4 (334)	221.9 (425)	315.1 (524)	514.3 (752)	612.2 (1000)	710.2 (1235)
1.0 in (25 mm)	min.	9.35 (11.0)	13.24 (15.5)	15.43 (19.0)	19.7 (24.5)	23.2 (29.0)	26.3 (33.3)	31.5 (40.5)	40 (55.0)	47.3 (77.5)	54.9 (95.9)
	max.	57.45 (149)	175.9 (257)	235.5 (444)	355.7 (735)	535.1 (1034)	694.5 (1325)	954.7 (1654)	1555 (2351)	1859 (3055)	2151 (3855)
1.5 in (40 mm)	min.	15.57 (30.0)	22.54 (30.5)	30.55 (37.5)	39.2 (48.7)	45.1 (51.5)	52.2 (75.2)	62.5 (97)	84.5 (149)	112.9 (194)	130.9 (235)
	max.	205.7 (355)	421.9 (705)	554.2 (1050)	820.0 (1754)	1275 (2455)	1833 (3171)	2345 (3875)	3755 (5534)	4505 (7554)	5225 (9153)
2.0 in (50 mm)	min.	30.99 (35.2)	44.0 (51)	50.9 (52.4)	65.1 (80.5)	75.7 (102)	85.7 (131)	104 (151)	157.4 (233)	187.4 (305)	217.4 (375)
	max.	345.5 (551)	700.4 (1174)	935.5 (1757)	1527 (2922)	2119 (4055)	2712 (5254)	3599 (5420)	5255 (8335)	7451 (12245)	8575 (15154)
3.0 in (80 mm)	min.	50.14 (70.1)	65.5 (95.4)	68.9 (120)	125.3 (155)	145.7 (197)	158.3 (254)	201.5 (310)	305.3 (451)	353.5 (551)	421.5 (732)
	max.	572.4 (1140)	1359 (2255)	1817 (3351)	2954 (5542)	4113 (7892)	5253 (10143)	7555 (12354)	12155 (18021)	14515 (23545)	15545 (26574)
4.0 in (100 mm)	min.	104.4 (122)	145.5 (172)	171.7 (211)	219.3 (272)	255.3 (334)	292.2 (442)	350.4 (540)	530.5 (755)	631.5 (1031)	732.5 (1277)
	max.	1157 (1950)	2350 (3954)	3155 (5915)	5145 (9547)	7143 (13775)	9140 (17703)	13143 (21532)	21152 (31453)	25214 (41274)	29251 (51095)
6.0 in (150 mm)	min.	225.7 (255)	325.1 (377)	375.0 (455)	450.2 (505)	527.5 (1131)	751.5 (1453)	1051 (1775)	1742 (2533)	2073 (3355)	2405 (4155)
	max.	2555 (4355)	5155 (8555)	6911 (12550)	11272 (21555)	15535 (30155)	20012 (38755)	28777 (47355)	45377 (69557)	55205 (90373)	64044 (111575)
8.0 in (200 mm)	min.	455 (575)	705.5 (805)	817.0 (990)	1043 (1445)	1229 (2320)	1350 (2555)	1637 (3175)	3122 (4517)	3717 (6055)	4312 (7501)
	max.	4552 (7752)	9254 (15452)	12357 (23172)	20204 (38545)	28033 (53333)	35572 (69133)	51552 (84552)	83129 (133135)	9952 (151521)	114755 (200045)
10 in (250 mm)	min.	555 (1037)	1255 (1451)	1455 (1755)	1855 (2305)	2190 (3127)	2475 (4015)	2992 (4911)	5511 (7140)	5739 (9370)	6555 (11500)
	max.	7075 (12045)	14304 (23935)	19127 (35533)	31125 (59511)	43253 (83400)	55357 (107151)	75544 (130555)	123333 (192415)	152754 (245551)	177245 (305334)
12 in (300 mm)	min.	1255 (1455)	1805 (2093)	2057 (2551)	2555 (3303)	3139 (4475)	3551 (5755)	4255 (7033)	5511 (10225)	5225 (13415)	5543 (15512)
	max.	10142 (17255)	20503 (34255)	27415 (51317)	44715 (85370)	62039 (115441)	79355 (153499)	114157 (187555)	163972 (272559)	218590 (357555)	254033 (443017)

(1) At standard conditions STP 15C (59°F), 14.7 PSIA (1.01 atm).
 (2) Pressure listed is at process temperature of 15C (59°F).
 (3) Maximum flow rate is at 252 ft/s (80 m/s).
 (4) Minimum values are determined from Table 5.

MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!

To Order (Specify Model Number)				
Model No. (Without Display Module)	Price	Description	Lay Length mm (Inches)	Weight kg (lb)
FV-505C	\$2080	½" wafer mount	70 (2.8)	2.8 (6)
FV-505C-F	2460	½" flange mount	70 (2.8)	2.8 (6)
FV-510C	2080	1" wafer mount	70 (2.8)	3.7 (8)
FV-510C-F	2460	1" flange mount	70 (2.8)	3.7 (8)
FV-515C	2087	1½" wafer mount	70 (2.8)	4.3 (9.5)
FV-515C-F	2467	1½" flange mount	70 (2.8)	4.3 (9.5)
FV-520C	2114	2" wafer mount	75 (3.0)	6 (14)
FV-520C-F	2494	2" flange mount	75 (3.0)	6 (14)
FV-530C	2257	3" wafer mount	100 (3.9)	9.4 (21)
FV-530C-F	3020	3" flange mount	100 (3.9)	9.4 (21)
FV-540C	2554	4" wafer mount	120 (4.7)	12.8 (28)
FV-540C-F	3554	4" flange mount	120 (4.7)	12.8 (28)
FV-560C-F	4107	6" flange mount	270 (10.6)	35.4 (80)
FV-580C-F	6340	8" flange mount	310 (12.2)	55.4 (122)
FV-591C-F	11,194	10" flange mount	370 (14.6)	90 (199)
FV-592C-F	13,760	12" flange mount	400 (15.7)	140 (308)

Comes with complete operators manual.
 Note: Units with "-F" suffix have 150 class flange connections.

For units with a display, add "-D" to the model number and \$403 to the price.
 For units with remote electronics, add "-R" to the model number, subtract \$455 from the price, and order the mounting kit and cable in the accessories table.
 For units designed for high temperature use, add "-HT" to the model number and consult engineering for prices.
 For NIST calibration add "-NIST" to model and add \$75 to price.

Ordering Example: FV-505C-D, ½" wafer mount vortex flowmeter with integral display, \$2080 + 403 = \$2483. Consult engineering for prices.

Note: To confirm that the vortex meter will work for your requirements, contact the Flow Department. When ordering units without a display, the vortex meter will be programmed at our factory for your application, contact the Flow Department for details.

Accessories

Model No.	Price	Description
FV-500C-RMK	\$954	Remote mounting kit
FV-500C-RMK-D	1356	Remote mounting kit with display
FV-500CABLE-10F	100	3 m (10') cable for remote mounting
FV-500CABLE-30F	154	9 m (30') cable for remote mounting
FV-500CABLE-50F	207	15 m (50') cable for remote mounting
FV-500CABLE-75F	274	23 m (75') cable for remote mounting
FV-500CABLE-100F	347	30 m (100') cable for remote mounting
FW-204	250	Reference Book: The Consumer Guide to Vortex Shredding and Fluidic Flowmeters

G-10

Figura A.14.3 Medidores de caudal de tipo vórtice



INSERTION MAGNETIC FLOWMETER

FMG900 Series
Starts at
\$1024



- ✓ Durable
- ✓ Adjustable Depth
- ✓ Hot-Tap Available
- ✓ Brass or Stainless Steel
- ✓ Immersibility Available
- ✓ Reverse Flow Output Available
- ✓ 3 to 48" Diameter Pipes

The complete lack of moving parts of this insertion flow sensor is the source of its reliability. There is no rotor to stop turning in dirty water and there are no bearings to wear out. Brass and stainless steel models withstand a variety of temperature, pressure, and chemical conditions. Reverse flow output and immersibility are optional. A rapidly reversing magnetic field is produced in the lower housing. As the fluid moves through this field, a voltage is generated that is measured and translated into a frequency signal proportional to flow rate. This square wave signal can be sent directly to a PLC, control or converted to 4 to 20 mA with the FTB700-T shown below (optional). A modular system of electronics can be attached directly to the flow sensor or remotely mounted. The FMG900 series can provide full indication of rate and total with the (optional) FTB700-D or just a 4 to 20 mA output with the (optional) FTB700-T blind transmitter. The adaptor fitting of the standard unit is a male NPT, and can be directly threaded into ordinary saddles or threaded weld fittings. The hot tap versions include an isolation valve, allowing hot-tap installation, or installation and removal under pressure. Hot tap units include the appropriate installation valve.



FMG903, \$1237,
for 76 to 254 mm
(3 to 10") pipe,
shown smaller
than actual size.

SPECIFICATIONS

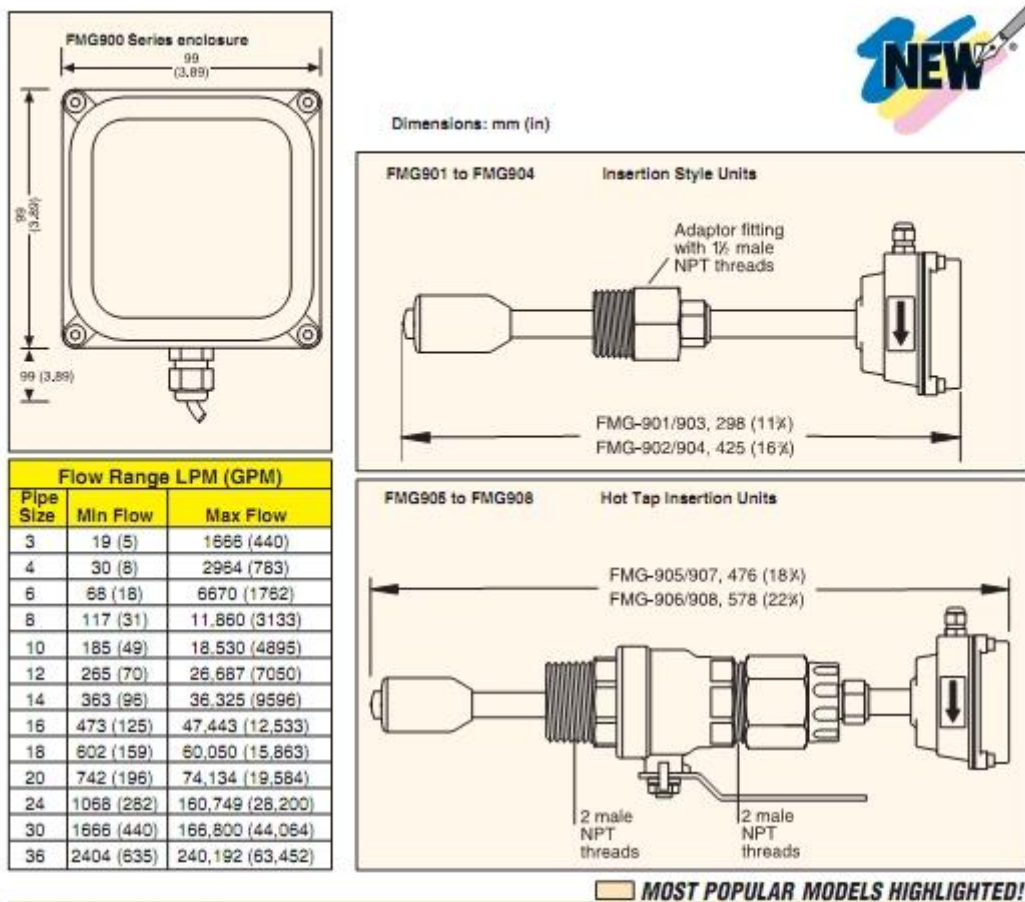
Power: 12 to 24 Vdc, 250 mA
Flow Range: 0.28 to 20 ft/sec
 (0.08 to 6.09 m/sec)
Connection Size
Standard Units: 1½ NPT male,
 hot tap models, 2 NPT male
Ambient Temperature: -17 to 62°C
 (0 to 180°F)
Fluid Temperature: 0 to 93°C
 (32 to 200°F)
Maximum Pressure: 13.8 bar (200 psi)
Minimum Conductivity:
 20 microSiemens/cm
Shaft and Fitting: 316 SS or brass
 (depending on model)
Electrodes: Hastelloy[®]



FMG907, \$1868,
for 76 to 254 mm
(3 to 10") pipe
with hot tap
insertion, shown
smaller than
actual size.

Electrode Cap: PVDF
Housing: Cast powder-coated
 aluminum
Valve: Bronze or SS
 (depending on model)
O-Ring: EPDM
Accuracy: ±1% of full scale
Output: Square wave pulse, opto
 isolated, 550 Hz @ 20 ft/sec
 6 mA max, 30 Vdc forward flow
 standard (reverse flow optional)
Empty Pipe: Defaults to zero flow

H-11



To Order (Specify Model Number)		
Model No.	Price	Description
FMG901	\$1024	Brass insertion style magmeter, 76 to 254 mm (3 to 10") pipe
FMG902	1137	Brass insertion style magmeter, 254 to 1219 mm (10 to 48") pipe
FMG903	1237	SS insertion style magmeter, 76 to 254 mm (3 to 10") pipe
FMG904	1262	SS insertion style magmeter, 254 to 1219 mm (10 to 48") pipe
FMG905	1163	Brass insertion style magmeter, hot tap, 76 to 254 mm (3 to 10") pipe
FMG906	1326	Brass insertion style magmeter, hot tap, 254 to 1219 mm (10 to 48") pipe
FMG907	1868	SS insertion style magmeter, hot tap, 76 to 254 mm (3 to 10") pipe
FMG908	2036	SS insertion style magmeter, hot tap, 254 to 1219 mm (10 to 48") pipe

Accessories

Model No.	Price	Description
FTB700-T	\$365	Blind 4 to 20 mA transmitter
FTB700-D	465	Remote rate and total display with 4 to 20 mA output
PSU-93	40	24 Vdc power supply, 200 mA
TX4-100	35	4 conductor hook-up wire, 30 m (100')
CE-1201	150	Reference Book: Standard Handbook for Civil Engineers

Comes complete with operator's manual.
For reverse flow option add a "RF" to the model number and \$136 to the price.
Ordering Examples: FMG901, brass insertion style magmeter, PSU-93, power supply and TX4-100, multi conductor wire, \$1024 + 40 + 35 = \$1099.
FMG903, 316SS insertion style magmeter, PSU-93, power supply and TX4-100, multi conductor wire, \$1237 + 40 + 35 = \$1312.

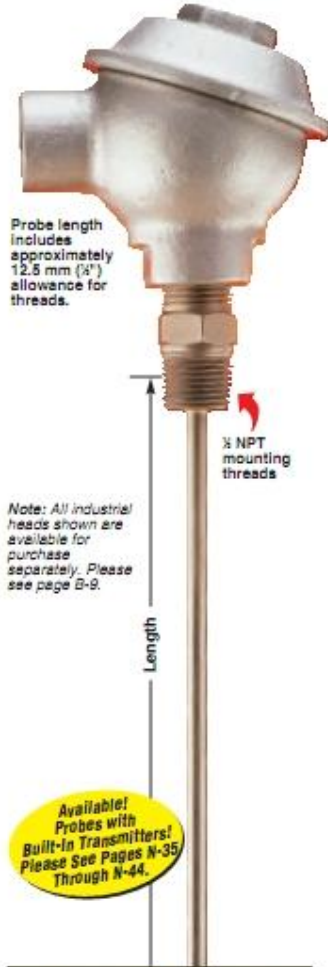
books1.com
Technical Books Available Online!

H-12

Figura A.14.4 Medidores de caudal Magnéticos serie FMG900

Industrial Thermocouples Protection Head Design

- ✓ Sheath Materials: 304SS, 310SS, 316SS, 321SS, Inconel® or Super OMEGA CLAD® XL
- ✓ Probe Length 300 mm (12"), 600 mm (24") Custom Lengths Available, Consult Sales



Probe length includes approximately 12.5 mm (1/2") allowance for threads.

Note: All industrial heads shown are available for purchase separately. Please see page B-9.

Available! Probes with Built-In Transmitters! Please See Pages N-35 Through N-44.

Complete your application with OMEGA's extension wire. Please see page H-36.



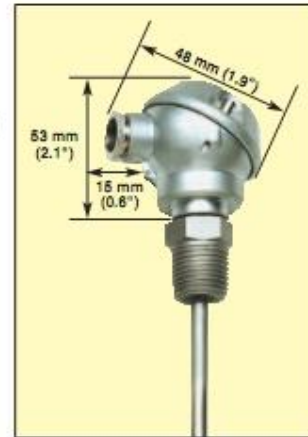
NB1, Cast Iron



NB2, Aluminum



NB3, Aluminum with Snap-Lock



NB4, Sub-Miniature Aluminum

PATENTED

Covered by U.S. and International patents and pending applications.



260S Series

For a complete selection of thermowells in both Standard and Metric dimensions, please see Section B.



260HL Series

A-131

A

New and Improved Protection Heads Industrial Thermocouple Probes

Available as

 See page A-43 to A-48
 See Section W



Domed Top

1/2 NPT mounting threads.

Probe length includes approx. 1/2" allowance for threads.

NB8
 Material: Alloy-Aluminum
 Weight: 230 g (8 oz)
 Dimensions: H=86 mm (3.4"), C=70 mm (2.8")

Ordering Example: NB8-ICSS-18U-12 is a 300 mm (12") ungrounded ICSS Type J stainless steel thermocouple, 3 mm (1/8") sheath diameter probe with an NB8 protection head, \$44.

All Models Start at
\$42

Available!
 Probes with Built-in Transmitters! Please see pages N-35 through N-44.



Cast Iron NB5
 Material: Cast Iron
 Weight: 1.6 kg (3.5 lb)
 Dimensions: H=95 mm (3.8"), C=86 mm (3.4")



Deep Base NB6
 Material: Alloy-Aluminum
 Weight: 250 g (8.8 oz)
 Dimensions: H=82 mm (3.2"), C=82 mm (3.2")



Flip Top NB7
 Material: Alloy-Aluminum
 Weight: 250 g (8.8 oz)
 Dimensions: H=93 mm (3.7"), C=76 mm (3")

A-132

Industrial Thermocouple Protection Head Probe Assemblies



**Low Profile
NB12**
Material:
Alloy-Aluminum
Weight: 274 g (9.7 oz)
Dimensions:
H=87 mm (3.4"),
C=82 mm (3.2")
IP67 Approval

All Models
Start at
\$42

**Miniature
Bakelite
NB10**
Material: Bakelite
Weight: 82 g (2.9 oz)
Dimensions:
H=68 mm (2.7"),
C=61.5 mm (2.4")
O-Ring Seal

Available!
Probes with
Built-In Transmitters!
Please See Pages N-35
Through N-44.



**Miniature
Aluminum
NB11**
Material: Alloy-Aluminum
Weight: 140 g (4.9 oz)
Dimensions:
H=87 mm (2.6"),
C=82 mm (2.4")
IP67 Approval

**Nylon and
Glass Fiber.
NB9**
Material: Nylon
& Glass Fiber
Weight:
144 g (5 oz)
Dimensions:
H=87 mm (3.4"),
C=82 mm (3.2")

To Order:
Insert the style
number into the part
numbers shown in
the "How To Order"
table on page A-135.
See ordering
examples below and
on next page.

Ordering Example:
NB9-CASS-18G-12
is a 300 mm (12")
grounded CASS
Type K stainless
steel thermocouple,
3 mm (1/8") sheath
diameter probe with
an NB9 protection
head, \$42.

A-133

- ✓ NB1 Cast-Iron Protection Head with Internal Terminal Block
- ✓ NB2 Miniature Aluminum Head with Internal Terminal Block
- ✓ NB3 Aluminum Head Features Convenient Snap-Lock Design with Internal Terminal Block
- ✓ NB4 Subminiature Aluminum Head with Internal Terminal Block
- ✓ 1/2 NPT Mounting Thread
- ✓ 12" Length Standard*

Standard Dimensions

The industrial-style assemblies offer a variety of protection heads to meet the environmental and size requirements of most applications. They are available in J, K, T, E, or N calibrations, with 304 SS, 316 SS, 321 SS, Super OMEGACLAD® XL, or Inconel® sheathing. Standard lengths are 12", including 1/2" for the pipe thread, with other lengths available. Both the thread on the probe and the extension-wire opening are 1/2 NPT. The NB2 and NB4 include a compression fitting nut and rubber ferrule for 1/4 to 1/2" OD wires or tubing. The internal terminal block is standard on all models. Consult Technical Quotation Department for price and delivery on a wide variety of non-metallic and other specialized heads.



PFA Coating Available, Consult Sales

OMEGALLOY® Type "N" Available! Consult Factory for Pricing and Delivery



Discount Schedule	
1 to 10	Net
11 to 24	10%
25 to 49	20%
55 and over	Consult Sales

☐ MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!

To Order 12" Lengths (Specify Model Number)								
Alloy/ANSI Color Code	Sheath Dia. (in)	Grounded Junction	Price	Ungrounded Junction	Price	Exposed Junction	Price	Price/Add'l foot
Iron-Constantan Inconel® Sheath J	3/4	NB1*-ICIN-116G-12	\$42	NB1*-ICIN-116U-12	\$44	NB1*-ICIN-116E-12	\$42	\$1.55
	1/2	NB1*-ICIN-18G-12	42	NB1*-ICIN-18U-12	44	NB1*-ICIN-18E-12	42	3.15
	3/8	NB1*-ICIN-316G-12	43	NB1*-ICIN-316U-12	45	NB1*-ICIN-316E-12	43	4.35
	1/4	NB1*-ICIN-14G-12	47	NB1*-ICIN-14U-12	49	NB1*-ICIN-14E-12	47	7.50
Iron-Constantan 304 SS Sheath J	3/4	NB1*-ICSS-116G-12	\$42	NB1*-ICSS-116U-12	\$44	NB1*-ICSS-116E-12	\$42	\$1.55
	1/2	NB1*-ICSS-18G-12	42	NB1*-ICSS-18U-12	44	NB1*-ICSS-18E-12	42	1.85
	3/8	NB1*-ICSS-316G-12	43	NB1*-ICSS-316U-12	45	NB1*-ICSS-316E-12	43	3.15
	1/4	NB1*-ICSS-14G-12	47	NB1*-ICSS-14U-12	49	NB1*-ICSS-14E-12	47	5.00
CHROMEQA® ALOMEGA® Inconel® Sheath K	3/4	NB1*-CAIN-116G-12	\$42	NB1*-CAIN-116U-12	\$44	NB1*-CAIN-116E-12	\$42	\$1.55
	1/2	NB1*-CAIN-18G-12	42	NB1*-CAIN-18U-12	44	NB1*-CAIN-18E-12	42	3.15
	3/8	NB1*-CAIN-316G-12	43	NB1*-CAIN-316U-12	45	NB1*-CAIN-316E-12	43	4.35
	1/4	NB1*-CAIN-14G-12	47	NB1*-CAIN-14U-12	49	NB1*-CAIN-14E-12	47	7.50
CHROMEQA® ALOMEGA® 304 SS Sheath K	3/4	NB1*-CASS-116G-12	\$42	NB1*-CASS-116U-12	\$44	NB1*-CASS-116E-12	\$42	\$1.55
	1/2	NB1*-CASS-18G-12	42	NB1*-CASS-18U-12	44	NB1*-CASS-18E-12	42	1.85
	3/8	NB1*-CASS-316G-12	43	NB1*-CASS-316U-12	45	NB1*-CASS-316E-12	43	3.15
	1/4	NB1*-CASS-14G-12	47	NB1*-CASS-14U-12	49	NB1*-CASS-14E-12	47	5.00
CHROMEQA® Constantan Inconel® Sheath E	3/4	NB1*-CXIN-116G-12	\$42	NB1*-CXIN-116U-12	\$44	NB1*-CXIN-116E-12	\$42	\$1.85
	1/2	NB1*-CXIN-18G-12	42	NB1*-CXIN-18U-12	44	NB1*-CXIN-18E-12	42	3.75
	3/8	NB1*-CXIN-316G-12	43	NB1*-CXIN-316U-12	45	NB1*-CXIN-316E-12	78	5.00
	1/4	NB1*-CXIN-14G-12	50	NB1*-CXIN-14U-12	52	NB1*-CXIN-14E-12	50	7.50
CHROMEQA® Constantan 304 SS Sheath E	3/4	NB1*-CXSS-116G-12	\$42	NB1*-CXSS-116U-12	\$44	NB1*-CXSS-116E-12	\$42	\$1.55
	1/2	NB1*-CXSS-18G-12	42	NB1*-CXSS-18U-12	44	NB1*-CXSS-18E-12	42	2.50
	3/8	NB1*-CXSS-316G-12	43	NB1*-CXSS-316U-12	45	NB1*-CXSS-316E-12	43	3.15
	1/4	NB1*-CXSS-14G-12	47	NB1*-CXSS-14U-12	49	NB1*-CXSS-14E-12	47	5.00
Copper-Constantan Inconel® Sheath T	3/4	NB1*-CPIN-116G-12	\$42	NB1*-CPIN-116U-12	\$44	NB1*-CPIN-116E-12	\$42	\$1.85
	1/2	NB1*-CPIN-18G-12	42	NB1*-CPIN-18U-12	44	NB1*-CPIN-18E-12	42	3.75
	3/8	NB1*-CPIN-316G-12	43	NB1*-CPIN-316U-12	45	NB1*-CPIN-316E-12	43	5.00
	1/4	NB1*-CPIN-14G-12	50	NB1*-CPIN-14U-12	52	NB1*-CPIN-14E-12	50	7.50
Copper-Constantan 304 SS Sheath T	3/4	NB1*-CPSS-116G-12	\$42	NB1*-CPSS-116U-12	\$44	NB1*-CPSS-116E-12	\$42	\$1.55
	1/2	NB1*-CPSS-18G-12	42	NB1*-CPSS-18U-12	44	NB1*-CPSS-18E-12	42	2.50
	3/8	NB1*-CPSS-316G-12	43	NB1*-CPSS-316U-12	45	NB1*-CPSS-316E-12	43	3.15
	1/4	NB1*-CPSS-14G-12	47	NB1*-CPSS-14U-12	49	NB1*-CPSS-14E-12	47	5.00

Note: PFA coating is available, 400°F (204°C) Max. *Other lengths available, consult Sales Department.
 * Insert the number "1" through "12" for NB1, NB2, NB3, NB4, NB5, NB6, NB7, NB8, NB9, NB10, NB11 or NB12 heads, respectively.
 ** For highest temperature and stability rating, change "SS" or "IN" to "XL" and add \$3 to price.
 To order probes with lengths other than 12", change the last 2 digits of the model number from "12" to the desired length in inches, and add the appropriate price per additional foot from the last column.
 To order with 316, 316L or 321 SS sheath, change "SS" in model number to "316SS", "316LSS" or "321SS", respectively, no additional charge. Consult Sales for lengths between 2 and 12", or for lengths over 24".
 Ordering Examples: NB1-CASS-14G-12, a 12" grounded 304 SS probe, Type K, 1/4" sheath diameter, \$47.
 NB2-ICSS-14U-12, a 12" ungrounded 304 SS, Type J, 1/4" sheath diameter, \$49.

- ✓ NB1 Cast-Iron Protection Head with Internal Terminal Block
- ✓ NB2 Miniature Aluminum Head with Internal Terminal Block
- ✓ NB3 Aluminum Head Features Convenient Snap-Lock Design with Internal Terminal Block
- ✓ NB4 Subminiature Aluminum Head with Internal Terminal Block
- ✓ 1/2" BSPT Mounting Thread
- ✓ 300 mm Length Standard†

Metric Dimensions

The industrial-style assemblies offer a variety of protection heads to meet the environmental and size requirements of most applications. They are available in J, K, T, E, or N calibrations, with 304 SS, 316 SS, 321 SS, Super OMEGAALLOY® XL, or Inconel® sheathing. Standard lengths are 300 mm, including 12 mm for the pipe thread, with other lengths available. Both the thread on the probe and the extension-wire opening are 1/2" BSPT. The NB2 and NB4 include a compression fitting nut and rubber ferrule for 3.2 to 6.3 mm OD wires or tubing. The internal terminal block is standard on all models. Consult Technical Quotation Department for price and delivery on a wide variety of non-metallic and other specialized heads.



OMEGAALLOY® Type "N" Available!
Consult Factory for Pricing and Delivery

Discount Schedule	
1 to 10.....	Net
11 to 24.....	10%
25 to 49.....	20%
55 and over.....	Consult Sales

☐ **MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!**

To Order 300 mm Lengths (Specify Model Number)

Alloy/ANSI Color Code	Sheath Dia. (mm)	Grounded Junction	Price	Ungrounded Junction	Price	Exposed Junction	Price	Price/Add'l 300 mm
Iron-Constantan Inconel® Sheath J	1.5	NB(*)-ICIN-M15G-300	\$42	NB(*)-ICIN-M15U-300	\$44	NB(*)-ICIN-M15E-300	\$42	\$1.55
	3.0	NB(*)-ICIN-M30G-300	42	NB(*)-ICIN-M30U-300	44	NB(*)-ICIN-M30E-300	42	3.15
	4.5	NB(*)-ICIN-M45G-300	43	NB(*)-ICIN-M45U-300	45	NB(*)-ICIN-M45E-300	43	4.35
	6.0	NB(*)-ICIN-M60G-300	47	NB(*)-ICIN-M60U-300	49	NB(*)-ICIN-M60E-300	47	7.50
Iron-Constantan 304 SS Sheath J	1.5	NB(*)-ICSS-M15G-300	\$42	NB(*)-ICSS-M15U-300	\$44	NB(*)-ICSS-M15E-300	\$42	\$1.55
	3.0	NB(*)-ICSS-M30G-300	42	NB(*)-ICSS-M30U-300	44	NB(*)-ICSS-M30E-300	42	1.85
	4.5	NB(*)-ICSS-M45G-300	43	NB(*)-ICSS-M45U-300	45	NB(*)-ICSS-M45E-300	43	3.15
	6.0	NB(*)-ICSS-M60G-300	47	NB(*)-ICSS-M60U-300	49	NB(*)-ICSS-M60E-300	47	5.00
CHROMEGA®-ALOMEGA® Inconel® Sheath K	1.5	NB(*)-CAIN-M15G-300	\$42	NB(*)-CAIN-M15U-300	\$44	NB(*)-CAIN-M15E-300	\$42	\$1.55
	3.0	NB(*)-CAIN-M30G-300	42	NB(*)-CAIN-M30U-300	44	NB(*)-CAIN-M30E-300	42	3.15
	4.5	NB(*)-CAIN-M45G-300	43	NB(*)-CAIN-M45U-300	45	NB(*)-CAIN-M45E-300	43	4.35
	6.0	NB(*)-CAIN-M60G-300	47	NB(*)-CAIN-M60U-300	49	NB(*)-CAIN-M60E-300	47	7.50
CHROMEGA®-ALOMEGA® 304 SS Sheath K	1.5	NB(*)-CASS-M15G-300	\$42	NB(*)-CASS-M15U-300	\$44	NB(*)-CASS-M15E-300	\$42	\$1.55
	3.0	NB(*)-CASS-M30G-300	42	NB(*)-CASS-M30U-300	44	NB(*)-CASS-M30E-300	42	1.85
	4.5	NB(*)-CASS-M45G-300	43	NB(*)-CASS-M45U-300	45	NB(*)-CASS-M45E-300	43	3.15
	6.0	NB(*)-CASS-M60G-300	47	NB(*)-CASS-M60U-300	49	NB(*)-CASS-M60E-300	47	5.00
CHROMEGA®-Constantan Inconel® Sheath E	1.5	NB(*)-CXIN-M15G-300	\$42	NB(*)-CXIN-M15U-300	\$44	NB(*)-CXIN-M15E-300	\$42	\$1.85
	3.0	NB(*)-CXIN-M30G-300	42	NB(*)-CXIN-M30U-300	44	NB(*)-CXIN-M30E-300	42	3.75
	4.5	NB(*)-CXIN-M45G-300	43	NB(*)-CXIN-M45U-300	45	NB(*)-CXIN-M45E-300	43	5.00
	6.0	NB(*)-CXIN-M60G-300	50	NB(*)-CXIN-M60U-300	52	NB(*)-CXIN-M60E-300	50	7.50
CHROMEGA®-Constantan Sheath E	1.5	NB(*)-CXSS-M15G-300	\$42	NB(*)-CXSS-M15U-300	\$44	NB(*)-CXSS-M15E-300	\$42	\$1.55
	3.0	NB(*)-CXSS-M30G-300	42	NB(*)-CXSS-M30U-300	44	NB(*)-CXSS-M30E-300	42	2.50
	4.5	NB(*)-CXSS-M45G-300	43	NB(*)-CXSS-M45U-300	45	NB(*)-CXSS-M45E-300	43	3.15
	6.0	NB(*)-CXSS-M60G-300	47	NB(*)-CXSS-M60U-300	49	NB(*)-CXSS-M60E-300	47	5.00
Copper-Constantan Inconel® Sheath T	1.5	NB(*)-CPIN-M15G-300	\$42	NB(*)-CPIN-M15U-300	\$44	NB(*)-CPIN-M15E-300	\$42	\$1.85
	3.0	NB(*)-CPIN-M30G-300	42	NB(*)-CPIN-M30U-300	44	NB(*)-CPIN-M30E-300	42	3.75
	4.5	NB(*)-CPIN-M45G-300	43	NB(*)-CPIN-M45U-300	45	NB(*)-CPIN-M45E-300	43	5.00
	6.0	NB(*)-CPIN-M60G-300	50	NB(*)-CPIN-M60U-300	52	NB(*)-CPIN-M60E-300	50	7.50
Copper-Constantan 304 SS Sheath T	1.5	NB(*)-CPSS-M15G-300	\$42	NB(*)-CPSS-M15U-300	\$44	NB(*)-CPSS-M15E-300	\$42	\$1.55
	3.0	NB(*)-CPSS-M30G-300	42	NB(*)-CPSS-M30U-300	44	NB(*)-CPSS-M30E-300	42	2.50
	4.5	NB(*)-CPSS-M45G-300	43	NB(*)-CPSS-M45U-300	45	NB(*)-CPSS-M45E-300	43	3.15
	6.0	NB(*)-CPSS-M60G-300	47	NB(*)-CPSS-M60U-300	49	NB(*)-CPSS-M60E-300	47	5.00

Note: PFA Coating is available. 204°C (400°F) Max. † Other lengths available, consult Sales Department.
* Insert the number "1" through "12" for NB1, NB2, NB3, NB4, NB5, NB6, NB7, NB8, NB9, NB10, NB11 or NB12 heads, respectively.
** For highest temperature and stability rating, change "SS" or "IN" to "XL" and add \$3 to price.
† To order probes with lengths other than 300 mm, change the last 3 digits of the model number from "300" to the desired length in mm, and add the appropriate price per additional 300 mm from the last column. To order with 316 SS, 316 SS or 321 SS sheath, change "SS" in model number to "316SS", "316SS" or "321SS", respectively, no additional charge. Consult Sales for lengths between 50 and 300 mm or for lengths over 600 mm.
Ordering Examples: NB1-ICSS-M60G-300, a 300 mm grounded 304 SS probe, Type J, 6.0 mm sheath diameter, \$47.
NB2-CASS-M60U-300, a 300 mm ungrounded 304 SS, Type K, 6 mm sheath diameter, \$49.

Figura A.14.5 Termopares industriales OMEGA

Universal Input Temperature Transmitter

With Solid State Relay Output

TX86
\$365



- ✓ Universal Input RTD, T/C, Ω , POT and mV
- ✓ Models for 100, 200, 500, 1000 Ω , 0.00385 2- or 3-Wire RTD's
- ✓ Field Scalable
- ✓ Programming by Push-Buttons on Front
- ✓ Isolation 1000 VRMS Between Input and Output
- ✓ Self-Diagnostic With Temp Drift Compensation
- ✓ LED Display—High Brightness
- ✓ Sensor O/C and S/C Detection
- ✓ Solid State Relay Output

The TX86 is a 2-wire loop-powered, galvanic-isolated, programmable universal input temperature transmitter that is designed to be head-mounted, but can be standalone as well. It uses 16 bits A/D and D/A converters offering high accuracy with Linearized 4 to 20 mA or 20 to 4 mA outputs. Being a user-friendly rugged instrument, it displays the measured variable and has a SSR output.

The TX86 has 3 push buttons on its front keyboard and a 4-digit 7-segment bright LED display module that indicates the values of the measured parameters during the Measuring Mode while also providing prompting and programming instructions during the setup and calibration mode routines.

The 1000V AC galvanic isolation removes all ground loop effects. Three different engineering units ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$ and %) can be displayed and the chosen unit is highlighted by an associated LED lamp when in the measuring mode.



TX86, \$365, shown actual size.



PSR-24L, \$80, shown smaller than actual size.

PSR-24S, \$80, shown smaller than actual size.

Specifications

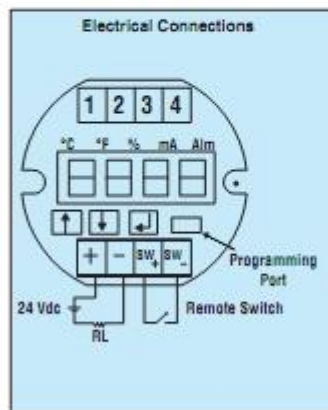
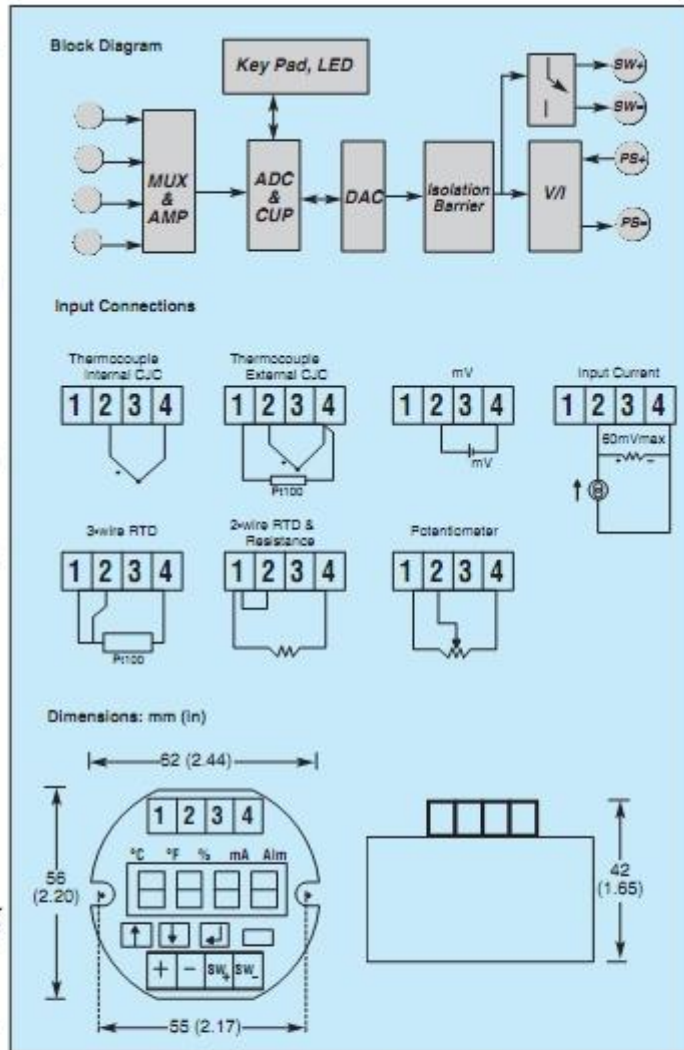
Input Sensors	Measured Range ($^{\circ}\text{C}$)	Minimum Span ($^{\circ}\text{C}$)
K	-100 to 1372	50
J	-100 to 750	50
T	-100 to 400	50
R	-100 to 750	50
N	0 to 1700	50
S	-100 to 1300	50
B	0 to 1700	50
100PT	400 to 1800	50
200PT	-200 to 850	50
500PT	-200 to 500	50
1000PT	-200 to 200	25
Ni120	-200 to 200	25
Cu10	-80 to 260	50
Resistance	-100 to 260	50
Potentiometer	0 to 2000 Ω	50 Ω
mV (millivolts)	0 to 2000 Ω	50 Ω
	-5 to 60	2 mV

N-13

General Performance:
 (@ 24 Vdc, 25°C ± 2°C)
Loop Power: 12 to 30 Vdc, LED Indicator reverse polarity protected 60 Vdc
Output: 4/20 mA calibrated; 3.8 to 20.5 mA linear
Resolution: 2 µA
RTD Excitation Current: 30/150 µA ± 2%
Input Impedance: 1 MΩ, nominal
Maximum Load: 50 x (Vsupply - 12V) Ω
Accuracy: ± 0.2% of full scale input
Long-Term Stability: ± 0.15%/year
Temp. Coefficient: ± 0.01%/°C (5 to 50°C)
Dampening Constant: Programmable
Configuration: Via 3 pushbuttons on front
Solid State Relay Output: 30 mA maximum
Cold Junction Comp: ± 2°C max (5 to 50°C)
Power Supply Effect: Less than 0.01%/V
Input Protection: 40 Vdc maximum
Sensor Burnout: Upscale >21mA, downscale <3.8 mA
Isolation Rating: 1000V RMS continuous
Response Time: 1 second with dampening off
Power-on Response: Within 5 seconds
Ambient Temps: -20 to 70°C (-4 to 156°F) (storage and operation)
Relative Humidity: 20 to 90%, non-condensing
Dimensions: 62 Dia x 42 mm H (2.44 x 1.65")
Mounting: Head-mounted
Housing: Plastic, polycarbonate
Weight: 80 g (0.18 lb)

OMEGA CARE
 Extended Warranty Program

OMEGACARE™ extended warranty program is available for models shown on this page. Ask your sales representative for full details when placing an order. OMEGACARE™ covers parts, labor and equivalent loaners.



AVAILABLE FOR FAST DELIVERY!

To Order (Specify Model Number)		
Model No.	Price	Description
TX86	\$365	Universal input transmitter
PSR-24S	60	Regulated power supply, 24 Vdc, 400 mA, screw terminal
PSR-24L	60	Regulated power supply, 24 Vdc, 400 mA, UL, stripped leads
PSR-24L-230	60	Regulated power supply, 24 Vdc, 400 mA, stripped leads, 230 Vac input, CE
PSU-93	40	Unregulated power supply, 16 to 23 Vdc, 300 mA max, screw terminal

Ordering Example: TX86, universal transmitter, and PSR-24S, regulated power supply, \$365 + 60 = \$425. OCW-3, OMEGACARE™ extends standard 1-year warranty to a total of 4 years (\$91), \$365 + 91 = \$456.

N-14

N

Figura A.14.6 Transmisor de temperatura OMEGA

JUMO GmbH & Co. KG
 Delivery address: Mackenrodtstraße 14,
 38039 Fulda, Germany
 Postal address: 38039 Fulda, Germany
 Phone: +49 661 8003-0
 Fax: +49 661 8003-807
 e-mail: mail@jumo.net
 Internet: www.jumo.net

JUMO Instrument Co. Ltd.
 JUMO House
 Temple Bank, Riverway
 Harlow, Essex CM 20 2TT, UK
 Phone: +44 1279 535533
 Fax: +44 1279 535262
 e-mail: sales@jumo.co.uk
 Internet: www.jumo.co.uk

JUMO Process Control, Inc.
 8 Technology Boulevard
 Canastota, NY 13032, USA
 Phone: 315-697-JUMO
 1-800-554-JUMO
 Fax: 315-697-5857
 e-mail: info@jumo.us
 Internet: www.jumo.us



Data Sheet 40.1001

Page 1/4

Pressure transmitter JUMO MIDAS

Type 401001

Brief description

Pressure transmitters are used for measuring the relative (gauge) pressure in liquids and gases. The pressure transmitter incorporates a thick-film strain gauge as a measuring device. The pressure sensor has an aluminium-oxide (Al₂O₃) ceramic base material. The pressure is converted into an electrical signal.

Technical data

Reference conditions
to DIN 16 086 and IEC 770/5.3

Ranges
see order details

Overload limits
for ranges
0 – 40 bar 3 x full scale
0 – 60 to 0 – 100 bar 2 x full scale

Bursting pressure
ranges 0 – 40 bar ≤ 5 x full scale
0 – 60 to 0 – 100 bar 3 x full scale

Parts in contact with medium
standard: st. steel, Mat. Ref. 1.4305,
(Al₂O₃) 98%
seal: FPM or FFPM
or CR

Output
4 – 20 mA
2-wire burden $\leq (U_B - 10 \text{ V}) / 0.02 \text{ A}$
0.5 – 4.5 V burden $\geq 20 \text{ k}\Omega$
1 – (5)6 V burden $\geq 10 \text{ k}\Omega$
0 – 10 V burden $\geq 10 \text{ k}\Omega$

Burden error
 $< 0.5\%$ max.

Zero offset
 $\leq 0.3\%$ of full scale

Thermal hysteresis
 $\leq \pm 0.6\%$ of full scale

Ambient temperature error
within range -20 to +85°C
(compensated temperature range)
zero: $\leq 0.02\%/^{\circ}\text{C}$ typical,
 $\leq 0.04\%/^{\circ}\text{C}$ max.
span: $\leq 0.02\%/^{\circ}\text{C}$ typical,
 $\leq 0.04\%/^{\circ}\text{C}$ max.

Deviation from characteristic
 $\leq 0.5\%$ of full scale
(limit point adjustment)

Hysteresis
 $\leq 0.2\%$ of full scale

Repeatability
 $\leq 0.1\%$ of full scale

Response time
 ≤ 3 msec max.

Stability per year
 $\leq 1\%$ of full scale

Supply
10 – 30 V DC (for output 4 – 20 mA
and 1 – (5)6 V)
5 V DC (for output 0.5 – 4.5 V)
11.5 – 30 V DC (for output 0 – 10 V)
Ripple: the voltage spikes must not go
above or below the values specified for the
supply
max. current drawn: approx. 25 mA

Supply voltage error
 $\leq 0.02\%$ per V
(nominal supply voltage 24 V DC)
ratiometric with supply 5 V DC (± 0.5 V)

Permissible ambient temperature
for version with plug:
-20 to +125°C
for version with attached cable:
-20 to +100°C

Storage temperature
-40 to +125°C
for version with attached cable
-20 to +100°C

Permissible temperature of medium
-30 to +125°C
Electromagnetic compatibility (EMC)
to EN 61 326

Mechanical shock
(to IEC 68-2-27)
100 g/1 msec

Mechanical vibration
(to IEC 68-2-6)
20 g max. at 15 – 2000 Hz



Type 401001/000-xxx-xxx-xx-xxx-61

Type 401001/000-xxx-xxx-xx-xxx-36

03.08 / 00398114

JUMO GmbH & Co. KG
 Delivery address: Mackenrodtstraße 14,
 38039 Fulda, Germany
 Postal address: 38039 Fulda, Germany
 Phone: +49 661 8003-0
 Fax: +49 661 8003-807
 e-mail: mail@jumo.net
 Internet: www.jumo.net

JUMO Instrument Co. Ltd.
 JUMO House
 Temple Bank, Riveway
 Harlow, Essex CM 20 2TT, UK
 Phone: +44 1279 535533
 Fax: +44 1279 535262
 e-mail: sales@jumo.co.uk
 Internet: www.jumo.co.uk

JUMO Process Control, Inc.
 8 Technology Boulevard
 Canastota, NY 13032, USA
 Phone: 315-697-JUMO
 1-800-554-JUMO
 Fax: 315-697-5657
 e-mail: info@jumo.us
 Internet: www.jumo.us



Data Sheet 40.1001

Page 2/4

Protection

with terminal box
 IP65 to EN 60 529
 (diameter of connecting cable
 5 mm min., 7 mm max.)
 with connecting cable or
 circular connector M 12 x 1
 IP67 to EN 60 529

Housing

stainless steel, Mat. Ref. 1.4305
 EPDM

Pressure connection

see order details;
 other connections on request

Electrical connection

see order details
 terminal box to DIN 43 650, style A,
 conductor cross-section up to 1.5 mm²
 or
 attached 4-core PVC cable, length 2 m,
 other lengths on request
 or
 4-pole circular connector, M12x1

Nominal position

any

Weight

100 g

Electrical connection

Connection	Terminals			
	Terminal box	Cable	M12x1	Bayonet
Supply (with output) 10 – 30 V DC (1 – (5)8 V) 11.5 – 30 V DC (0 – 10 V) 5 V DC (0.5 – 4.5 V)	61	11	36	53
Output 1 – (5)6 V 0 – 10 V 0.5 – 4.5 V	2 - 3 +	brown - yellow +	2 - 3 +	2 - 3 +
Supply (with output) 10 – 30 V DC (4 – 20 mA, 2-wire)	1 L+ 2 L-	white + brown -	1+ 3-	1+ 3-
Output 4 – 20 mA, 2-wire	1 + 2 -	white brown	1+ 3-	1+ 3-

proportional current 4 – 20 mA
in supply

03.08 / 00398114

JUMO GmbH & Co. KG
 Delivery address: Mackenrodtstraße 14,
 36039 Fulda, Germany
 Postal address: 36039 Fulda, Germany
 Phone: +49 661 8003-0
 Fax: +49 661 8003-807
 e-mail: mail@jumo.net
 Internet: www.jumo.net

JUMO Instrument Co. Ltd.
 JUMO House
 Temple Bank, Riveway
 Harlow, Essex CM 20 2TT, UK
 Phone: +44 1279 535533
 Fax: +44 1279 535262
 e-mail: sales@jumo.co.uk
 Internet: www.jumo.co.uk

JUMO Process Control, Inc.
 8 Technology Boulevard
 Canastota, NY 13032, USA
 Phone: 315-697-JUMO
 1-800-554-JUMO
 Fax: 315-697-5857
 e-mail: info@jumo.us
 Internet: www.jumo.us

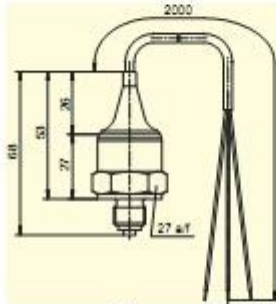


Data Sheet 40.1001

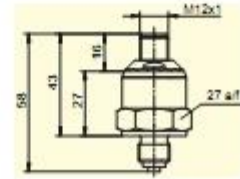
Page 3/4

Dimensions

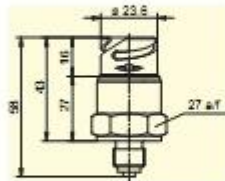
Electrical connections



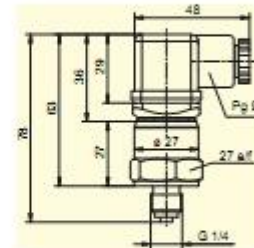
11



36

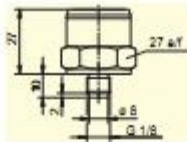


53

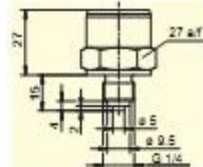


81

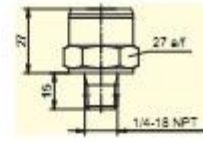
Process connections



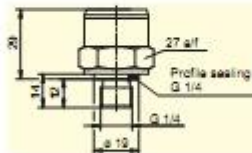
501



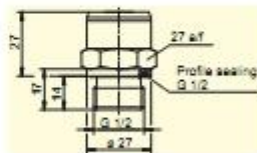
502



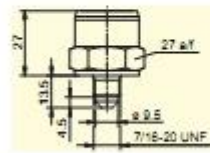
511



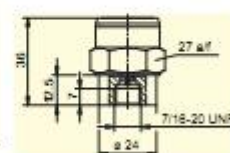
521



523



562



583

03.08 / 00398114

JUMO GmbH & Co. KG
 Delivery address: Mackenrodtstraße 14,
 36039 Fulda, Germany
 Postal address: 36039 Fulda, Germany
 Phone: +49 661 8003-0
 Fax: +49 661 8003-807
 e-mail: mail@jumo.net
 Internet: www.jumo.net

JUMO Instrument Co. Ltd.
 JUMO House
 Temple Bank, Rivenway
 Harlow, Essex CM 20 2TT, UK
 Phone: +44 1279 535533
 Fax: +44 1279 535262
 e-mail: sales@jumo.co.uk
 Internet: www.jumo.co.uk

JUMO Process Control, Inc.
 8 Technology Boulevard
 Canastota, NY 13032, USA
 Phone: 315-697-JUMO
 1-800-554-JUMO
 Fax: 315-697-5657
 e-mail: info@jumo.us
 Internet: www.jumo.us



Data Sheet 40.1001

Page 4/4

Order details

401001	(1) Basic type	Pressure transmitter JUMO MIDAS
	(2) Basic type extensions	
000		none
999		special version
	(3) Input	
455	0 ...	1,8 bar gauge pressure
456	0 ...	2,5 bar gauge pressure
457	0 ...	4 bar gauge pressure
458	0 ...	6 bar gauge pressure
459	0 ...	10 bar gauge pressure
460	0 ...	16 bar gauge pressure
461	0 ...	25 bar gauge pressure
462	0 ...	40 bar gauge pressure
463	0 ...	60 bar gauge pressure
464	0 ...	100 bar gauge pressure
479	-1 ...	0,8 bar gauge pressure
480	-1 ...	1,5 bar gauge pressure
481	-1 ...	3 bar gauge pressure
482	-1 ...	5 bar gauge pressure
483	-1 ...	9 bar gauge pressure
484	-1 ...	15 bar gauge pressure
485	-1 ...	24 bar gauge pressure
999		Sondermessbereich
	(4) Output	
405	4 —	20 mA 2-wire
412	0,5 —	4,5 V 3-wire
415	0 —	10 V 3-wire
418	1 —	5 V 3-wire
420	1 —	6 V 3-wire
	(5) Process connection (not front-flush)	
501	G 1/8 to EN 837	
502	G 1/4 to EN 837	
511	1/4-18 NPT to EN 837	
521	G 1/4 to DIN 3852 T11	
523	G 1/2 to DIN 3852 T11	
562	7/16 UNF	
563	7/16 internal UNF, with valve seating	
	(6) Material of process connection	
20		stainless steel
46		brass (on request)
	(7) Material for seal	
601		FPM
602		CR
604		FFPM [†]
999		special material
	(8) Electrical connection	
11		attached cable 2 m
36		circular connector M 12 x 1
61		terminal box
	(9) Extra Codes	
000		none
591		throttle in pressure duct
624		free from oil and grease

[†] Material properties are similar to PTFE.

03.08 / 00398114

Figura A.14.7 Transmisor de presión JUMO MIDAS

NEMA-6 Side Mounted Liquid Level Switches For High, Low, or Intermediate Level Sensing



Figura A.14.8 Interruptor de nivel de alta presión y temperatura tipo LVN-

93

CONTINUOUS LEVEL SWITCH SYSTEM WITH LCD DISPLAY

LVR300 Series Starts at \$775

1 YEAR WARRANTY **MADE IN MEXICO** **CE**

- ✓ LCD Display
- ✓ Two Programmable Switch Points
- ✓ Standard 4 to 20 mA Output

The LVR300 Series is a continuous level switch system with an integral LCD display and programmable alarms. The LVR300 series is offered with a vertical display or one on a flexible, extended "swan" neck. The LVR300 series resolutions are available in 5 mm or 1".

SPECIFICATIONS
 Input Power: 9 to 30 Vdc
 Power Consumption: <1 W
 Outputs: 4 to 20 mA and two 300 mA programmable switch outputs (PNP or NPN selectable)
 Wetted Materials: 316 SS stem, polypropylene float
 Mounting: 2 NPT
 Temperature:
 Display: 0 to 70°C (32 to 158°F)
 Process: 0 to 105°C (32 to 221°F)
 Pressure: 6.8 bar (100 psig)
 Specific Gravity of the Float: 0.75

MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!

To Order (Specify Model Number)					
5 mm Resolution		1" Resolution		Range (Inches)	Display Configuration
Model No.	Price	Model No.	Price		
LVR301	\$900	LVR341	\$775	12	Vertical
LVR311	1000	LVR351	825	12	Swan
LVR302	950	LVR342	800	24	Vertical
LVR312	1050	LVR352	850	24	Swan
LVR303	1000	LVR343	825	36	Vertical
LVR313	1100	LVR353	875	36	Swan
LVR304	1100	LVR344	850	48	Vertical
LVR314	1200	LVR354	900	48	Swan
LVR305	1200	LVR345	875	60	Vertical
LVR315	1300	LVR355	925	60	Swan
LVR306	1350	LVR346	900	72	Vertical
LVR316	1450	LVR356	950	72	Swan

Accessories

Model No.	Price	Description
CNI3233	\$195	1/2 DIN controller with relays, see page M-41 for details
DPI32	150	1/2 DIN panel meter, see page M-37 for details
PSR-24S	60	Regulated power supply, 90 to 254 Vac input, 24 Vdc output, 400 mA, screw terminals, UL

Comes complete with operator's manual.
 Ordering Examples: LVR311, 12" range, 5 mm resolution with swan display, \$1000.
 LVR301, 12" range, 5 mm resolution with vertical display, \$900.

Recommended Reference Book: MIT Video Series on Measurement, VT-MIT, \$250. See Section Y for Additional Books.

K-25

Figura A.14.9 Medidor de nivel en continuo tipo LVR300

SANITARY PROCESS SENSORS

Radar Level Sensor

LVRD501 Series
Starts at
\$1900



- ✓ Non-Contact Measurement
- ✓ Continuous Level Measurement
- ✓ Pulse Radar Measurement
Range: 0.254 to 15 m
(10" to 50")
- ✓ Simple Pushbutton Calibration
- ✓ Communications Standard

The LVRD500 Series a logical extension to the ultrasonic sensor series, is designed for applications requiring non-contact liquid level measurement, in which ultrasonic level measurement is not acceptable.

The LVRD500 Series radar technology can be adjusted for variables such as materials to be measured, vessel configuration, and system interface. These sensors are ideal when vapor, dust, or a foaming surface prevents ultrasonic-wave measurements.

LVRD500 Series radar sensors can detect the level under a layer of light dust or airy foam, but if the dust particle size increases, or if the foam or dust gets thick, they will no longer detect the liquid level. Instead, the level of the dust or foam will be measured. Internal piping, deposits on the antenna, multiple reflections, or reflections from the wall can interfere with the proper operation of the radar sensor. Other sources of interference are rat-holing and bridging of solids, as well as angled process material surfaces that can reflect the radar beam away from the receiver.

The sensors use improved microwave-pulse technology to track any target material from the tip of the antenna to the bottom of the tank. Their power, pulse widths, and sensitivity depend on the

distance of the target from the antenna and the dielectric constant of the reflecting material.

LVRD500 sensors feature "echo marker" signal processing, making them among the most technologically advanced pulse radar systems on the market. This technology provides reliable, continuous pulse shapes unaffected by environmental factors such as temperature, vacuums, methane, steam, pressure, carbon dioxide, vapors, and condensation.

The antenna comes in polypropylene or an optional high resistance PTFE that can help protect against material buildup. Simple mounting and push-button calibration make for easy installation. The sensor can be threaded directly into a 2 NPT metal or plastic flange. The tank must have a metal bottom to stop the microwave signal.

LVRD501-RS232,
\$1900, shown
smaller than
actual size.

LVRD501-RS232-S
radar level
transmitter, \$2500,
shown smaller
than actual size.



SANITARY PROCESS SENSORS



LVRD501-RS232, \$1900, shown smaller than actual size.

CNI833, S310, shown smaller than actual size, see page 115.



Specifications

Accuracy: $\pm 0.25\%$ of max range (in air)

Power Options:

DC: 12 to 30 Vdc @ 0.07 A max,
24 Vdc (3 wire)

R load = $(V_s - 6)/24$ mA

Output: 4 to 20 mA, 6.1 μ A resolution;

750 Ω Frequency: 5.8 GHz

Loss of Echo Hold: 30 seconds,

22 mA output

Transmitter Power: 50 μ W average

Calibration: Pushbutton or optional programmable

Diagnostica (Echo Profile):

Via optional programmable port

Antenna: Dielectric rod

Operating Temperature Range:

-40 to 60°C (-40 to 140°F)

Installation Category: Class II

Approvals: FCC Part 15—low-power

communication device

Conduit Entry: $\frac{1}{2}$ NPT standard

Mounting: 2 NPT, or optional sanitary

2" Tri-Grip™ (Tri-Clamp® compatible) (-S)

Housing: Aluminum or optional

316 SS

Ingress Protection: NEMA 4 (IP65)

Communications Port: RS232 or RS485

Options: -HT antenna (up to 204°C or

399°F), 316 SS housing (note: -HT

available with PTFE units only)

Dimensions:

Housing: 102 Dia. x 216 mm L (4 x 8.5")

Antenna: Max Dia. 38 x 259 mm L (4 x 8.5")

■ MOST POPULAR MODEL HIGHLIGHTED!

To Order (Specify Model Number)

Model No.	Price	Resolution mm (in)	Range m (ft)	Power	Mounting
LVRD501-RS232	\$1900	5.6 (0.22)	15.24 (50)	DC	2 NPT
LVRD501-RS232-S	2500	5.6 (0.22)	15.24 (50)	DC	2" Tri-Grip
LVRD501-RS485	1900	5.6 (0.22)	15.24 (50)	DC	2 NPT
LVRD501-RS485-S	2500	5.6 (0.22)	15.24 (50)	DC	2" Tri-Grip

Accessories

Model No.	Price	Description
DPI8	\$240	$\frac{1}{2}$ DIN process meter, see page 115
CNI833	310	$\frac{1}{2}$ DIN controller with relays, see page 115

Comes complete with operator's manual. Windows software included.

For PTFE antenna, add suffix "-PTFE" to model number and \$250 to price.

For high temperature PTFE, add suffix "-HT" to model number and \$650 to price.

For 316 SS housing, add suffix "-316SS" to model number and \$550 to price.

For units with RS485 communications, change the RS232 in the part number to RS485, no extra charge.

Ordering Examples: LVRD504-RS232, 30 m (100') range, AC power with RS232, \$2150.

LVRD501-RS232, 15 m (50') range, DC power with RS232, \$1900.

Recommended Reference Book:
The Consumer Guide to Non-Contact Level Gauges, FW-205, \$250
Visit omega.com/bob1 for Additional Books



SHOP ONLINE AT **omega.com**™

To download information and to order online, visit omega.com/sanitary

102

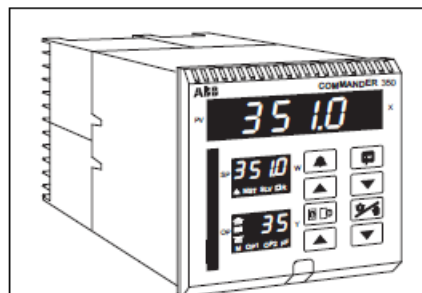
Figura A.14.10 Medidor de nivel por radar

COMMANDER 351

Universal Process Controller

Specification DataFile

- **PID controller with multiple control strategies**
 - single loop, heat/cool, motorized valve, auto/manual, analog backup or indicator
- **Three large LED displays with deviation bargraph**
 - clear and easy to follow display with color-coordinated function keys
- **Comprehensive input/output capabilities**
 - three analog inputs, two analog outputs, up to four relays and four digital inputs plus RS485 MODBUS for total flexibility
- **Process security and plant safety**
 - loop break alarm, processor watchdog, password protection and intelligent power recovery
- **PC configuration for ease of setup**
 - access to advanced feature and standard settings to reduce configuration time
- **Advanced cost-saving functions**
 - math blocks, logic equations, real-time alarms, custom linearizers and soft wiring
- **Unique Control Efficiency Monitor (CEM)**
 - two autotune algorithms plus manual fine-tune using CEM for optimum performance
- **IP66/NEMA4X front face protection**
 - reliability in the harshest environments



**COMMANDER 351 - short case
1/4 DIN controller with additional
functionality and power as
standard**

ABB Instrumentation



Figura A.14.11 Controlador PID ABB COMMANDER 351

Product Data Sheet
RAI-PDS-GC-1000A
June 2009

Model 1000A

Process Gas Chromatograph

Emerson Process Management offers a complete line of gas chromatographs specifically designed for process applications. The Model 1000A Process Gas Chromatograph combines the proven analytical components of the Model 500 and Model 700 with the larger oven capacity of a traditional air-bath oven design. The result is maximum analyzer reliability and analytical flexibility in one package.



FEATURES

- Traditional air-bath oven design for maximum application flexibility
- Fully compatible with modern Ethernet networks and DCS communication
- Diaphragm-based 6-port chromatograph valves
- Oven capacity for up to six chromatograph valves and two detectors
- Choice of thermal conductivity, flame ionization, or flame photometric detectors
- Thermal conductivity detector (TCD) sensitive down to very low parts-per-million levels
- Last chromatogram for each sample and calibration stream stored in process gas chromatograph
- Archives up to 64 item averages and up to 35 days of standard runs and calculations

APPLICATIONS

The Model 1000A is designed for a variety of refining, petrochemical, power, and environmental applications where selected components in gaseous or liquid streams must be precisely monitored on a continuous basis.

Refineries

- Catalytic reformer
- Isomerization unit
- Aromatics unit

Petrochemical

- Ethylene plants
- Polymer plants
- Acrylonitrile plants

Gas Processing

- NGL, GTL and LNG plants
- Cryogenic gas plants

Power Generation

- Power generation plants
- Gas turbine control

Environmental Monitoring

- Ambient air monitoring
- HR-VOCs in flares and cooling towers

ROSEMOUNT
Analytical

Visit our website at www.raihome.com
On-line ordering available.


EMERSON
Process Management

Gas Chromatograph Valves

The chromatograph valves used in Emerson's process gas chromatographs are unique to the online gas chromatograph market. Using a design originally developed by NASA, the valve offers greatly extended operating life. Emerson Process Management is currently the only online gas chromatograph supplier to offer a lifetime warranty on their chromatograph valves.

- Simple mechanical design
- Sample does not come in contact with internal moving parts
- More than 5 million operations per valve
- Lifetime warranty
- Rotary liquid injection valves also available for special applications

The reason for the exceptional durability of the valve is its unique double-diaphragm actuation. The double-diaphragm design eliminates the need for springs, o-rings, and lubrication. Flow paths in the valve are arranged so that internal moving parts never contact the sample flow. As a result, abrasive mechanical wear on machined valve surfaces is eliminated. The valves are rated for over 5 million operations before repair (approximately 3-5 years of usage). And then, repair is typically simply changing the diaphragms in the valve.

Most importantly, the Emerson Process Management valve offers excellent performance. Minimal internal movement of the components in the valve — roughly 1/1000th of an inch — contributes to rapid actuation of the valve, which can be important for applications using micro-packed and capillary columns.



The diaphragm valve used in the Model 1000A is so reliable, it comes with a lifetime warranty.

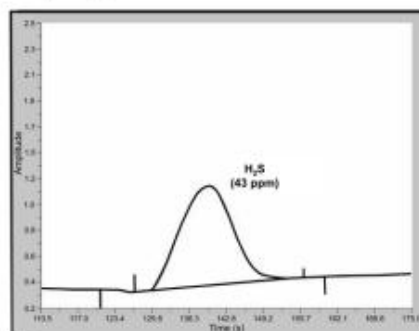
Detectors

The Model 1000A Process Gas Chromatograph has the selection of detectors to handle the wide range of analytical demands found in typical process applications. Whether the components of interest are in the percent range or down to the parts-per-million range, precise and reliable measurement is possible.

The thermal conductivity detector (TCD) is the detector of choice for most applications due to its universal response to all compounds. The thermistor TCD from Emerson Process Management is also able to go well beyond the normal measuring ranges seen in other designs by being able to do many applications with low parts-per-million measurement requirements. This greatly simplifies the process gas chromatograph design when a simple and rugged TCD can be used.

For measurement of compounds in the low ppm or even ppb ranges, the flame ionization detector (FID) for most organic compounds and the flame photometric detector (FPD) for sulfur compounds are analytical options. Maintenance features such as auto-detection of flame loss are also standard.

For maximum application flexibility, the Model 1000A can have up to two detectors. Detector combinations like TCD-TCD, TCD-FID or TCD-FPD are well within the capability of the Model 1000A.



For many part-per-million applications, a simple, easy-to-maintain TCD detector can be used rather than a more complicated FID or FPD due to the superior sensitivity of the Emerson Process Management TCD design.

Columns

Since 1980, Emerson Process Management has been refining and improving its process for creating micro-packed columns. Our micro-packed columns offer a superior combination of the features found in both capillary and conventional packed columns.

The result is improved chromatography with extended column life (several years in most applications without measurable degradation or bleed). Emerson's micro-packed columns produce sharper peaks for improved component separation, short analysis time, and very low carrier-gas consumption.

Air Bath Oven

The air bath oven uses a conventional instrument air heater design for maximum analytical flexibility. The oven on the Model 1000A has capacity for up to six diaphragm chromatographs valves. There is also the capacity to install liquid injection sample valves for heavier samples. The oven can operate at temperatures up to 150°C (300°F) as the application dictates.



The air bath oven design of the Model 1000A Process Gas Chromatograph offers maximum analytical flexibility while maintaining easy access to all analytical components.

MON2000™ Gas Chromatograph Software

The Model 1000A Process Gas Chromatograph is designed to operate unattended. If, however, adjustments are needed, our exclusive MON2000™ software allows complete control of your gas chromatographs — either locally or remotely.

From within MON2000, a user can:

- Review and modify analytical settings
- Upload and display multiple chromatograms on the screen for comparison
- Upload and trend any of the measured results
- Export data for use in other third-party applications
- Overlay multiple chromatograms for troubleshooting and calibration
- Check original calibration against last calibration

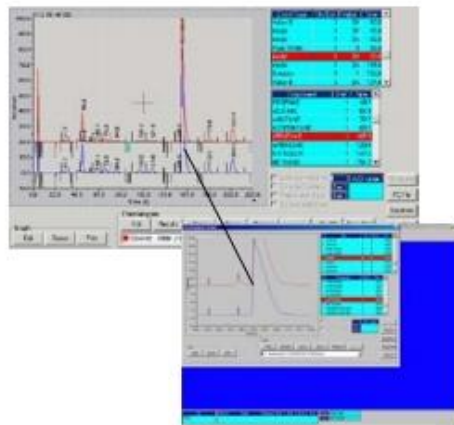
The MON2000 Software is Windows®-based software designed to make analyzer configuration, maintenance, and data collection easy. With intuitive drop-down menus and fill-in-the-blank tables, even new users can quickly navigate through the software.

The MON2000 software can display both current and multiple archived chromatograms on the screen, streamlining the time needed to perform routine analyzer maintenance.

MON2000 also has a number of tools built in that help users manage their analyzers such as:

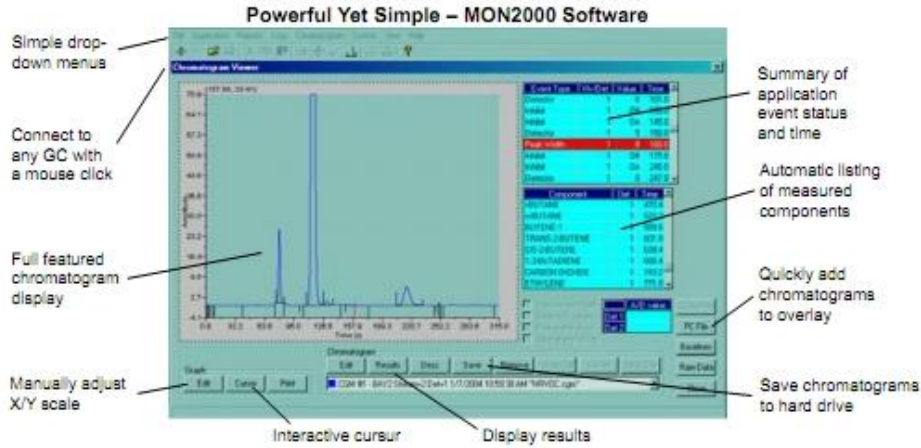
- Automatic recording of alarms in a log file
- Event logs that provide a continuous record of all operator changes with time and user name stored
- Maintenance log scratch pad for keeping track of maintenance or testing done

Data collected from the process gas chromatographs can be stored and displayed with a wide range of options such as trend lines on the screen and logs automatically documenting all changes made to the process gas chromatograph. Data can also be exported in formats compatible with most third-party Windows® applications.



Comparing multiple chromatograms and zooming into specific sections is easy with the point-and-click design of MON2000™.

Windows® is a registered trademark of Microsoft Corporation



Touch Key Local Operator Interface (Optional)

The Model 1000A local operator interface (LOI) allows for maintenance and operation of a Model 1000A without a laptop or PC. The LOI is a state-of-the-art, high-resolution color display that is touch key infrared activated and supports all core GC operations. Features of the LOI include:

- Color LCD with QVGA (320 x 240 pixels) resolution
- ASCII text and graphics modes
- Auto-backlighting (adjustable)
- Eight infrared-activated touch keys and screen saver

In addition, the LOI:

- Eliminates external magnetic pen requirement
- Maintains the Model 1000A hazardous area classifications
- Operates in the same ambient temperatures as the base Model 1000A
- Indicates complete GC status, control, and diagnostics, including full chromatogram display



Page 4

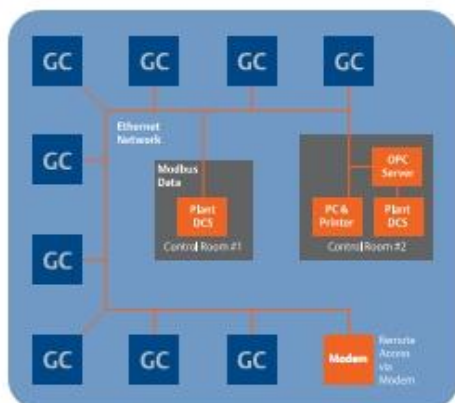
Analyzer Networking and Data Communication

Emerson's process gas chromatographs can be configured in a number of networking and data communication schemes to meet process communication requirements.

Options include Ethernet networks as well as multi-drop RS-485 networks. It is even possible to set up automatic polling for data collection over phone lines if desired.

Data communication options to the plant control system include simple analog and discrete signals as well as Modbus serial links. To preserve the integrity of the analysis data, all Model 1000A Process Gas Chromatographs are capable of storing up to 35 days of analysis or calibration data in the event of loss of communication to the plant control system.

All Emerson Process Management process gas chromatographs are designed to operate unattended. Occasionally, adjustments to the analyzers' analytical method or a review of alarms may be needed. Using our exclusive MON2000 software loaded on either a PC or laptop running Windows®, you'll have complete control of your process gas chromatographs – either locally or remotely.



With Ethernet, analyzers transmit directly to the plant's digital control system (including DeltaV[®]) quickly and securely using either industry standard Modbus or the new OPC protocol.

Networking Flexibility

Whether you want to network process gas chromatographs throughout the plant or simply link a single process gas chromatograph to the DCS system, the Model 1000A can be configured to handle most any scenario:

- Choice of Ethernet or RS-485 networks
- Can use the same network to connect Model 700, Model 500, and Model 1000A Process Gas Chromatographs
- Able to connect multiple PC workstations using MON2000
- Connectivity to plant control systems using industry standard protocols such as Modbus and OPC

Secure Modbus Connectivity

For process gas chromatographs, Modbus continues to be the preferred choice to connect a process gas chromatograph network to the plant control system. Modbus design avoids the use of central interface cards or computers that can act as a single-point of failure in the Modbus link. Instead, the plant DCS system can "talk" directly to each process gas chromatograph to gather the data needed. Furthermore, the register and coil addresses can be easily customized to meet the specific data structure of the DCS. There is also a program built into the MON2000 workstation to test the Modbus link to the DCS if troubleshooting is needed.

Custom-Engineered Sample Systems

Any process gas chromatograph is only as good as the quality of the sample it measures. So every sample system for Emerson's process gas chromatographs is custom engineered for the specific requirements of the application. Common features include:

- Heated and open-panel designs
- All components rated for the area classification
- Automatic calibration / validation available as an option
- Variety of sample probes to extract a reliable and stable sample from the process



Our custom-engineered sample systems meet the specifications of each unique requirement.

Custom-Engineered Process Analytical Systems

A complete online analytical solution is more than just the analyzer. Sample conditioning systems to prepare the sample for analysis, communication links to the plant control computer, and packaging of the analytical equipment into a cabinet or shelter all play an important role.

Emerson Process Management has decades of experience providing complete turnkey solutions ranging from simple single-analyzer cabinets up to large integrated shelters with multiple types of analyzers.

The key to successful system integration begins at the proposal stage where Emerson Process Management develops a custom engineered solution. This is followed by experienced project management during the system fabrication and on to installation and training once the system is delivered to the field.

Environmental Chamber Testing

Every Emerson gas chromatograph that leaves our facility undergoes rigorous testing throughout assembly. The majority of our systems are put into a 24-hour environmental chamber test, where they must operate to specification in an environment where the temperatures cycle between 0° and 130° F (-18° and 54° C) for a minimum of 24 hours.

Environmental chamber testing is offered to our customers free of charge for all Emerson gas chromatographs prior to shipment.

Our product testing procedures are much stricter than the industry standard for analytical measurement products. When you purchase an Emerson gas chromatograph, you can be assured that you're purchasing the highest-quality process gas chromatograph or natural gas chromatograph available.

As a result of chamber testing, 100% of all gas chromatographs that we ship will operate to the performance specifications across the stated operating temperature range.

The Emerson Process Management Process Gas Chromatograph Difference

- Built tough to stand up against any environment
- Rigorously tested to ensure performance
- Field-mountable technology means solid performance at reduced cost
- High-sensitivity thermal conductivity detectors can often replace more complex detectors
- Micro-packed columns that are made to last
- Diaphragm valves with a lifetime warranty
- Broad application scope with single- or dual- detector capability
- Easy-to-use MON2000™ software for advanced diagnostics and simplified troubleshooting — it is simply the best in the industry



PUT EMERSON PROCESS MANAGEMENT'S EXPERIENCE TO WORK FOR YOU – As one of the largest instrumentation and control system suppliers in the world, Emerson Process Management has the expertise and resources to tackle nearly any analytical system integration project. Whether the project is a simple three-sided shelter or a large shelter with multiple types of analyzers, complete turnkey solutions are custom-engineered to exactly match the needs of the customer.

Figura A.14.12 Cromatógrafo de gases Emerson

Product Data Sheet

PS-001042, Rev. F
February 2010

Micro Motion® ELITE® High Capacity Coriolis Flow and Density Meters

Micro Motion® ELITE® High Capacity Coriolis Meters offer unparalleled flow and density measurement performance in a large size meter.



Best precision flow and density measurement in a meter that fits large line sizes

- Unique design delivers unparalleled measurement sensitivity and stability
- Guarantees consistent, reliable performance over the widest flow range
- Smart Meter Verification for quick, complete meter diagnosis without process interruption

Superior performance in the most challenging applications

- Industry standard for custody transfer and critical process control
- Best two-phase flow capability for batching, loading, and entrained air applications
- Immune to fluid, process, or environmental effects for superb measurement confidence

ELITE® Peak performance Coriolis meter

ELITE HC Peak performance high capacity meter

F-Series High performance compact drainable Coriolis meter

H-Series Hygienic compact drainable Coriolis meter

T-Series Straight tube full-bore Coriolis meter

R-Series General purpose flow-only Coriolis meter

LF-Series Extreme low-flow Coriolis meter



Micro Motion ELITE High Capacity flow and density meters

Micro Motion Coriolis meters from Emerson Process Management meet a vast range of application needs, ranging from extreme low-flow up to high-flow, high-capacity lines. Cryogenic, hygienic, high-temperature, and high-pressure—Micro Motion meters can handle them all. Micro Motion meters are available with a variety of wetted parts to ensure the best material compatibility.

Coriolis meters. Coriolis meters offer dramatic benefits over traditional volumetric measurement technologies. Coriolis meters:

- Deliver accurate and repeatable process data over a wide range of flow rates and process conditions.
- Provide direct inline measurement of mass flow and density, and also measure volume flow and temperature—all from a single device.
- Have no moving parts, so maintenance costs are minimal.
- Have no requirements for flow conditioning or straight pipe runs, so installation is simplified and less expensive.
- Provide advanced diagnostic tools for both the meter and the process.

ELITE High Capacity Coriolis Meters. Micro Motion[®] ELITE[®] High Capacity Meters are the leading meters for precision flow and density measurement. ELITE meters offer the most accurate measurement available for virtually any process fluid, while exhibiting exceptionally low pressure drop.

Now with Smart Meter Verification, ELITE delivers the best in measurement and ease of use for critical applications. ELITE meters offer the best measurement performance for mass, density, and volume, regardless of process or environmental conditions. ELITE meters provide measurement capability for two-phase flow, liquid, and gas custody transfer.

Contents

Liquid flow performance	3	Hazardous area classifications	8
Gas flow performance	4	Materials of construction	9
Density performance (liquid only)	4	Weight and center of gravity	10
Environmental effects	5	Dimensions	11
Temperature specifications	6	Fitting options	14
Power consumption	7	Ordering information	16
Pressure ratings	7		

Liquid flow performance

		Mass		Volume ⁽¹⁾	
		kg/h	metric tons/h	l/h	m ³ /h
Maximum flow rate	CMFHC2	1470000	1470	1470000	1470
	CMFHC3	2550000	2550	2550000	2550
	CMFHC4	3265870	3266	3265870	3266
Mass flow accuracy ⁽²⁾		±0.10% of rate ⁽²⁾			
Volume flow accuracy ⁽²⁾		±0.10% of rate ⁽²⁾			
Repeatability		±0.05% of rate ⁽²⁾			
Zero stability		kg/h			
	CMFHC2	68			
	CMFHC3	136			
	CMFHC4	204			

(1) Specifications for volumetric flow rate are based on a process-fluid density of 996.2 kg/m³. For fluids with density other than 1000 kg/m³, the volumetric flow rate equals the mass flow rate divided by the fluid's density.

(2) Stated flow accuracy includes the combined effects of repeatability, linearity, and hysteresis. All specifications for liquids are based on reference conditions of water at 20 to 25 °C and 1 to 2 bar, unless otherwise noted.

(3) When flow rate is less than zero stability / 0.001, accuracy = ±[(zero stability / flow rate) × 100]% of rate, and repeatability = ±[(zero stability / flow rate) × 100]%.

Figura A.14.13 Medidor de caudal y densidad tipo Coriolis (Emerson)

Serie de caudalímetros Annubar

Caudalímetros integrados de presión diferencial líderes en la industria

Al integrar la electrónica del transmisor de presión con el tubo de Pitot promediador Annubar (APT, por sus siglas en inglés), Rosemount ofrece el caudalímetro de presión diferencial de inserción del más alto rendimiento. Este caudalímetro totalmente integrado elimina la necesidad de acoplamientos, tuberías, válvulas, adaptadores, manifolds y soportes de montaje, reduciendo de esa manera el tiempo de soldadura e instalación.

Rendimiento superior con técnicas de medición innovadoras

La precisión y repetibilidad de cada punto de medición de caudal se ven mejorados gracias al diseño de ranura frontal del Annubar y a su revolucionaria configuración. El incremento de la intensidad de la señal y la reducción del ruido permiten un riguroso control de procesos.

Gracias al diseño integral del sensor de temperatura, es posible efectuar mediciones de caudal másico en tiempo real

El sensor en forma de T patentado incluye un tempozo de retención de presión sellado que permite el caudal másico en todos los tamaños de línea con una sola penetración de tubo. La tecnología multivariable en las aplicaciones de vapor y gases compensa las variaciones en presión y temperatura, que pueden causar errores importantes en el caudal.

El tiempo efectivo de funcionamiento se incrementa gracias a que su diseño no requiere mantenimiento

El sensor Annubar está diseñado para evitar el desgaste y las obstrucciones en la tubería. Nuestra electrónica es la más estable en la industria y permite ciclos de calibración de hasta 10 años, por lo cual se obtienen ahorros importantes en mantenimiento.

Gracias a una mínima pérdida permanente de presión se logran ahorros de energía

El diseño no restrictivo del sensor Annubar introduce una mínima obstrucción en la tubería, reduciendo así la pérdida permanente de presión. La reducción de las pérdidas permanentes de presión se traduce directamente en ahorros de energía reflejados en el costo de compresión para gases, el gasto de electricidad para el bombeo de líquidos y el costo de combustible para la generación de vapor.

Soluciones Rosemount para medición de caudal por presión diferencial (DP)

Serie de caudalímetros Annubar:

Rosemount 3051SFA, 3095MFA y 485

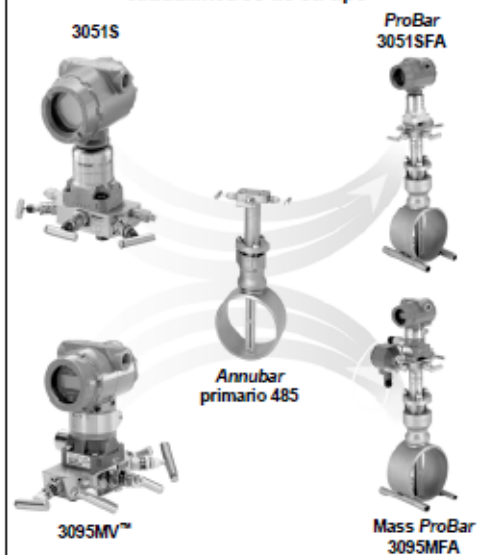
La combinación del innovador Annubar modelo 485 de Rosemount de la quinta generación con el transmisor multivariable 3051S ó 3095MV produce un caudalímetro de inserción preciso, repetible y seguro.

Serie de caudalímetros con orificio compacto:

Rosemount 3051SFC, 3095MFC y 405

Los caudalímetros de orificio compactos se pueden instalar entre las bridas existentes, hasta un valor de Clase 600 (PN100). En aplicaciones de ajuste firme, se tiene disponible una versión de placa de orificio acondicionadora que requiere sólo dos diámetros de tramo recto corriente arriba.

La combinación de los transmisores de presión Rosemount y el Annubar primario modelo 485 de Rosemount resulta en los mejores caudalímetros de su tipo



Funcionalidad avanzada PlantWeb®



Los caudalímetros Annubar de Rosemount accionan el sistema PlantWeb a través de una arquitectura escalable y ofrecen, además, capacidades para diagnósticos avanzados y MultiVariable. De esta manera se reducen los gastos operacionales y de mantenimiento, a la vez que se mejora el rendimiento y la gestión de los servicios generales.

Serie de caudalímetros con orificio integral:

Rosemount 3051SFP, 3095MFP y 1195

Estos caudalímetros de orificio integral no presentan las inexactitudes que son más evidentes en instalaciones de líneas de orificios pequeños. Los caudalímetros completamente armados, listos para instalarse, reducen el costo y simplifican la instalación.

Sistemas de elemento primario de la placa de orificio:

Placas de orificio Rosemount 1495 y 1595, conexiones bridadas 1496 y secciones medidoras 1497

Una amplia variedad de placas de orificio, conexiones bridadas y secciones medidoras fáciles de especificar y pedir. La placa de orificio acondicionadora modelo 1595 proporciona una mayor eficacia en aplicaciones de ajuste firme.

Caudalímetro ProBar modelo 3051SFA de Rosemount

La información para hacer un pedido se encuentra en la página 18.

- Combina el transmisor de presión escalable Rosemount modelo 3051S con el *Annubar* primario modelo 485 de Rosemount
- Precisión de hasta $\pm 0,80\%$ del caudal volumétrico
- La pantalla de cristal líquido y los puertos de comunicación se pueden montar en forma remota para fácil acceso
- Disponible con el protocolo fieldbus *FOUNDATION*[®]
- Tipo ideal de fluido: líquido



Caudalímetro ProBar
modelo 3051SFA
de Rosemount



Caudalímetro Mass ProBar
modelo 3095MFA
de Rosemount

Caudalímetro Mass ProBar modelo 3095MFA de Rosemount

La información para hacer un pedido se encuentra en la página 35.

- Combina el transmisor multivariable de caudal másico modelo 3095MV de Rosemount con el *Annubar* primario modelo 485 de Rosemount
- Precisión de hasta $0,90\%$ del caudal másico en gas y vapor
- Con la penetración de un solo tubo, mide la presión diferencial, la presión estática y la temperatura del proceso
- Calcula dinámicamente el caudal másico compensado
- Tipos ideales de fluido: gas y vapor

Annubar primario modelo 485 de Rosemount

La información para hacer un pedido se encuentra en la página 49.

- Gracias a su innovador diseño en ranura y en forma de T, su precisión se incrementa a $\pm 0,75\%$
- Una amplia variedad de configuraciones de montaje
- El manifold de cabeza integrada permite el montaje directo de los transmisores de presión diferencial
- El diseño Flo-Tap permite efectuar la instalación sin tener que parar el sistema
- Tipos ideales de fluido: líquido, gas y vapor



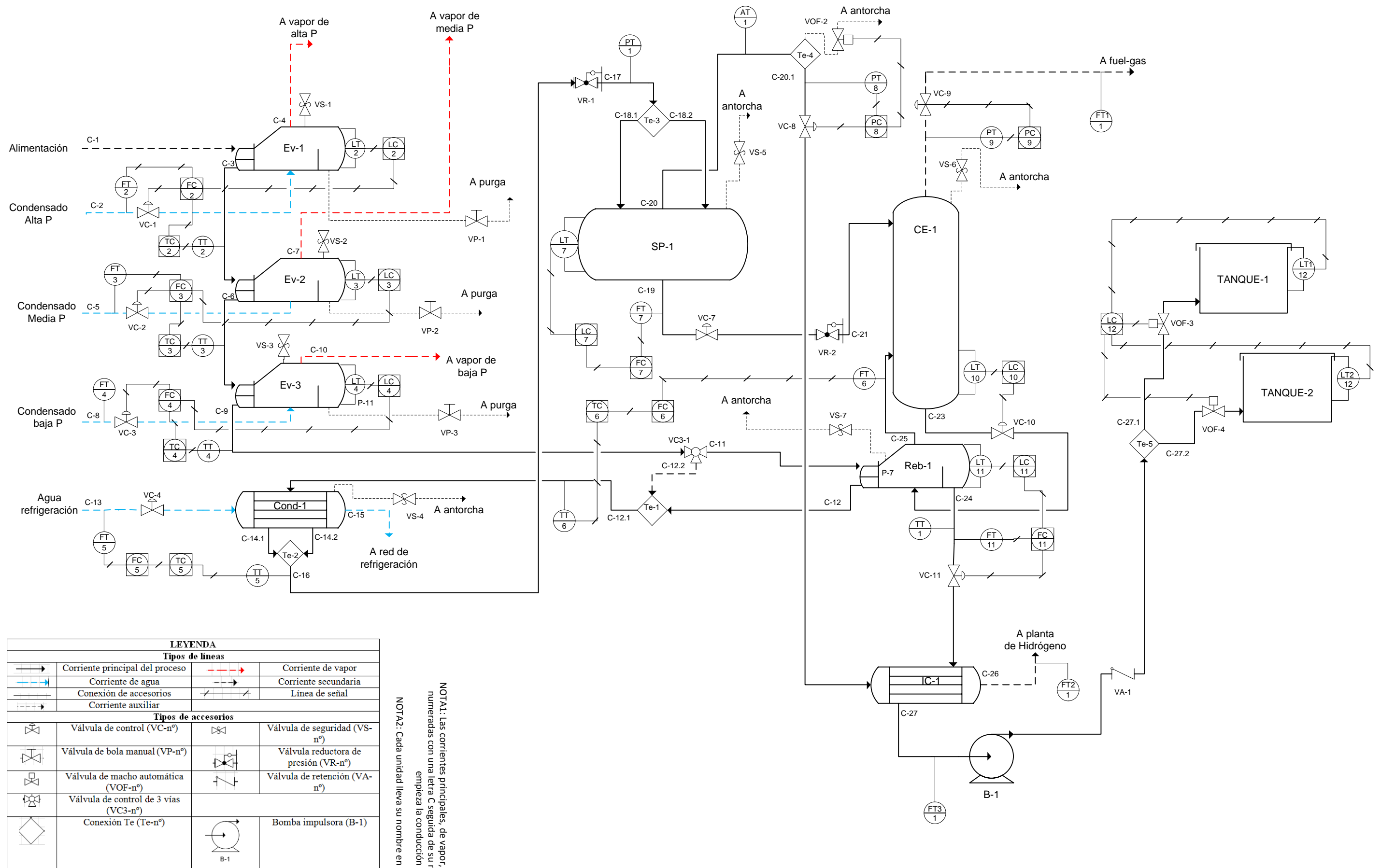
Annubar primario
modelo 485 de Rosemount

Figura A.14.14 Medidor de caudal tipo Annubar (Emerson)

DOCUMENTO 2:
PLANOS

ÍNDICE

- Plano 1: DIAGRAMA P&Id
- Plano 2: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA
- Plano 3: TANQUES
- Plano 4: COLUMNA ESTABILIZADORA CE-1
- Plano 5: SEPARADOR DE FASES SP-1
- Plano 6: INTERCAMBIADOR DE CALOR. Ev-1
- Plano 7: INTERCAMBIADOR DE CALOR. Ev-1. DETALLE
- Plano 8: INTERCAMBIADOR DE CALOR. Ev-2
- Plano 9: INTERCAMBIADOR DE CALOR. Ev-2. DETALLE
- Plano 10: INTERCAMBIADOR DE CALOR Ev-3
- Plano 11: INTERCAMBIADOR DE CALOR Ev-3. DETALLE
- Plano 12: INTERCAMBIADOR DE CALOR Cond-1
- Plano 13: INTERCAMBIADOR DE CALOR Cond-1. DETALLE
- Plano 14: INTERCAMBIADOR DE CALOR Reb-1
- Plano 15: INTERCAMBIADOR DE CALOR Reb-1. DETALLE
- Plano 16: INTERCAMBIADOR DE CALOR IC-1
- Plano 17: INTERCAMBIADOR DE CALOR IC-1. DETALLE

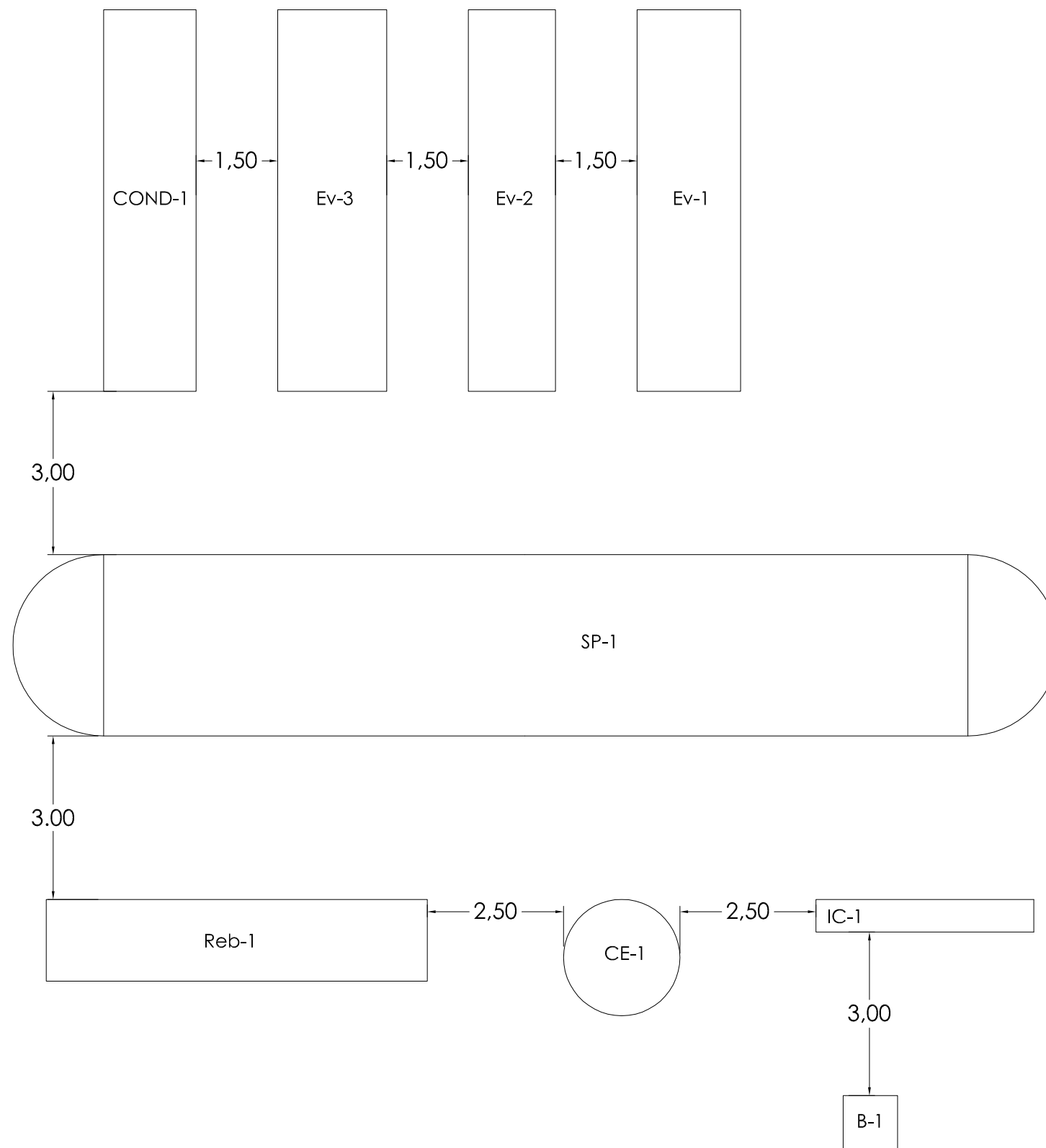


LEYENDA			
Tipos de líneas			
	Corriente principal del proceso		Corriente de vapor
	Corriente de agua		Corriente secundaria
	Conexión de accesorios		Línea de señal
	Corriente auxiliar		
Tipos de accesorios			
	Válvula de control (VC-n°)		Válvula de seguridad (VS-n°)
	Válvula de bola manual (VP-n°)		Válvula reductora de presión (VR-n°)
	Válvula de macho automática (VOF-n°)		Válvula de retención (VA-n°)
	Válvula de control de 3 vías (VC3-n°)		
	Conexión Te (Te-n°)		Bomba impulsora (B-1)
Sistema de control			
	Transmisor de caudal N° de lazo de control		Controlador de caudal N° de lazo de control
	Transmisor de temperatura N° de lazo de control		Controlador de temperatura N° de lazo de control
	Transmisor de nivel N° de lazo de control		Controlador de nivel N° de lazo de control
	Transmisor de presión N° de lazo de control		Controlador de presión N° del lazo de control
	Transmisor de composición N° de lazo de control		

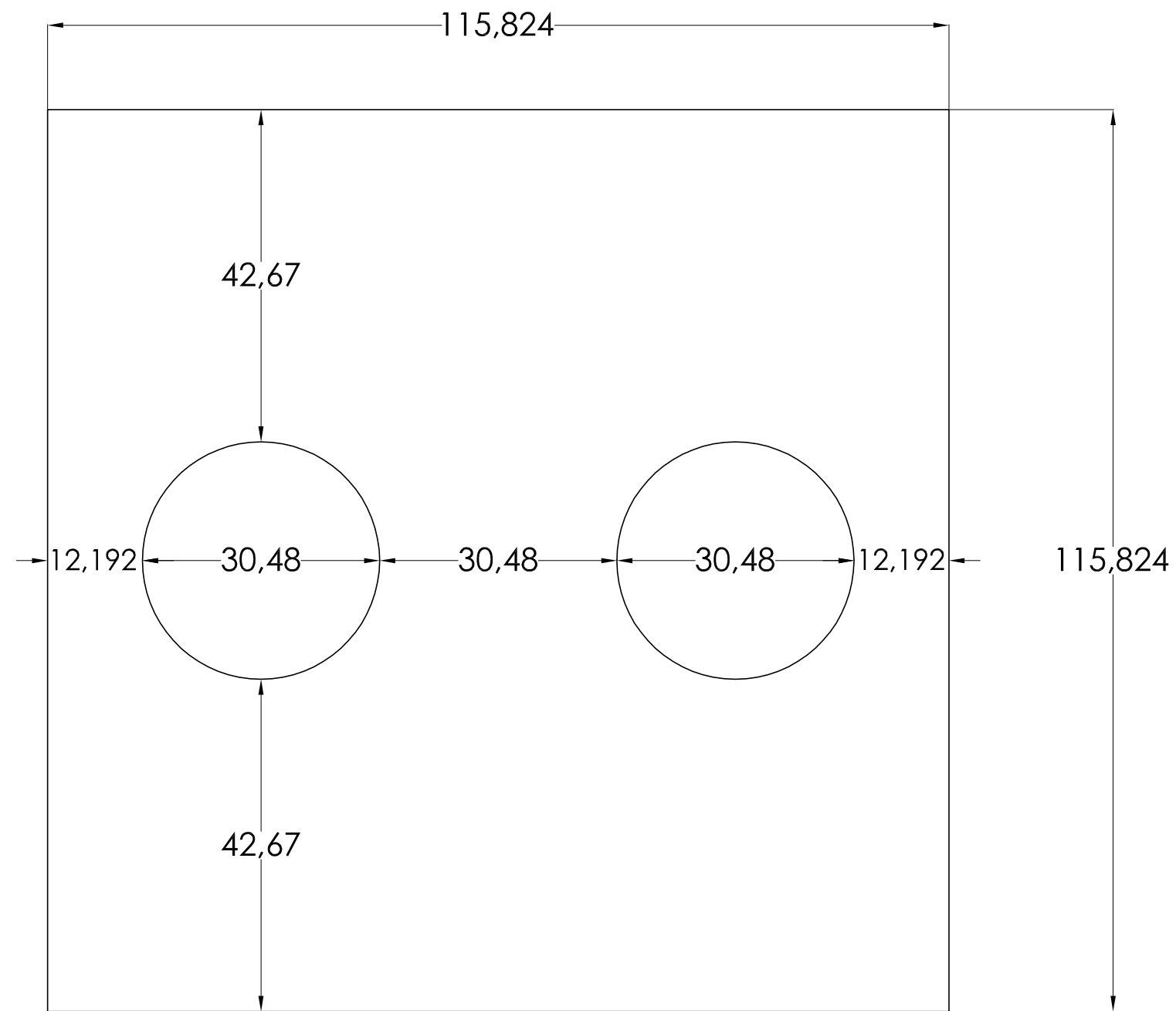
NOTA1: Las corrientes principales, de vapor, de agua, y secundarias van numeradas con una letra C seguida de su número en el lugar donde empieza la conducción (C-n°)

NOTA2: Cada unidad lleva su nombre en el interior de la figura

PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
1	DIAGRAMA P&id	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JUNIO 2011	-----		
INGENIERO QUÍMICO			



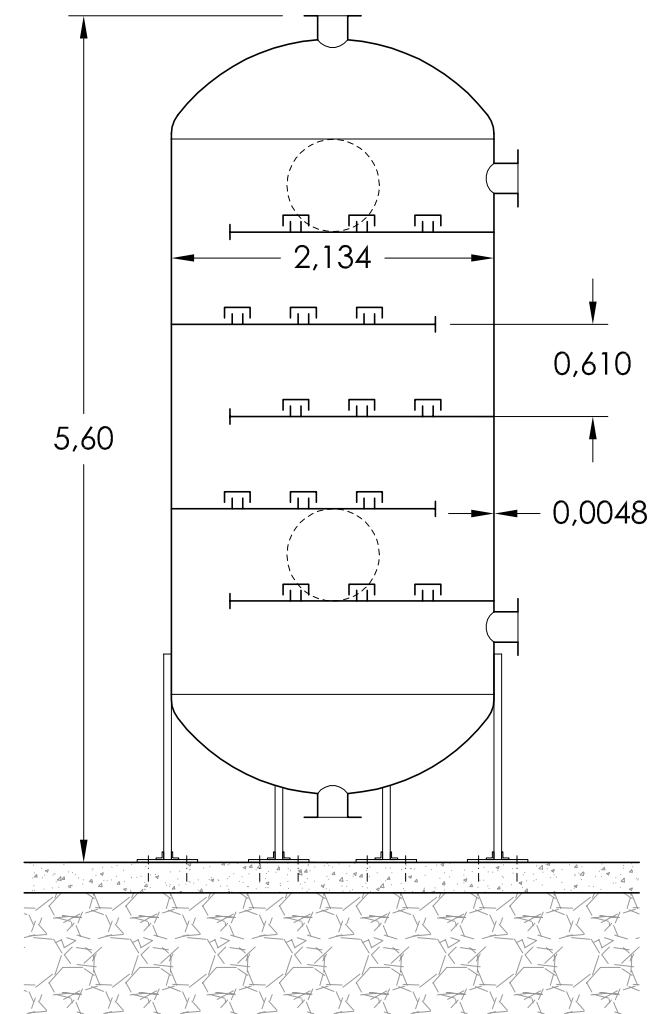
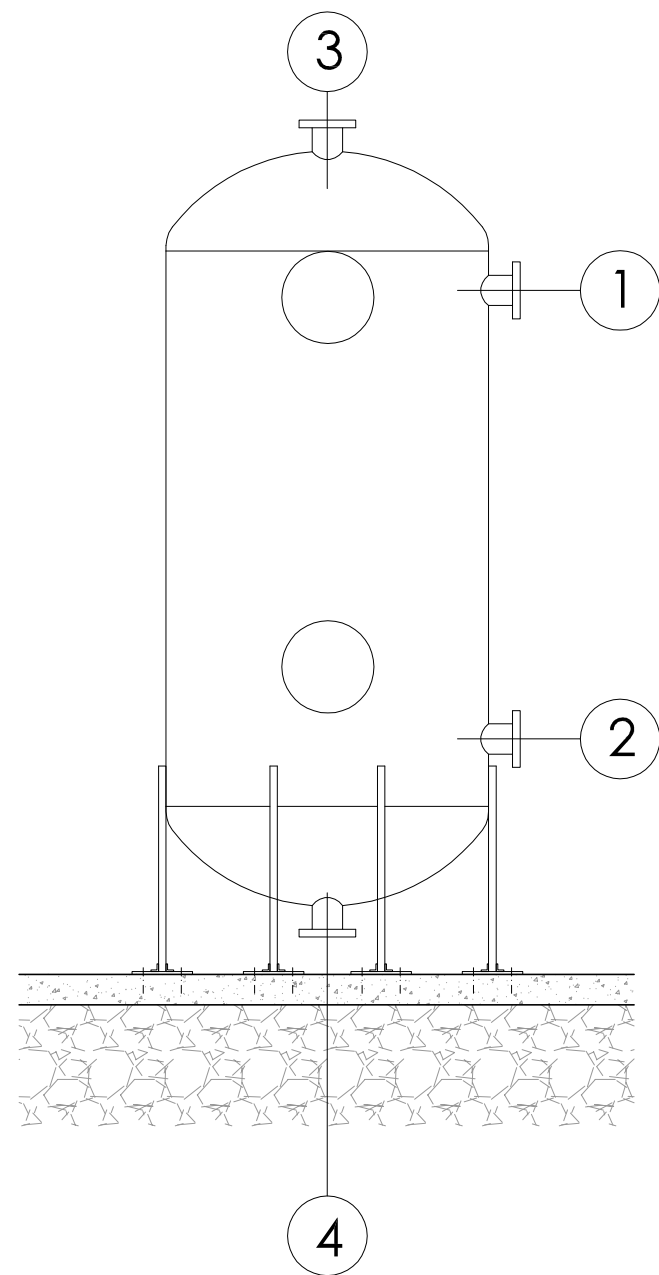
PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
2	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/100 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			



DATOS DE DISEÑO

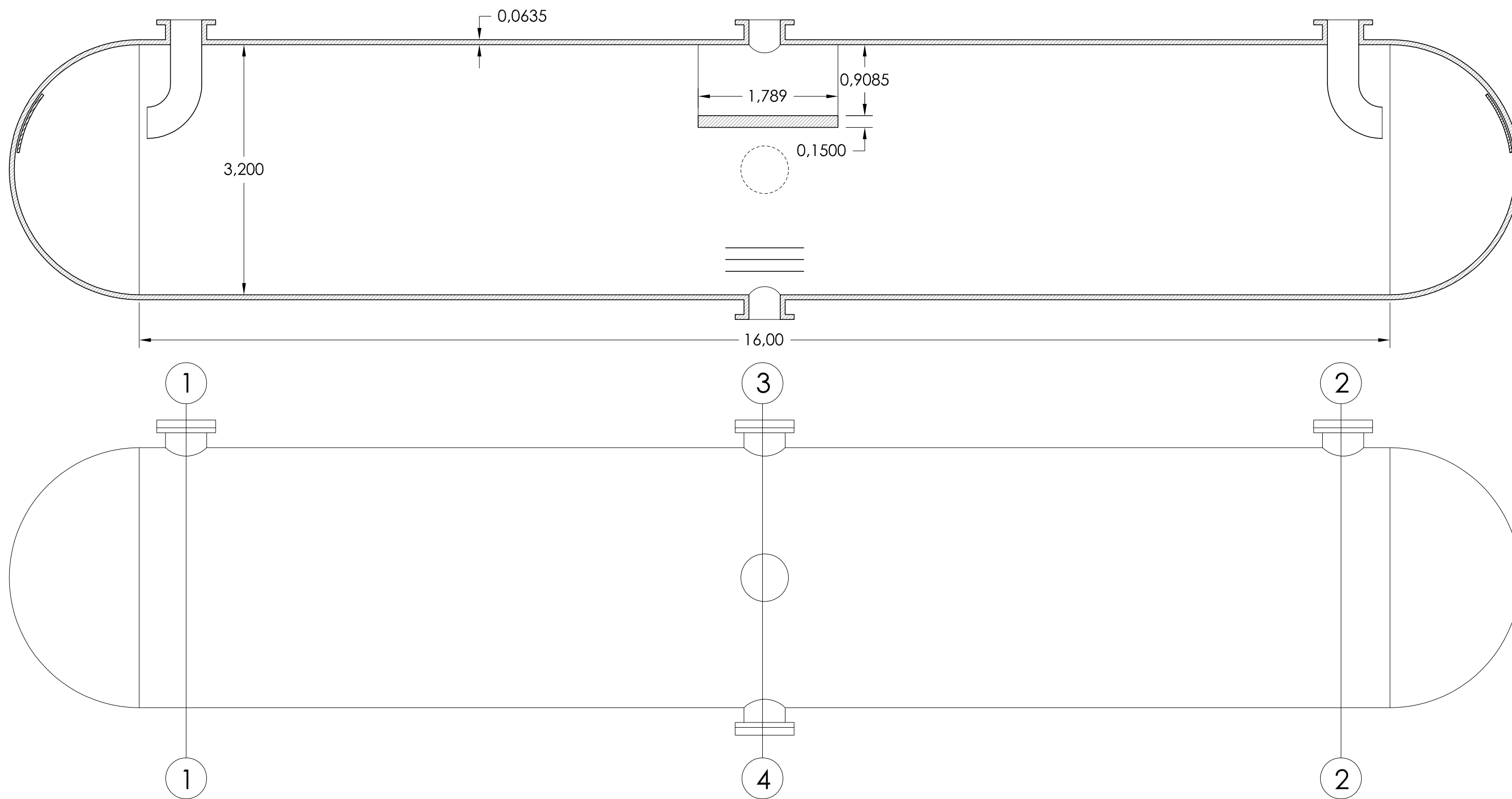
TIPO DE TANQUE	TECHO FLOTANTE CUBIERTO
VOLÚMEN DE LLENADO	8.896,93 m ³
ALTURA DEL TANQUE	12,19 m
SOPORTE DEL TANQUE	HORMIGÓN DE 0,50 m
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	SA-240 AISI 316

PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
3	TANQUES	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA		ESCALA	
JULIO 2011		1/750 COTAS EN METROS	
INGENIERO QUÍMICO			



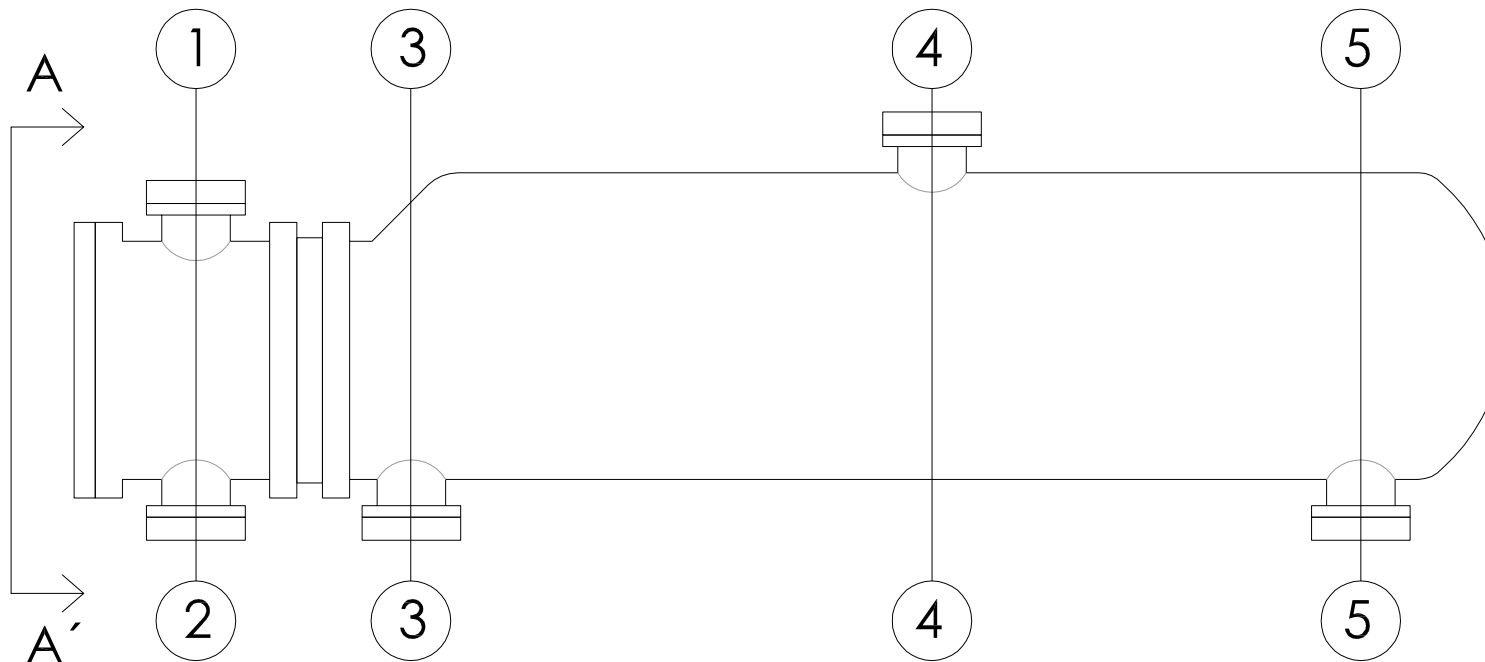
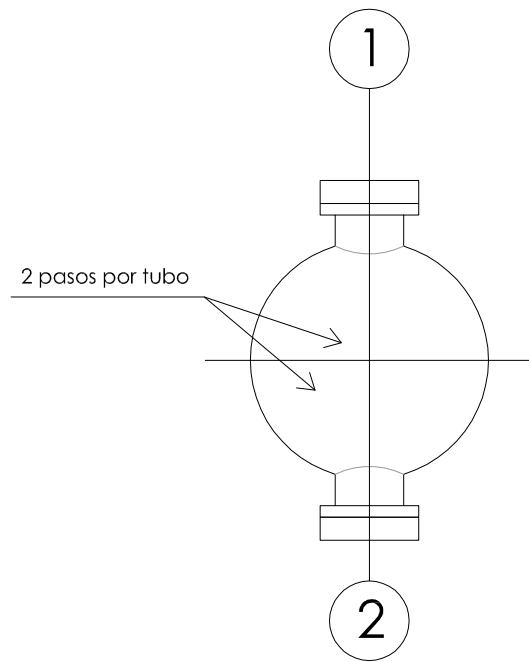
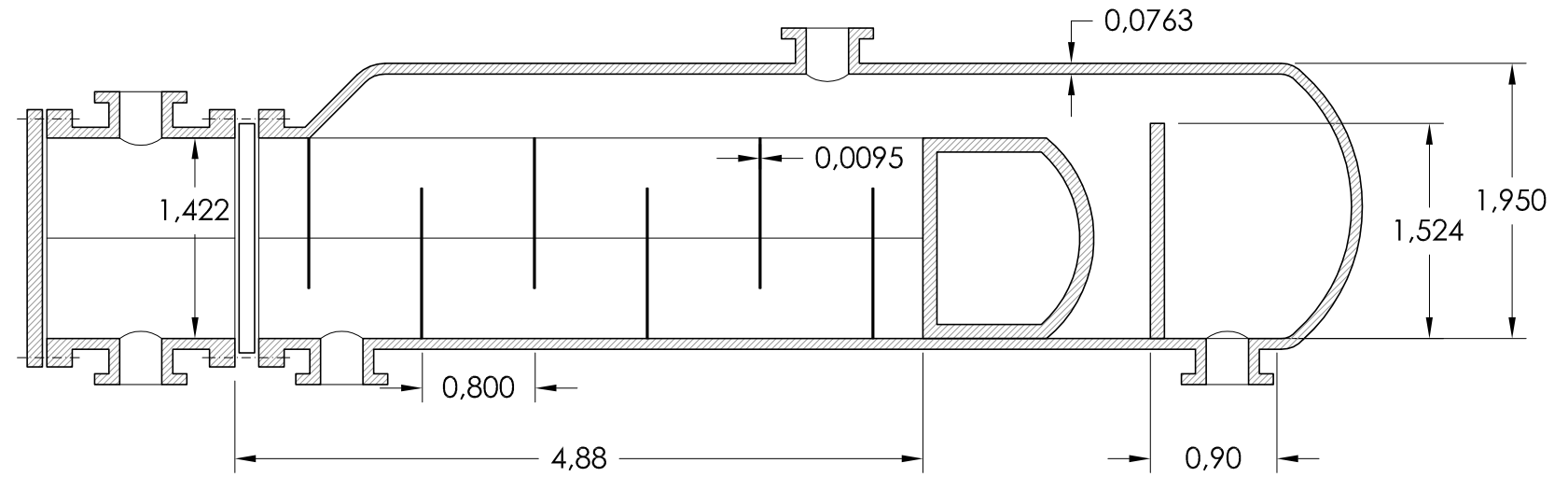
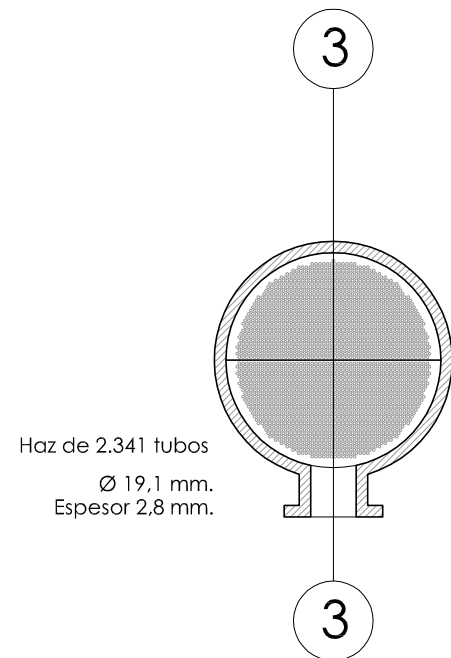
CORRIENTES		DATOS DE DISEÑO	
1	ALIMENTACIÓN	TIPO DE COLUMNA	ABSORBEDOR CON REBOILER
2	VAPOR DE RETORNO	TIPO DE FONDO	TORIESFÉRICO KLOPPER
3	SALIDA DE CABEZAS	TIPO DE SOPORTE	FALDÓN
4	SALIDA DE COLAS	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	SA-240 AISI 316

PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
4	COLUMNA ESTABILIZADORA CE-1	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/50 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			



CORRIENTES		DATOS DE DISEÑO	
1	ENTRADA ALIMENTACIÓN 1	TIPO DE SEPARADOR	HORIZONTAL
2	ENTRADA ALIMENTACIÓN 2	TIPO DE FONDO	HEMISFÉRICO
3	SALIDA DE GAS	TIPO DE SOPORTE	SILLETAS
4	SALIDA DE LIQUIDO	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	SA-240 AISI 316

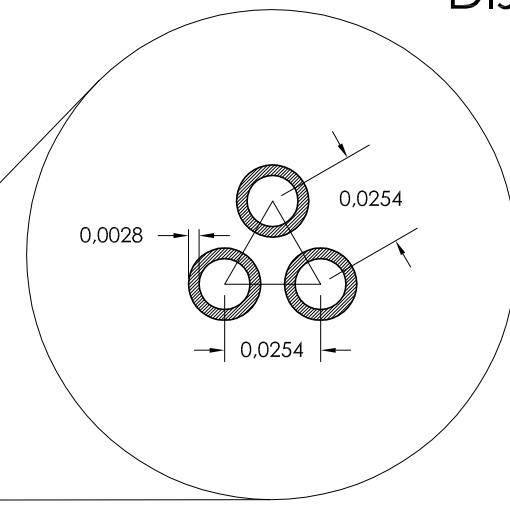
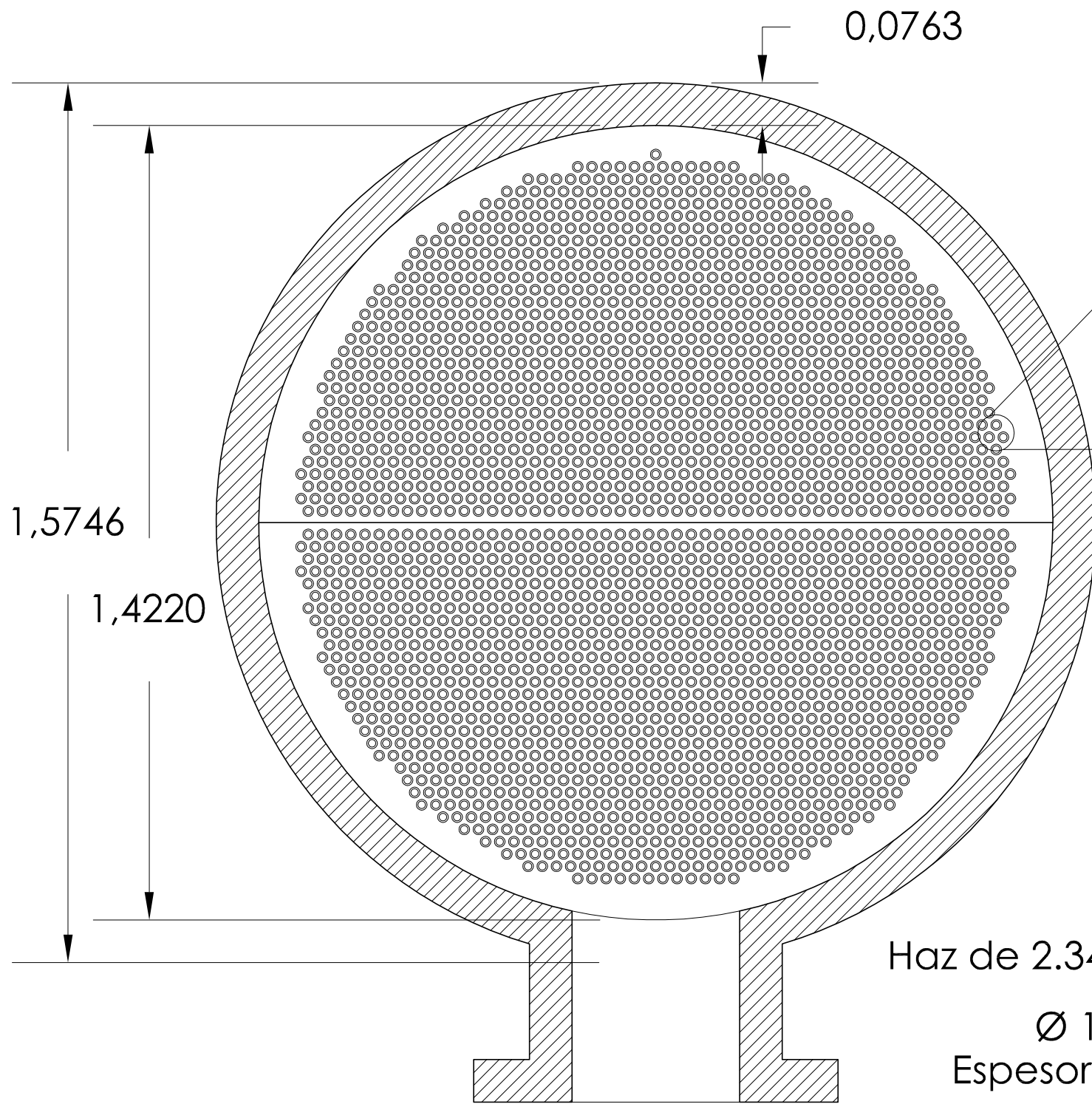
PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
5	SEPARADOR DE FASES SP-1	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/50 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			



SECCION A-A'

CORRIENTES		DATOS DE DISEÑO	
1	ENTRADA DE TUBOS	TIPO SEGÚN NORMA TEMA	AKT
2	SALIDA DE TUBOS	Nº DE PASOS POR TUBO	2
3	ENTRADA CARCASA	Nº DE PASOS CARCASA	1
4	SALIDA CARCASA	MATERIAL CARCASA	SA-285 AC
5	SALIDA PURGA	MATERIAL TUBO	ACERO INOX AISI TP316L

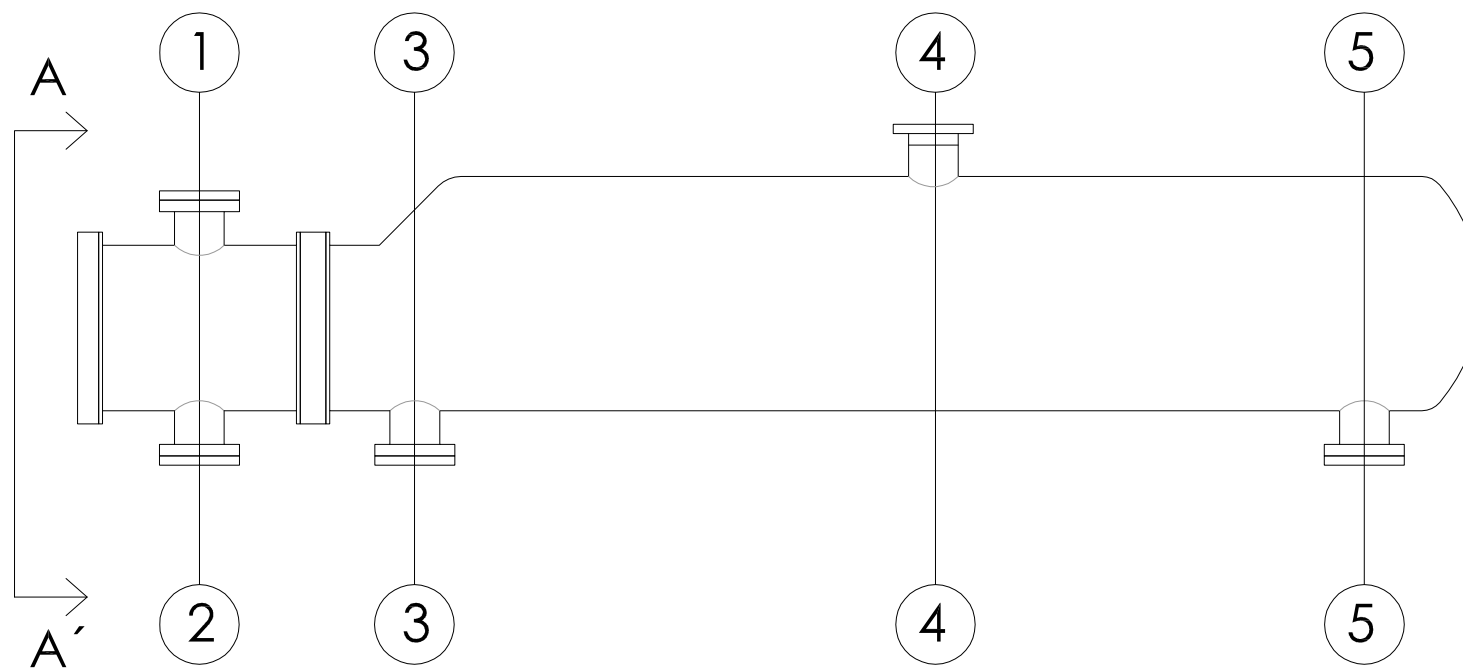
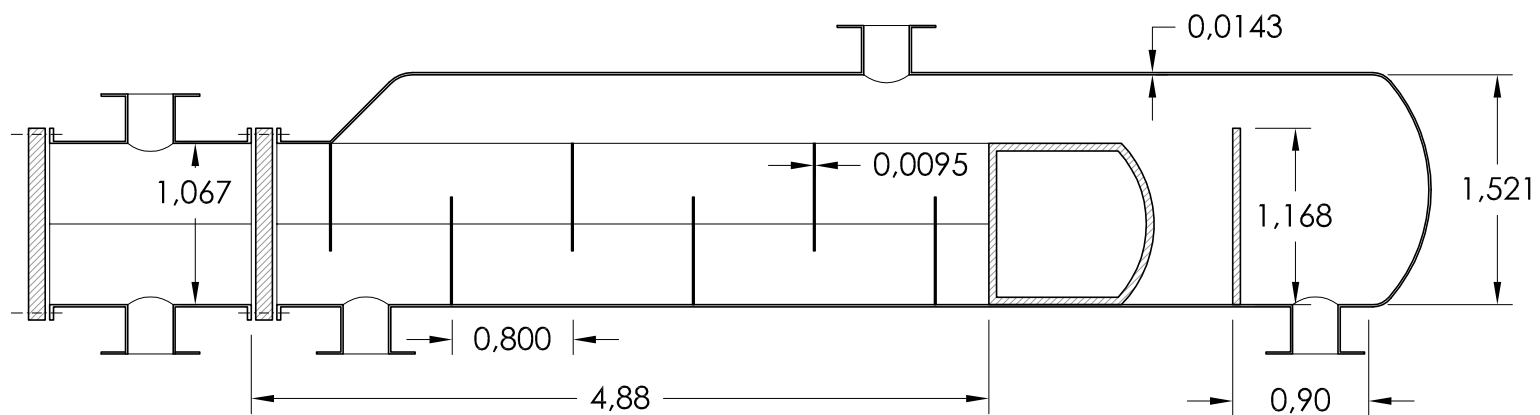
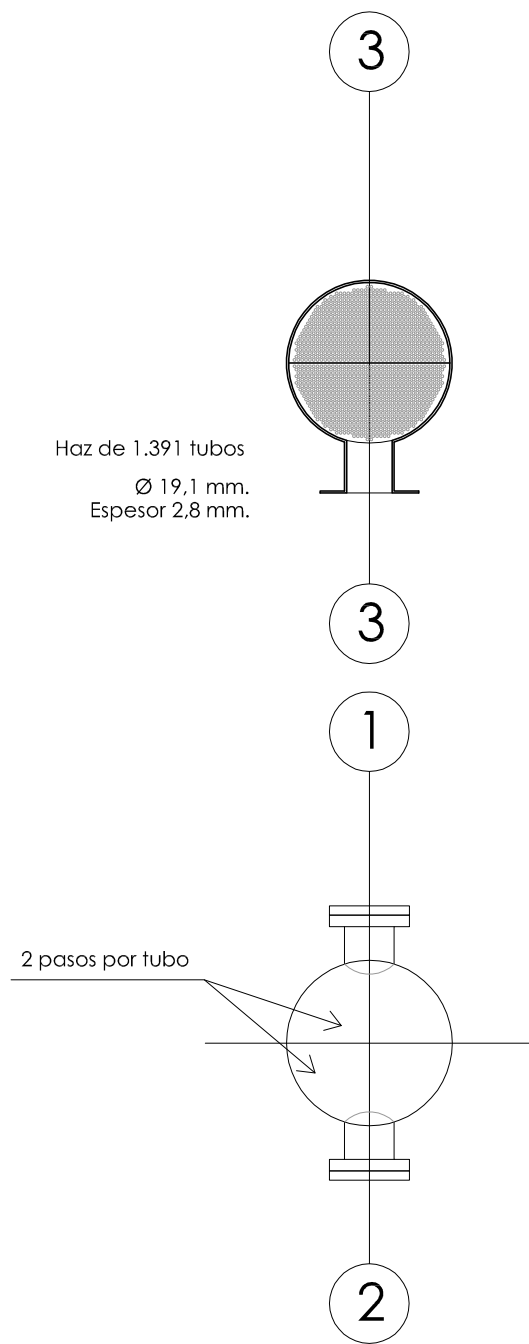
PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
6	INTERCAMBIADOR DE CALOR. Ev-1	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/50 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			



Distribución de tubos
Escala 1/1

Haz de 2.341 tubos
 \varnothing 19,1 mm.
 Espesor 2,8 mm.

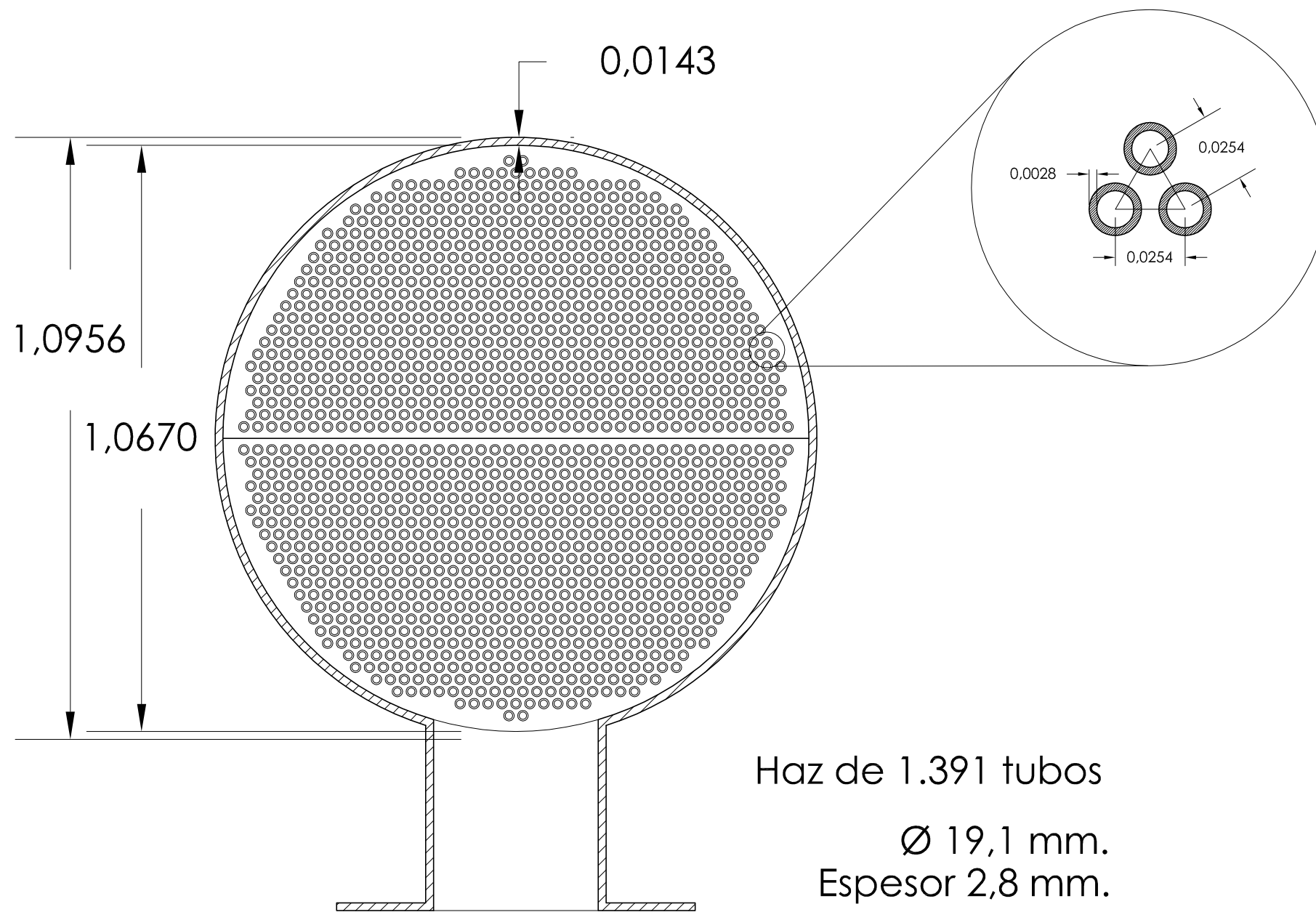
PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
7	INTERCAMBIADOR DE CALOR. Ev-1. DETALLE	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/5 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			



SECCION A-A'

CORRIENTES		DATOS DE DISEÑO	
1	ENTRADA DE TUBOS	TIPO SEGÚN NORMA TEMA	AKT
2	SALIDA DE TUBOS	Nº DE PASOS POR TUBO	2
3	ENTRADA CARCASA	Nº DE PASOS CARCASA	1
4	SALIDA CARCASA	MATERIAL CARCASA	SA-285 AC
5	SALIDA PURGA	MATERIAL TUBO	ACERO INOX AISI TP316L

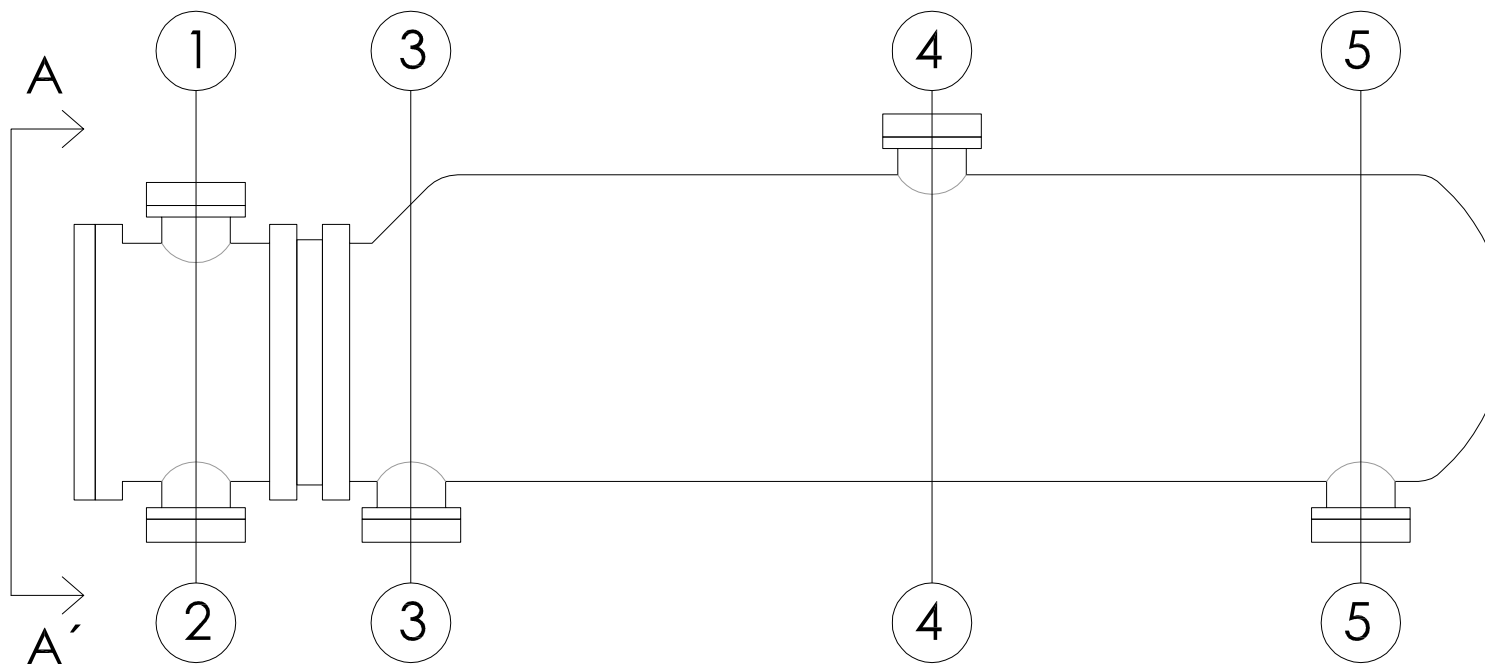
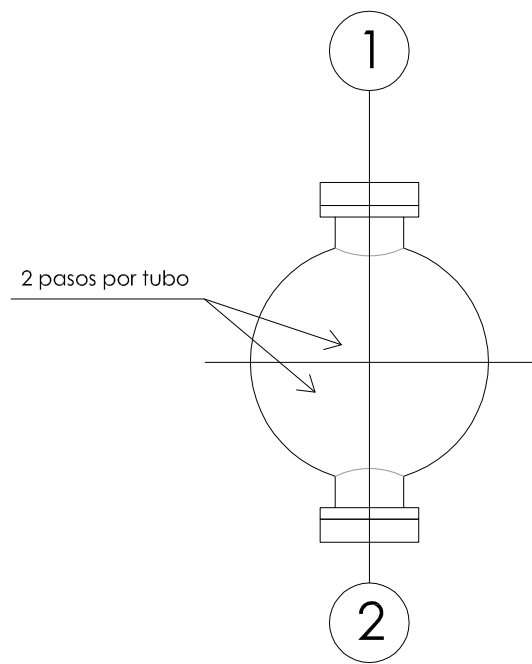
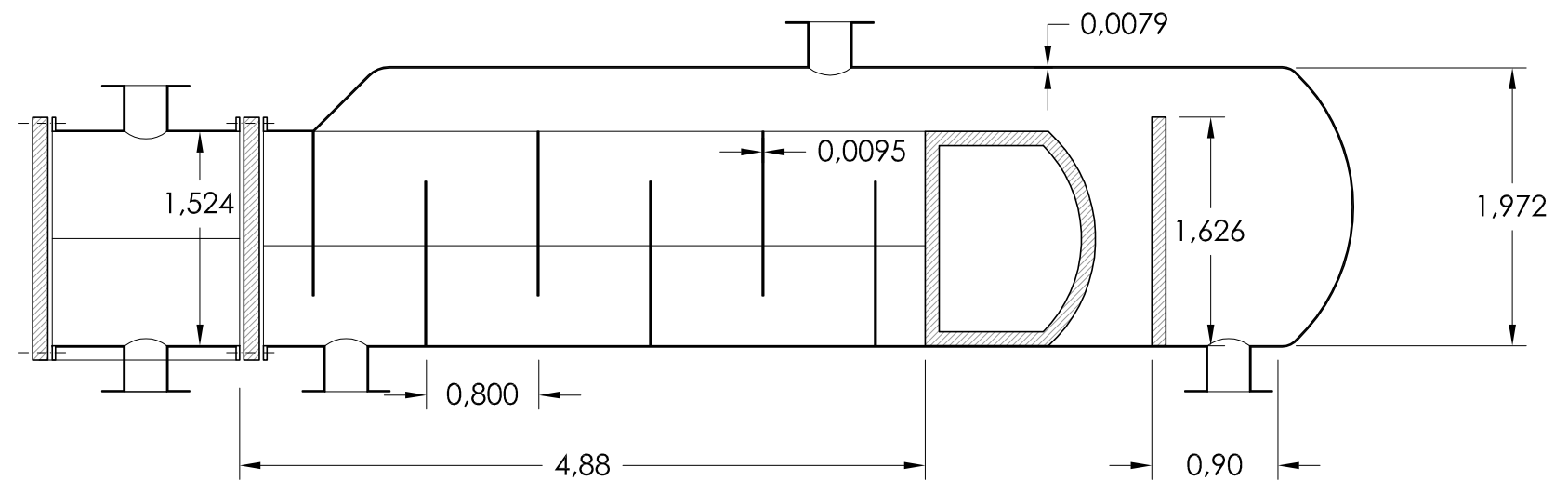
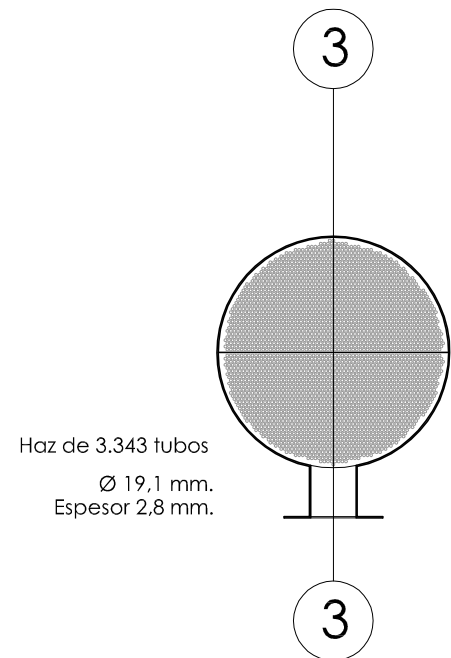
PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
8	INTERCAMBIADOR DE CALOR. Ev-2	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/50 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			



Distribución de tubos
Escala 1/1

Haz de 1.391 tubos
 \varnothing 19,1 mm.
 Espesor 2,8 mm.

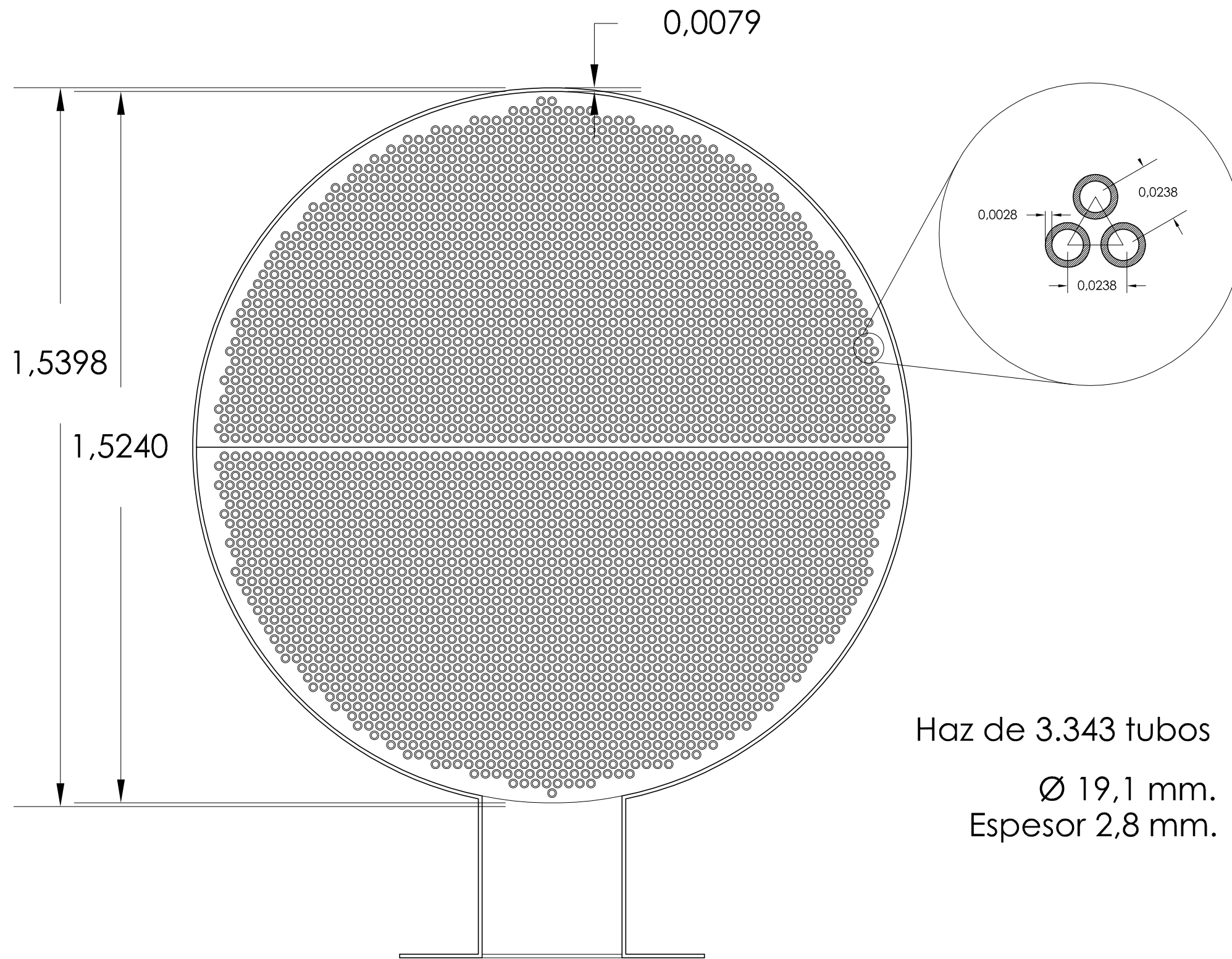
PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
9	INTERCAMBIADOR DE CALOR. Ev-2. DETALLE	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/5 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			



SECCION A-A'

CORRIENTES		DATOS DE DISEÑO	
1	ENTRADA DE TUBOS	TIPO SEGÚN NORMA TEMA	AKT
2	SALIDA DE TUBOS	Nº DE PASOS POR TUBO	2
3	ENTRADA CARCASA	Nº DE PASOS CARCASA	1
4	SALIDA CARCASA	MATERIAL CARCASA	SA-285 AC
5	SALIDA PURGA	MATERIAL TUBO	ACERO INOX AISI TP316L

PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
10	INTERCAMBIADOR DE CALOR. Ev-3	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/50 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			

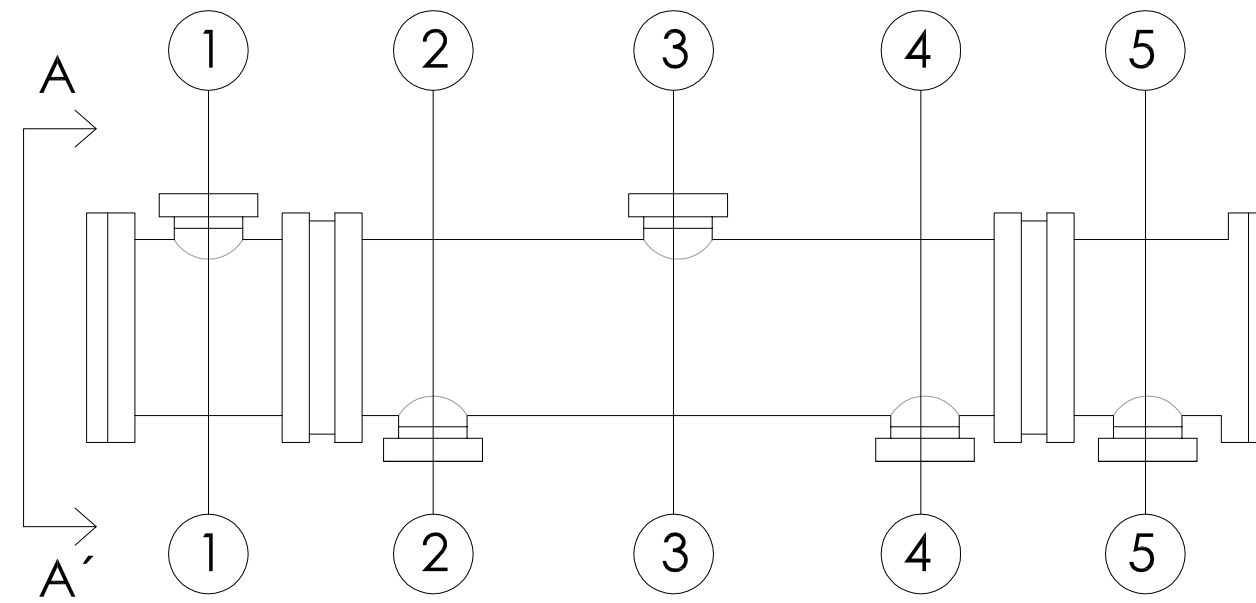
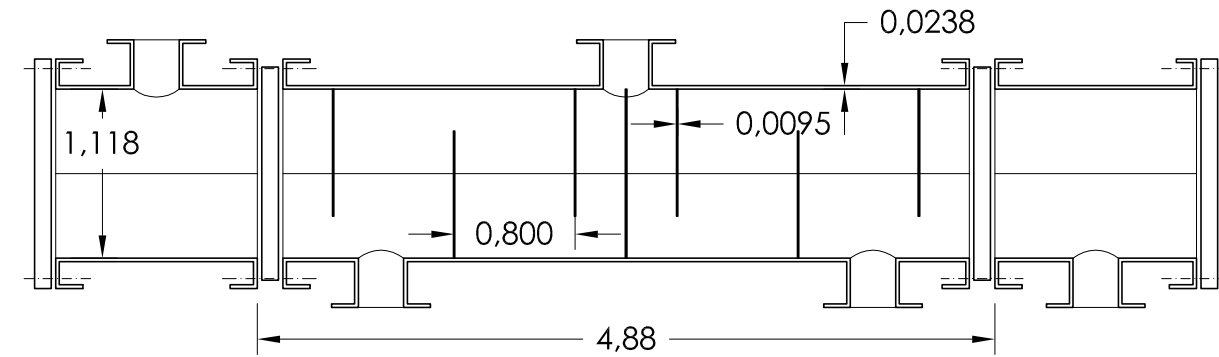
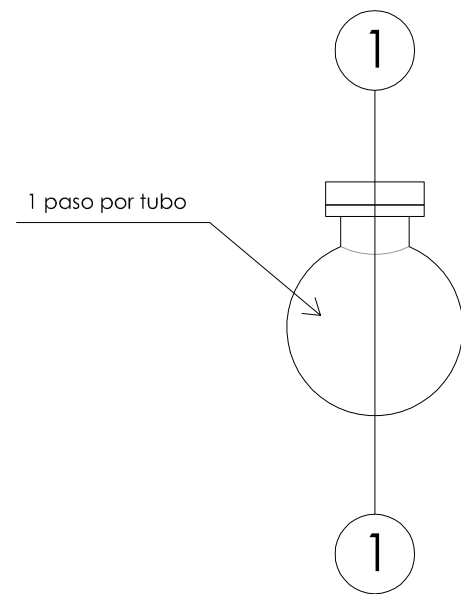
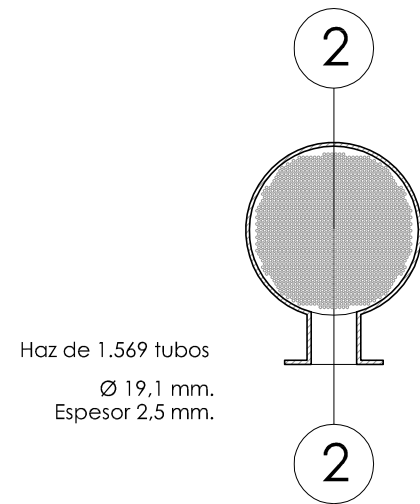


Distribución de tubos
Escala 1/1

Haz de 3.343 tubos

Ø 19,1 mm.
Espesor 2,8 mm.

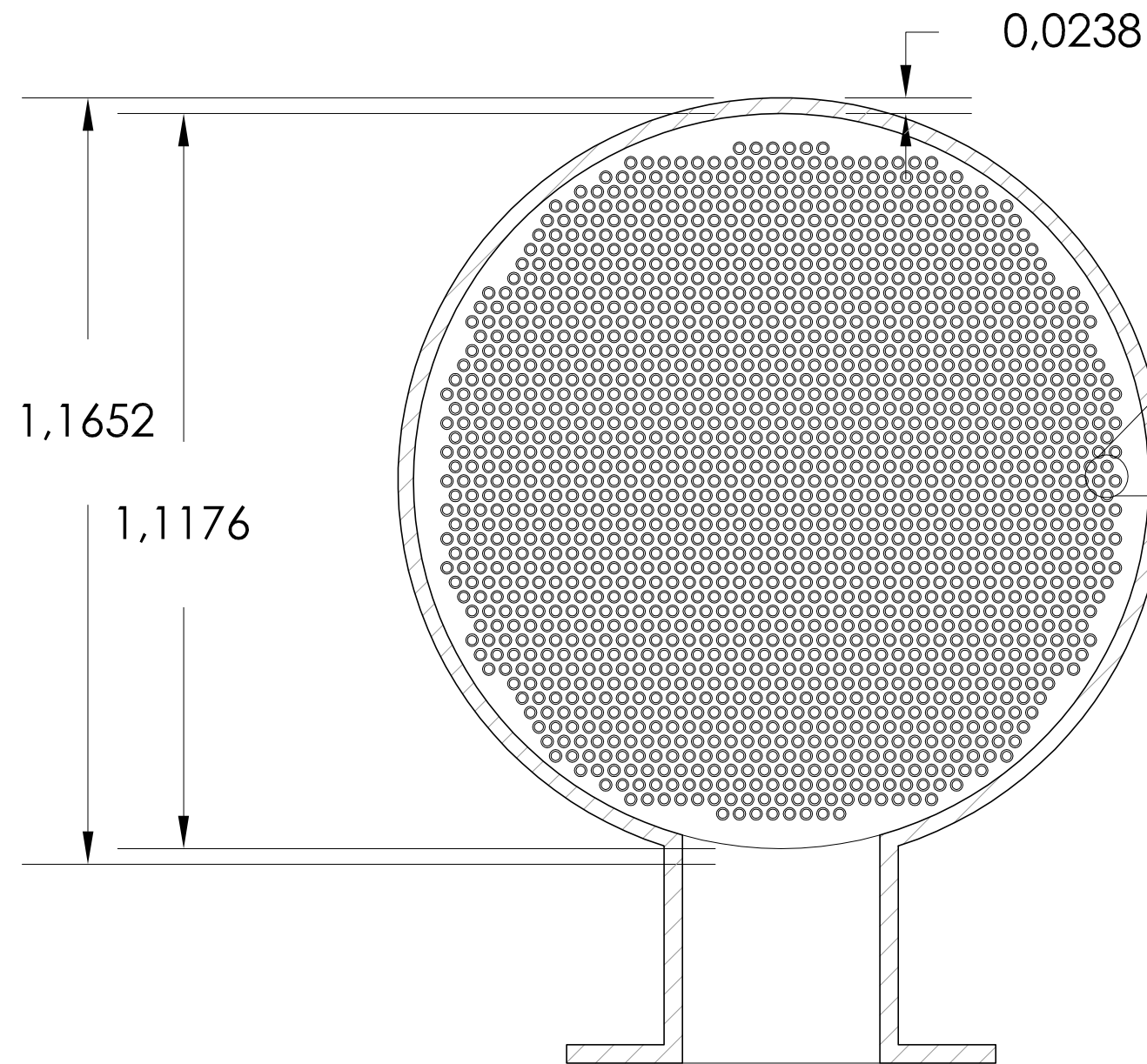
PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
11	INTERCAMBIADOR DE CALOR. Ev-3. DETALLE	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/5 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			



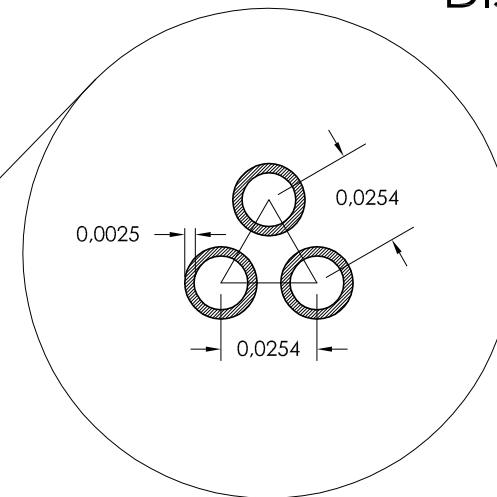
SECCION A-A'

CORRIENTES		DATOS DE DISEÑO	
1	ENTRADA DE TUBOS	TIPO SEGÚN NORMA TEMA	AJW
2	SALIDA 1 CARCASA	Nº DE PASOS POR TUBO	1
3	ENTRADA CARCASA	Nº DE PASOS CARCASA	1
4	SALIDA 2 CARCASA	MATERIAL CARCASA	SA-240 AISI 316
5	SALIDA TUBOS	MATERIAL TUBO	ACERO INOX AISI TP316

PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
12	INTERCAMBIADOR DE CALOR Cond-1	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/50 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			



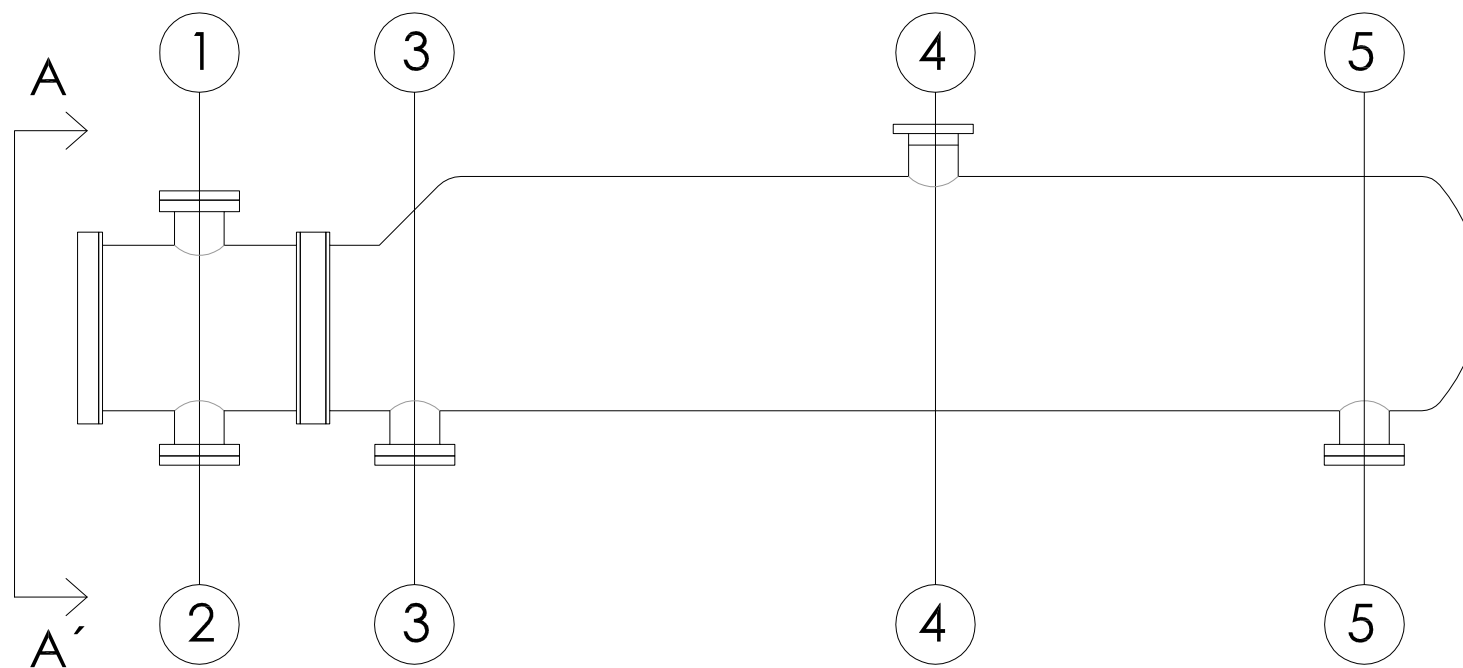
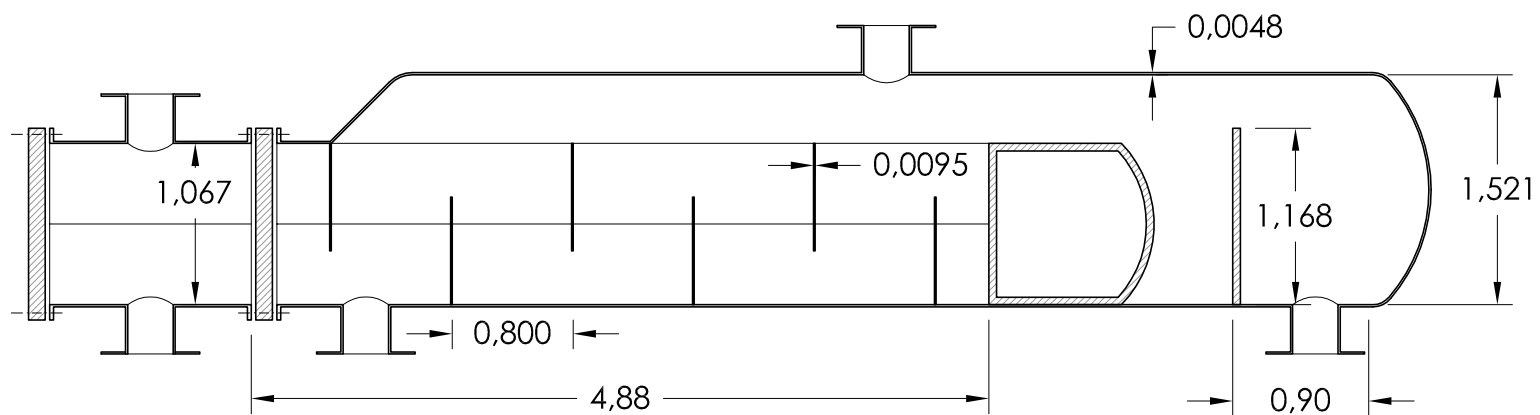
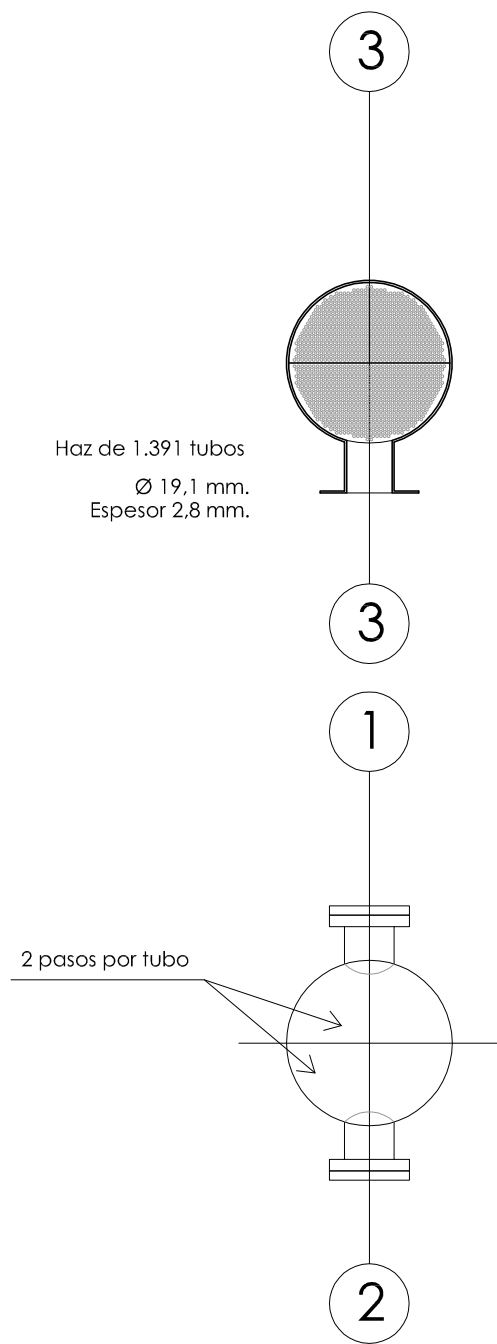
Distribución de tubos
Escala 1/1



Haz de 1.569 tubos

Ø 19,1 mm.
Espesor 2,5 mm.

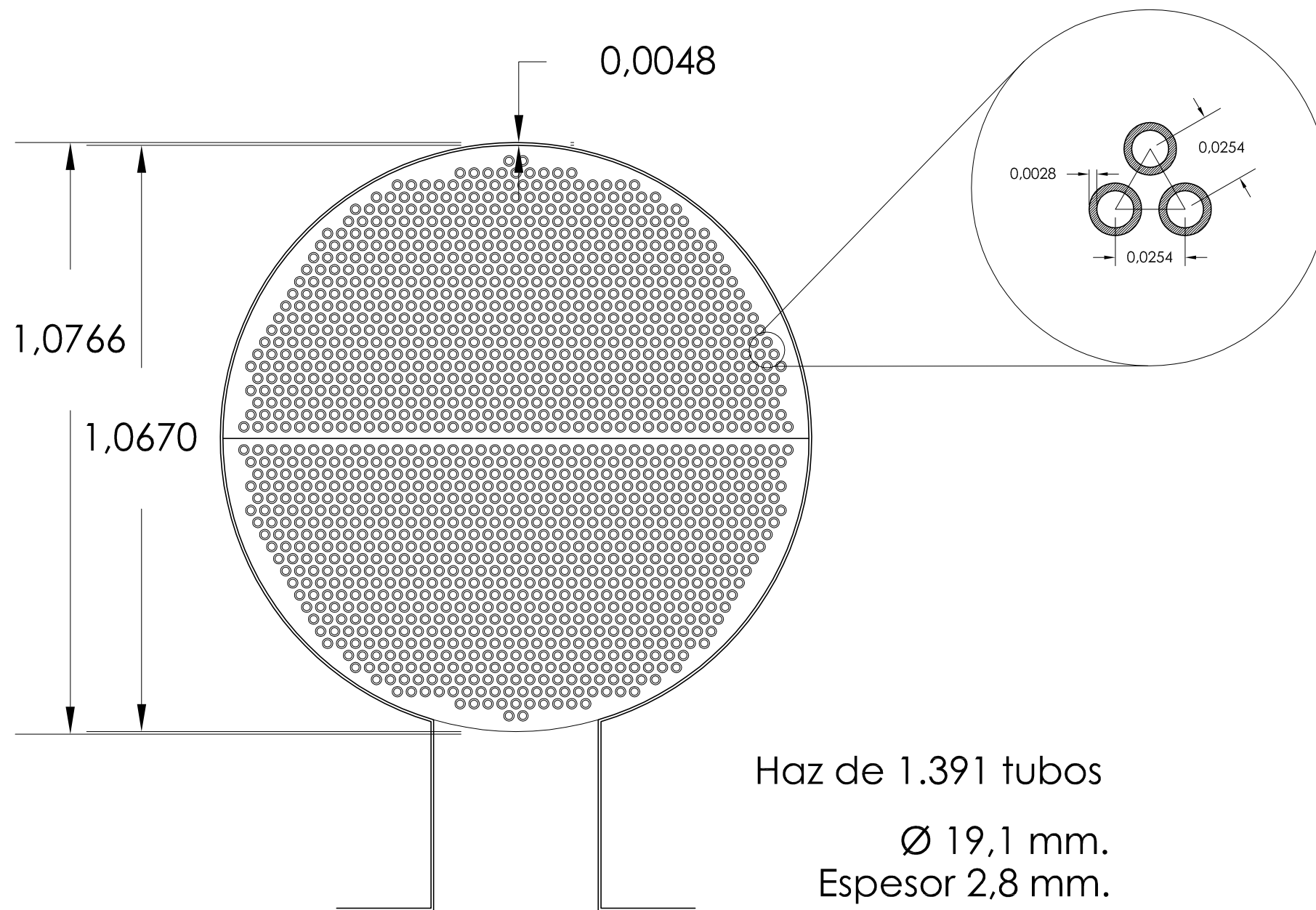
PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
13	INTERCAMBIADOR DE CALOR Cond-1. DETALLE	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA		ESCALA	
JULIO 2011		1/5 COTAS EN METROS	
INGENIERO QUÍMICO			



SECCION A-A'

CORRIENTES		DATOS DE DISEÑO	
1	ENTRADA DE TUBOS	TIPO SEGÚN NORMA TEMA	AKT
2	SALIDA DE TUBOS	Nº DE PASOS POR TUBO	2
3	ENTRADA CARCASA	Nº DE PASOS CARCASA	1
4	SALIDA VAPOR CARCASA	MATERIAL CARCASA	SA-240 AISI 316
5	SALIDA LIQUIDO CARCASA	MATERIAL TUBO	ACERO INOX AISI TP316

PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
14	INTERCAMBIADOR DE CALOR. Reb-1	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/50 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			

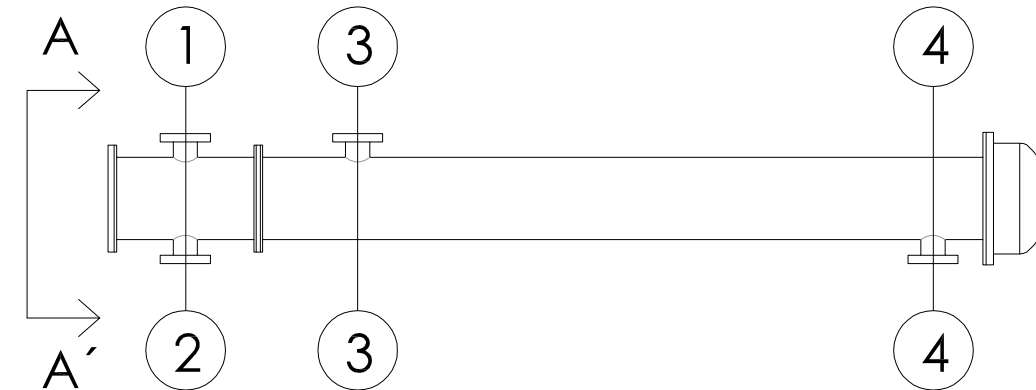
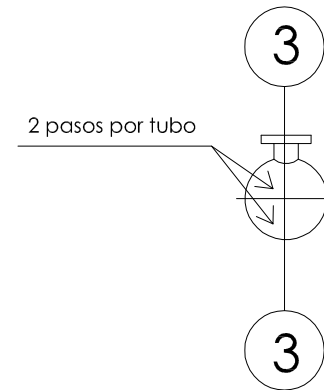
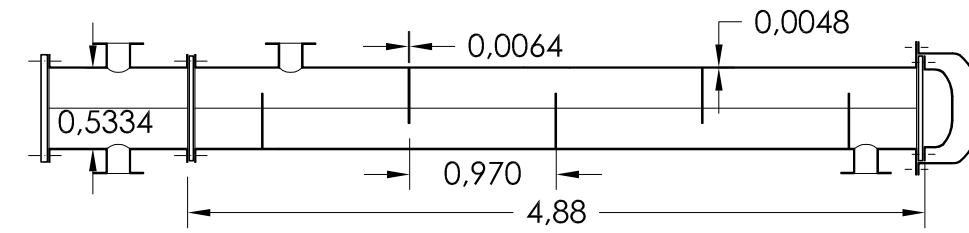
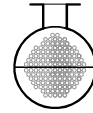


Distribución de tubos
Escala 1/1

Haz de 1.391 tubos
Ø 19,1 mm.
Espesor 2,8 mm.

PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
15	INTERCAMBIADOR DE CALOR. Reb-1. DETALLE	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA		ESCALA	
JULIO 2011		1/5 COTAS EN METROS	
INGENIERO QUÍMICO			

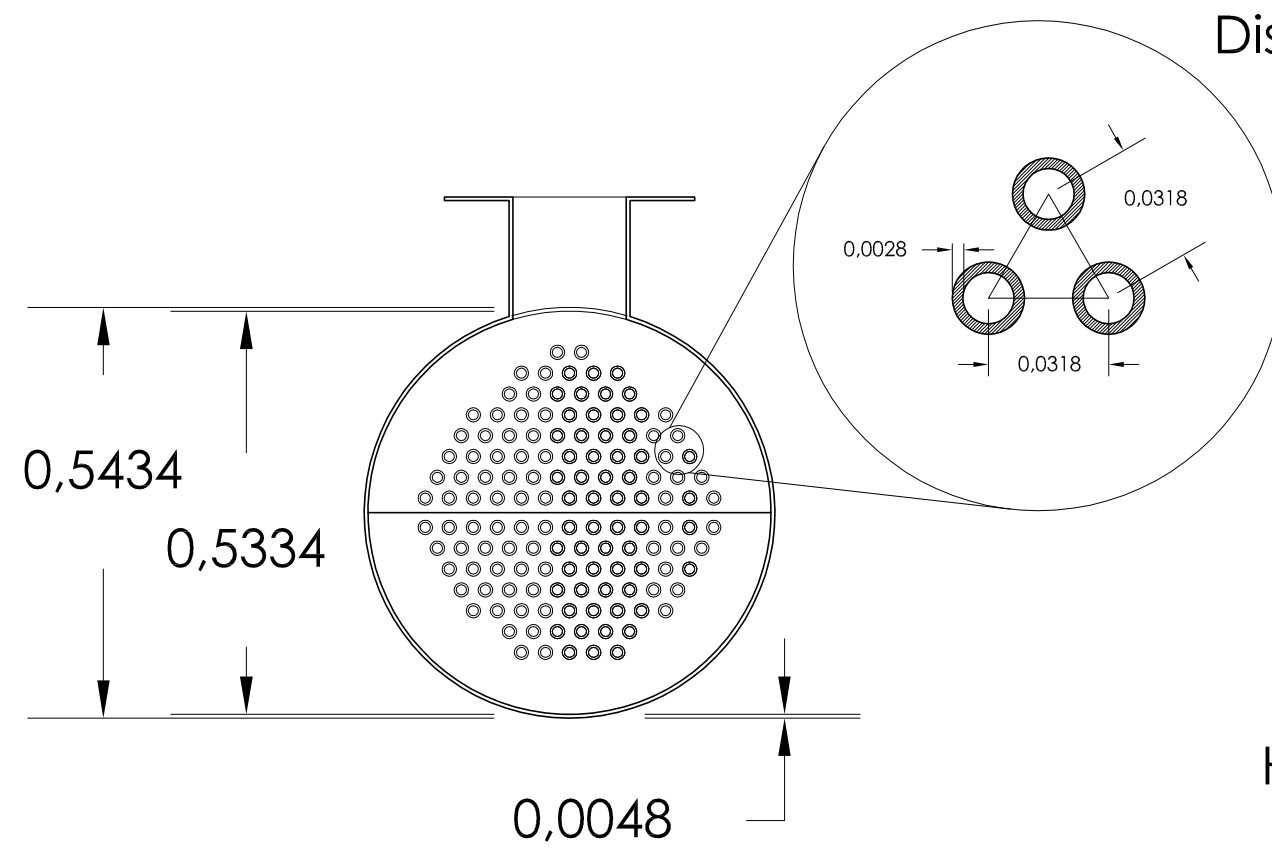
Haz de 192 tubos
 \varnothing 25,4 mm.
 Espesor 2,8 mm.



SECCION A-A'

CORRIENTES		DATOS DE DISEÑO	
1	ENTRADA DE TUBOS	TIPO SEGÚN NORMA TEMA	AES
2	SALIDA DE TUBOS	Nº DE PASOS POR TUBO	2
3	SALIDA DE CARCASA	Nº DE PASOS CARCASA	1
4	ENTRADA DE CARCASA	MATERIAL CARCASA	SA-240 AISI 316

PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
16	INTERCAMBIADOR DE CALOR IC-1	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/50 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			



Distribución de tubos
Escala 1/1

Haz de 192 tubos
Ø 25,4 mm.
Espesor 2,8 mm.

PROYECTO		DISEÑO DE UNA COLUMNA ESTABILIZADORA PARA TRATAR LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN DEL PROCESO DE HIDRODESALQUILACIÓN TÉRMICA	
Nº	PLANO	AUTOR	
17	INTERCAMBIADOR DE CALOR. IC-1. DETALLE	MIGUEL FELIPE ALCÁNTARA	
FECHA	ESCALA		
JULIO 2011	1/5 COTAS EN METROS		
INGENIERO QUÍMICO			

DOCUMENTO 3:
PLIEGO DE
CONDICIONES

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: DISPOSICIONES GENERALES.....	4
1.1. Obras objeto del presente proyecto	4
1.2. Obras accesorias no especificadas	4
1.3. Documentos que definen las obras.....	4
1.4. Compatibilidad y relación entre los documentos	5
1.5. Dirección de las obras	5
1.6. Disposiciones a tener en cuenta	6
CAPÍTULO 2: CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA.....	7
2.1. Replanteo.....	7
2.2. Movimiento de tierras	7
2.3. Red horizontal de saneamiento	8
2.4. Cimentaciones	9
2.5. Forjados.....	9
2.6. Hormigones	9
2.7. Estructura metálica.....	12
2.8. Cubiertas y paramentos metálicos.....	14
2.9. Albañilería.....	14
2.10. Solera.....	15
2.11. Carpintería y cerrajería.....	15
2.12. Aislamientos.....	16
2.13. Red vertical de saneamiento.....	16
2.14. Instalación eléctrica.....	16
2.15. Instalaciones de fontanería.....	17
2.16. Instalaciones de climatización.....	17
2.17. Instalaciones de protección	17
2.18. Obras o instalaciones no especificadas	18
CAPÍTULO 3: CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA	19
3.1. Obligaciones y derechos del contratista.....	19
3.1.1. Remisión de solicitud de ofertas	19
3.1.2. Subcontratas	19
3.1.3. Residencia del contratista.....	19
3.1.4. Reclamaciones contra las órdenes de dirección.....	20
3.1.5. Despido por insubordinación, incapacidad y mala fe	20
3.1.6. Copia de los documentos	21
3.2. Trabajo, materiales y medios auxiliares.....	21
3.2.1. Libro de órdenes.....	21

3.2.2. Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución	21
3.2.3. Condiciones generales de ejecución de los trabajos	22
3.2.4. Trabajos defectuosos	22
3.2.5. Obras y vicios ocultos	22
3.2.6. Materiales no utilizables o defectuosos	23
3.2.7. Medios auxiliares	23
3.3. Recepción y liquidación	24
3.3.1. Recepciones provisionales	24
3.3.2. Plazo de garantía	25
3.3.3. Conservación de los trabajos recibidos provisionalmente	25
3.3.4. Recepción definitiva.....	26
3.3.5. Liquidación final	26
3.3.6. Liquidación en caso de rescisión	26
3.4. Facultades de la dirección de obras.....	26
3.4.1. Facultades de la dirección de obras.....	26

CAPÍTULO 4: PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE

ECONÓMICA.....	28
4.1. Base fundamental	28
4.2. Garantías de cumplimiento y fianzas	28
4.2.2. Fianzas.....	28
4.2.3. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza	28
4.2.4. Devolución de la fianza.....	29
4.3. Precios y revisiones.....	29
4.3.1. Precios contradictorios	29
4.3.2. Reclamaciones de aumento de precios.....	30
4.3.3 Revisión de precios	30
4.3.4. Elementos comprendidos en el Presupuesto	32
4.4. Valoración y abonado de los trabajos	32
4.4.1. Valoración de la obra	32
4.4.2. Mediciones parciales finales	33
4.4.3. Equivocaciones en el Presupuesto	33
4.4.4. Valoración de obras incompletas	33
4.4.5. Carácter provisional de las liquidaciones parciales	34
4.4.6. Pagos	34
4.4.7. Suspensión por retraso de pagos	34
4.4.8. Indemnización por retraso de los trabajos.....	34
4.4.9. Indemnización por daños de causa mayor al Contratista.....	34
4.5. Varios	35
4.5.1. Mejoras de obra	35
4.5.2. Seguro de los trabajos	36

CAPÍTULO 5: PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL.....	37
5.1. Jurisdicción.....	37
5.2. Accidentes de trabajo y daños a terceros	37
5.3. Pagos de arbitrios	38
5.4. Causas de rescisión del contrato	39
CAPÍTULO 6: CONDICIONES EN LOS EQUIPOS E INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS	41
6.1. Unidades de proceso (Separador de fases y columna de platos)	41
6.2. Cambiadores de calor	43
6.3. Bombas	44
6.4. Sistemas de alivio de presión y evacuación de fluido de unidades	44
6.5. Tuberías y centros de trasiego de líquidos inflamables y combustibles y productos químicos	47
6.6. Tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles	50
6.7. Capacidad de los tanques	51
6.8. Disposición y separación de tanques de almacenamiento	51
6.9. Cubetos de retención	52
6.10. Instrumentación.....	53
6.11. Características de seguridad del equipo, motores y máquinas no eléctricos, contra incendios y explosiones.....	54
6.12. Medios generales de lucha contra incendios.....	54
6.13. Protección e instalaciones para la lucha contra incendios	55
6.14. Sistema de alarma.....	56
6.15. Redes de drenaje.....	56
6.16. Normas de explotación.....	58
CAPÍTULO 7: CONDICIONES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS	61
7.1. Instalaciones, materiales y equipos eléctricos.....	61
7.2. Alumbrado.....	61
CAPÍTULO 8: NORMATIVA APLICADA	62

CAPÍTULO 1: DISPOSICIONES GENERALES.

1.1. Obras objeto del presente proyecto

Se consideran sujetas a las condiciones de este Pliego, todas las obras cuyas características, planos y presupuestos, se adjuntan en las partes correspondientes del presente Proyecto.

Se entiende por obras accesorias, aquellas que por su naturaleza, no puedan ser previstas en todos sus detalles, sino a medida que avanza la ejecución de los trabajos.

Las obras accesorias, se construirán según se vaya conociendo su necesidad. Cuando la importancia lo exija se construirán en base a los proyectos adicionales que se redacten. En los casos de menor importancia se llevarán a cabo conforme a la propuesta que formule el Ingeniero Director de la Obra.

1.2. Obras accesorias no especificadas

Si en el transcurso de los trabajos se hiciese necesario ejecutar cualquier clase de obras o instalaciones que no se encuentren descritas en este Pliego de Condiciones, el Adjudicatario estará obligado a realizarlas con estricta sujeción a las órdenes que, al efecto, reciba del Ingeniero Director de Obra.

El Ingeniero Director de Obra tendrá plenas atribuciones para sancionar la idoneidad de los sistemas empleados, los cuales estarán expuestos para su aprobación de forma que, a su juicio, las obras o instalaciones que resulten defectuosas total o parcialmente, deberán ser demolidas, desmontadas o recibidas en su totalidad o en parte, sin que ello dé derecho a ningún tipo de reclamación por parte del Adjudicatario.

1.3. Documentos que definen las obras

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entregue al contratista pueden tener carácter contractual o meramente informativo.

Son documentos contractuales los planos, pliego de condiciones, cuadros de precios y presupuestos parcial y total, que se incluyen en el presente proyecto.

Los datos incluidos en la memoria y anejos, así como la justificación de precios tienen carácter meramente informativo.

Cualquier cambio en el planteamiento de la obra que implique un cambio sustancial respecto de lo proyectado deberá ponerse en conocimiento de la dirección técnica para que lo apruebe, si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

1.4. Compatibilidad y relación entre los documentos

En caso de contradicción entre los planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en este último. Lo mencionado en los planos y omitido en el Pliego de Condiciones o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos.

1.5. Dirección de las obras

El contratista deberá seguir las instrucciones del director de la obra en todo lo referente a calidad y acopio de materiales, ejecución de la obra, modificaciones del Proyecto, programa de trabajo y precauciones a adoptar.

La propiedad nombrará en su representación a un Ingeniero Químico, en quien recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente Proyecto. El Contratista proporcionará toda clase de facilidades para que el Ingeniero Director o sus subalternos puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia.

No será responsable ante la propiedad de la tardanza de los Organismos competentes en la tramitación del Proyecto. La tramitación es ajena al Ingeniero Director quien una vez conseguidos todos los permisos, dará la orden de comenzar la obra.

1.6. Disposiciones a tener en cuenta

- Ley de Contratos del Estado aprobado por Decreto 923/1965 de 8 de abril.
- Reglamento General de Contratación para aplicación de dicha Ley aprobado por Decreto 3354/1967 de 28 de diciembre.
- Pliegos de Prescripciones Técnicas Generales vigentes del M.O.P.U.
- Normas Básicas (NBE) y Tecnologías de Edificación (NTE).
- Instrucción EH-91 para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado.
- Instrucción EP-80 para el proyecto y la ejecución de obras en hormigón pretensado.
- Métodos y Normas de Ensayo del Laboratorio General del M.O.P.U.
- Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión y Normas MIBT complementarias.
- Normativa MIE-APQ-1 sobre Almacenamiento de Líquidos Inflamables y combustibles.
- Reglamento sobre recipientes y aparatos a presión.
- Resolución General de Instrucciones para la Construcción de 31 de octubre de 1.966.

CAPÍTULO 2: CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA

La obra civil proyectada cumplirá las condiciones prescritas en:

- Instrucción EH-91 y EF-96.
- Pliego General de Condiciones de la Edificación.
- Normas Tecnológicas de la Edificación.
- Pliego de P. T. Para la recepción de cementos.
- Normas Básicas de la Edificación NBE.
- Normas MV- 10 1 -201-30 1.
- Ordenanza de Trabajo para las Industrias de la Construcción.
- Norma Sismorresistente (NCS-94)

2.1. Replanteo

Antes de dar comienzo a las obras, el ingeniero director auxiliado del personal subalterno necesario y con 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 ordenes del ingeniero director de la obra, 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.

2.2. Movimiento de tierras

Se refiere el presente apartado a los desmontes y terraplenes para dar al terreno la rasante de explanación, la excavación a cielo abierto realizada con medios manuales y/o mecánicos y a la excavación de zanjas y pozos.

Antes de comenzar las demoliciones o excavaciones de cualquier tipo es preceptivo el corte de la alimentación de todas las instalaciones que puedan afectar a dichos trabajos.

La propiedad deberá fijar las redes existentes en la zona, siendo entonces responsabilidad de la contrata cualquier avería o corte producido.

Todas las excavaciones permanecerán secas mientras duren los trabajos, debiéndose prever todos los elementos necesarios para garantizar la seguridad y protección del personal, incluido entibaciones necesarias.

Se evitará la formación de polvo que pueda afectar a las instalaciones próximas

Todos los materiales procedentes de la excavación, que no sean aprobados para rellenos, se llevarán a vertedero adecuado, dentro o fuera del recinto de la fábrica.

La excavación se ajustará a lo previsto en los planos. En caso de exceso de excavación no se computará a efectos de medición y abono.

Se adoptan las condiciones generales de seguridad en el trabajo, así como las condiciones relativas a los materiales control de la ejecución, valoración y mantenimiento que especifican las normas:

- NTE-AD “Acondicionamiento del terreno”.
- NTE-AD “Explicaciones”.
- NTE-ADV “Vaciados”.
- NTE-ADZ “Zanjas y pozos”.

2.3. Red horizontal de saneamiento

Contempla el presente apartado las condiciones relativas a los diferentes aspectos relacionados con los sistemas de captación y conducción de aguas del subsuelo para protección de la obra contra la humedad. Se adoptan las condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, condiciones relativas a los materiales y equipos de origen industrial, control de la ejecución, criterios relativos a las pruebas de servicio, criterios de valoración y normas para el mantenimiento del terreno, establecidas en la NTE “Saneamientos, drenajes y arenamientos”,

así como lo establecidos en la orden de 15 de septiembre de 1.986, del M.O.P.U.

2.4. Cimentaciones

Las secciones y cotas de profundidad serán las que el Ingeniero Director señale, con independencia de lo señalado en el Proyecto, que tienen carácter meramente informativo. No se rellenarán los cimientos hasta que lo ordene el Director.

El Ingeniero Director queda facultado para introducir las cimentaciones especiales o modificaciones que juzgue oportuno en función de las características particulares que presente el terreno.

Se adoptan las condiciones relativas a materiales, control, valoración, mantenimiento y seguridad especificados en las normas:

- NTE-CSZ. “Cimentaciones superficiales. Zapatas”.
- NTE-CSC. “Cimentaciones superficiales corridas”.
- NTE-CSL. “Cimentaciones superficiales. Losas”.

2.5. Forjados

Regula el presente apartado los aspectos relacionados con la ejecución de forjados pretensados autoresistentes armados de acero o de cualquier otro tipo con bovedillas cerámicas de hormigón y fabricado en obra o prefabricado bajo cualquier patente.

Las condiciones de ejecución, de seguridad en el trabajo, de control de ejecución, de valoración y de mantenimiento, son las establecidas en las normas NTE-EHU y NTE-EHR así como en el R.D. 1630/1980 de 18 de Julio y en la NTE-EAF.

2.6. Hormigones

Se refiere el presente apartado a las condiciones relativas a los materiales y equipos de origen industrial relacionados con la ejecución de las obras de hormigón en masa o armado o pretensado fabricados en obra o

prefabricados, así como las condiciones generales de ejecución, criterios de medición, valoración y mantenimiento.

Regirá lo prescrito en la Instrucción EH-91 para las obras de hormigón en masa o armado y la instrucción EP-80 para las obras de hormigón pretensado. Asimismo se adopta lo establecido en las normas NTE-EH “Estructuras de hormigón”, y NTE-EME “Estructuras de madera Encofrados”.

Los ensayos serán los necesarios para su control Normal y se determinarán antes de comenzar estas unidades, el nº de ensayos y dónde, el coste y la casa de ensayos que los va a realizar. El resultado de los ensayos los recibirá por separado la Dirección, la Propiedad y la Contrata.

Los encofrados serán lo suficientemente herméticos como para impedir que se escape la lechada de cemento.

La Fabricación de los Hormigones de resistencia H-200 o superior se realizará en central con dosificación con peso automatizada.

El Transporte se realizará mediante Camión-Hormigonera Giratorio, con un tiempo máximo entre carga y descarga de 1 hora y media.

El vertido del hormigón será continuo, no debiendo transcurrir más de 30 minutos entre dos camiones para impedir el fraguado del Hormigón colocado.

La máxima caída libre de las masas, en cualquier punto de su recorrido no excederá de un metro y medio (1,50 m.).

En losas y vigas el extendido del hormigón se ejecutará de modo que el avance se realice en todo su espesor.

La Compactación del Hormigón se realizará mediante vibración, con vibradores de frecuencia inferior a seis mil ciclos por minuto.

Se suspenderá el Hormigonado siempre que se prevea que dentro de las cuarenta y ocho horas (48 h.) siguientes puede descender la temperatura por debajo de los 0°C.

Se suspenderá el Hormigonado en caso de lluvia.

El Proceso de curado deberá prolongarse hasta que el Hormigonado alcance el 70% de su resistencia de Proyecto. Para el curado se mantendrá húmeda la superficie mediante riego directo.

El Control se realizará midiendo la consistencia y la resistencia característica.

Tabla 2.1 Tipos de consistencia

Tipo de Consistencia	Tolerancia en cm
Plástica	± 1
Blanda	± 1

Para la Resistencia se exigirá un control normal.

Se consideran partes sucesivas a Controlar al menor de los límites:

Tipo de Elemento Estructural

Tabla 2.2 Tipos de elemento estructural

Límite Superior	Lineal	Superficial	Macizo
Volumen	100	200	50
Superficie	500	500	-
Tiempo Homologado	2 semanas	2 semanas	1 semana
Nº plantas	1	1	1

Se realizarán determinaciones mínimas

$N = 2$, con $K_n = 0,88$

Para los resultados se tendrá en cuenta lo enunciado en la EH-91 concretando las penalizaciones que se aplicarán de la siguiente forma afectando a la parte de obra defectuosa en cuanto a resistencia.

Si $0,9 f_{rk} \leq f_{est} < f_{ck}$

$$P_1 = \left(1,05 - \frac{f_{est}}{f_{ck}} \right) \cdot P$$

Si $0,7 f_{ck} \leq f_{est} < 0,9 f_{ck}$

$$P_1 = \left(1,95 - 2 \cdot \frac{f_{est}}{f_{ck}} \right) \cdot P$$

Siendo P_1 , la Penalización en €/m³

P: el Precio unitario W hormigón en €/m³.

Por defecto de espesores:

$$P_2 = \left(2,05 - 2 \cdot \frac{E_m}{E_p} \right) \cdot P$$

E_m = Espesor Medio Real

E_p = Espesor de Proyecto

Las Armaduras de Acero empleadas se abonarán por su peso en Kg. deducido de los planos. Las Mermas, Despuntos, Alambre de Atar, Tolerancia y Barras Auxiliares estarán incluidas en el precio contratado.

2.7. Estructura metálica

Se establecen en el presente apartado las condiciones relativas a los materiales y equipos industriales relacionados con los aceros laminados utilizados en las estructuras de edificación, tanto en sus elementos estructurales, como en sus elementos de unión.

Asimismo se fijan las condiciones relativas a la ejecución, seguridad en el trabajo, control de la ejecución, valoración y mantenimiento.

Los materiales se ajustarán a la Norma MV-102 para el acero laminado en estructuras de Edificación.

Las soldaduras se harán de acuerdo con la Norma MV-104.

Cada pieza individual se puede considerar a plomo, nivel o en línea, si el error no excede de 1/500 de la luz.

Todos los pilares tubulares que se utilicen en la estructura metálica irán cerrados herméticamente en sus extremos mediante chapas de espesor no inferior a los 3mm. No se montarán sin cerrar.

La Medición de la Estructura Metálica será sobre pesos teóricos. Para las chapas se aplicará una densidad de 7.850 Kg/m³. Las tolerancias, despuntes, soldaduras, pinturas, etc. se consideran incluidas en el precio ofertado.

Se efectuarán Inspecciones Sistemáticas y Ensayos no destructivos en el orden al control de:

Estado de los Perfiles antes de soldar, procedimiento empleado, capacitación de los soldadores y cordones de soldadura efectuados.

Se debe aportar certificado de materiales e hilos de soldadura.

Se adoptan lo establecido en las normas:

- NBE-MV-102: “Ejecución de las estructuras de acero laminado en edificación”. Se fijan los tipos de uniones, la ejecución en el taller, el montaje en obra, las tolerancias y las protecciones.
- NBE-MV-103: “Acero laminado para estructuras de edificaciones”, donde se fijan las características del acero laminado, la determinación de sus características y los productos laminados actualmente utilizados.
- NBE-MV-105: “Roblones de acero”.
- NBE-MV-106: “Tornillos ordinarios calibrados para estructuras de acero”.
- NTE-EA: “Estructuras de acero”.

2.8. Cubiertas y paramentos metálicos

Se refiere el presente apartado a la cobertura de edificios con tejas, plaquetas de fibrocemento, tejas cerámicas o de cemento y paramentos metálicos en el que el propio elemento proporciona la estanqueidad.

Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipos de origen industrial y control de la ejecución, condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son los especificados en las siguientes normas:

- NTE-QTF: “Cubiertas. Tejados de fibrocemento”.
- NBE-MV-301/1.970 sobre impermeabilización de cubiertas con materiales bituminosos. (Modificada por R.D. 2.085/86 de 12 de septiembre).
- NTE-QTG: “Cubiertas. Paneles de doble chapa de acero”

2.9. Albañilería

Se refiere el presente apartado a la fábrica de bloques de hormigón o ladrillo, a tabiques de ladrillo o prefabricados y revestimiento de paramentos, suelos, escalera y techos.

Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipo de origen industrial, control de ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son las que especifican las normas:

- NTE-FFL: “Fachadas de ladrillo”.
- NTE-EFL: “Estructuras de fábrica de ladrillo”.
- NTE-RPA: “Revestimiento de paramentos. Alicatados”.
- NTE-RPE: “Revestimientos de paramentos. Enfoscado”.
- NTE-RPG: “Revestimiento de paramentos. Guarnecidos y enlucidos”.
- NTE-RPP: “Revestimiento de paramentos. Pintadas”.
- NTE-RPR: “Revestimiento de paramentos. Revocos”.
- NTE-RSP: “Revestimiento de suelos y escaleras. Placas”.
- NTE-RTC: “Revestimiento de techos. Continuos”.

- NTE-PTL: “Tabiques de ladrillo”.

2.10. Solera

Sobre la zahorra artificial, compactada y nivelada, se colocará el mallazo con solape adecuado, que luego se levantará hasta quedar a 5 cm. de la superficie.

La tolerancia de acabado de la solera será de 5 mm. con una regla de 3,0 m.

La solera irá tratada con un revestimiento de estas características:

- Resistente a ácidos y Disolventes. DIN 51091.
- Antideslizante. Norma NLT-175/73.
- Resistente a Tráfico pesado. NTE.
- Resistente a la Abrasión. Norma CRD-C52-50, USA.
- Resistente al Impacto. Norma UNE 74040.
- Resistente al Fuego (MI). Norma UNE 23727-80.
- Resistente al desgaste por rozamiento. Norma UNE 7015 y 41008.

Es un revestimiento a base de Resinas Epoxi, sin disolventes, con un consumo total mínimo de 500 g/m².

2.11. Carpintería y cerrajería

Se refiere el presente apartado a las condiciones de funcionalidad y calidad que han de reunir los materiales y equipos industriales relacionados con la ejecución y montaje de puertas, ventanas y demás elementos utilizados en particiones y accesos interiores.

Asimismo, regula el presente apartado las condiciones de ejecución, medición, valoración y criterios de mantenimiento.

Se adoptará lo establecido en las normas:

- NTE-PPA: “Puertas de acero”.
- NTE-PPM: “Puertas de madera”.

2.12. Aislamientos

Los materiales a emplear y la ejecución de la instalación de aislamiento estarán de acuerdo con lo prescrito en la norma NBE-CB/79 sobre condiciones térmicas de los edificios que en su anexo 5 establece las condiciones de los materiales empleados para aislamiento térmico así como control, recepción y ensayos de dichos materiales, y en el anexo nº 6 establece diferentes recomendaciones para la ejecución de este tipo de instalaciones.

La medición y valoración de la instalación de aislamiento se llevará a cabo en la forma prevista en el presente proyecto.

2.13. Red vertical de saneamiento

Se refiere el presente apartado a la red de evacuación de aguas pluviales y residuos desde los puntos donde se recogen, hasta la acometida de la red de alcantarillado, fosa aséptica, pozo de filtración o equipo de depuración así como a estos medios de evacuación.

Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento son las establecidas en las normas:

- NTE-ISS: “Instalaciones de salubridad y saneamiento”.
- NTE-ISD: “Depuración y vertido”.
- NTE.ISA: “Alcantarillado”.

2.14. Instalación eléctrica

Los materiales y ejecución de la instalación eléctrica cumplirán lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión y Normas MBT complementarias. Asimismo se adoptarán las diferentes condiciones previstas en las normas:

- NTE-IEB: “Instalación eléctrica de baja tensión”.
- NTE-IEE: “Alumbrado exterior”.

- NTE-IEI: “Alumbrado interior”.
- NTE-IEP: “Puesta a tierra”.
- NTE-IER: “Instalaciones de electricidad red exterior”.

2.15. Instalaciones de fontanería

Regula el presente apartado las condiciones relativas a la ejecución, materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento de las instalaciones de abastecimiento y distribución de agua.

Se adopta lo establecido en las normas:

- NTE-IFA: “Instalaciones de fontanería”.
- NTE-IFC: “Instalaciones de fontanería. agua caliente”.
- NTE-IFF: “Instalaciones de fontanería. agua fría”.

2.16. Instalaciones de climatización

Se refiere el presente apartado a las instalaciones de ventilación, refrigeración y calefacción.

Se adoptarán las condiciones relativas a funcionalidad y calidad de materiales, ejecución, control, seguridad en el trabajo, pruebas de servicio, medición, valoración y mantenimiento, establecidas en las normas:

- NTE-ID: “Instalaciones de depósitos”.
- Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria. (R.D.1618/1.980 de 4 de julio).

2.17. Instalaciones de protección

Se refiere el presente apartado a las condiciones de ejecución de los materiales, de control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento, relativas a las instalaciones de protección contra fuego y rayos.

Se cumplirá lo prescrito en la norma NBE-CPI-81 sobre condiciones de protección contra incendios y se adoptará lo establecido en la norma NTE.IPP: “Protección contra el fuego”, y anejo nº 6 de la EH.82.

2.18. Obras o instalaciones no especificadas

Si en el transcurso de los trabajos fuera necesario ejecutar alguna clase de obra no regulada en el presente Pliego de Condiciones, el Contratista queda obligado a ejecutarla con arreglo a las instrucciones que reciba del Ingeniero Director quien a su vez, cumplirá la normativa vigente sobre el particular. El Contratista no tendrá derecho a reclamación alguna.

CAPÍTULO 3: CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA

3.1. Obligaciones y derechos del contratista

3.1.1. Remisión de solicitud de ofertas

Por la dirección técnica se solicitarán ofertas a las empresas especializadas del sector, para la realización de las instalaciones especificadas en el presente proyecto o un extracto con los datos suficientes. En el 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.

3.1.2. Subcontratas

Ninguna parte de la obra podrá ser subcontratada sin consentimiento previo, solicitado por escrito, del Director de la obra. Dicha solicitud incluirá los datos precisos para garantizar que el subcontratista posee la capacidad suficiente para hacerse cargo de los trabajos en cuestión.

La aceptación del subcontrato no relevará al Contratista de su responsabilidad contractual. El Director de la obra está facultado para decidir la exclusión de aquellos subcontratistas que no demuestren durante los trabajos poseer las condiciones requeridas para la ejecución de los mismos. El contratista deberá adoptar las medidas precisas e inmediatas para la rescisión de dichos contratos.

3.1.3. Residencia del contratista

Desde que se dé principio 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 sin previo conocimiento del Ingeniero Director 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 ramo que, como dependientes de la contrata, intervengan en las obras y, en ausencia de ellos, las depositadas en la residencia.

Designada como oficial, de la Contrata en los documentos del proyecto, aún en ausencia o negativa de recibo por parte de los dependientes de la Contrata.

3.1.4. Reclamaciones contra las órdenes de dirección

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes emanadas del Ingeniero Director solo podrá presentarlas a través del mismo ante la propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes, contra disposiciones de orden técnico o facultativo del Ingeniero Director, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida al Ingeniero Director, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo que, en todo caso, será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

3.1.5. Despido por insubordinación, incapacidad y mala fe

Por falta del cumplimiento de las instrucciones del Ingeniero Director o sus subalternos de cualquier clase encargados de la vigilancia de las obras; por manifiesta incapacidad o por actos que comprometan y perturben la marcha de los trabajos, el Contratista tendrá obligación de sustituir a sus dependientes y operarios, cuando el Ingeniero Director lo reclame.

3.1.6. Copia de los documentos

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa, de los Pliegos de Condiciones, Presupuestos y demás documentos de la contrata. El Ingeniero Director de la Obra, si el Contratista solicita éstos, autorizará las copias después de contratadas las obras.

3.2. Trabajo, materiales y medios auxiliares

3.2.1. Libro de órdenes

En la casilla y oficina de la obra, tendrá el contratista el libro de órdenes, en el que se anotarán las que el Ingeniero Director de obra precise dar en el transcurso de la obra.

El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho libro es tan obligatorio para el contratista como las que figuran en el pliego de condiciones.

3.2.2. Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución

Obligatoriamente y por escrito, deberá el contratista dar cuenta al Ingeniero Director 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 apartado 7.

El Adjudicatario comenzará las obras dentro del plazo de 15 días desde la fecha de adjudicación. Dará cuenta al Ingeniero Director, mediante oficio, del día en que se propone iniciar los trabajos, debiendo este dar acuse de recibo.

Las obras quedarán terminadas dentro del plazo establecido en el contrato.

El Contratista está obligado al cumplimiento de todo cuanto se dispone en la Reglamentación Oficial del Trabajo.

3.2.3. Condiciones generales de ejecución de los trabajos

El Contratista, como es natural, debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas en las “Condiciones Generales de Índole Técnica” del “Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación” y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que el Ingeniero Director o sus subalternos no la 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.

3.2.4. Trabajos defectuosos

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos efectuados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrán disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si ésta no estimase justa la resolución y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá con lo establecido en el apartado 3.12.

3.2.5. Obras y vicios ocultos

Si el Ingeniero Director tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas

ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos de la demolición y de la reconstrucción que se ocasionen, serán a cuenta del contratista, siempre que los vicios existan realmente; en caso contrario correrán a cargo del propietario.

3.2.6. *Materiales no utilizables o defectuosos*

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos sin que antes sean examinados y aceptados por el Ingeniero Director, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto el Contratista, las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones, vigente en la obra.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc. antes indicados correrán a cargo del Contratista.

Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los Pliegos o, a falta de éstos, a las órdenes del Ingeniero Director.

3.2.7. *Medios auxiliares*

Es obligación de la contrata el ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras aún cuando no se halle expresamente estipulado en los Pliegos de Condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Ingeniero Director y dentro de los límites de posibilidad que los Presupuestos determinen para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

Serán de cuenta y riesgo del Contratista, los andamios, cimbras, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, no cabiendo por tanto, al Propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares.

Serán asimismo de cuenta del Contratista, los medios auxiliares de protección y señalización de la obra, tales como vallado, elementos de protección provisionales, señales de tráfico adecuadas, señales luminosas nocturnas, etc. Y todas las necesarias para evitar accidentes previsibles en función del estado de la obra y de acuerdo con la legislación vigente.

3.3. Recepción y liquidación

3.3.1. Recepciones provisionales

Para proceder a la recepción provisional de las obras será necesaria la asistencia del Propietario, del Ingeniero Director de la obra y del Contratista o su representante debidamente autorizado.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por percibidas provisionalmente y comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía que se considerará de tres meses.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar en el acta y se especificarán en la misma las precisas y detalladas instrucciones que el Ingeniero Director debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Después de realizar un escrupuloso reconocimiento de la obra y se estuviese conforme con las condiciones de este Pliego, se levantará un acta por duplicado, a la que acompañarán los documentos justificantes de la

liquidación final. Una de las actas quedará en poder de la propiedad y la otra se le entregará al contratista.

3.3.2. Plazo de garantía

Desde la fecha en que la recepción provisional quede hecha, comienza a contarse el plazo de garantía que será de un año. Durante este período, el Contratista se hará cargo de todas aquellas reparaciones de desperfectos imputables a defectos y vicios ocultos.

3.3.3. 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 la obra no haya sido ocupada por el Propietario, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuere menester para su buena conservación, abonándose todo aquello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el Contratista la planta, 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 le Ingeniero Director fije.

Después de la recepción provisional de la planta y en el caso de que la conservación de la misma corra a cargo del Contratista, no deberá haber en ella 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, 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.

3.3.4. Recepción definitiva

Terminado el plazo de garantía, se verificará la recepción definitiva con las mismas condiciones que la provisional, y si las obras están bien conservadas y en perfectas condiciones, el Contratista quedará relevado de toda responsabilidad económica, en caso contrario se retrasará la recepción definitiva hasta que, a juicio del Ingeniero Director de la Obra, y dentro del plazo que se marque, queden las obras del modo y forma que se determinen en este Pliego.

Si el nuevo reconocimiento resultase que el Contratista no hubiese cumplido, se declarará rescindida la contrata con pérdida de la fianza, a no ser que la propiedad crea conveniente conceder un nuevo plazo.

3.3.5. Liquidación final

Terminadas las obras, se procederá a la liquidación fijada, que incluirá el importe de las unidades de obra realizadas y las que constituyen modificaciones del Proyecto 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 Entidad propietaria con el visto bueno del Ingeniero Director.

3.3.6. 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.

3.4. Facultades de la dirección de obras

3.4.1. Facultades de la dirección de obras

Además de todas las facultades particulares, que corresponden al Ingeniero Director, expresadas en los apartados precedentes, es misión

específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que en las obras se realicen bien por si o por medio de sus representantes técnicos y ello con autoridad técnica legal, completa e indiscutible, incluso en todo lo no previsto específicamente en el “Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación” sobre las personas y cosas situadas en la obra y en relación con los trabajos que para la ejecución de los edificios y obras anejas se lleven a cabo, pudiendo incluso, pero con causa justificada, recusar al Contratista, si considera que el adoptar esta resolución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

CAPÍTULO 4: PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA

4.1. Base fundamental

Como base fundamental de estas “Condiciones Generales de Índole Económica”, se establece el principio de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y Condiciones Generales y particulares que rijan la construcción del edificio y obra aneja contratada.

4.2. Garantías de cumplimiento y fianzas

4.2.1. Garantías

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personal, al objeto de cerciorarse de si este reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato, dichas referencias las presentará el Contratista antes de la firma del contrato.

4.2.2. Fianzas

Se podrá exigir al Contratista, para que responda del cumplimiento de lo contratado, una fianza del 10% del presupuesto de las obras adjudicadas.

4.2.3. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para utilizar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero Director, en nombre y representación del Propietario, los ordenará 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.

4.2.4. Devolución de la fianza

La fianza depositada será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de certificado del Alcalde del Distrito Municipal en cuyo término se halla emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra él por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de los jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

4.3. Precios y revisiones

4.3.1. 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 Adjudicatario 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, deba 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, el Sr. Director propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el

Adjudicatario 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 proceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo, ya se hubiese comenzado, el Adjudicatario estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle el Sr. Director, y a concluirla a satisfacción de éste.

4.3.2. Reclamaciones de aumento de precios

Si el Contratista, antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error y omisión reclamar un aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del Presupuesto que sirve de base 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 de contrato, señalados en los documentos relativos a las “Condiciones Generales o Particulares de Indole Facultativa”, sino en el caso de que el Ingeniero Director o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la bajas proporcional hecha en la Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, pues esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

4.3.3. Revisión de precios

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello, que 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 es característica de determinadas épocas anormales, se admite, durante ellas, la revisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en anomalía con las oscilaciones de los precios en el mercado.

Por ello y en los casos de revisión en alza, el Contratista puede solicitarla del Propietario, en cuanto se produzca cualquier alteración de precio, que repercuta, aumentando los contratos.

Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de continuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado, y por causa justificada, especificándose y acordándose, también previamente, la fecha a partir de la cual se aplicará el precio revisado y elevado, para lo cual se tendrá en cuenta y cuando así proceda, el acopio de materiales de obra, en el caso de que estuviesen total o parcialmente abonados por el propietario.

Si el Propietario o el Ingeniero Director, en su representación no estuviese conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc., que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, y éste la obligación de aceptarlos, los materiales, transportes, etc., a precios inferiores a los pedidos por el Contratista, en cuyo caso lógico y natural, se tendrán en cuenta para la revisión, los precios de los materiales, transportes, etc. adquiridos por el Contratista merced a la información del Propietario.

Cuando el Propietario o el Ingeniero Director, en su representación, no estuviese conforma con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc. Concertará entre las dos partes la baja a realizar en los precios unitarios vigentes en la obra, en equidad por la experimentada por cualquiera de los elementos constitutivos de la unidad de obra y la fecha en que empezarán a regir los precios revisados.

Cuando, entre los documentos aprobados por ambas partes, figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al perpetuado en los casos de revisión por alza de precios.

4.3.4. Elementos comprendidos en el Presupuesto

Al fijar los precios de las diferentes unidades de obra en el Presupuesto, se ha tenido en cuenta el importe de andamios, vallas, elevación y transporte del material, es decir, todos los correspondientes a medios auxiliares de la construcción, así como toda clase de indemnizaciones, impuestos, multas o pagos que tengan que hacerse por cualquier concepto, con los que se hallen gravados o se graven los materiales o las obras por el Estado, Provincia o Municipio.

Por esta razón no se abonará al contratista cantidad alguna por dichos conceptos.

En el precio de cada unidad de obra también van comprendidos los materiales accesorios y operaciones necesarias para dejar la obra completamente terminada y en disposición de recibirse.

4.4. Valoración y abonado de los trabajos

4.4.1. Valoración de la obra

La medición de la obra concluida se hará por el tipo de unidad fija en correspondiente Presupuesto.

La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra, el precio que tuviese asignado en el Presupuesto, añadiendo a este importe el de los tantos por ciento que correspondan al beneficio industrial y descontando el tanto por ciento que corresponda a la baja en la subasta hecha por el Contratista.

4.4.2. Mediciones parciales finales

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de cuyo acto se levantará acta por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminada 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.

4.4.3. 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 posible 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 la obra ejecutada con arreglo al Proyecto contiene mayor número de unidades de las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna.

Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

4.4.4. Valoración de obras incompletas

Cuando por consecuencia de rescisión u otras causas fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios del Presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola en forma distinta a la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

4.4.5. Carácter provisional de las liquidaciones parciales

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulte de la liquidación final. No suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden. La propiedad se reserva en todo documento, 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 intervenidos en la obra, a cuyo efecto deberá presente el Contratista los comprobantes que se exigen.

4.4.6. Pagos

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá, precisamente, al de las Certificaciones de obra expedidas por el Ingeniero Director, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

4.4.7. Suspensión por retraso de pagos

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos, ni ejecutarlos a menor ritmo del que corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

4.4.8. Indemnización por retraso de los trabajos

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista pro causas de retraso no justificado, en el plazo de terminación de las obras contratadas, será: el importe de la suma de perjuicios materiales causados por imposibilidad de ocupación del inmueble, debidamente justificados.

4.4.9. Indemnización por daños de causa mayor al Contratista

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas, averías o perjuicio ocasionados en las obras, sino en los casos de

fuerza mayor. Para los efectos de este apartado, se consideran como tales casos únicamente los que siguen:

1. Los incendios causados por electricidad atmosférica.
2. Los daños producidos por terremotos y maremotos.
3. Los producidos por vientos huracanados, mares y crecida de los ríos superiores a las que se sean de prever el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que el contratista tomó las medidas posibles, dentro de sus medios, para evitar o atenuar daños.
4. Los que provengan de movimientos del terreno en que estén construidas las obras.
5. Los destrozos ocasionados violentamente, a mano armada, en tiempo de guerra, movimientos sediciosos populares o robos tumultuosos.

La indemnización se referirá exclusivamente, al abono de las unidades de obra ya ejecutadas o materiales acopiados a pie de obra; en ningún caso comprenderá medios auxiliares, maquinaria o instalaciones, etc., propiedad de la Contrata.

4.5. Varios

4.5.1. Mejoras de obra

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Ingeniero Director haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el Contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Ingeniero Director ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

4.5.2. Seguro de los trabajos

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en todo momento, con el valor que tengan, por Contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en caso de siniestro, se ingresará a cuenta, a nombre del Propietario para que con cargo a ella, se abone la obra que se construya y a medida que esta se vaya realizando.

El reintegro de la cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecha en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres ajenos a los de la construcción de la parte siniestrada; la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda rescindir la contrata, con devolución de la fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc. y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no le hubiesen abonado, pero eso en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Ingeniero Director.

En las obras de reforma o reparación se fijará, previamente, la proporción de edificio que se debe asegurar y su cuantía, y si nada se previese, se entenderá que el seguro ha de comprender toda parte de edificio afectado por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza de seguros, los pondrá el contratista antes de contratarlos en conocimiento del propietario, al objeto de recabar de este su previa conformidad o reparos.

CAPÍTULO 5: PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

5.1. Jurisdicción

Para cuantas cuestiones, litigios o diferencias pudieran surgir durante o después de los trabajos, las partes se someterán a juicio de amigables componedores nombrados en número igual por ellas y presidido por el Ingeniero Director de la Obra y en último término, a los Tribunales de Justicia del lugar en que radique la propiedad, con expresa renuncia del fuero domiciliario.

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. (La Memoria no tendrá consideración de documento del Proyecto).

El Contratista se obliga a lo establecido en la Ley de Contratos de Trabajo y además a lo dispuesto por la de accidentes de trabajo, subsidio familiar y seguros sociales.

Serán de cargo y cuenta del Contratista el vallado y la vigilancia del solar, cuidando de la conservación de sus líneas de linde 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.

El Contratista es responsable de toda falta relativa a la política urbana y a las ordenanzas municipales estos aspectos vigentes en la localidad en que la edificación esté emplazada.

5.2. Accidentes de trabajo y daños a terceros

En caso de accidentes ocurridos con motivo en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsable de su cumplimiento y sin que por ningún concepto,

pueda quedar afectada la Propiedad por responsabilidades en cualquier aspecto.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan para evitar, en lo posible, accidentes a los obreros o viandantes, no sólo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra.

De los accidentes o perjuicios de todo género que, por no cumplir el contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será este el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los preciso contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales.

El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a 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 fuera requerido, el justificante de tal cumplimiento.

5.3. Pagos de arbitrios

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras por concepto inherente a los propios trabajos que se realizan correrá a cargo de la Contrata, siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, el Contratista deberá ser reintegrado del importe de todos aquellos conceptos que el Ingeniero Director considere justo hacerlo.

5.4. Causas de rescisión del contrato

Se consideran causas suficientes de rescisión las que a continuación se señalan:

1. La muerte o incapacidad del contratista.
2. La quiebra del contratista.

En los casos anteriores, si los herederos o síndicos ofrecieran llevar a cabo las obras, bajo las mismas condiciones estipuladas en el contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan aquellos derecho a indemnización alguna.

3. Las alteraciones del contrato por las causas siguientes:
 - La modificación del Proyecto en forma tal que presente alteraciones fundamentales de mismo, a juicio del Ingeniero Director y, en cualquier caso siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente en más o menos del 40 por 100, como mínimo, de algunas unidades del proyecto modificadas.
 - La modificación de unidades de obra, siempre que estas modificaciones representen variaciones en más o en menos del 40 por 100, como mínimo de las unidades del proyecto modificadas.
4. La suspensión de la obra comenzada, y en todo caso siempre que, por causas ajenas a la contrata, no se de comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses, a partir de la adjudicación, en este caso, la devolución de la fianza será automática.
5. La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.
6. El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del Proyecto.

7. El cumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de la obra.
8. La terminación del plazo de ejecución de la obra, sin haberse llegado a ésta.
9. El abonado de la obra sin causa justificada.
10. La mala fe en la ejecución de los trabajos.

CAPÍTULO 6: CONDICIONES EN LOS EQUIPOS E INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

6.1. Unidades de proceso (Separador de fases y columna de platos)

La unidad de proceso deberá estar diseñada de acuerdo con la normativa vigente. Los equipos peligrosos deberán respetar las distancias de seguridad mínima, siempre en la medida de lo posible.

Si es preciso la inclusión de equipos adicionales dentro de este espacio, se considerarán estos equipos como parte de los separadores, cambiadores, etc., tomando para ellos las mismas medidas de prevención y seguridad.

Los demás equipos de la planta de proceso y equipos de servicios auxiliares se implantarán de acuerdo con la experiencia en el diseño, y se intentará dejar 1 m libre a su alrededor para su acceso y mantenimiento.

Dado que en la planta se tratan líquidos tóxicos y combustibles, los equipos, y en general la planta de proceso estarán diseñados en base a que se puedan aislar y cortar el flujo entre los equipos y distintas secciones entre sí, de forma que su contenido pueda ser rápidamente evacuado, en caso de necesidad, hacia zonas no peligrosas y disponer de adecuados sistemas de protección y lucha contra incendios.

Las tuberías vapor de agua estarán especialmente protegidas contra la posible entrada de los gases de proceso a ellas.

Las estructuras metálicas de equipos y tuberías estarán constituidas por elementos de tubo de acero o perfil estructural de acero laminado unidos por roblones, tornillos o soldadura, y estarán protegidos contra la corrosión y el ambiente específico que las rodee.

En general, los soportes metálicos de los haces de tuberías elevadas y las estructuras metálicas que soporten equipos de proceso de capacidad superior a 500 litros, o de un peso total superior a 2.500 Kg, deberán ser protegidos mediante una capa resistente al fuego. La capa de protección ignífuga podrá ser:

- Hormigón de 150 Kg/cm^2 de resistencia característica a la compresión, aplicado manualmente en una capa de 5 cm de espesor.
- Mortero de cemento en la proporción de 13, aplicado por el sistema de proyección neumática hasta obtener una capa de 4 cm de espesor.
- Otros materiales ignífugos de eficacia reconocida con el espesor y modo de aplicación especificado por el fabricante para obtener un grado de resistencia al fuego de dos horas como mínimo (RF-120).

El armado y anclaje del ignifugado, la selección de los agregados al hormigón o mortero y, en general, la aplicación de la protección ignífuga se realizará de acuerdo con la buena práctica propia de los materiales utilizados en cada caso.

Los soportes metálicos de los haces de tuberías serán protegidos hasta una altura de 4,5 m desde el suelo, pero podrá interrumpirse la protección 0,30 m por debajo de la viga transversal más baja.

Los soportes de los haces de tuberías elevadas, en pórtico o no, asegurarán una altura libre mínima de 2,20 m en las zonas reservadas a pasos de personas, y de 3,50 m en los pasos reservados a vehículos.

La seguridad en las instalaciones debe garantizarse por la utilización de aparatos de control, así como por la instalación de válvulas de seguridad, juntas de expansión, bocas contra incendios equipadas, extintores o dispositivos análogos.

Se preverán dispositivos de seguridad para cortar en el mínimo tiempo la formación accidental de atmósferas explosivas e inflamables en el interior de los equipos, tal como interrupción rápida de la alimentación a los equipos e inyección de vapor ahogo.

Todos los equipos y accesorios que se instalen se construirán de acuerdo con la reglamentación particular que les sea aplicable, teniendo siempre en cuenta las condiciones extremas de servicio y las máximas alcanzables en situaciones anormales que puedan esperarse razonablemente.

Se dedicará especial atención a los puntos débiles de la instalación, tales como cierres de bombas, juntas de bridas, válvulas, etc. El material de que estén fabricados será el adecuado a los líquidos inflamables y combustibles con que tenga contacto para las condiciones extremas de presión y temperatura.

6.2. Cambiadores de calor

Las dimensiones de los intercambiadores, así como sus características geométricas (tipo según TEMA, número de tubos, longitud, diámetro y espaciamiento de los mismos, número de pasos, etc.) serán los determinados en la “memoria de cálculo”.

Tanto si son trasladados al lugar de emplazamiento montados, como si lo son por partes, el equipo o sus partes serán protegidos adecuadamente contra la lluvia, el polvo, los golpes o las deformaciones.

Si desde que los equipos fueran recibidos desde el taller del fabricante hasta que fueran montados en el terreno hubiera de transcurrir un periodo de tiempo que la dirección técnica considerase razonablemente largo, serían almacenados bajo techado en un lugar seco, y se tomarían precauciones para que no sufrieran contaminación, oxidación excesiva, acumulación de humedad o suciedad, así como golpes o deterioros.

El ingeniero director supervisará los equipos antes de su montaje, comprobará su buen estado y podrá rechazarlos si observa anomalías que a su juicio puedan provocar dicho rechazo.

En el lugar de emplazamiento se habrá previsto el espacio suficiente para permitir la extracción del haz y los desmontajes de bridas y cabezales durante las paradas. Durante la instalación de los haces se protegerán estos con láminas de madera o metal, sujetadas mediante cables a pares de tubos de dichos haces. El haz se apoyará sobre las placas tubulares o sobre los deflectores, y nunca sobre los propios tubos. El alzado se hará mediante bandas trenzadas, y se tendrá especial cuidado de que los haces no sufran deformaciones.

Previa la puesta en marcha, se harán las comprobaciones y operaciones necesarias para el correcto funcionamiento de los equipos a presión.

6.3. Bombas

Las bombas serán iguales a aquellas con las que formen pareja y junto a las cuales conformen un grupo de bombeo, estando diseñadas según las normas API 610 para bombas de proceso, y permaneciendo en reserva durante la operación normal de la unidad.

Las bombas se suministrarán con la correspondiente bancada, sobre la que se montará el conjunto bomba – motor. La bancada estará constituida por perfiles de acero, dimensionada de forma que soporte los esfuerzos de arranque, y garantizará la estabilidad del conjunto bomba – motor.

Cada bomba será instalada dejando una pendiente para la evacuación de posibles derrames. Esta pendiente se dirigirá hacia el lado opuesto del motor.

El contratista presentará al ingeniero director los planos y memorias descriptivas de las bombas a emplear, acompañados de los correspondientes certificados de pruebas de sobrecarga, rodaje, etc., efectuadas en el taller del fabricante

6.4. Sistemas de alivio de presión y evacuación de fluido de unidades

Las unidades de proceso de la planta deberán tener accesorios e instalaciones apropiadas para descargar los excesos de presión y efectuar las evacuaciones de emergencia de fluidos.

Para prevenir que las presiones en el equipo alcancen niveles que puedan producir roturas o fallos mecánicos, se diseñarán sistemas de alivio de sobrepresión, normalmente llamados de seguridad, hasta que la presión en el equipo o circuito que deban proteger, caiga de nuevo dentro de los límites normales de funcionamiento.

Las instalaciones de alivio de sobrepresión y las de evacuación pueden ser comunes en cuanto al trasiego y la retirada de los fluidos evacuados. Los destinos de estos fluidos pueden ser:

- Sistema especial de evacuación (Antorchas de refinería).
- Retorno al proceso.
- Un colector de drenajes, según el carácter de los fluidos y las condiciones bajo las que se evacuan.

Los sistemas que pueden utilizarse según los casos son:

- Válvulas de seguridad para líquidos y para vapores.
- Portezuelas de seguridad o de explosión.

Las válvulas de seguridad se instalarán de acuerdo con los requisitos del Reglamento de aparatos a presión. Como norma general se instalará una válvula de seguridad si hay alguna posibilidad de que se sobrepase la presión de diseño en algún punto de la planta.

Cuando el fluido descargado sea vapor inflamable se instalará en la parte inferior de la tubería de descarga una inyección de fluido dispersante.

Las tuberías de descarga directa a la atmósfera que requieran un dispersante llevarán acoplado en su salida un anillo de distribución provisto de orificios para favorecer el arrastre ascendente de los vapores de proceso.

Las válvulas de seguridad cumplirán alguna de las normas API, ASNM, NFPA.

Se preverá poder efectuar la descarga intencionada de vapor o líquidos, por presión autogenerada en el equipo, con uno o varios de los siguientes propósitos:

- Reducir o controlar la presión no usual, tal como la que pueda producir una reacción química.
- Vaciar el sistema de su contenido en situaciones de emergencia.
- Efectuar las purgas previas a los trabajos de mantenimiento.
- Por otras razones.

Las instalaciones de evacuación complementarán sin reemplazarlas, a las válvulas de seguridad y consistirán especialmente en válvulas de evacuación de conexión entre la unidad y las líneas de evacuación a los recipientes receptores desde los que se dispondrá de manera segura de los productos recibidos.

- Válvulas de evacuación:

Las válvulas de evacuación estarán instaladas de modo que les sea posible operar bajo condiciones de emergencia.

Los puntos de conexión del sistema a la unidad se estudiarán cuidadosamente, considerando:

- La cantidad de emergencia.
- La velocidad de reducción de presión.
- La posibilidad de obstrucciones del fluido en los tubos por depósitos de herrumbre, carbón o similares.

- Líneas de evacuación:

Puesto que uno de los requisitos más importantes de los sistemas de evacuación es la reducción rápida de la presión, las líneas del sistema no limitarán esta función.

Cuando varias fuentes de líquido o de vapores descarguen en una línea de evacuación común, ésta deberá estar prevista para la máxima circulación que pueda esperarse y teniendo en cuenta las condiciones en que sea más urgente la reducción de la presión y la evacuación de los fluidos contenidos en recipientes, como por ejemplo, cuando una parte de la unidad, está envuelta en llamas.

Las instalaciones de evacuación deben preverse para reducir la presión en los equipos con la suficiente rapidez compatible con la seguridad del equipo, suponiendo que toda la presión se alivie por el propio sistema de evacuación.

- Circuito de evacuación:

Los circuitos de evacuación para depresionar los equipos que están sometidos a presión, estarán conformes con los requisitos del Reglamento

de aparatos a presión. Se tendrá en cuenta el que los circuitos de evacuación de las distintas instalaciones no se interfieran entre sí, en evicción de que puedan surgir problemas en la parada de las plantas o que afecten de algún modo su seguridad.

- Otros sistemas de evacuación:

- Purgas

Son conexiones para extraer pequeñas cantidades de líquido que puedan almacenarse en puntos bajos del equipo, que algunas veces se envían al colector general de drenajes y otras están conectadas al sistema general de evacuación de la unidad.

- Venteos

Son conexiones con salida libre a la atmósfera para la descarga de gases o vapores, se usan principalmente en conexión con operaciones de purgas, puesta en marcha y otras.

6.5. Tuberías y centros de trasiego de líquidos inflamables y combustibles y productos químicos

Las tuberías para la conducción líquidos inflamables y combustibles y productos químicos serán de acero en tramos de la mayor longitud posible unidos por soldadura o mediante bridas.

Se admitirán otros materiales siempre que se ajusten, en tanto no existan normas nacionales, a las especificaciones de las normas de reconocido prestigio internacional, aceptadas por el Ministerio de Industria y Energía.

Las tuberías para transporte y trasiego de líquidos inflamables y combustibles y productos químicos se montarán en haces paralelos, dejando entre ellas una distancia tal que anule la posible influencia mutua entre ellas.

Se estudiarán y preverán los movimientos por dilatación y contracción térmicas de las tuberías, las cuales se dispondrán de modo que tales movimientos sean absorbidos por su configuración, por los cambios

de dirección y por la selección de los puntos de anclaje. Donde sea preciso se instalarán liras de dilatación, evitándose en lo posible, las juntas de expansión.

Los haces de tuberías pueden ser aéreos, apoyados sobre durmientes en el suelo, enterrados o alojados en fosos.

Los haces de tuberías aéreas se apoyarán sobre pilares o pórticos contruidos de hormigón armado o con perfiles estructurales de acero laminado unidos por soldadura, tornillos o roblones. Su altura mínima será de 2.20 metros en zonas de paso de peatones y de 4.50 metros en los cruces de calles interiores

Las tuberías apoyadas en durmientes sobre el terreno se mantendrán limpias de maleza de modo que haya siempre espacio libre entre ellas y el suelo. Asimismo, se dejará una zona de un metro a ambos lados del haz de tuberías exenta de maleza y materias combustibles para evitar que un posible incendio de éstas afecte a las tuberías.

Las tuberías enterradas se tendrán de forma que la profundidad entre la generatriz superior de los tubos y la superficie del suelo sea al menos de 60 centímetros y en cualquier caso la suficiente para proteger la canalización de los esfuerzos mecánicos exteriores a que se encuentren sometidas, teniendo en cuenta la constitución del suelo y las protecciones adicionales utilizadas. Cuando la zanja se excave en el suelo rocoso, se hará un lecho de material blando, no corrosivo, para que no se dañen los tubos o su revestimiento. Las tuberías de acero enterradas serán protegidas contra la corrosión galvánica o por la humedad del terreno mediante revestimientos o protección catódica.

Cuando la tubería o haz de ellas atraviesa un manto acuífero bajo el nivel freático, se tomarán todas las precauciones necesarias para que no se modifiquen las condiciones exigidas por la seguridad de las tuberías, y se sujetarán éstas convenientemente para evitar su desplazamiento en cualquier sentido.

En el tendido de los haces de tuberías de líquidos inflamables y combustibles en las proximidades o cruces de líneas eléctricas de alta tensión, líneas de telégrafos, ferrocarriles, carreteras o análogas, deberán adoptarse las precauciones suplementarias adecuadas, a juicio del órgano competente de la correspondiente Comunidad Autónoma, procurando que se puedan tender, reparar o sustituir las tuberías sin interrumpir el otro servicio, y reduciendo al mínimo los riesgos que puedan existir en tales operaciones.

Se prohíbe la utilización durante más de un mes de mangueras flexibles en instalaciones donde sea posible montar tuberías rígidas. Se excluyen de esta prohibición los dispositivos de carga y descarga a granel, la alimentación de combustibles a calderas, y los conductos de distribución de productos especiales. La longitud de las mangueras utilizadas en estos casos será la más corta posible.

Las bombas de trasiegos de líquidos inflamables y combustibles y productos químicos deberán encontrarse reunidas en lo posible, formando un conjunto específico de bombeo. El suelo dispondrá de un drenaje adecuado, para eliminar eventuales derrames de productos.

Cuando por exigencias técnicas del producto y de la instalación no sea posible lo indicado en el párrafo anterior, se tomarán disposiciones complementarias que faciliten la mayor seguridad posible de la instalación y de los trabajadores. Cuando las bombas de trasiego de líquidos combustibles y comburentes y productos químicos se encuentren en el interior de locales, éstos deberán disponer de ventilación adecuada y suficiente para evitar la acumulación de vapores de líquidos inflamables y combustibles y de productos químicos. Rodeando a cada bomba habrá un canalillo, todos los cuales servirán para recoger el producto eventualmente derramado.

6.6. Tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles

Los tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles estarán diseñados acordes al código API-ASME y a la normativa MIE-APQ-1 "Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles".

El material de los accesorios y equipos de los tanques de almacenamiento debe tener características mecánicas al menos iguales a las del propio tanque, y debe proyectarse y montarse de tal modo que no exista riesgo de estar sometida a tensiones anormales en caso de dilatación o asentamiento del suelo.

No obstante, los accesorios situados sobre el techo podrán ser de materiales ligeros, siempre que no estén sometidos a esfuerzos que exijan el requisito del párrafo anterior.

Las válvulas acopladas a los tanques de líquidos inflamables y combustibles serán de acero e irán conectadas mediante tubuladuras soldadas directamente al tanque.

Las tubuladuras o conexiones entre el tanque y sus válvulas serán rígidas y su diseño corresponderá a las normas utilizadas para el tanque.

El cuerpo inferior del tanque no llevará más aberturas que las correspondientes a las bocas de inspección, limpieza, entrada y salida de productos, purga y drenaje y, si se requiere, para la línea de calentamiento. En su cubierta irán instalados los venteos abiertos de presión producida por la aspiración o impulsión del fluido que lo contenga al bombearse éste y las bocas de inspección, sondeo y niveles.

Los tanques serán sometidos a prueba hidrostática, llenos de agua, a la temperatura ambiente, la prueba se mantendrá durante el tiempo necesario para examinar el tanque y observar si existen fugas o se producen deformaciones o asentamientos del terreno que puedan suponer un riesgo en su utilización.

6.7. Capacidad de los tanques

Se definen a continuación los siguientes conceptos de capacidad:

- Capacidad nominal: Es la que figura en los planos o documentos que definen el tanque, representándose por una cifra redondeada en metros cúbicos de la capacidad geométrica.
- Capacidad total o geométrica: Es la que resulta de calcular el volumen geométrico del tanque tomando sus dimensiones reales de construcción.
- Capacidad útil: Es la que se usa en la práctica al realizar las operaciones de llenado o vaciado del tanque y es menor que la geométrica por las limitaciones debidas a la altura de la boca de extracción o a las que se impongan para evitar la toma de residuos, cavitación de bombas o rebose del producto.
- Capacidad calibrada. Es la que resulta de la aplicación de las tablas de calibración calculadas para cada tanque relacionando el volumen real con la altura del nivel del líquido contenido. Empresas especializadas y autorizadas por el órgano competente de la correspondiente Comunidad Autónoma, confeccionarán estas tablas, llevarán el visado del mismo y serán de obligada aplicación en transacciones de productos. Una copia del documento estará en poder del citado órgano competente.

Las consideraciones de capacidades de tanques y cubetos y las distancias de seguridad que se indican en estas normas se refieren siempre a la capacidad nominal, en tanto no se especifique otra cosa.

6.8. Disposición y separación de tanques de almacenamiento

Por este apartado se sobreentiende que la denominación de tanque incluye a los depósitos cilíndricos destinados para el almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles. Para el cálculo de la separación entre

tanques se tomará siempre en consideración el diámetro D del tanque mayor.

Los tanques proyectados almacenarán productos de la clase B, por lo que la distancia entre cada uno de ellos será como mínima igual al Diámetro del tanque mayor.

- **Sistemas contra incendios**

Se instalarán los siguientes sistemas de lucha contra incendios:

Sistemas fijos de hidrantes y BIE equipadas conectadas permanentemente a la red de incendio, con accionamiento manual, y diseñados conforme a la norma UNE 23400.

Sistemas móviles de espuma física contra incendios, con accionamiento manual.

6.9. Cubetos de retención

Los tanques de superficie para almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles deberán disponer de un cubeto de retención.

La capacidad del cubeto será igual al volumen máximo de líquido que puede contener el tanque de mayor tamaño dentro del cubeto.

- **Construcción y disposición de los cubetos**

La altura de los muretes, referida al nivel exterior de las vías de acceso al cubeto, no deberá sobrepasar los 0,5 metros en la mitad de la periferia del cubeto o en la totalidad de la parte del cubeto adyacente a vías de comunicación, si esta última fuese menor que la anterior.

Los cubetos deben estar rodeados, al menos, en una cuarta parte de su periferia por calles o vías interiores que deberán tener una anchura mínima de cuatro metros y una altura libre de cuatro metros y medio como mínimo.

Para evitar roturas, en particular en caso de incendio, las paredes de los cubetos estarán constituidas por muros de hormigón no combustible y con una resistencia mínima al fuego de RF-180 y resistentes a la presión de

los líquidos eventualmente derramados. Las paredes de las esquinas deberán estar reforzadas.

La pendiente del fondo de los cubetos será como mínimo del 1 por 100.

Las paredes laterales de los cubetos deben ser impermeables.

Los cubetos deben estar provistos de drenajes de aguas sin contaminar. Éstos consistirán en una tubería de 100 mm de diámetro mínimo que atraviese el murete del cubeto en el punto más bajo del mismo, provista de una válvula en la parte exterior del cubeto que estará normalmente cerrada y que permitirá la evacuación de las aguas de lluvia y las de refrigeración de los tanques a la red de aguas pluviales.

Se prohíbe el empleo permanente de mangueras flexibles. Su utilización se limitará a operaciones excepcionales de corta duración.

Las tuberías que no estén enterradas no deben atravesar más cubeto que el del tanque o los tanques a los cuales estén conectadas, Deben salir del cubeto lo más directamente posible.

El paso de las tuberías a través de las paredes de los cubetos deberá hacerse de forma que la estanqueidad quede asegurada mediante dispositivos de material incombustible. El paso a través de los muros de hormigón debe permitir la libre dilatación de las tuberías.

Las bombas para trasiego deben estar situadas al exterior de los cubetos de retención.

6.10. Instrumentación

La válvula de control será la adecuada para las condiciones de proyecto, y se procurará que quede instalada siguiendo las recomendaciones de la norma API RP 550 (1976).

Los termómetros y manómetros a instalar serán de los tipos fabricados por “*Omega*”, “*Emmerson*” o similar. Se procurará que los márgenes de medición de temperatura en los que vaya a trabajar el aparato en condiciones normales queden en el tercio central de la escala.

6.11. Características de seguridad del equipo, motores y máquinas no eléctricos, contra incendios y explosiones

Se consideraran sin riesgo de producir incendio los materiales, motores y maquinas no eléctricos siguientes:

Los motores accionados por fluidos a presión no inflamables.

Los motores de explosión cuando reúnan los siguientes requisitos:

- Uno o varios conductos aislados térmicamente y estancos, evacuando los gases de escape al exterior de las zonas de almacenamiento y proceso.
- La alimentación del aire al motor se verifica a través de un conducto estanco que aspira fuera de las zonas de almacenamiento y proceso.
- Un dispositivo de paro en caso de sobrevelocidad.
- Una instalación eléctrica de acuerdo con el apartado 7.1.

Motores de combustión interna en los que se hayan adoptado medidas y condiciones especiales en el diseño y construcción para evitar que puedan producirse durante el arranque o el funcionamiento de los mismos, en una zona de almacenamiento o proceso, los siguientes supuestos:

- La inflamación de dicha atmósfera por una de las siguientes causas: punto caliente, retorno de llama; explosión en la admisión; alta temperatura de los gases de escape.
- La aceleración del motor que pueda ocasionar su deterioro o calentamiento.

6.12. Medios generales de lucha contra incendios

La Planta Estabilizadora diseñada en este proyecto se ajusta a la perfección a la definición de industria, y como tal queda recogida en el *Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales*, según el R.D. 786/2001 de 6 de Julio.

Dicho Reglamento va a ser la base del estudio sobre la protección contra incendios que se va a llevar a cabo en este epígrafe. Sin embargo, existen otras reglamentaciones complementarias, a las que se hace referencia en el propio documento del *Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales*; la Normativa necesaria se expone a continuación:

- R.D. 2177/1996 de 4 de Octubre: Norma Básica de la Edificación NBE-CPI/96 “Condiciones de Protección contra Incendios en los Edificios”
- R.D. 1942/1993 de 5 de Noviembre, y Orden de 16 de Abril de 1998: Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios.
- ITC MIE-IPQ 1: *Reglamento de almacenamiento de productos químicos* aprobado por R.D. 379/2001, de 6 de Abril.

6.13. Protección e instalaciones para la lucha contra incendios

Protección personal

En la planta de proceso y en cualquier punto donde pueda existir el peligro de quemaduras de personal, existirán mantas ignífugas debidamente repartidas.

En un lugar adecuado de la planta existirán, para el personal encargado de la lucha contra incendios, trajes de aproximación al fuego, equipos respiratorios, pantallas anticalóricas, guantes, gafas y demás elementos protectores.

Protección de las unidades

Se asegurara por medio de dispositivos fijos o móviles que proyecten uno o varios productos extintores apropiados, tales como agua pulverizada, espuma, vapor, polvo, etc...

Las instalaciones de protección fijas de accionamiento automático, deberán de poderse accionar igualmente de manera manual, situados los mandos en un lugar debidamente alejado de la instalación que protegen.

Mando de instalaciones fijas

Los mandos de todas las instalaciones fijas de lucha contra incendios, comprendidas las válvulas de evacuación de agua fuera de los cubetos de retención, deberán estar señalizados.

Estos mandos deberán poder utilizarse en todas las circunstancias. A este efecto, deberán encontrarse al exterior de los cubetos de retención y a una distancia mínima de 25 metros de la pared del tanque que protegen.

Esta distancia podrá reducirse si los mandos están colocados al abrigo de una pantalla cortafuegos fija y eficaz, y si el personal encargado de su manejo dispone de equipos apropiados de protección contra el fuego. La pantalla cortafuego podrá estar constituida por un obstáculo incombustible.

6.14. Sistema de alarma

Puntos de alarma, para en caso de incendio avisar al servicio de seguridad, estarán repartidos de tal manera que, en ningún caso, la distancia a recorrer para alcanzar un punto superior a 25 metros, a partir de un elemento conteniendo líquidos inflamables y combustibles, excepto tuberías. Caso de no existir puntos de alarma deberán sustituirse por transmisores portátiles de radio en poder de vigilantes o personal de servicio.

6.15. Redes de drenaje

Las redes de drenaje se diseñaran para proporcionar una adecuada evacuación de los fluidos residuales, aguas de lluvia, de proceso y del servicio contra incendios.

Los materiales de las conducciones y accesorios serán adecuados para resistir el posible ataque químico de los productos que deban transportar.

El tamaño mínimo de las tuberías subterráneas será de 100 milímetros y la profundidad mínima de enterramiento, sin protección

mecánica, debe ser de 600 milímetros medidos desde la generatriz superior de la tubería de drenaje hasta el nivel del terreno.

En los cruces de las calles o zonas donde circulen vehículos pesados, las tuberías de drenaje se situaran a una profundidad mayor o se protegerán adecuadamente para evitar su posible rotura. La protección podrá realizarse con manguitos.

Las redes de drenaje permitirán separar, por una parte, las aguas contaminadas, las cuales deben sufrir un tratamiento de depuración, y por otra, las aguas no contaminadas.

Las aguas de proceso que vayan acompañadas de ciertos productos químicos contaminantes nocivos deberán sufrir un tratamiento previo antes de pasar al sistema de drenaje.

La entrada de los líquidos contaminados a las redes de drenaje se efectuara a través de sumideros. Las redes de drenaje de aguas contaminadas deberán disponer de sifones para evitar la salida de gases y verterán a las instalaciones de depuración.

Las redes de aguas no contaminadas deberán poder aislarse de su punto de vertido normal y conectarse bien a un estanque de reserva, bien a una instalación de depuración cuando estas aguas puedan estar accidentalmente contaminadas.

Los drenajes deberán construirse de manera que no se produzcan filtraciones al suelo y su diseño debe permitir una limpieza fácil de depósitos y sedimentos.

La red deberá ser accesible para su limpieza con arquetas espaciadas, como máximo, cada 30 metros, para permitir la limpieza de la línea. En todos los cambios de dirección y conexiones con ángulos mayores de 45° existirán arquetas.

Todas ellas tendrán cierre hidráulico por salida a nivel superior que la entrada para evitar la posible propagación de fuego y poseerán tubos de ventilación que descargaran como mínimo a tres metros por encima de la superficie, evitando interfieran con instalaciones o pasos de circulación.

Se preverán puntos de limpieza en la cabeza de todos los ramales de la red para facilitar la limpieza de la misma.

Los drenajes de los tanques de almacenamiento irán conectados a la red de drenaje de aguas residuales, y deberán disponer de válvulas de bloqueo exteriores al cubeto del tanque.

6.16. Normas de explotación

- **Manual de Seguridad**

Sin perjuicio de las disposiciones reglamentarias correspondientes a la higiene y seguridad de los trabajadores, se establecerá un manual general de seguridad para la planta.

Dicho manual de seguridad incluirá:

- Normas básicas de seguridad.
- Protección contra incendios.
- Normas generales de seguridad en trabajos de mantenimiento y conservación.
- Normas generales de seguridad para trabajos de operación de unidades.
- Normas generales de seguridad para el manejo de productos químicos, líquidos inflamables y combustibles y otros, tales como materias auxiliares.

El citado manual fijará el comportamiento a observar en el recinto de la planta.

Tratará en especial del material de protección individual y de las normas generales que deberán seguirse en caso de accidente o incendio.

Este manual deberá entregarse al personal, quien dará cuenta por escrito de su recepción.

Los visitantes recibirán, igualmente, una nota-extracto de las cláusulas del mismo, que deberán seguir durante su estancia en el recinto de la refinería.

- Normas particulares

Independientemente de las normas generales incluidas en el manual de seguridad, se prepararan normas particulares de actuación correspondientes a una operación o trabajo bien definido, indicando el objeto y naturaleza del trabajo a realizar, lugar, atmósfera, ambiente, etc.

Se referirá en especial a las operaciones y maniobras que, no pudiendo ser ejecutadas con seguridad mas que después de la realización de condiciones particulares, necesitan de autorizaciones especiales para su ejecución. Estas autorizaciones se extenderán por escrito en impresos en los que se precise el trabajo a efectuar y las precauciones a tomar para garantizar la seguridad. Deberán ir firmadas por las personas responsables designadas por el director del centro de trabajo, y podrán ser suspendidas si se produjese algún cambio en las condiciones de trabajo previstas.

- Normas particulares para las empresas de servicios

El personal de empresas de servicios trabajando en el recinto de la planta se someterá a las normas de seguridad en vigor en la misma.

Un resumen de las normas se remitirá contra recibo al representante de la empresa de servicios, así como a todos los capataces y encargados de las mismas, los cuales deberán informar a su personal sobre dichas normas, exigiendo su estricto cumplimiento y aplicación, así como seguir cualquier indicación de la dirección del centro de trabajo.

- Observaciones de las normas

Las normas deberán ser mantenidas al día.

Las normas permanentes estarán a disposición del personal en los locales de trabajo, talleres, salas de control de unidades de producción, oficinas, etc.

Todo el personal de la empresa velara por su aplicación.

Las normas provisionales se fijaran en los tableros de anuncios del centro de trabajo.

Las normas particulares se remitirán al personal afectado, el cual dará cuenta, por escrito, de su recepción.

- Normas de seguridad de operación

Para la planta de proceso o instalación auxiliar existirá un "manual de operación" con las normas que describan detalladamente la forma de realizar con seguridad las siguientes operaciones:

- Puesta en marcha de la instalación.
- Marcha normal.
- Paradas.
- Instrucciones para dejar la instalación, total o parcialmente, en condiciones de seguridad para su inspección y mantenimiento.

- Inspecciones

La planta dispondrá de un plan de inspecciones periódicas que será objeto de aprobación específica por el órgano competente de la correspondiente CCAA, en el que se tendrán en cuenta la respectivas Reglamentaciones existentes para los aparatos, equipos e instalaciones incluidas en las mismas y sus características.

CAPÍTULO 7: CONDICIONES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS

7.1. Instalaciones, materiales y equipos eléctricos

Todas las instalaciones, materiales y equipos eléctricos cumplirán las exigencias de los reglamentos electrotécnicos de alta y baja tensión que les afecten.

La acometida general para el suministro de energía eléctrica podrá ser una línea eléctrica aérea, siempre que no atraviesen ninguna "área de instalación" de las definidas con anterioridad.

La protección contra efectos de la electricidad estática y las corrientes que puedan producirse por alguna anomalía se establecerá mediante las puestas a tierra de todas las masas metálicas.

Para la protección contra el rayo y las corrientes de circulación las puestas a tierra deberán cumplir lo establecido en la normativa vigente.

7.2. Alumbrado

La iluminación general de las instalaciones cumplirá las exigencias de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

El sistema de alumbrado se diseñará de forma que proporcione una distribución y un nivel de iluminación razonablemente uniforme.

CAPÍTULO 8: NORMATIVA APLICADA

- Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995, de 8 de noviembre, publicada en el B.O.E. nº 269, de 10 de noviembre de 1995.
- R.D. 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- R.D. 485/1997, de 14 de abril, sobre las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- R.D. 486/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- R.D. 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.
- R.D. 1215/1997 de 18 de julio, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- R.D. 1435/1992, de 27 de noviembre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la directiva del Consejo 89/392/CE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre máquinas y R.D. 56/1997, de 20 de enero, que modifica el R.D. 1435/1992.
- R.D. 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- R.D. 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.
- Decreto 3565/1972 del 23 de diciembre por el que se establecen las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE).

- Decreto por el que se establecen las Normas Básicas en la Edificación (NBE).
- R.D. 2661/1.998 de 11 de diciembre, por el que se establece la Instrucción de Hormigón Estructural (E.H.E).
- Normativa U.N.E.
- Decreto 2413/1973 del 20 de septiembre por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- **Real Decreto 1244/1979** del 4 de abril por el que se aprueba el Reglamento de aparatos a Presión.
- **Real Decreto 668/1980** del 8 de febrero sobre almacenamiento de productos químicos.
- **Instrucción técnica complementaria MIE-APQ 1** sobre “Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles”.
- Orden del 31 de mayo de 1982 por la que se aprueba la ITC MIE-AP5 sobre extintores de incendios.
- **Orden de 16 de abril de 1998** del Ministerio de Industria, sobre normas de procedimientos y desarrollo del R.D. 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de protección contra incendios y se revisa el anexo I y los apéndices del mismo.
- **Real Decreto 786/2001**, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- **Real Decreto Legislativo 5/2000**, de 4 de agosto, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Infracciones de Orden Social.
- Convenio colectivo Provincial de la construcción.
- Ordenanzas municipales en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- **Reglamento (CE) 1907/2006** del Parlamento Europeo y el Consejo, de 18 de diciembre, relativo al registro, la evaluación, la

autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH).

- **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.

DOCUMENTO 4:
PRESUPUESTO

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 2: ESTADO DE MEDICIONES	3
2.1. Unidades del proceso	3
2.2. Presupuestos parciales.....	4
2.3. Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.)	5
2.4. Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.)	6
2.5. Presupuesto General.....	6
CAPÍTULO 3: COSTES GENERALES.....	7
3.1. Coste de la alimentación al sistema	8
3.2. Coste de los servicios auxiliares	8
3.2.1. Consumo de agua de condensando	8
3.2.2. Consumo de agua de refrigeración.....	8
3.2.3. Consumo de electricidad	9
3.3. Resumen	9
CAPÍTULO 4: INGRESOS GENERALES.....	9
4.1. Valor de la alimentación a la planta de hidrogeno.....	9
4.2. Valor de la alimentación a la planta de benceno.....	9
4.3. Ingresos obtenidos por la producción de vapor	9
4.4. Resumen	10
CAPÍTULO 5: ESTUDIO ECONÓMICO	11
5.1. Beneficio bruto anual	11
5.2. Beneficio neto anual.....	11
5.3. Tasa de retorno	11
5.4 Tiempo de amortización.....	12
5.5 Consideraciones sobre los puntos 5.3 y 5.4	12

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Este documento tiene como objetivo la estimación del presupuesto general de ejecución del proyecto “Diseño de una columna estabilizadora para tratar los productos de reacción resultantes del proceso de hidrodésalquilación térmica”. Para ello, se va a tener en cuenta únicamente el coste de compra, montaje e instalación de las unidades principales del proceso.

En primer lugar se determinará el Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.) en el Capítulo 2, que hace referencia al precio del equipo montado en la planta. A continuación, se incluirá el Beneficio Industrial (6% P.E.M) y los Gastos Generales (13% P.E.M) de manera que obtengamos el valor del Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.), al cual por último habrá que añadirle el Impuesto del Valor Añadido del 18 %.

En el Capítulo tercero, se llevará a cabo un análisis simple del gasto anual que supone el funcionamiento del proceso, teniendo en cuenta los costes de fabricación (entradas de materias primas y consumo de electricidad de las bombas) asociados al funcionamiento del proceso.

Por último, para comprobar la viabilidad económica de la planta, se realizará en el cuarto Capítulo del presente documento un estudio económico considerando tanto los beneficios como la rentabilidad y el periodo necesario para la amortización de la línea de producción proyectada.

CAPÍTULO 2: ESTADO DE MEDICIONES

2.1. Unidades del proceso

Tabla 2.1 Unidades principales

DESCRIPCIÓN	UNIDADES
Intercambiador de carcasa y tubos 1-2, tipo AKT. Carcasa de acero al carbono SA-285 con un diámetro interior de 1,422 m y 76,30 mm de espesor. Tubos de 4,88 m de longitud construidos en acero inoxidable AISI TP316L con un diámetro externo de 0,0191m y un espesor de 12 BWG	1
Intercambiador de carcasa y tubos 1-2 tipo AKT. Carcasa de acero al carbono SA-285 con un diámetro interior de 1,067 m y 14,30 mm de espesor. Tubos de 4,88 m de longitud construidos en acero inoxidable AISI TP316L con un diámetro externo de 0,0191m y un espesor de 12 BWG	1
Intercambiador de carcasa y tubos 1-2 tipo AKT. Carcasa de acero al carbono SA-285 con un diámetro interior de 1,524 m y 7,90 mm de espesor. Tubos de 4,88 m de longitud construidos en acero inoxidable AISI TP316L con un diámetro externo de 0,0191m y un espesor de 12 BWG	1
Intercambiador de carcasa y tubos 1-1 tipo AJW. Carcasa de acero inoxidable SA-240 AISI 316 con un diámetro de 1,569 m y 23,80 mm de espesor. Tubos de 4,88 m de longitud construidos en acero inoxidable AISI TP316 con un diámetro externo de 0,0191m y un espesor de 13 BWG	1
Separador de fases gas-líquido horizontal construido en acero inoxidable SA-240 AISI 316 de 16m de longitud con un diámetro de 3,2 m, fondos del tipo hemisférico y un espesor de 63,50 mm.	1
Columna estabilizadora construida con acero inoxidable SA-240 AISI 316 de 2,134 m de diámetro, 5,6 m de altura y un espesor de 4,8 mm. Formada internamente por 5 platos de campana de borboteo construidos del mismo material, con un espesor de plato de 4 mm	1
Intercambiador de carcasa y tubos 1-2 tipo AKT. Carcasa de acero inoxidable SA-240 AISI 316 con un diámetro interior de 1,067 m y 4,80 mm de espesor. Tubos de 4,88 m de longitud construidos en acero inoxidable AISI TP316 con un diámetro externo de 0,0191m y un espesor de 12 BWG	1
Intercambiador de carcasa y tubos 1-2 tipo AES. Carcasa de acero inoxidable SA-240 AISI 316 con un diámetro de 0,5334m y 4,80 mm de espesor. Tubos de 4,88 m de longitud construidos en acero inoxidable AISI TP316 con un diámetro externo de 0,0254m y un espesor de 12 BWG	1
Tanque de almacenamiento de producto horizontal de tipo pantalla flotante interna. Construido de acero inoxidable SA-240 AISI 316 de 30,48 m de diámetro y 12,19 m de altura con un espesor de 38,10 mm.	2

Tabla 2.2 Bombas de proceso

DESCRIPCIÓN	UNIDADES
Bomba Centrífuga B&G de la serie 1510 tipo 4BC 1750 rpm y motor de 15 cv	2

2.2. Presupuestos parciales

Tabla 2.3 Presupuesto Unidades principales

UNIDAD	UNIDADES	PRECIO UNITARIO (€)	PRESUPUESTO PARCIAL (€)
Ev-1	1	650.500	650.500
Ev-2	1	295.000	295.000
Ev-2	1	860.100	860.100
Cond-1	1	385.250	385.250
SP-1	1	702.991	702.991
CE-1	1	546.744	546.744
Reb-1	1	335.350	335.350
IC-1	1	69.000	69.000
TANQUE	2	1.518.650	3.037.300

Tabla 2.4 Presupuesto bombas de proceso

UNIDAD	UNIDADES	PRECIO UNITARIO (€)	PRESUPUESTO PARCIAL (€)
Bomba Centrífuga B&G de la serie 1510 tipo 4BC 1750 rpm y motor de 15 cv	2	3.200	6.400

2.3. Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.)

El Presupuesto de Ejecución Material se calcula mediante la suma del coste de las unidades principales y las bombas de proceso (El coste de montaje va incluido en el precio de las distintas partidas).

Tabla 2.5 Presupuesto de Ejecución Material

PARTIDAS	COSTE (€)
Unidades principales	6.882.235
Bombas	6.400
<u>P.E.M.</u>	6.888.635

EL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL DEL PRESENTE PROYECTO LLAMADO “Diseño de una columna estabilizadora para tratar los productos de reacción resultantes del proceso de hidrodessalquilación térmica” ASCIENDE A LA CANTIDAD DE **SEIS MILLONES OCHOCIENTOS OCHENTA Y OCHO MIL SEISCIENTOS TREINTA Y CINCO**.

2.4. Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.)

El Presupuesto de Ejecución por Contrata es el resultado de aplicar el beneficio industrial (6%), los gastos generales (13%) y el I.V.A (18%) al P.E.M.

Tabla 2.6 Presupuesto de Ejecución por Contrata

PARTIDAS	COSTE (€)
P.E.M	6.888.635
Beneficio industrial (6%)	414.318,1
Gastos generales (13%)	895.522,55
I.V.A. (18%)	1.239.954,3
<u>P.E.C.</u>	9.438.429,95

EL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA DEL PRESENTE PROYECTO LLAMADO “Diseño de una columna estabilizadora para tratar los productos de reacción resultantes del proceso de hidrodessalquilación térmica” ASCIENDE A LA CANTIDAD DE **NUEVE MILLONES CUATROCIENTOS TREINTA Y OCHO MIL CUATROCIENTOS VEINTE Y NUEVE con NOVEINTA Y CINCO CENTIMOS**.

2.5. Presupuesto General

Tabla 2.6 Presupuesto de Ejecución por Contrata

PARTIDAS	COSTE (€)
P.E.M	6.888.635
<i>P.E.C.</i>	9.438.429,95
Honorarios Ing. Químico (4% P.E.M)	275545,40
I.V.A Honorarios (18%)	49598,17
<i>Presupuesto General</i>	9.763.573,52

EL PRESUPUESTO GENERAL DEL PRESENTE PROYECTO LLAMADO “Diseño de una columna estabilizadora para tratar los productos de reacción resultantes del proceso de hidrodesealquilación térmica” ASCIENDE A LA CANTIDAD DE **NUEVE MILLONES SETECIENTOS SESENTA Y TRÉS MIL QUINIENTOS SETENTA Y TRÉS con CINCUENTA Y DOS CENTIMOS.**

Puerto Real, Julio 2011

Fdo. Miguel Felipe Alcántara

CAPÍTULO 3: COSTES GENERALES

Dentro de los costes generales van a entrar:

- Coste de la alimentación al sistema.
- Costes de servicios auxiliares.
 - Agua de condensando en sus distintas presiones
 - Agua de refrigeración
 - Electricidad consumida por el sistema de bombeo

3.1. Coste de la alimentación al sistema

La alimentación que entra al sistema se compone de una mezcla de hidrógeno, metano, tolueno, benceno y difenilo, la refinería de CEPSA en San Roque (Cádiz) le da a esta corriente intermedia un precio de 797 €/tm:

Tabla 3.1 Coste de la alimentación

Consumo horario (kg/h)	Consumo anual (tm/año)	Coste Unitario (€/tm)	Coste anual (€/año)
173.214,0554	1.371.855,319	797	1.093.368.689

3.2. Coste de los servicios auxiliares

3.2.1. Consumo de agua de condensando

El coste de consumir agua de condensando en sus distintas presiones para cada evaporador es el siguiente:

Tabla 3.2 Coste del agua de condensando

Unidad	Consumo horario (kg/h)	Consumo horario (m³/h)	Consumo anual (tm/año)	Coste Unitario (€/tm)	Coste anual (€/año)
Ev-1	97643,7309	125,1323	773.338,349	3,16	2.443.749,18
Ev-2	20316,8470	22,8440	160.909,428	3,16	508.473,79
Ev-3	31160,6122	32,5240	246.792,049	3,16	779.862,87

3.2.2. Consumo de agua de refrigeración

El coste de consumir agua de refrigeración es el siguiente:

Tabla 3.3 Coste del agua de refrigeración

Unidad	Consumo horario (kg/h)	Consumo horario (m ³ /h)	Consumo anual (m ³ /año)	Coste Unitario (€/m ³)	Coste anual (€/año)
Cond-1	502,115	502,3082	3.978.280,944	1,29	5.131.982,42

3.2.3. Consumo de electricidad

El motor de la bomba B-1 tiene una potencia de 15 cv (11,19 kW), por lo tanto sabiendo que el precio del kWh industrial es igual a 0,1252 €/kWh y para un funcionamiento de la bomba de 24 h/día y 330 días/año se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3.4 Coste del agua de condensando

Unidad	Consumo diario (kWh/día)	Consumo anual (kWh/año)	Coste Unitario (€/kWh)	Coste anual (€/año)
B-1	268,56	88624,8	0,1252	11095,83

3.3. Resumen

El coste anual de operación de la planta va a ser la suma de los calculados en los distintos apartados predecesores, siendo igual a:

$$C = 1.093.368.689 + 2.443.749,18 + 508.473,79 + 779.862,87 + 5.131.982,42 + 11095,83$$

$$C = 1.102.243.853,10 \text{ €}$$

CAPÍTULO 4: INGRESOS GENERALES

Los ingresos obtenidos en la planta van a venir procedidos de tres apartados principales:

- Valor de la alimentación a la planta de hidrógeno.
- Valor de la alimentación a la planta de benceno.
- Producción de vapor:
 - Alta presión.
 - Media presión.
 - Baja presión.

4.1. Valor de la alimentación a la planta de hidrogeno

A esta corriente, la refinería CEPSA de San Roque (Cádiz) le da un valor de 1150 €/tm, por lo tanto:

Tabla 4.1 Ingresos alimentación a planta de hidrógeno

Producción horaria (kg/h)	Producción anual (tm/año)	Valor Unitario (€/tm)	Ingreso anual (€/año)
36.866,0778	291.979,3362	1150	335.776.236,60

4.2. Valor de la alimentación a la planta de benceno

A esta corriente, la refinería le da un valor de 718 €/tm por lo tanto:

Tabla 4.2 Ingresos alimentación a planta de benceno

Producción horaria (kg/h)	Producción anual (tm/año)	Valor Unitario (€/tm)	Ingreso anual (€/año)
135.342	1.071.908,64	718	769.630.403,50

4.3. Ingresos obtenidos por la producción de vapor

La producción de vapor reporta los ingresos en sus diferentes modalidades que se pueden consultar en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Ingresos debidos a la producción de vapor

Tipo de vapor	Producción horaria (kg/h)	Producción horaria (m³/h)	Producción anual (tm/año)	Valor Unitario (€/tm)	Ingreso anual (€/año)
Alta P.	97.643,7309	4344,3153	773.338,349	29,66	22.937.215,43
Media P.	20.316,8470	3914,1952	160.909,428	25,53	4.108.017,70
Baja P	31.160,6122	53142,7357	246.792,049	24,92	6.150.057,86

4.4. Resumen

Los ingresos totales son iguales a la suma de los que se han calculado en los apartados anteriores y por tanto:

$$I = 335.776.236,60 + 769.630.403,50 + 22.937.215,43 + 4.108.017,70 + 6.150.057,86$$

$$I = 1.138.601.931,10 \text{ €}$$

CAPÍTULO 5: ESTUDIO ECONÓMICO

5.1. Beneficio bruto anual

En este punto se va a proceder a llevar a cabo el cálculo del beneficio bruto actual, el cual coincide con la siguiente ecuación:

$$R=I-C \quad \text{Ec. 5.1}$$

$$R = 1.138.601.931,10 \text{ €} - 1.102.243.853,10 \text{ €} = 36.358.078 \text{ €}$$

5.2. Beneficio neto anual

El beneficio neto anual se calcula a través de la siguiente expresión:

$$P=R-e \cdot I_f - (R-d \cdot I_f) \cdot t \quad \text{Ec. 5.2}$$

Dónde:

P= Beneficio neto anual (€).

R= Beneficio bruto anual (€).

e= Factor de amortización (€/€ año).

I_f= Valor del capital inmovilizado (Este factor coincide con el P.E.C y por lo tanto es igual a 9.438.429,95 €).

d= Factor anual de pérdida de depreciación del inmovilizado (€/€ año).

t= término debido a los impuestos (€/ € ganado).

Para el cálculo de esta expresión vamos a considerar que:

$$e=d=0,1 \text{ y } t=0,5 \text{ [Jiménez Gutiérrez, 2003]}$$

Por lo tanto el beneficio neto anual será:

$$P = 36.358.078 \text{ €} - 0,1 \frac{\text{€}}{\text{€}} \cdot 9.438.429,95 - \left(36.358.078 - 0,1 \frac{\text{€}}{\text{€}} \cdot 9.438.429,95 \right) \cdot 0,1 \frac{\text{€}}{\text{€}}$$
$$P=17.707.117,50 \text{ €}$$

5.3. Tasa de retorno

La tasa de retorno se evalúa como el cociente entre el beneficio neto y la inversión.

$$ROI = \frac{P}{I_f} = \frac{17.707.117,50 \text{ €}}{9.438.429,95 \text{ €}} \cdot 100 = 187,61\%$$

5.4 Tiempo de amortización

El tiempo de amortización se calcula como el cociente entre el capital fijo invertido y el beneficio neto anual:

$$t_{amort} = \frac{I_f}{P} = \frac{9.438.429,95 \text{ €}}{17.707.117,50 \text{ €/año}} = 0,53 \text{ años}$$

5.5 Consideraciones sobre los puntos 5.3 y 5.4

Como se ha podido ver en los apartados 5.3 y 5.4 el proceso es claramente muy rentable, pero esto es principalmente debido a que sólo se está considerando una parte de la planta y a que el capital fijo no incluye tuberías, válvulas, accesorios ni instrumentación.

Para un estudio más exhaustivo habría que realizarlo considerando el proceso global de hidrodesealquilación térmica, añadiéndole los costes anuales de gestión, los de mano de obra directa e indirecta y por último los comerciales.

