

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

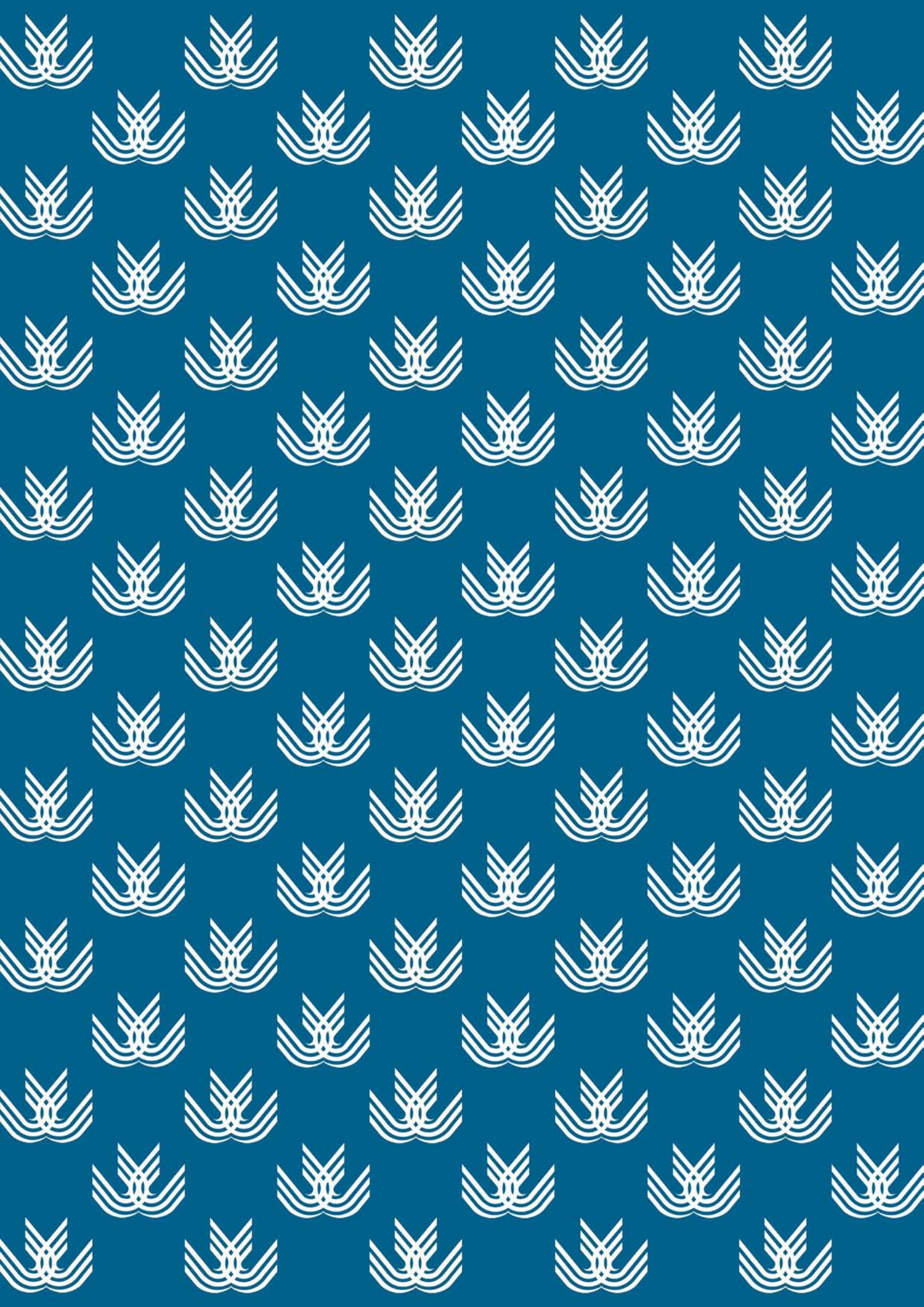
Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de un splitter para la separación  
de una mezcla de propano-propileno

Autora: Silvia IGLESIAS LOZANO

Fecha: Marzo 2009





## ÍNDICE

### DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA

	Página
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVO DEL PROYECTO.....	5
3. ALCANCE DEL PROYECTO .....	6
4. SITUACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	9
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	10
6. DATOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE LA UNIDAD.....	12
7. MÉTODO DE DISEÑO EMPLEADO: MCCABE-THIÈLE .....	13
8. DESCRIPCIÓN DEL SPLITTER .....	14
8.1. SPLITTER.....	14
8.1.1. Datos de proceso del splitter.....	14
8.1.2. Selección del tipo de unidad .....	14
8.1.3. Materiales .....	14
8.1.4. Descripción detallada del splitter .....	15
8.2. DISEÑO DE LOS PLATOS .....	18
8.2.1. Diseño de los platos.....	18
8.2.2. Tipos de platos.....	19
9. DESCRIPCIÓN DEL CALDERÍN DEL SPLITTER .....	27
9.1. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL INTERCAMBIADOR .....	27
10. DESCRIPCIÓN DEL CONDENSADOR DEL SPLITTER .....	29
11. DESCRIPCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ACONDICIONAR LA ALIMENTACIÓN .....	31
12. INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ENFRIAR PRODUCTO DE COLAS.....	33
13. ACUMULADOR DE REFLUJO.....	35
13.1. CONSIDERACIONES GENERALES DEL RECIPIENTE.....	35
13.2. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	35
14. ESFERAS DE ALMACENAMIENTO.....	36
14.1. CONSIDERACIONES GENERALES .....	36
14.2. DIMENSIONAMIENTO .....	37
15. DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS .....	38

15.1.	TUBERÍAS PRINCIPALES DE LA UNIDAD .....	38
	CORRIENTE .....	39
	SERVICIO .....	39
15.2.	SELECCIÓN DE LAS BRIDAS PARA LAS TUBERÍAS .....	41
15.3.	ACCESORIOS UTILIZADOS EN ESTA UNIDAD .....	41
16.	BOMBAS .....	43
17.	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL .....	44
17.1.	CONTROL DE PROCESOS .....	44
	17.1.1. Instrumentación asociada al splitter .....	44
	17.1.2 Instrumentación asociada a los intercambiadores de calor.....	45
	17.1.3. Instrumentación asociada a los tanques de almacenamiento y al acumulador de reflujo.....	45
	17.1.4. Instrumentación asociada a la línea que une el tanque de almacenamiento de la alimentación y el intercambiador de calor que acondiciona la alimentación.....	46
17.2	VÁLVULAS DE SEGURIDAD .....	46
17.3	VÁLVULAS AUXILIARES.....	47
	17.3.1. Válvulas de compuerta.....	47
	17.3.2 Válvulas de retención.....	47

## ANEXOS A LA MEMORIA

1.	CÁLCULO DEL SPLITTER .....	50
1.1.	BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO .....	50
	1.1.1 Alimentación al splitter .....	53
	1.1.2 Corriente de destilado y colas.....	53
	1.1.3 Corrientes de líquido y vapor en la zona de rectificación del splitter.....	54
	1.1.4 Corrientes de líquido y vapor en la zona de agotamiento del splitter.....	55
	1.1.5 Cálculo gráfico de la curva de equilibrio propano – propileno .....	55
1.2	CÁLCULO DEL NÚMERO DE PLATOS DEL SPLITTER .....	56
	1.2.1 Cálculo del número teórico de platos.....	56
	1.2.2 Cálculo del número real de platos.....	57
1.3	DISEÑO DE LOS PLATOS .....	59
	1.3.1 Cálculo de las perforaciones .....	60
	1.3.2 Cálculo del diámetro de la torre .....	60
	1.3.3. Cálculo de la caída de presión en seco ( $h_D$ ) .....	66
	1.3.4 Cálculo de la cabeza hidráulica, $h_L$ .....	68
	1.3.5 Cálculo de la caída de presión residual, $h_R$ .....	69
	1.3.6 Cálculo de la caída de presión total en el gas, $h_G$ .....	70

1.3.7.	Cálculo de la pérdida de presión a la entrada del líquido, $h_2$ .....	70
1.3.8	Cálculo del retroceso en el vertedero, $h_3$ .....	70
1.3.9	Cálculo de la verificación sobre la inundación del plato .....	71
1.3.10	Cálculo del arrastre .....	71
1.3.11	Cálculo de la velocidad de lloriqueo.....	72
1.4	CÁLCULO DEL ESPESOR Y PESO DE LA COLUMNA.....	72
1.4.1	Cálculo de los espesores de la columna; Virola y fondos .....	72
1.4.2	Cálculo del espesor final de la columna.....	73
1.4.3	Cálculo del peso de la columna .....	73
2.	DISEÑO DEL CALDERÍN.....	78
2.1	CONSIDERACIONES PREVIAS.....	78
2.1.1	Detalles de construcción .....	78
2.2	MÉTODOS DE CÁLCULO.....	78
2.3	CÁLCULOS GENERALES DE DISEÑO .....	79
2.3.1	Datos de la corriente de entrada.....	79
2.3.2	Datos de la corriente del fluido calefactor .....	79
2.3.3	Cálculo del calor de vaporización .....	80
2.3.4	Cálculo caudal másico fluido calefactor .....	81
2.4	DISEÑO TÉRMICO DEL INTERCAMBIADOR.....	82
2.4.1	Calculo $\Delta T_{ml}$ (incremento temperatura media logarítmica) .....	82
2.4.2	Coeficiente global de transmisión de calor, U .....	83
2.5	DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE. DIMENSIONAMIENTO.....	83
2.5.1	Cálculo del área total de intercambio.....	83
2.5.2	Diseño de los tubos.....	84
2.6	PÉRDIDAS DE CARGA .....	88
2.6.1	Pérdida de carga en el lado de los tubos.....	89
2.6.2.	Pérdida de carga en el lado de la carcasa .....	91
2.7	AISLAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	93
3.	DISEÑO DEL CONDENSADOR .....	97
3.1	MÉTODOS DE CÁLCULO .....	97
3.2	CÁLCULOS GENERALES DE DISEÑO .....	97
3.2.1	Datos de la corriente de entrada.....	97
3.2.2	Datos de la corriente del fluido refrigerante .....	98
3.2.3	Cálculo del calor de condensación:.....	98
3.2.4	Cálculo caudal másico fluido refrigerante .....	99
3.3	DISEÑO TÉRMICO .....	99
3.3.1	Calculo $\Delta T_{ml}$ (incremento temperatura media logarítmica) .....	99
3.3.2	Coeficiente global de transmisión de calor, U .....	100
3.4	DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE. DIMENSIONAMIENTO.....	100
3.4.1	Cálculo del área total de intercambio.....	100

3.4.2	Diseño de los tubos.....	100
3.5	PÉRDIDAS DE CARGA .....	104
3.5.1	Pérdida de carga en el lado de los tubos .....	104
3.5.2	Pérdida de carga en el lado de la carcasa .....	104
3.6	AISLAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	106
4.	INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ACONDICIONAR LA ALIMENTACIÓN .....	108
4.1	MÉTODOS DE CÁLCULO .....	108
4.2	CÁLCULOS GENERALES DE DISEÑO .....	108
4.3.	DISEÑO TÉRMICO.....	109
4.4	DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE. DIMENSIONAMIENTO.....	109
5.	INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ENFRIAR PRODUCTO DE COLAS.....	111
5.1	MÉTODOS DE CÁLCULO .....	111
5.2	CÁLCULOS GENERALES DE DISEÑO .....	111
5.3.	DISEÑO TÉRMICO.....	112
5.4	DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE. DIMENSIONAMIENTO.....	112
6.	ACUMULADOR DE REFLUJO.....	114
7.	ESFERAS PARA EL ALMACENAMIENTO .....	117
8.	BOMBAS.....	121
8.1	CÁLCULO GENERAL .....	121
8.2	CÁLCULO ESPECÍFICO.....	123
9.	TUBERÍAS, BRIDAS Y ACCESORIOS.....	127
9.1	CONSIDERACIONES PREVIAS.....	127
9.1.1	Normalización de la tuberías.....	127
9.1.2	Dimensiones .....	127
9.2	CÁLCULO DE LAS TUBERÍAS.....	129
9.2.1	Tuberías principales de la unidad .....	130
9.2.2	Cálculo del diámetro óptimo de las tuberías. ....	131
9.2.3	Comprobación de los espesores de las tuberías .....	137
9.2.4	Aislamiento térmico de las tuberías .....	142
9.3	BRIDAS Y ACCESORIOS.....	143
9.3.1	Bridas.....	143
9.3.2	Selección de bridas.....	144

## DOCUMENTO Nº 2: PLANOS

- PLANO Nº 1: SITUACIÓN
- PLANO Nº 2: IMPLANTACIÓN
- PLANO Nº 3: DIAGRAMA DE FLUJO
- PLANO Nº 4: SPLITTER
- PLANO Nº 5: INTERCAMBIADORES DE CALOR
- PLANO Nº 6: ACUMULADOR DE REFLUJO

## DOCUMENTO Nº 3: PLIEGO DE CONDICIONES

1.	OBJETIVO.....	1
2.	DISPOSICIONES GENERALES .....	1
	2.1 CONTRADICCIONES, OMISIONES O ERRORES.....	1
	2.2 TRABAJOS PREPARATORIOS .....	1
	2.2.1. Comprobación del replanteo .....	2
	2.2.2 Fijación de los puntos de replanteo.....	2
	2.2.3 Programación de los trabajos .....	3
	2.3 PLAZOS DE EJECUCIÓN .....	3
	2.4 DESARROLLO Y CONTROL DE LOS TRABAJOS .....	3
	2.4.1 Equipos de maquinaria .....	3
	2.4.2 Ensayos .....	4
	2.4.3 Materiales .....	4
	2.4.4. Acopios .....	6
	2.4.5. Trabajos nocturnos .....	7
	2.4.6 Accidentes de trabajo.....	7
	2.4.7 Descanso en los días festivos.....	8
	2.4.8 Trabajos defectuosos o no autorizados .....	8
	2.4.9 Señalización de las obras .....	8
	2.4.10 Precauciones especiales .....	8
	2.4.11. Personal técnico.....	9
	2.5 MEDICIÓN DE OBRAS.....	10
	2.6. CERTIFICACIONES.....	10
	2.6.1. Precio unitario .....	10
	2.6.2. Partidas alzadas.....	11
	2.6.3. Instalaciones y equipos de maquinaria .....	11
	2.7. LEGISLACIÓN SOCIAL .....	11
	2.8. GASTOS DE CUENTA DEL CONTRATISTA .....	11
	2.9. INGENIERO DIRECTOR DE OBRAS. FUNCIONES.....	12
	2.10. RECEPCIONES, GARANTÍAS Y OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA.....	13
	2.10.1 Recepción provisional.....	13
	2.10.2 Plazo de garantía.....	14
	2.10.3 Recepción definitiva .....	14

2.10.4	Prescripciones particulares .....	15
3.	CONDICIONES DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS.....	16
3.1.	REFERENCIAS Y NORMATIVAS.....	16
3.2.	CONDICIONES PARA LOS MATERIALES .....	17
3.2.1.	Condiciones generales para los materiales .....	17
3.2.2.	Condiciones para las tuberías y tubos de los intercambiadores de calor.....	18
3.2.3.	Condiciones para las bridas.....	18
3.2.4.	Condiciones para los accesorios soldables .....	19
3.2.5.	Condiciones para las válvulas.....	19
3.2.6.	Condiciones para las juntas .....	19
3.2.7.	Condiciones de las placas de fabricación de los equipos .....	19
3.2.8.	Condiciones para las soldaduras .....	20
3.3.	CONDICIONES PARA LOS EQUIPOS.....	20
3.3.1.	Condiciones para los intercambiadores de calor y tanques .....	20
3.3.2.	Condiciones para las bombas.....	21
3.3.3.	Condiciones para los equipos reutilizados .....	21
3.4.	CONDICIONES SOBRE INSTALACIONES AUXILIARES .....	22
3.4.1.	Condiciones sobre pintura y preparación de superficies.....	22
3.4.2.	Condiciones para los aislamientos.....	22
3.4.3.	Condiciones para las purgas y venteos .....	23
3.4.4.	Condiciones para la instrumentación .....	23
4.	EQUIPOS A PRESIÓN. DISPOSICIONES GENERALES.....	24
4.1	REFERENCIAS Y NORMATIVAS.....	24
4.2	DEFINICIONES GENERALES.....	24
4.2.1	Aparatos sometidos a presión .....	24
4.2.2	Tuberías.....	25
4.2.3	Sistemas .....	25
4.2.4	Diseño mecánico.....	25
4.2.5	Ingeniería .....	25
4.2.6	Fabricante .....	26
4.2.7.	Reparador .....	26
4.2.8	Instalador .....	26
4.2.9	Usuario.....	26
4.2.10	Inspector propio .....	27
4.2.11	Inspecciones y pruebas previas .....	27
4.2.12	Inspecciones y pruebas periódicas .....	27
4.2.13	Control de calidad .....	27
4.3	DEFINICIONES DE ÁMBITO TÉCNICO .....	27
4.3.1	Presión de diseño ( $P_d$ ) .....	27
4.3.2	Presión máxima de servicio ( $P_{ms}$ ) .....	27
4.3.3	Presión de precinto .....	27
4.3.4	Presión de servicio ( $P_s$ ).....	28



4.3.5	Presión de prueba ( $P_p$ ).....	28
4.3.6	Temperatura de diseño ( $T_d$ ).....	28
4.3.7	Temperatura máxima de servicio ( $T_{ms}$ ).....	28
4.3.8	Temperatura de servicio ( $T_s$ ).....	28
4.4	CONDICIONES GENERALES PARA TODOS LOS APARATOS.....	28
4.4.1	Manual de diseño.....	29
4.4.2	Certificados.....	29
4.4.3	Proceso de fabricación.....	29
4.4.4	Legalización de aparatos a presión.....	30
4.4.5	Instalación.....	31
4.4.6	Inspecciones y pruebas.....	31
4.4.7	Placas.....	34
4.4.8	Elementos de seguridad.....	34
4.5	PRUEBAS PARA LAS TUBERÍAS.....	35
4.6	PRUEBA DE LOS SISTEMAS ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA.....	35
4.6.1	Prueba hidrostática.....	35
4.6.2	Lavado del equipo.....	36
4.6.3	Comprobación de servicios auxiliares.....	37
5.	MEDICIÓN Y ABONO DE LAS OBRAS.....	38
5.1.	MEDICIONES Y VALORACIONES.....	38
5.2	CONDICIONES ECONÓMICAS.....	38
5.3	CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL.....	38
6.	EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.....	39
6.1	EJECUCIÓN EN GENERAL.....	39
6.2	REPLANTEO.....	39
6.3	ORDEN DE LOS TRABAJOS.....	39
6.4	MARCHA DE LAS OBRAS.....	39
6.5	OBRA CIVIL.....	40
6.6	INSTALACIONES VARIAS.....	40
6.7	RESPONSABILIDAD DE LA CONTRATA.....	40
6.8	DIRECCIÓN DE LOS TRABAJOS.....	40
6.9	LEGALIZACIÓN.....	41
7.	SEGURIDAD E HIGIENE.....	42
7.1	PROTECCIÓN Y LUCHA CONTRA INCENDIOS.....	42

#### **DOCUMENTO Nº 4: PRESUPUESTO**

1.	ALCANCE DEL PRESUPUESTO.....	1
2.	MÉTODO DE CÁLCULO DEL PRESUPUESTO.....	2
3.	EQUIPOS PRINCIPALES.....	4

4.	JUSTIFICACIÓN DEL COSTE DEL SUMINISTRO DE LOS EQUIPOS.....	5
4.1	VARIACIÓN DEL I.P.C.....	5
4.2	COEFICIENTE PARA EL CÁLCULO DE HONORARIOS.....	5
5.	COSTE DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES.....	7
5.1	COSTE SPLITTER.....	7
5.1.1	Coste torre.....	7
5.1.2	Coste de los platos.....	8
5.2	COSTE INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	9
5.3	COSTE DEL BOTELLÓN DE REFLUJO.....	10
5.4	COSTE TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	11
6.	COSTE ASOCIADO A LOS EQUIPOS PRINCIPALES.....	12
6.1	COSTE ASOCIADO AL SPLITTER.....	12
6.2	COSTE ASOCIADO A LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	12
6.3	COSTE ASOCIADO AL BOTELLÓN DE REFLUJO.....	13
6.4	COSTE ASOCIADO A LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	13
7.	COSTE DE LOS EQUIPOS AUXILIARES.....	15
7.1	COSTE ASOCIADO A LAS BOMBAS.....	15
8.	CUADRO DE PRECIOS FINAL.....	16
8.1	PRECIO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.....	16
8.2	IMPUESTO SOBRE EL VALOR AÑADIDO.....	16
8.3	HONORARIOS PROFESIONALES.....	17
8.4	PRESUPUESTO TOTAL.....	18
9.	ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO.....	20

**DOCUMENTO N° 1:**  
**MEMORIA**

## 1. INTRODUCCIÓN

El petróleo crudo es una mezcla muy compleja de productos químicos. Está formado por un 83-87 % de carbono, un 11-15 % de hidrógeno y cantidades menores de azufre, nitrógeno y metales.

La combinación de estos elementos da lugar a un número elevado y variado de compuestos, que van desde los muy ligeros (butano) a los muy pesados (los que forman parte de los asfaltos).

El crudo, como tal, carece de aplicación práctica, por ello se hace necesario separarlo en diferentes fracciones que sí sean de utilidad. Ello se consigue mediante los procesos de destilación. En una primera destilación atmosférica, se calienta el crudo hasta los 370 grados centígrados a fin de separarlo en varias fracciones de diferentes propiedades. Los productos más ligeros (butano, propano, propileno, etc.) y la nafta, ascienden hasta la parte superior de la torre. A medida que se desciende se encontrarán los productos más pesados, como el queroseno, gasoil ligero y pesado, quedando en el fondo el fuel atmosférico.

Aún así, el consumo de cada uno de los productos obtenidos no se corresponde a la proporción en que se encuentran en el crudo, por lo que es necesario someterlo a unos procesos que se denominan conversión y que permiten adecuar la oferta, cuantitativa y cualitativamente, a lo que demanda el mercado.

Todos estos procesos, además de otros tratamientos, se llevan a cabo en las refinerías. La complejidad de una refinería depende del número de unidades de cada tipo se tengan instaladas.

La gama de productos que se obtienen incluye, entre otros: Gases, Propano, Butano, Naftas, Gasolinas, Querosenos, Gasóleos, Fuelóleos, Lubricantes, entre otros. Así como productos base para la industria petroquímica.

Como se ha dicho anteriormente, el primer paso en todo este proceso es la separación en fracciones de distintas propiedades en una columna de destilación atmosférica. Una de las fracciones obtenidas en este paso es Gas-Oil pesado, que irá a una unidad de reacción catalítica en fase fluida (En adelante FCC, Fluid Catalitic Cracking). En la unidad FCC además del Gas-Oil pesado, se tratará Gas-Oil de vacío y en algunos casos residuo atmosférico. El producto obtenido irá a una unidad de concentración (Gas concentration, de ahora en adelante GASCON).

La carga de la unidad GASCON de FCC tiene una característica especial, se trata de productos olefínicos, es decir, tienen una menor relación hidrógeno/carbono, por lo que en lugar de servir como combustibles se usan como materia prima para otros procesos. Así **la mezcla propano-propileno que se obtiene en esta unidad pasará a la unidad de recuperación del propileno.**

La unidad de recuperación del propileno, objetivo del presente proyecto, consiste en un splitter, donde tiene lugar una separación fraccionada para obtener propileno con una pureza del 99,6 %, que se utilizará como materia prima en otras plantas petroquímicas.

El principal uso del propileno es la fabricación del polímero "polipropileno". El polipropileno es un polímero muy versátil que cumple doble tarea como plástico y como fibra.

Estructuralmente, el polipropileno es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo. El polipropileno, como se ha dicho antes, se puede fabricar a partir de propileno por dos vías: polimerización Ziegler-Natta y polimerización catalizada por metalocenos.

Algunas de las características que convierte al propileno en un polímero excepcional son las siguientes:

- Excelente comportamiento bajo tensiones y estiramiento

- Resistencia mecánica
- Elevada flexibilidad
- Reducida cristalización; no le afecta el resquebrajamiento por tensiones ambientales
- Coeficiente de expansión térmica lineal muy reducido
- Fácil reparación de averías
- Aprobado para aplicaciones con agua potable según ANSI/NSF 61
- No afecta al medio ambiente por su ausencia de productos químicos y adhesivos.

Debido a su flexibilidad, su durabilidad, su estabilidad dimensional, su resistencia a los rayos ultravioleta y a los agentes químicos, el polipropileno puede usarse en casi cualquier aplicación a la intemperie.

El polipropileno tiene una flexibilidad excelente a baja temperatura, los revestimientos de polipropileno pueden desplegarse e instalarse a una temperatura ambiente de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y conserva su ductilidad a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El polipropileno es un polímero químicamente inerte, y no contiene ningún modificador post-reacción que pueda desaparecer con el tiempo, o disolverse al contacto con la mayoría de las soluciones acuosas. No obstante, aún cuando el polipropileno tiene una resistencia química muy buena a una amplia gama de desechos industriales, aguas cloacales municipales y lejías de desechos y de minería, es siempre aconsejable confirmar con la compañía, a la hora de especificar el producto, su compatibilidad con una solución específica.

### **Usos específicos del polipropileno**

- Películas/film para diferentes envase
- Jeringuillas desechables
- Tapaderas
- Fibras para tapicería
- Cajas de batería
- Parachoques

- Autopartes
- Tuberías para agua caliente

Por todas estas características y usos, el polipropileno es uno de los polímeros más demandados. Esto hace fundamental la fabricación del monómero propileno. De ahí el sentido del presente proyecto.

El polipropileno representa por sí solo el mayor segmento en el consumo mundial de plásticos, un 17 %. En el año 2005, el consumo mundial de propileno registró 43,7 millones de toneladas, las cuales se transformaron, de acuerdo con los datos de la firma de consultoría Chemical Market Associates, Inc. (CMAI), principalmente en artículos moldeados por inyección, en segundo lugar en película y lámina.

Para el año 2010, se estima que la demanda mundial de este plástico alcance los 54 millones de toneladas, lo que significa un crecimiento anual promedio de 4,7 %. En el estudio por regiones, sobresale India, donde se esperan crecimientos en la demanda del 10 %, África con un 9% y el resto de países asiáticos con crecimientos entre un 6 y un 7%.

En España, la producción de polipropileno representa un porcentaje importante. En 1.999, se registró una producción de polipropileno de 876.729 toneladas según el Instituto Nacional de Estadística (INE). Los datos de producción han aumentado notablemente debido a la creciente demanda, según noticias actuales.

Aunque el producto estrella de la planta objeto del presente proyecto sea el propileno, el propano resultante de la separación puede ser destinado al aprovechamiento energético como combustible, como gas refrigerante o como gas propulsor de los aerosoles.

## **2. OBJETIVO DEL PROYECTO**

El presente proyecto tiene por objeto el diseño de un splitter capaz de separar una mezcla propano-propileno para obtener propileno de una pureza muy elevada, concretamente del 99,6 %.

La alimentación que debe tratar la unidad es de 600 m<sup>3</sup>/ día y su composición es de 80,4 % en propileno. Como se ha dicho anteriormente, se obtendrá por cabeza de la columna una corriente del 99,6 % en propileno y una corriente por colas con una composición igual o inferior al 5% en propileno. El hecho de que la corriente de destilado tenga una composición del 99,6 % en propileno se debe a las especificaciones de mercado.

Dichos objetivos se reflejan en la hoja de propuestas de Proyecto Fin de Carrera aprobada por la Comisión de Proyectos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz.



### 3. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto se centra en el diseño de un splitter para la separación de una mezcla propano-propileno.

Los principales equipos diseñados para esta unidad de procesos son: el splitter para la separación de la mezcla propano-propileno, el calderín y el condensador con los que cuenta el splitter, un botellón de reflujo, un intercambiador que acondiciona la alimentación, un intercambiador que acondiciona la corriente de colas para su almacenamiento y tres tanques de almacenamiento: uno para la alimentación, uno para almacenar el propileno producto y un último tanque para almacenar el producto de colas.

Además se diseñan los elementos auxiliares necesarios como son las bombas para la impulsión de fluidos, las tuberías y las bridas.

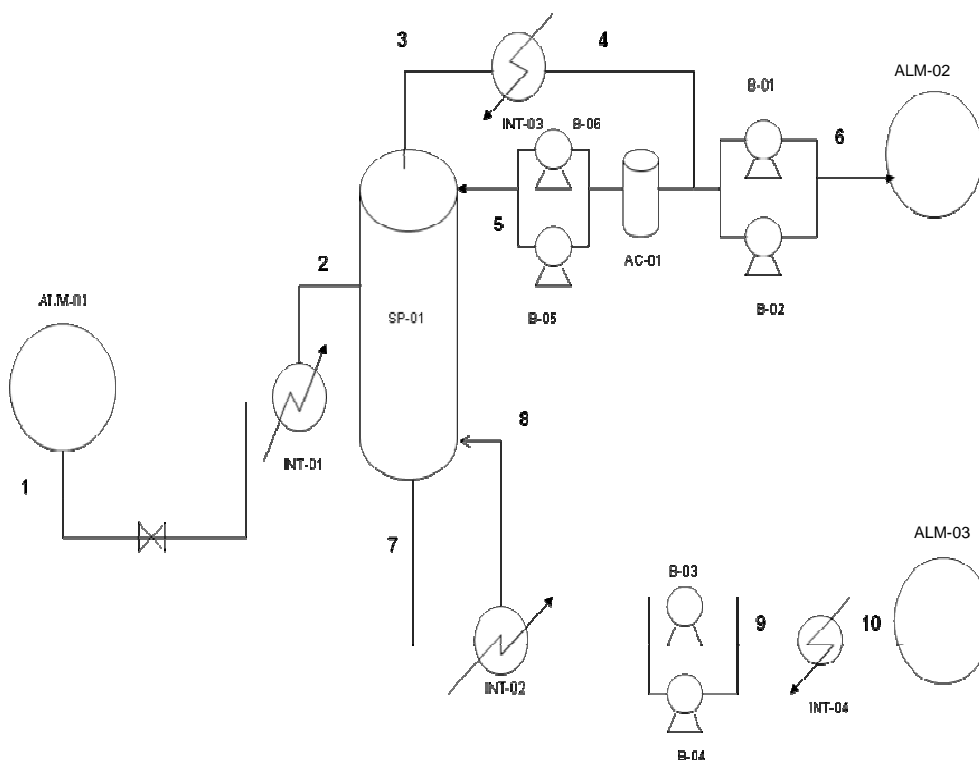


FIGURA 1: DIAGRAMA DE FLUJO LA UNIDAD

La corriente de entrada al splitter es una mezcla propano-propileno con una composición del 80,4 % de propileno. Esta corriente de proceso proviene de otra unidad de tratamiento en refinería.

Esta corriente de alimentación se encuentra almacenada en un tanque esférico a alta presión (15 kg/cm<sup>2</sup>) y a temperatura ambiente.

Antes de que la corriente de alimentación entre en el splitter, pasará por una válvula de expansión para disminuir su presión y por un intercambiador de calor que dará la temperatura necesaria para la que está diseñado el splitter.

La alimentación entra en el splitter como líquido saturado y una vez dentro se establece el equilibrio líquido-vapor a través del cual tiene lugar la transferencia de materia. En la parte superior del splitter se encuentra el condensador, que condensará el destilado del que parte volverá al splitter estableciéndose una relación de reflujo y parte saldrá de la columna. Entre el condensador y el splitter se encuentra un botellón de reflujo que amortiguará las posibles fluctuaciones del caudal y así se mantenga constante la relación de reflujo.

La corriente de destilado irá a un tanque de almacenamiento.

En la parte inferior del splitter se encuentra el calderín que vaporizará la corriente de colas, de la que parte vuelve al splitter y parte sale de la columna. Esta corriente de colas, una vez que sale del splitter, pasará por un intercambiador de calor que la condensa y enfría para ir a su correspondiente tanque de almacenamiento.

### **Aspectos no contemplados en el cálculo**

Este proyecto no contempla los siguientes aspectos de cálculo:

- Cimentación de los equipos
- Aspectos relacionados con el diseño mecánico (salvo de los recipientes)
- Ingeniería de detalle de la selección

- Cálculos eléctricos de las instalaciones
- Especificación del tipo de instrumentos a emplear en la selección de control e instrumentación

#### **4. SITUACIÓN DE LA INSTALACIÓN**

La instalación de la unidad de separación propano-propileno se ubica en la planta FCC de la Refinería Gibraltar del grupo CEPSA en el término municipal de San Roque de la provincia de Cádiz.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Para la identificación de cada una de las corrientes, ver el diagrama de flujo de la unidad (figura 1 de memoria).

La corriente de alimentación se encuentra almacenada en un tanque esférico a una presión de  $15 \text{ kg/cm}^2$  y a temperatura ambiente ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ). La alimentación tiene una composición del 80,4 % de propileno y del 19,6 % en propano y entrará en el splitter con una razón de caudal de  $357,12 \text{ kmol/h}$ . Las composiciones que se detallan son composiciones molares.

Cuando la alimentación sale del tanque, pasará por la válvula de expansión para disminuir la presión hasta las  $11,15 \text{ atm}$  requeridas por el splitter.

Una vez que la corriente adquiere la presión necesaria, pasará por un intercambiador de calor de carcasa y tubos, cuyo fluido calefactor es vapor de agua, para alcanzar una temperatura de  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  y entrar en el splitter como líquido saturado.

En el splitter se establece el equilibrio líquido-vapor, de manera que por la parte superior se obtiene la corriente de destilado (rica en propileno) y por la parte inferior se obtiene la corriente de colas (rica en propano).

El vapor que llega a la parte superior de la columna, lo hace a  $25,5 \text{ }^\circ\text{C}$  y pasará por el condensador (cuyo fluido refrigerante es agua fría) para pasar a fase líquida de la que parte entra en la columna estableciéndose una relación de reflujo de  $0,909$  y parte sale de él. Como se ha referido antes entre el condensador y el splitter se encuentra el botellón de reflujo, que regulará la recirculación a la columna.

El líquido que llega a la parte inferior de la columna lo hace a  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  y pasará por el calderín (cuyo fluido calefactor es vapor de agua sobrecalentado) para cambiar a fase vapor de manera que parte vuelve al splitter.

La corriente de destilado sale a una presión de 8,75 atm debido a las pérdidas de presión (se asume una pérdida de presión de 0,02 kg/cm<sup>2</sup> por en cada plato a lo largo de la torre) y a una temperatura de 25,5 °C. Esta corriente debe ser almacenada a 15 kg/cm<sup>2</sup> de presión y a temperatura ambiente. La temperatura baja en el recorrido que le queda hasta llegar al tanque pero habrá que aumentar la presión previo paso por la bomba correspondiente.

La corriente de colas sale a una presión de 14,25 atm y a una temperatura de 32 °C. Esta corriente debe ser almacenada en las mismas condiciones que la corriente de destilado, de manera que pasará por un cambiador de carcasa y tubos, cuyo fluido refrigerante es agua fría y más tarde pasará por la bomba correspondiente para aumentar la presión y ser almacenada en el tanque esférico.

## **6. DATOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE LA UNIDAD**

Para el diseño de la unidad es necesario conocer una serie de datos que servirán de partida para el diseño de los distintos equipos que conforman el presente Proyecto Fin de Carrera. Estos datos de partida son la “base del diseño”.

### **Corriente de alimentación**

La corriente de alimentación es una mezcla propano-propileno de composición 80,4 % en propileno y entra en la unidad a razón de 357,12 kmol/h.

### **Corriente destilado**

La corriente de destilado debe tener una composición por especificación del cliente del 99,6 % en propileno.

### **Corriente de colas**

La corriente de colas debe tener, también por especificación del cliente, una composición igual o inferior del 5 % en propileno.

## 7. MÉTODO DE DISEÑO EMPLEADO: McCabe-Thièè

Para el diseño de la unidad se emplea el método McCabe-Thièè, que considera los caudales molares  $L$ ,  $V$ ,  $L'$  y  $V'$  constantes en la columna. Para realizar el balance de materia a la columna es importante asumir que se opera en estado estacionario.

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos en el anexo referente al diseño del splitter, donde se realiza el balance de materia correspondiente.

**TABLA I: CAUDALES MOLARES DE LAS CORRIENTES**

<b>CORRIENTE</b>	<b>CAUDAL MOLAR (mol/s)</b>
F alimentación	99,17
D destilado	79,04
W colas	20,13
L líquido en zona enriquecimiento	789,53
L' líquido en zona de agotamiento	888,70
V vapor en zona de enriquecimiento	868,57
V' vapor en zona de agotamiento	868,57



## **8. DESCRIPCIÓN DEL SPLITTER**

El diseño del splitter se estructura en dos subcapítulos, puesto que primero se atiende al diseño de la columna y después, se atiende al diseño de los platos empleados.

La función del splitter es separar una mezcla de propano-propileno, obteniéndose propileno con una pureza del 99,6 %.

### **8.1. Splitter**

#### **8.1.1. Datos de proceso del splitter**

El splitter tratará 357,12 kmol/h de mezcla propano-propileno al 80,4 % que entra a 26 °C y a 11,15 atm y se obtendrán dos corrientes:

Se obtiene una corriente de destilado de composición 99,6 % en propileno a 25,5 °C y una corriente de colas de composición inferior o igual al 5% en propileno a 32 °C.

#### **8.1.2. Selección del tipo de unidad**

El splitter es una columna de destilación con rectificación.

Este tipo de unidad es viable puesto que las volatilidades del propano y del propileno son distintas de 1.

#### **8.1.3. Materiales**

El tipo de material empleado para la columna es acero al carbono calmado. El hecho de utilizar este material en toda la torre es posible puesto que los fluidos no son corrosivos.

El que los fluidos no sean corrosivos y se pueda emplear acero al carbono, lleva a bajar el coste de la columna.

El calorifugado de la unidad es fundamental para que no existan cambios de fase indeseados y se mantengan las temperaturas fijadas. Para el calorifugado se utilizará un recubrimiento de lana de vidrio de 40 cm y una chapa de aluminio de 4 mm de espesor.

#### **8.1.4. Descripción detallada del splitter**

El diseño geométrico del splitter, se obtuvo determinando los volúmenes y las secciones requeridas para el proceso, ajustándolo a las proporciones (longitud-diámetro) adecuadas. Teniendo en cuenta lo anterior, las dimensiones del splitter son las siguientes:

Diámetro interior recipiente: 4,5 m

Longitud del recipiente: 63,3 m

#### **Disposición geométrica de la columna**

Las columnas superiores a 90 m deben disponerse en dos secciones: rectificación y agotamiento. La presente columna tiene una longitud inferior a 90 m, por lo que se dispondrá en una sola sección. Además la sección de rectificación y agotamiento en la columna es la misma, puesto que así lo determina el caudal de líquido en ambas secciones.

#### **Conexiones**

Las conexiones de este equipo fueron calculadas para un diámetro interior de 4,5 m. Las conexiones y sus dimensiones son las que se enumeran a continuación:

#### **Boca de hombre**

Con el fin de facilitar la limpieza del splitter, éste tendrá tres bocas de hombre. El diámetro de las bocas de hombre, será de 24". Las entradas se situarán: en el fondo superior de la columna (plato 1), en el fondo inferior (plato 111) y en la entrada de la alimentación (plato 86)

### **Conexiones de entrada y salida**

El splitter cuenta con una serie de entradas y salidas de fluido que se enumeran a continuación:

- Alimentación: 3" de D.N
- Vapor de cabeza: 10" de D.N
- Líquido de colas: 12" de D.N
- Destilado: 3" de D.N
- Producto de colas: 1 ½ " de D.N

Los diámetros nominales de las conexiones son los mismos que los de las líneas a los que están conectadas. La boca de alimentación será de codo de radio largo con la boca orientada hacia el fondo inferior.

### **Drenaje**

El splitter dispondrá de un drenaje de 2" de diámetro y se encontrará situado en la parte inferior de la columna.

### **Venteo**

El splitter dispondrá de un venteo de 1 ½ " según queda reflejado en el Reglamento de aparatos a presión. Se encontrará situado en la parte superior del equipo.

### **Tomas de nivel**

El splitter dispondrá además de unas tubuladuras donde irán situados los instrumentos de control que miden el nivel de líquido en el recipiente. Dichas tubuladuras se conocen con el nombre de "tomas de nivel". En este caso se encontrarán tres tomas de nivel: superior, inferior y media.

Las conexiones se realizan mediante embridadas, ya que permiten su montaje y desmontaje sin tener que realizar ningún corte ni soldadura. Las diversas partes que conforman la conexión embridada se muestran a continuación

- Tubuladura

Es el tronco cilíndrico que se suelda al recipiente y a la brida, y estará construída de tubería, en cada caso el diámetro es el especificado en los cálculos siempre dentro de los valores normalizados, en este caso se empleará la normativa americana ANSI B-36.10.

- Placas de refuerza

Para realizar una conexión debe practicarse un agujero en el recipiente, lo que significa que se elimina parte de la pared resistente, y precisa compensar esta eliminación con un aporte de material resistente en igual área a la eliminada. Esta misión es la que cumple la placa de refuerzo.

- Bridas

En el presente proyecto, las bridas se encuentran normalizadas por la norma ANSI B-16.5, para definir las será necesario indicar a parte del material, el diámetro nominal, la serie a la que pertenece, el tipo de brida y la forma de la cara del asiento. En este equipo se usarán bridas de 150 Lb, de cuello soldable (welding neck) y cara con resalte (raised face).

- Pernos y tuercas

Los pernos o tirantes aprietan las bridas entre sí para que deformen a las juntas y así se garantice su estanqueidad. El tamaño y número de pernos viene definido por la brida y, por lo tanto, debe fijarse solamente el material para completar su definición.

## **Espesor y fondos**

El espesor para el splitter y los fondos será de 48,75 mm, que es el valor que se obtiene para la virola.

Los fondos empleados serán de tipo Korbbogen para el fondo superior e inferior. Se emplea este tipo de fondos en función de la presión de operación y diseño. La longitud de estos fondos es de 3,6 m cada uno.

### **8.2. Diseño de los platos**

El proceso de separación de la mezcla tiene lugar en los platos del splitter, cada uno de los platos teóricos es una etapa de equilibrio entre la corriente de vapor que entra en el mismo y la de líquido que lo abandona.

En el presente capítulo se describirán los platos empleados.

A continuación se presenta un esquema del proceso que tiene lugar:

#### **8.2.1. Diseño de los platos**

Como se ha dicho antes, el método utilizado para el diseño de la columna, y por consiguiente para el cálculo de plato es el McCabe-Thièle. De este cálculo gráfico se obtienen 94 platos teóricos. A este número de platos hay que restarle 1 porque el calderín constituye una etapa de equilibrio pero no es un plato.

La eficacia global de la columna calculada (mediante correlación experimental y gráficamente) es del 84 %, de modo que se obtienen 111 platos reales.

Todos los platos del splitter serán exactamente iguales, es decir, mismo diámetro, número de orificios, material..., asimismo las características para la obtención de las variables calculadas (distancia entre platos, distribución de los orificios...) serán también idénticas para lo que se tomará como modelo de diseño el plato inferior para el que se producen las condiciones más desfavorables.

### 8.2.2. Tipos de platos

Fundamentalmente existían dos posibilidades en cuanto a la selección del plato se refiere, bien utilizar platos perforados o platos de campana de borboteo.

Las diferencias claves existentes entre ambos radican en que en los platos perforados, el vapor pasa verticalmente a través de los orificios al interior del líquido presente en el plato, provocando la espuma, que ofrece una superficie interfacial muy grande con respecto a la transferencia de masa, mientras que en los de campana de borboteo, el vapor sale de las ranuras en una dirección aproximadamente horizontal, lo que provoca una superficie interfacial menor, además su coste es sensiblemente mayor que el de los platos perforados. La experiencia en este tipo de unidades, ofrece altas garantías de buen funcionamiento para este tipo de platos.

El tipo de plato empleado (perforado) consiste en una hoja horizontal perforada, a través de la cual fluye el líquido; el gas pasa ascendiendo a través de las perforaciones. El gas, dispersado por las perforaciones, expande al líquido en una espuma turbulenta, que se caracteriza por una superficie interfacial muy grande con respecto a la transferencia de masa, como se ha citado anteriormente.

Un factor importante en este tipo de platos son las perforaciones, de las que se hacen algunas consideraciones:

- El límite inferior aceptable para el diámetro de las perforaciones es de 1/8" y el superior es de 1", pero se aconseja que no supere 1/2". Así, los valores industriales normalizados, son 3/32", 1/8", 3/16", aunque el diámetro normalizado óptimo, teniendo en cuenta el compromiso entre la pérdida de carga y el goteo es de 3/16".
- El espesor de la bandeja perforada, es función del diseño mecánico del plato y del tipo de material de construcción, siendo las más frecuentes las de acero al carbono, acero inoxidable y aleaciones de cobre. En el

presente caso, se fabricarán de acero al carbono por las condiciones que ofrecen los fluidos.

- El espesor de plato en el presente caso es bastante pequeño para el diámetro de torre, pero se ha optado por este camino, para reducir costes. Para evitar el arqueo del plato, se instalarán soportes transversales para dichos platos. El espesor seleccionado es de 4,95 mm.

En el plato existen también zonas sin perforar, que ofrecen una doble utilidad, por un lado son zonas de calmado, usándose en sustitución de las pantallas antiespumantes, para minimizar la proyección del líquido en la salida del plato y las ondas de líquido formadas por el burbujeo del vapor sobre el rebosadero de salida, y por otra parte para evitar que se produzcan interferencias en el burbujeo del vapor.

Las zonas sin perforar son:

- Zona de desprendimiento de vapor, zona que deja a la salida del plato.
- Zona de distribución, zona que se deja a la entrada del plato, produce una buena distribución del líquido en el plato.
- Zona sin perforar periférica, para poder colocar los soportes del plato con la carcasa de la columna y que éstos no produzcan interferencias en el burbujeo del vapor.

Las zonas sin perforar, ofrecen un área desaprovechada para el intercambio de materia entre el vapor y el líquido debido a la disminución del burbujeo, por tanto, dicha área habrá que minimizarla al máximo con tal de no perder superficie activa en el plato.

#### **8.2.2.1. Descripción de los platos**

En el presente proyecto, los platos serán de acero al carbono, puesto que los fluidos que participan no son corrosivos y supone un ahorro sensible en

el presupuesto.

Los platos deben unirse a la cubierta, con el fin de prevenir el movimiento debido a oleadas de gas. Ciertos platos, que ya se han mencionado con anterioridad, deberán tener entradas para personas de manera que un hombre pueda trepar de un plato a otro para reparaciones o limpieza y además deben instalarse de forma nivelada dentro de un rango de 6 mm para favorecer una buena distribución del líquido.

A continuación se exponen las variables necesarias para el diseño de los platos empleados en el splitter:

### **Espaciamiento entre platos**

Generalmente, el espaciamiento entre platos, se selecciona en base a la facilidad para la construcción, mantenimiento y costo; posteriormente debe verificarse para evitar inundación y arrastre excesivo de líquido o gas. En el splitter se ha seleccionado una distancia entre platos de 0,05 m. (Aunque se recomienda un espaciamiento mayor para un diámetro de 4,5 m, se comprueba que no existe inundación ni arrastre)

### **Diámetro de la torre**

El diámetro de la torre y, en consecuencia, su área transversal debe ser lo suficientemente grande para manejar el flujo del gas y del líquido dentro de la región óptima de operación.

Se ha obtenido un diámetro de torre de 4,5 m.

### **Vertederos**

El líquido se lleva de un plato a otro a través de los vertederos. Éstos pueden ser tuberías circulares o, de preferencia, simples partes de la sección transversal del plato cortada para que el fluido circule por los platos verticales.

Puesto que el líquido se agita hasta formar espuma sobre el plato, debe permitirse que permanezca un tiempo adecuado en el vertedero para permitir



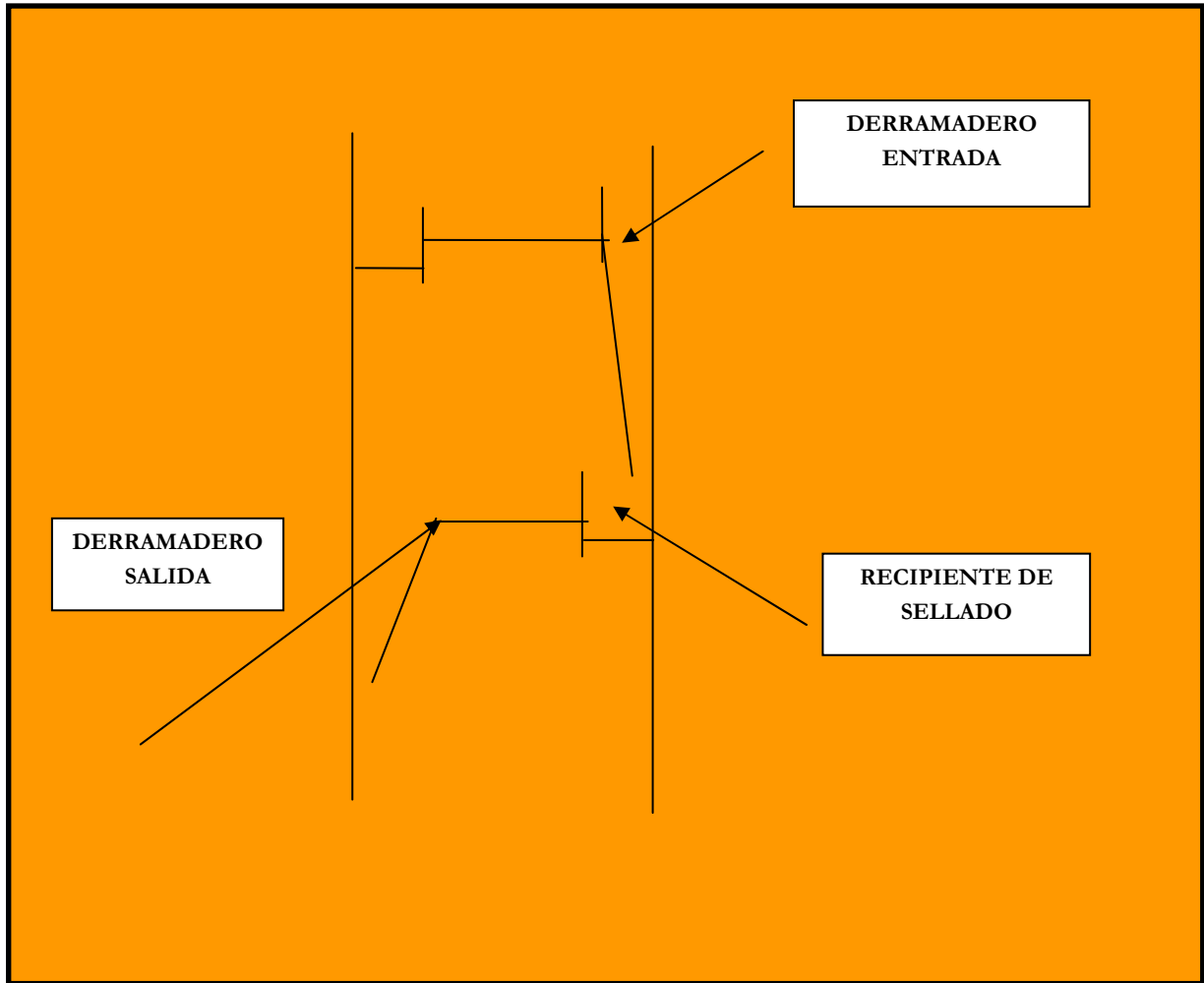
que el gas se separe del líquido, de tal forma que sólo entre líquido claro en el siguiente plato. El vertedero debe colocarse lo suficientemente cerca del plato inferior como para que se una al líquido de ese plato, para evitar que el gas ascienda por el vertedero acortando camino hacia el plato superior.

Los vertederos tienen una longitud de 3,15 m.

### **Derramaderos**

La profundidad del líquido sobre el plato, requerida para el contacto con el gas, se mantiene mediante un derramadero, que puede ser o no una continuación del plato de descenso. Los derramaderos rectos son los más empleados; de hecho, son lo empleados en el presente proyecto. Con el fin de asegurar una distribución razonable uniforme de flujo líquido de un plato de un paso, se utiliza un diámetro de derramadero de 60 a 80 % del diámetro de la torre.

A continuación se presenta un esquema de la distribución de los platos dentro del splitter:



**FIGURA 2: ESQUEMA DE LOS PLATOS DENTRO DEL SPLITTER**

### 8.2.2.2. Dimensionamiento de los platos

Aquí se muestran los valores empleados para el dimensionamiento de los platos:

Parámetros fijados:

- Diámetro de los orificios de plato ( $d_0$ ) = 4,5 mm.
- Distancias entre centros ( $p$ ) = 11,25 mm.
- La distribución de los orificios en forma de triángulo equilátero.
- La hoja es de acero al carbono de 4,95 mm de espesor.
- La distancia entre platos estándar ( $t$ ) = 0,5 m.
- La altura del derramadero ( $h_w$ ) = 0,05 m.

A partir de estas variables de diseño, y con los cálculos obtenidos en el diseño de los platos del anexo 1 referente al diseño del splitter, se obtienen los parámetros que definen a los platos. A continuación se muestran dichos parámetros:

- Área total del plato = 15,9 m<sup>2</sup>
- Área neta del plato = 13,11 m<sup>2</sup>
- Diámetro de la torre = 4,5 m.
- Longitud vertedero = 3,15 m
- Área orificio = 1,87 m<sup>2</sup>
- Área activa perforada = 12,88 m<sup>2</sup>

### 8.2.2.3. Caída de presión en el gas

La caída de presión en el gas será la suma de tres pérdidas de carga: la caída de presión en seco, la pérdida de carga de la cabeza hidráulica y la caída de presión residual.

- Caída de presión en seco = 0,0047 m
- Caída de presión de la cabeza hidráulica = 0,0152 m
- Caída de presión residual = 0,0032 m

- Caída de presión total del gas = 0,0231 m

$$h_G = h_D + h_L + h_R = 0,0231 \text{ m}$$

#### 8.2.2.4. Verificación del diseño del plato

Una vez descritas y obtenidas las principales variables para el dimensionamiento de un plato, se debe comprobar que no se producen inundación, arrastre ni lloriqueo, para asegurar condiciones de operación satisfactorias.

A continuación se muestran y justifican los resultados obtenidos en el anexo 1:

- Verificación sobre la inundación del plato:

Este parámetro sirve para comprobar que la distancia entre platos tomada es correcta y para ello debe cumplir la siguiente ecuación:

$$h_w + h_3 < t/2$$

Siendo :

$h_w$  : altura de del derramadero = 0,05 m

$h_3$  : retroceso en el vertedero = 0,0235 m

$t$  = distancia entre platos = 0,5 m

$$\mathbf{0,0735 < 0,250}$$

Al ser el valor del término izquierdo de la inecuación menor que el derecho, implica que la distancia entre platos escogida es correcta, es decir, no se producirá la inundación del plato, esto es, no se permite que el vapor suba por el bajante, de forma que el vapor que sube desplace al líquido al plato superior.

- Arrastre del líquido

Esto ocurre cuando el líquido es arrastrado por el gas hacia el plato superior, el líquido que es atrapado por el líquido del plato superior. Este efecto es acumulativo y las cargas del líquido en los platos superiores de la torre pueden llegar a ser excesivas. La forma en que se cuantifica este parámetro es la fracción del líquido que entra en un plato y es arrastrado hacia el plato superior.

El resultado obtenido es una fracción  $E = 0,01$ , es decir sólo un 1 % de la fracción líquida es arrastrada hacia el plato superior.

Por lo que al ser la retroalimentación del líquido tan pequeña, la hidráulica del plato no se modifica.

#### – Lloriqueo

El lloriqueo ocurre cuando la velocidad del gas a través de los orificios es muy pequeña.

El líquido goteará a través de ellos y se perderá el contacto sobre el plato para el líquido. Además para los platos con flujo transversal, dicho plato no fluye por toda la longitud del plato inferior. A mayor profundidad del líquido mayor es la proporción de lloriqueo. Por tanto, debe el gas alcanzar una velocidad mínima para que no se produzca dicho lloriqueo, esa velocidad es  $V_{OW}$  (velocidad mínima del gas a través de los orificios).

Se obtiene un valor de  $V_{OW} = 0,018$  m/s, siendo esta la velocidad mínima a la que debe fluir el gas entre los orificios. Como la velocidad calculada para el gas a través de los orificios es de 0,82 m/s, esto indica que hasta que no se reduzca no se producirá lloriqueo.

Por lo que se puede demostrar que el plato está diseñado correctamente y puede operar en condiciones satisfactorias de operación. Todos los cálculos, como se ha comentado antes, se han referido al último plato de la columna por estar en las condiciones más desfavorables. Si este plato opera satisfactoriamente, también lo harán los demás.

## **9. DESCRIPCIÓN DEL CALDERÍN DEL SPLITTER**

Para el calderín se empleará un intercambiador de calor de carcasa y tubos que se detallará a continuación.

### **9.1. Descripción detallada del intercambiador**

La elección del fluido calefactor se ha hecho en base a economizar los recursos disponibles. Se dispone de vapor de agua sobrecalentado procedente de una caldera de planta y se aprovecha ese calor para este intercambiador de calor.

Las medidas de diámetro de tubo y longitud son resultado de cálculos iterativos que minimizan las pérdidas de carga y optimizan las velocidades de los fluidos.

El material es acero al carbono puesto que es más económico y no supone ningún problema para la temperatura, presión y poder de corrosión de los fluidos.

El material aislante seleccionado es lana de vidrio que irá recubierto por una lámina de aluminio. Es el material más utilizado en este tipo de plantas y da muy buen resultado, siendo su espesor resultado de un cálculo iterativo que minimiza las pérdidas de calor.

El cálculo detallado del intercambiador se desarrolla en el anexo 2 y a continuación se muestra una tabla con las características del intercambiador:

**TABLA II: CARACTERÍSTICAS DEL CALDERÍN**

CARACTERÍSTICAS DEL CALDERÍN				
Servicio: Evaporar el líquido que recircula al splitter				
DISEÑO TÉRMICO LADO DE LOS TUBOS				
<b>Fluido entrada</b>	mezcla propano/propileno fase líquida $T_{sat}$	<b>Temperatura</b>	<b>Entrada</b>	32°C
<b>Fluido salida</b>	mezcla propano/propileno fase vapor $T_{sat}$		<b>Salida</b>	32°C
<b>Q (kg/h)</b>	137.555	<b>Presión</b>	14,25 atm.	
DISEÑO TÉRMICO LADO DE LA CARCASA				
<b>Fluido entrada</b>	Vapor de agua sobrecalentado	<b>Temperatura</b>	<b>Entrada</b>	150°C
<b>Fluido salida</b>	Agua líquida		<b>Salida</b>	90°C
<b>Q (kg/h)</b>	18.753,21	<b>Presión</b>	1 atm	
<b>Calor intercambiado</b>		10.661.200 kcal/h	<b>U</b>	900 W/m <sup>2</sup> .°C
$\Delta T_{ml}$		84,5 °C	<b>A<sub>total</sub></b>	140,2 m <sup>2</sup>
DATOS CONSTRUCTIVOS				
<b>Tubos</b>	<b>Material</b>	Acero al carbono	<b>N<sub>t</sub></b>	360
	<b>d<sub>i</sub></b>	1"	<b>Longitud</b>	16 ft
	<b>d<sub>e</sub></b>	1,3"		
<b>Carcasa</b>	<b>Material</b>	Acero al carbono	<b>Espesor aislante</b>	35 cm
	<b>D<sub>i</sub></b>	0,904 m		
	<b>D<sub>e</sub></b>	0,906 m		

## **10. DESCRIPCIÓN DEL CONDENSADOR DEL SPLITTER**

El agua fría utilizada como fluido refrigerante proviene de una unidad criogénica de planta y se aprovecha para condensar la mezcla propano/propileno.

Las medidas de diámetro de tubo y longitud son resultado de cálculos iterativos que minimizan las pérdidas de carga y optimizan las velocidades de los fluidos.

El material es acero al carbono puesto que es más económico y no supone ningún problema para la temperatura, presión y poder de corrosión de los fluidos.

El material aislante seleccionado es lana de vidrio que irá recubierto por una lámina de aluminio. Es el material más utilizado en este tipo de plantas y da muy buen resultado, siendo su espesor resultado de un cálculo iterativo que minimiza las pérdidas de calor.

El cálculo detallado del condensador se desarrolla en el anexo 3 y a continuación se muestran las características del mismo:



TABLA III: CARACTERÍSTICAS DEL CONDENSADOR

CARACTERÍSTICAS DEL CONDENSADOR				
Servicio: Condensar el vapor que recircula al splitter				
DISEÑO TÉRMICO LADO DE LOS TUBOS				
<b>Fluido entrada</b>	Mezcla propano/ propileno fase vapor $T_{sat}$	<b>Temperatura</b>	<b>Entrada</b>	25,5 °C
<b>Fluido salida</b>	Mezcla propano/ propileno fase líquida $T_{sat}$		<b>Salida</b>	25,5 °C
<b>Q (kg/h)</b>	132.000	<b>Presión</b>	8,75 atm.	
DISEÑO TÉRMICO LADO DE LA CARCASA				
<b>Fluido entrada</b>	Agua fría	<b>Temperatura</b>	<b>Entrada</b>	7 °C
<b>Fluido salida</b>	Agua fría		<b>Salida</b>	10 °C
<b>Q (kg/h)</b>	3.503.219	<b>Presión</b>	1 atm.	
<b>Calor intercambiado</b>		10.500.000 kcal/h	<b>U</b>	603
$\Delta T_{ml}$		17 °C	<b>A<sub>total</sub></b>	1.024,3
DATOS CONSTRUCTIVOS				
<b>Tubos</b>	<b>Material</b>	Acero al carbono	<b>N<sub>t</sub></b>	7.016
	<b>d<sub>i</sub></b>	¼"	<b>Longitud</b>	24 ft
	<b>d<sub>e</sub></b>	0,33"		
<b>Carcasa</b>	<b>Material</b>	Acero al carbono	<b>Espesor aislante</b>	10 cm
	<b>D<sub>i</sub></b>	1,12 m		
	<b>D<sub>e</sub></b>	1,127 m		

## **11. DESCRIPCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ACONDICIONAR LA ALIMENTACIÓN**

El cálculo detallado del intercambiador se desarrolla en el anexo 5 y a continuación se presentan los resultados clave.

La elección del fluido calefactor se ha hecho en base a economizar los recursos disponibles. Se dispone de vapor de agua sobrecalentado procedente de una caldera de planta y se aprovecha ese calor para este intercambiador de calor.

Las medidas de diámetro de tubo y longitud son resultado de cálculos iterativos que minimizan las pérdidas de carga y optimizan las velocidades de los fluidos.

El material es acero al carbono puesto no supone ningún problema para la temperatura, presión y poder de corrosión de los fluidos y es más económico.

**TABLA IV: CARACTERÍSTICAS INTERCAMBIADOR QUE ACONDICIONA LA ALIMENTACIÓN**

CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR QUE ACONDICIONA LA ALIMENTACIÓN				
Servicio: Calentar la alimentación del splitter				
DISEÑO TÉRMICO LADO DE LOS TUBOS				
<b>Fluido entrada</b>	Mezcla propano/ propileno fase líquida	<b>Temperatura</b>	<b>Entrada</b>	20 °C
<b>Fluido salida</b>	Mezcla propano/ propileno fase líquida		<b>Salida</b>	26,5 °C
<b>Q (kg/h)</b>	15.153	<b>Presión</b>	11,15 atm	
DISEÑO TÉRMICO LADO DE LA CARCASA				
<b>Fluido entrada</b>	Vapor de agua sobrecalentado	<b>Temperatura</b>	<b>Entrada</b>	150 °C
<b>Fluido salida</b>	Agua líquida		<b>Salida</b>	90 °C
<b>Q (kg/h)</b>	14.071	<b>Presión</b>	1 atm..	
<b>Calor intercambiado</b>		7.999.723 kcal/h	<b>U</b>	900 W/m <sup>2</sup> .°C
$\Delta T_{ml}$		86,4 °C	<b>A<sub>total</sub></b>	102,9 m <sup>2</sup>
DATOS CONSTRUCTIVOS				
<b>Tubos</b>	<b>Material</b>	Acero al carbono	<b>N<sub>t</sub></b>	706
	<b>d<sub>i</sub></b>	1"	<b>Longitud</b>	6 ft
	<b>d<sub>e</sub></b>	1,03"		
<b>Carcasa</b>	<b>Material</b>	Acero al carbono		
	<b>D<sub>i</sub></b>	0,93 m		
	<b>D<sub>e</sub></b>	0,955 m		

## **12. INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ENFRIAR PRODUCTO DE COLAS**

El cálculo detallado del intercambiador se presenta en el anexo 6, a continuación se presentan los resultados claves.

El agua fría utilizada como fluido refrigerante proviene de la unidad criogénica de planta mencionada con anterioridad y se aprovecha para condensar la mezcla propano/propileno.

Las medidas de diámetro de tubo y longitud son resultado de cálculos iterativos que minimizan las pérdidas de carga y optimizan las velocidades de los fluidos, como en los casos anteriores.

El material es acero al carbono puesto que los fluidos no presentan problemas de corrosión.

**TABLA V: CARACTERÍSTICAS INTERCAMBIADOR QUE ACONDICIONA EL PRODUCTO DE COLAS**

CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR QUE ACONDICIONA EL PRODUCTO DE COLAS				
Servicio: Enfriar la corriente de colas para su almacenamiento				
DISEÑO TÉRMICO LADO DE LOS TUBOS				
<b>Fluido entrada</b>	Mezcla propano/ propileno fase vapor $T_{sat}$	<b>Temperatura</b>	<b>Entrada</b>	32 °C
<b>Fluido salida</b>	Mezcla propano/ propileno fase líquida		<b>Salida</b>	20 °C
<b>Q (kg/h)</b>	3.190	<b>Presión</b>	14,25 atm	
DISEÑO TÉRMICO LADO DE LA CARCASA				
<b>Fluido entrada</b>	Agua fría	<b>Temperatura</b>	<b>Entrada</b>	12 °C
<b>Fluido salida</b>	Agua fría		<b>Salida</b>	15 °C
<b>Q (kg/h)</b>	1.068.645	<b>Presión</b>	1 atm.	
<b>Calor intercambiado</b>		3.204.120 kcal/h	<b>U</b>	350 W/m <sup>2</sup> .°C
$\Delta T_{ml}$		9,82 °C	<b>A<sub>total</sub></b>	879 m <sup>2</sup>
DATOS CONSTRUCTIVOS				
<b>Tubos</b>	<b>Material</b>	Acero al carbono	<b>N<sub>t</sub></b>	2.410
	<b>d<sub>i</sub></b>	1"	<b>Longitud</b>	16 ft
	<b>d<sub>e</sub></b>	1,04"		
<b>Carcasa</b>	<b>Material</b>	Acero al carbono		
	<b>D<sub>i</sub></b>	1,65		
	<b>D<sub>e</sub></b>	1,657		

## **13. ACUMULADOR DE REFLUJO**

### **13.1. Consideraciones generales del recipiente**

En el presente caso, la misión de este recipiente es acumular la corriente que sale por cabeza del splitter, que previamente pasa por el condensador y de este modo asegurar que la relación de reflujo permanezca constante en él, y así el proceso de transferencia de materia no se ve afectado debido a posibles fluctuaciones en el caudal de destilado.

### **13.2. Descripción general**

Se ha diseñado el recipiente para un tiempo de operación de veinte minutos.

El recipiente se ha diseñado según el código ASME, sección VIII, División I y de dicho diseño se obtienen los siguientes resultados:

- El acumulador de reflujo tendrá un diámetro de 3,24 m y una longitud de 10,24 m.
- El espesor de la envolvente será de 30 mm.

Además, el acumulador de reflujo contará con dos bocas de hombre de 16”.

El fondo superior e inferior serán de tipo Korbogen debido a la presión de diseño y operación.

## 14. ESFERAS DE ALMACENAMIENTO

### 14.1. Consideraciones generales

Se hacen necesarios tanques de almacenamiento para:

- Almacenar la alimentación que entra al splitter
- Almacenar el propileno producto
- Almacenar el propano producto

Como tanques de almacenamiento se han seleccionado esferas a presión, son tanques que operan a temperatura ambiente y a 15 kg/cm<sup>2</sup> de presión. Si se dispusieran tanques a presión atmosférica se requerirían tanques de hasta -42 °C, con la complejidad que ello implica.

La línea de llenado ingresa al recipiente por la parte superior, y la de aspiración toma producto por la parte inferior. Por norma de seguridad, deben contar con válvulas de bloqueo de accionamiento remoto para el caso de siniestros que pudieran ocurrir.

El sistema de llenado y vaciado se basa en el equilibrio líquido-vapor que hay en el interior. Al bajar la presión (vaciado), pasa producto a la fase vapor y al aumentar la presión (llenado) más producto pasará a la fase líquida.

Las esferas se construyen en gajos utilizando chapas de acero y se sostienen mediante columnas que soporten el peso de la esfera completa durante la prueba hidráulica.

La esfera contará con una escalera para acceder a la parte superior y poder mantener así las válvulas de seguridad, aparatos de telemedición, etc.

## 14.2. Dimensionamiento

El cálculo de las esferas sigue las directrices del código ASME, sección VIII, División I.

En primer lugar se han calculado los volúmenes de las esferas suponiendo un 80 % de volumen útil para dos días de almacenamiento y estos son los resultados obtenidos:

**TABLA VI: VOLÚMENES DE LAS ESFERAS DE ALMACENAMIENTO**

PRODUCTO	CAUDAL	VOLUMEN FINAL ESFERA
Alimentación	600 m <sup>3</sup> /día	1500 m <sup>3</sup>
Destilado	470 m <sup>3</sup> /día	1175 m <sup>3</sup>
Colas	132 m <sup>3</sup> /día	330 m <sup>3</sup>

Del cálculo de los espesores se obtiene:

**TABLA VII: ESPESOR GAJOS DE LAS ESFERAS**

ESFERA	ESPESOR GAJOS DE ACERO
Alimentación	8 cm
Destilado	7,4 cm
Colas	4,8 cm

En los tres casos se añaden 6 mm de espesor por corrosión.

El material a emplear será acero al carbono, puesto que atendiendo a las propiedades de los fluidos es el material más económico.



## **15. DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS**

Las partes componentes de un sistema de tuberías pueden agruparse en cuatro grandes familias: tuberías, accesorios, bridas y válvulas.

El simple examen de un diagrama de proceso deja presentir la importancia que tendrán los anteriores elementos en la construcción de una planta de este tipo. El paso del esquema a la realidad ofrece un amplio abanico de problemas aunque existen diversas soluciones con diferentes ventajas en cuanto se refiere a pérdidas de energía, duración del material, facilidad de utilización y precio.

Los sistemas de tuberías representan una parte importante del coste del material en una planta de proceso, requieren un gran porcentaje del trabajo de montaje, un elevado consumo de las horas-hombre de ingeniería y ocupan una parte importante del volumen de material. Con ello se quiere decir que el diseño de las líneas que transportan los fluidos adquiere un peso importante.

### **15.1. Tuberías principales de la unidad**

A continuación se facilita una tabla en la cual aparecen enumeradas cada una de las líneas con el servicio que realizan respectivamente.

**TABLA VIII: LÍNEAS Y SUS CORRESPONDIENTES SERVICIOS**

<b>CORRIENTE</b>	<b>SERVICIO</b>
Línea 1	Línea de salida del tanque de almacenamiento de alimentación.
Línea 2	Línea de alimentación al splitter
Línea 3	Corriente vapor que va al condensador
Línea 4 y 5	Corriente líquida que va del condensador al botellón de reflujo y al splitter
Línea 6	Corriente de propileno que va a tanque de almacenamiento.
Línea 7	Corriente líquida rica en propano que va al calderín.
Línea 8	Corriente vapor que recircula del calderín al splitter.
Línea 9	Línea que alimenta el intercambiador de calor que enfría el propano.
Línea 10	Corriente rica en propano que va a tanque de almacenamiento.

El diámetro de las tuberías y los espesores de cada una de las líneas de la unidad quedan reflejados en la siguiente tabla:

TABLA IX: CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS DE LA UNIDAD

Línea	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>	L <sub>7</sub>	L <sub>8</sub>	L <sub>9</sub>	L <sub>10</sub>
<b>Fase</b>	Líquida	Líquida	Vapor	Líquida	Líquida	Líquida	Vapor	Líquida	Líquido	Líquido
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>	25	25	273	248	24.8	293	268.35	6.5	6.5	
<b>Densidad (kg/l)</b>	0.567	0.492	0.490	0.492	0.502	0.479	0.480	0.480	0.480	
<b>μ (Cp)</b>	0.0828	0.0828	0.081	0.0828	0.0828	0.091	0.0086	0.0085	0.084	
<b>Material</b>	Acero al carbono									
<b>Tipo tubo</b>	3" 40-ST	3" 40-ST	10" 40-ST	10" sch 80	3" 40-ST	12" sch 140	10" 40-ST	1 ½" 40-ST	1 ½" 40-ST	
<b>Espesor mínimo calculado (")</b>	0.183	0.174	0.236	0.212	0.183	0.253	0.236	0.1	0.125	
<b>Espesor real (")</b>	0.3	0.2	0.324	0.530	0.192	1	0.324	0.13	0.13	
<b>ΔP (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.19	0.46	0.46	0.36	0.23	0.28	0.28	0.12	0.12	

En el presente proyecto es primordial el calorifugado de las líneas, pues de ello depende que los fluidos se mantengan en sus fases correspondientes y que los parámetros fijados permanezcan lo más uniforme posible.

El calorifugado de las líneas está constituido por coquillas Isover, que son elementos moldeados de lana de vidrio con forma cilíndrica y que cuentan con una abertura en su generatriz para el montaje. Aíslan de temperaturas de hasta 250°C y se ha seleccionado un diámetro de 30 mm

## **15.2. Selección de las bridas para las tuberías**

En cuanto a la forma de unión de la brida con la tubería, ésta será de “cuello”, siendo el espesor del cuello de la brida igual al espesor del tubo al que se va a soldar la brida. Se ha usado este tipo de brida, ya que, es la más usada en las industrias de proceso. Además, todas las líneas de este proceso, están dentro de los límites de utilización.

En cuanto a la terminación de las caras de la brida, éste será del tipo “cara con resalte”, ya que es la de uso más común. Se utiliza en condiciones de servicios moderadas y su elección se debe también a que es el tipo de brida más utilizada para hidrocarburos líquidos o gaseosos, con una presión de diseño menor de 42,2 kg/cm<sup>2</sup>.

En cuanto a la presión primaria de servicio, todas las líneas tendrán bridas de unión con un rating de 175 libras.

## **15.3. Accesorios utilizados en esta unidad**

Los accesorios se utilizan en las conducciones para:

- Cambiar la dirección de la línea
- Cambiar el diámetro de la línea
- Conectar las diferentes ramas de las líneas
- Cerrar el final de una línea

Cuando se desea efectuar conexiones a una línea determinada, para conseguir dos o más bifurcaciones se recurre a la instalación de una te (T) o una y (Y) que, pueden ser además reductoras. Para conseguir cambios de dirección se emplean codos de los cuales existen gran variedad. También se dispone de casquetes o tapones para elementos finales para el cierre de una línea.

## 16. BOMBAS

En principio, el objeto del bombeo de un fluido en general, es su transporte de un punto a otro, generalmente de una cota más baja a otra más elevada, venciendo presiones y desniveles, mediante una máquina hidráulica llamada bomba.

En el presente caso, se han seleccionado bombas de tipo centrífuga, ya que pueden funcionar a velocidades elevadas, son menores y más ligeras. En este tipo de bombas, el líquido sale con un flujo sin intermitencia.

En la instalación se colocarán tres bombas, siempre por duplicado, cuya localización se encuentra en el diagrama de flujo. La situación de las bombas se puede consultar en la figura 1 de la presente memoria.

Con los datos de los fluidos a impulsar se han obtenido los siguientes datos para las bombas:

**TABLA X: CARACTERÍSTICAS BOMBAS**

Identificador	$P_{\text{aspiración}}$ (atm)	$P_{\text{impulsión}}$ (atm)	$P_D$ (atm)	$\Delta h$ (c.v)	$P_{\eta}$ (c.v)	$P_{\text{mec}}$ (c.v)
B-01 y B-02	8,0	15,8	7,8	34,15	76	84.5
B-03 y B-04	13,10	15,8	1,9	8,9	19,7	22
B-05 y B-06	8,00	9,55	1,55	2,82	6,3	6,7

## **17. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**

El objetivo del control automático de procesos es mantener en determinado valor de operación las variables del proceso tales como temperaturas, presiones, caudales y niveles. Los procesos son de naturaleza dinámica, en ellos siempre ocurren cambios y si no se emprenden las acciones pertinentes, las variables importantes del proceso; es decir, aquellas que se relacionan con seguridad, la calidad del producto y los índices de producción, no cumplirán con las condiciones de diseño.

### **17.1. Control de procesos**

A continuación, se indicarán brevemente cuales son las variables que se manipulan y controlan en cada uno de los equipos contemplados en este proyecto.

#### **17.1.1. Instrumentación asociada al splitter**

Cuando se hace referencia al splitter, se han de tener en cuenta dos corrientes:

- La corriente de destilado, por cabeza de columna
- La corriente de colas, por el fondo de ésta

#### **Control de la corriente de destilado**

La corriente de destilado es gaseosa, por lo que la variable a vigilar será la presión interna del recipiente, que no debe variar.

Eso se conseguirá proporcionando una salida alternativa del gas a una antorcha para cuando aumente la presión interna del recipiente.

Se dispondrá de un indicador de presión de lectura local, un manómetro y un controlador de presión con salida a panel de control. Este último, será capaz de actuar sobre la válvula de control situada en la línea de descarga de los gases, ésta será una válvula de tipo mariposa.

Se dispondrá también de un medidor local de temperatura.

### **Control de la corriente de colas**

El control de esta corriente líquida está basado en el caudal de paso. Se dispondrá de una placa de orificio para ello y cuando el caudal esté por encima del punto de consigna se cerrará la válvula de control y en el caso contrario, es decir, cuando el caudal esté por debajo del punto de consigna, la válvula de control abrirá.

Se dispondrá también de un medidor de temperatura local.

### **17.1.2 Instrumentación asociada a los intercambiadores de calor**

En estos equipos es fundamental el control de la temperatura. En principio la temperatura de alimentación es constante pero puede sufrir fluctuaciones debido a: aumento o disminución del caudal de entrada

Para paliar este efecto, el indicador de temperatura (tanto en planta como en panel) observará un aumento o disminución de la variable controlada (la temperatura de salida de la alimentación) y actuará según el grado de variación de la temperatura.

Ante un aumento o disminución leve-moderado, no se mandará señal al controlador.

Si aumenta la temperatura notablemente, se aumentará el caudal de alimentación y si éste disminuye sensiblemente, se disminuirá el caudal de alimentación.

### **17.1.3. Instrumentación asociada a los tanques de almacenamiento y al acumulador de reflujo**

Al tratarse de recipientes similares, el control de estos equipos también será similar.

Fundamentalmente, se ejercerá el control sobre el nivel en el recipiente.



Se dispondrá de dos medidores de nivel: uno máximo y otro mínimo.

Cuando el medidor de nivel máximo indique un exceso sobre el punto de consigna, se actuará sobre la válvula de control que cerrará.

Cuando el medidor de nivel mínimo indique un valor por debajo del punto de consigna, se actuará sobre la válvula de control, que abrirá.

#### **17.1.4. Instrumentación asociada a la línea que une el tanque de almacenamiento de la alimentación y el intercambiador de calor que acondiciona la alimentación**

Mencionar que en esta línea se instalará una válvula de expansión, ya que su función es disminuir la presión que trae la alimentación al salir del tanque para que entre en el intercambiador. (Debe pasar de  $15,00 \text{ kg/cm}^2$  a  $11,52 \text{ kg/cm}^2$ ).

La válvula que se instalará será una válvula comercial del tipo ZDR 10 D que se adecua al rango de caudal y presión necesarios.

Se dispondrá de un medidor de presión que ejercerá control sobre la válvula de expansión.

### **17.2 Válvulas de seguridad**

Las válvulas de seguridad no se dimensionan en el presente proyecto, sin embargo, se mencionan las causas que pueden producir una sobrepresión en los recipientes a presión, datos que sirven de partida para la Ingeniería de Detalle. Estas causas de sobrepresión determinan el caudal de descarga de la válvula, valor necesario para hallar el área de orificio, dato con el cual se determina la dimensión de la válvula haciendo uso de las tablas aportadas por el fabricante.

Las principales causas de sobrepresión son las siguientes:

- Cierre accidental de la válvula
- Defecto de refrigeración

- Rotura de un tubo intercambiador
- Incendio

Las válvulas de seguridad son válvulas automáticas que tienen la función de mantener la presión de una instalación por debajo de un límite preestablecido. Son reguladores automáticos cuya intervención producida por la presión estática existente en la entrada de la válvula. Su apertura se produce de forma proporcional al aumento de la presión en la entrada. Se caracteriza por su descarga repentina con apertura total y rápida.

### **17.3 Válvulas auxiliares**

En todo proceso existen una serie de válvulas que no son consideradas como válvulas de control, pero que son imprescindibles para lograr un diseño óptimo del sistema de control que rige dicho proceso. Estas válvulas son:

- Válvulas de compuerta
- Válvulas de retención

#### **17.3.1. Válvulas de compuerta**

Este tipo de válvulas no se utilizan como reguladoras, sino como acción de apertura o cierre, es decir, trabajan totalmente abiertas o totalmente cerradas. Cuando están abiertas, el fluido pasa a través de la válvula en dirección recta, ofreciendo una pequeña pérdida de carga; cuando la válvula está parcialmente abierta, el fluido circulante puede producir erosiones en el disco o en la superficie de asiento.

#### **17.3.2 Válvulas de retención**

Las válvulas de retención se utilizan cuando se requiere obtener un flujo unidireccional, son automáticas en su funcionamiento, permitiendo que el flujo vaya a una dirección, pero no en otra.

Las válvulas de retención que se colocan en la impulsión de las bombas son del tipo balancín. En ellas el flujo mantiene abierto el cierre o bisagra.

## **ANEXOS**

## **ANEXO I**

## **1. CÁLCULO DEL SPLITTER**

### **1.1. BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO**

El caudal de mezcla propano-propileno a tratar en el splitter es de 357,12 kmol/h (600 m<sup>3</sup>/día), cuya composición es del 80,4 % en propileno y del 19,6 % en propano. Los porcentajes indicados anteriormente y de ahora en adelante son composiciones molares.

El objetivo para cumplir con la especificación actual del cliente es obtener una corriente de destilado de un 99,6 % de riqueza en propileno y una corriente de colas del 5 % en propileno.

El fondo opera a una temperatura de 32 °C y una presión de 14,25 atm. La temperatura de operación viene dada por la gráfica T-xy (figura 3 del presente anexo) a una presión constante de 11,15 atm y por la composición de la corriente de colas que a su vez viene dada por las especificaciones del cliente.

El método empleado para el cálculo de la columna es el McCabe-Thièle ya que solamente se dispone de la curva de equilibrio binaria propano-propileno. Es por ello que no pueden emplearse los métodos Sorel-Lewis o Ponchon-Savarit.

A continuación se muestra el diagrama de flujo del proceso:

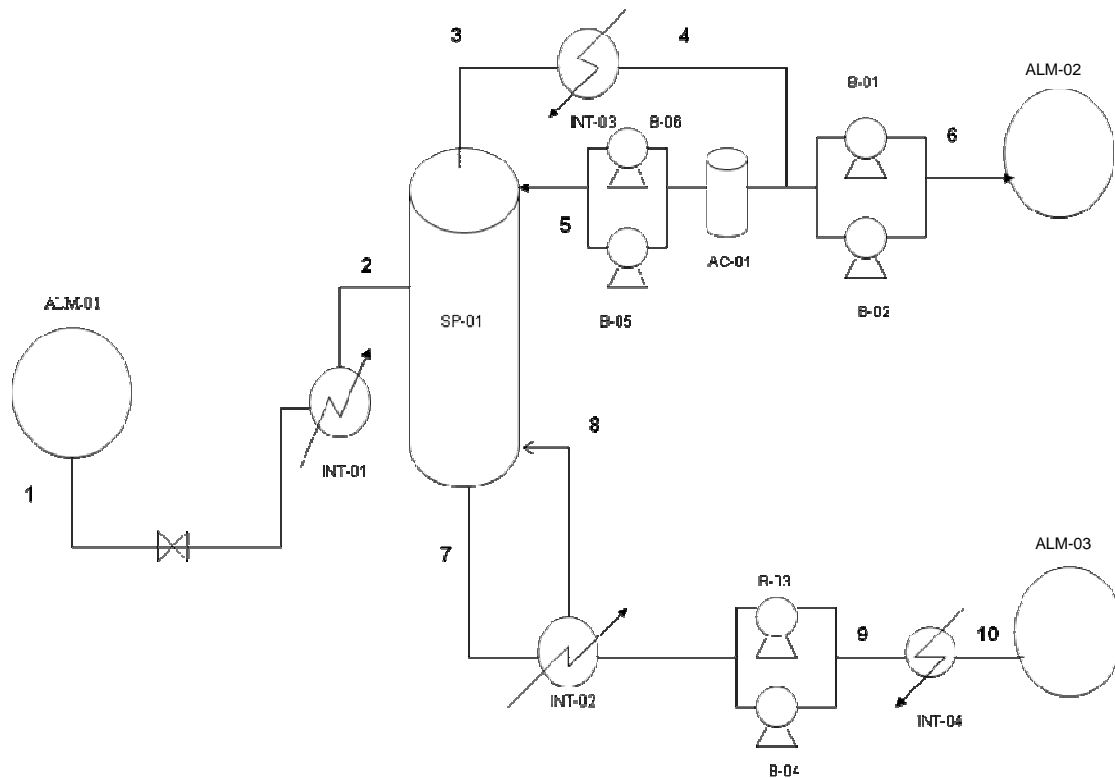


FIGURA 1: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA UNIDAD

Se procederá al balance de materia, para el que se toman los siguientes datos de partida:

**TABLA XI: CAUDALES Y COMPOSICIONES**

CORRIENTE	CAUDAL	COMPOSICIÓN
Alimentación	600 m <sup>3</sup> / día	0,804
Destilado	-	0,996
Colas	-	0,05

- Nota: Las composiciones siempre están referidas al componente más volátil, que es el propileno

Para proceder al balance de materia son necesarias algunas propiedades:

**TABLA XII: PROPIEDADES FLUIDOS**

COMPUESTO	DENSIDAD	PESO MOLECULAR
Propano	582 kg/ m <sup>3</sup>	44,096 g/ mol
Propileno	612 kg/ m <sup>3</sup>	42,08 g/ mol
Mezcla alimentación	606,12 kg/ m <sup>3</sup>	42,475 g/ mol

Se realiza el balance de materia a la columna:

$$(Entrada) = (Salida) + (Acumulación) + (Reacción química)$$

Teniendo en cuenta que el término de acumulación es cero porque se opera en estado estacionario y el término de reacción química también porque no hay reacción química, queda la siguiente expresión:

$$F = D + W \text{ (Balance global)}$$

$$F \cdot x_f = D \cdot x_d + W \cdot x_w \text{ (Balance al componente)}$$

Donde

D, es el caudal molar corriente destilado

W, es el caudal molar corriente de colas

F, es el caudal molar corriente alimentación

$x_f$ , es la composición molar de propileno en la corriente de alimentación

$x_d$ , es la composición molar de propileno en la corriente de destilado

$x_w$ , es la composición molar de propileno en la corriente de colas

### 1.1.1 Alimentación al splitter

El caudal de alimentación al splitter es de 357,12 kmol/h.

Para el paso de 600 m<sup>3</sup>/h a 357,12 kmol/h se utilizan la densidad y el peso molecular promedios de la alimentación:

$$P_{m \text{ alimentación}} = 42,48 \text{ g/mol}$$

$$\rho_{\text{alimentación}} = 606,12 \text{ kg/m}^3$$

### 1.1.2 Corriente de destilado y colas

Teniendo en cuenta las ecuaciones del balance, todos los datos son conocidos a excepción de D y W; quedan dos incógnitas y se dispone de dos ecuaciones, con lo que el sistema es perfectamente resoluble.

De la resolución del balance obtenemos los siguientes caudales:

**TABLA XIII: CAUDALES MOLARES**

CORRIENTE	CAUDAL MOLAR (mol/s)
<b>F</b>	99,16
<b>D</b>	79,04
<b>W</b>	20,13



### 1.1.3 Corrientes de líquido y vapor en la zona de rectificación del splitter

A continuación es necesario conocer los caudales de líquido y vapor que circulan tanto por la zona de rectificación como por la zona de agotamiento.

Para el cálculo de estos caudales se dispone de dos ecuaciones obtenidas de suponer un condensador total al que se le aplica un balance de materia y de la relación de reflujo:

$$V = L + D \quad (\text{Balance al condensador})$$

$$\frac{L}{V} = 0,909 \quad (\text{Relación de reflujo})$$

Donde:

L, es el caudal molar de líquido que circula por la zona de rectificación de la columna

V, es el caudal molar de vapor que circula por la zona de rectificación de la columna

L/V, es la relación de reflujo externa

La relación de reflujo se obtiene en este caso de forma gráfica, puesto que solamente se dispone de la curva de equilibrio binaria.

A partir de la curva de equilibrio propano- propileno se puede trazar la recta cuya pendiente corresponde a la relación de reflujo mínima y la relación de reflujo será un porcentaje de la mínima. Esta curva se presenta en la figura 4 del presente anexo.

Este porcentaje estará en (1,10- 1,50) de la relación de reflujo mínima, que gráficamente es 0,79.

Finalmente, la relación de reflujo será  $1,15 \cdot [L/V]_{\min}$ , puesto que es el porcentaje que permite el trazo de la recta con esta pendiente en el diagrama de equilibrio; es decir, no se cortan los trazos con la curva.

Se tienen dos ecuaciones y dos incógnitas por conocer: L y V. Se

resuelve el sistema de ecuaciones y se obtienen los datos necesarios.

$$L = 789,53 \text{ mol/s}$$

$$V = 868,57 \text{ mol/s}$$

#### 1.1.4 Corrientes de líquido y vapor en la zona de agotamiento del splitter

Para el cálculo de estos caudales se tienen las siguientes ecuaciones, siempre y cuando  $L$ ,  $L'$ ,  $V$  y  $V'$  sean constantes dentro de la columna:

$$F + L = L'$$

$$V = V'$$

Donde:

$L'$ , es el caudal molar de la corriente líquida en la zona de agotamiento

$V'$ , es el caudal molar de la corriente vapor en la zona de agotamiento.

Con un sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas por resolver:  $L'$  y  $V'$  se tiene un sistema totalmente resoluble.

Una vez resuelto:

$$L' = 888,69 \text{ mol}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$V' = 868,57 \text{ mol}\cdot\text{s}^{-1}$$

#### 1.1.5 Cálculo gráfico de la curva de equilibrio propano – propileno

La gráfica de equilibrio se obtiene a partir de un programa informático de simulación llamado ChemSept. Es un programa que simula operaciones de separación y en su base de datos contiene las curvas de equilibrio de multitud de mezclas binarias (El programa no devuelve datos numéricos).

En el presente caso se obtiene una curva un poco compleja por el hecho de ser muy cerrada en su parte superior y se hace complicado el trazo de los equilibrios. Es por ello que se ha incluido una ampliación de dicha zona para facilitar el trazo. Esta curva y su ampliación se presentan en el presente anexo.

## 1.2 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PLATOS DEL SPLITTER

### 1.2.1 Cálculo del número teórico de platos

En primer lugar se necesita la relación de reflujo mínima que se mencionó anteriormente para el cálculo de la relación de reflujo. Esta relación de reflujo mínima es la que hará infinito el número de platos y se comprueba que gráficamente es 0,79.

Siendo la relación de reflujo 0,909.

Para el trazo del número de platos se necesitan también las rectas de operación tanto de la zona de rectificación como de la zona de agotamiento. Las expresiones que describen estas rectas son las siguientes:

$$\text{Zona de rectificación: } y = (L/V) \cdot x + (D/V)$$

$$\text{Zona de agotamiento: } y = (L'/V') \cdot x - (W/V) \cdot x_w$$

Todos los datos necesarios son conocidos, luego las rectas de operación son las siguientes:

$$\text{Zona de rectificación: } y = 0,909 \cdot x + 0,091$$

$$\text{Zona de agotamiento: } y = 1,023 \cdot x - 0,0012$$

La recta de alimentación tiene pendiente  $\infty$ , ya que la alimentación entra como líquido a su temperatura de ebullición.

Esta recta de alimentación representa el lugar geométrico de los puntos de intersección de las dos rectas de operación.

Una vez situadas las rectas de operación y alimentación,  $x_D$  y  $x_w$  en el diagrama de equilibrio se puede proceder al cálculo gráfico del número de etapas de equilibrio.

Se trata de partir del punto  $x_D$  (composición destilado) y trazar una horizontal para conocer  $x_1$  (composición del primer equilibrio) en equilibrio y

luego se traza la vertical para encontrar  $y_2$ ; así se hará sucesivamente hasta rebasar  $x_F$  (composición alimentación). Llegado este momento significará que se ha llegado al plato de la alimentación y en este momento se hará uso de la recta de la zona de agotamiento en vez de la recta de la zona de rectificación hasta llegar a  $x_w$  (composición producto de colas).

El número de platos teóricos corresponderá al número de escalones trazados sobre el diagrama menos uno.

El restar un escalón se debe a que el calderín es una etapa de equilibrio, por tanto le corresponde un escalón pero no un plato más en la columna.

Una vez trazados los equilibrios en el diagrama, se obtiene el siguiente resultado:

Equilibrios Zona rectificación: 72

Equilibrios Zona agotamiento: 22

Número teórico de platos: 93

### 1.2.2 Cálculo del número real de platos

Hasta ahora se ha considerado que las corrientes de líquido y vapor que abandonan cada etapa están en equilibrio. Pero en la realidad el tiempo y el tipo de contacto pueden conducir a que no se produzca el equilibrio.

Por ello es necesario calcular un número real de platos teniendo en cuenta la eficacia.

La eficacia global de la columna,  $E_f$ , se calcula a partir de la expresión de Drickamer y Bradford, relacionando dicha eficacia con la viscosidad media de la alimentación:

$$E_f = 0,17 - 0,616 \cdot \log \sum \left[ x_{i,F} \cdot \left( \frac{\mu_{i,F}}{\mu_w} \right) \right]$$

Siendo:

$E_f$ , eficacia de columna

$x_{if}$ , fracción molar del componente en la alimentación

$\mu_{iL}$ , viscosidad dinámica del líquido a la temperatura promedio de la torre (cp.)

$\mu_w$ , viscosidad dinámica del agua a 20 °C (cp.)

La temperatura media de la columna es de 28,75 °C y los valores de viscosidad para esa temperatura son los siguientes:

$$\mu_{\text{propano}} = 0,0876 \text{ cp.}$$

$$\mu_{\text{propileno}} = 0,0781 \text{ cp.}$$

$$\mu_{\text{agua, 20°C}} = 1 \text{ cp.}$$

$$X_{f,\text{propileno}} = 0,804$$

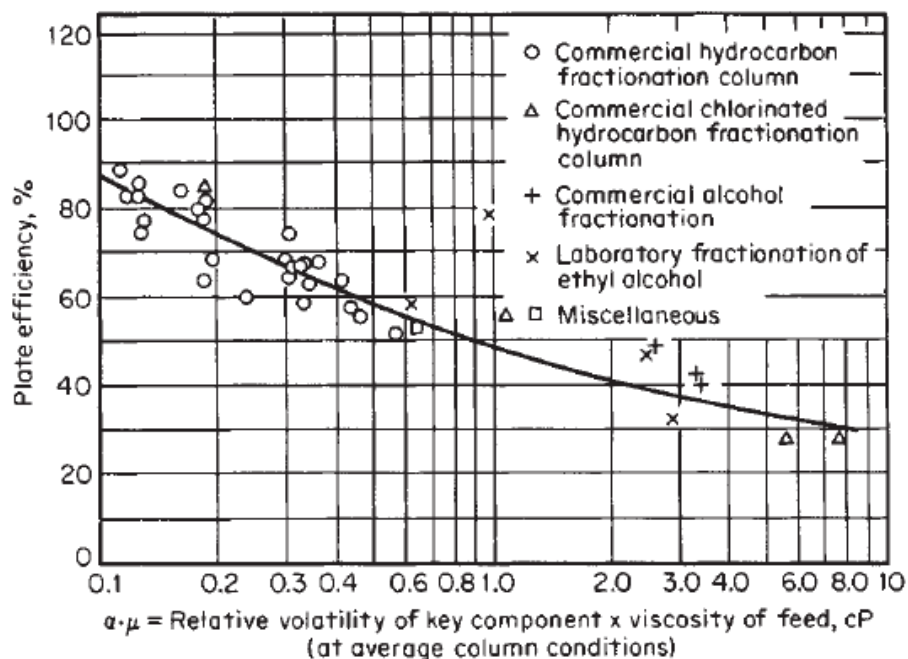
$$X_{f,\text{propano}} = 0,196$$

Resultando  $E = 84 \%$

Esta eficacia global de columna se puede comprobar gráficamente a partir de los siguientes datos:

$$\alpha, \text{ volatilidad relativa del componente clave (propileno)} = 1,06652$$

$$\mu_F, \text{ viscosidad promedio de la alimentación} = 0,07996 \text{ cp.}$$



**FIG. 14-36** O'Connell correlation for overall column efficiency  $E_{oc}$  for distillation. To convert centipoises to pascal-seconds, multiply by  $10^{-3}$ . [O'Connell, Trans. Am. Inst. Chem. Eng., 42, 741 (1946).]

$$\alpha \cdot \mu = 0,08 \approx 0,1$$

Y se puede comprobar que la eficacia global es del 84%.

De esta forma es muy fácil calcular el número real de platos.

Eficacia = número teórico de platos/ número real de platos

$$\text{Número real de platos} = \frac{93 \text{ platos teóricos}}{0,84} = 111 \text{ platos reales}$$

### 1.3 DISEÑO DE LOS PLATOS

El número de platos que conforman el splitter son 111 del tipo perforados.

El plato que se ha tomado como representativo para los del resto de la columna es el del fondo de ésta, puesto que es el que se encuentra en condiciones más desfavorables. Por tanto, si se cumplen las condiciones necesarias para éste, también se cumplirán para el resto.

Se parte de las siguientes condiciones de diseño dadas por el fabricante:

- Diámetro de los orificios del plato ( $d_0$ ) = 0,0045 m.
- Distancias entre los centros ( $p$ ) = 0,01125 m. (La distancia entre orificios será de 2,5 veces el diámetro de orificio)
- Se dispone de perforaciones al tresbolillo.
- La hoja es de acero al carbono de 0,005 m de espesor. (Se toma como espesor 1,1 veces el diámetro de orificios)
- La distancia entre platos estándar ( $t$ ) = 0,5 m.
- La altura del derramadero ( $h_w$ ) = 0,05 m.

### 1.3.1 Cálculo de las perforaciones

Se toma  $d_0 = 0,0045$  m sobre una distribución en forma de triángulo equilátero con distancias entre centros de los orificios de 0,01125 m, hechos sobre una hoja de acero al carbono de 0,005 m de espesor.

$$\frac{A_o}{A_a} = \frac{0,907 \cdot d_0^2}{p^2} = \frac{0,907 \cdot 0,0045^2}{0,01125^2} = 0,01451$$

Donde:

$A_o$ , es el área de orificio

$A_a$ , es el área activa

### 1.3.2 Cálculo del diámetro de la torre

La distancia entre platos es un valor estándar, que tienen todas las torres que tienen una altura superior a los tres metros, y dicho valor es de 0,5 m.

Tabla XV del presente anexo

$$\frac{L' \cdot P_V^{0,5}}{V' \cdot P_L^{0,5}} = \frac{q \cdot P_V^{0,5}}{Q \cdot P_L^{0,5}} = 0,2121$$

Los valores empleados para el cálculo de la expresión anterior son los siguientes:

$$\rho_V = 25,1 \text{ kg/m}^3$$

Esta densidad,  $\rho_V$ , se calcula a partir de la ecuación de los gases ideales.

$$\rho_{Vi} = \frac{P}{R \cdot T}$$

Siendo,

$$P = 14,25 \text{ atm.}$$

$$R = 0,082 \text{ atm.L.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}.$$

$$T = 305 \text{ K (T}_{\text{fondo columna}} = 32 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$\rho_V = 0,5698 \text{ mol.L}^{-1} = 25,1 \text{ kg/m}^3$  (Este cambio de unidades se realiza utilizando el peso molecular de la mezcla en el fondo de la columna = 44 g/mol)

$$\rho_L = 583,5 \text{ kg/m}^3$$

(Densidad promedio de la mezcla en el fondo de la columna)

$$L' = 888,70 \text{ mol.s}^{-1}$$

$$V' = 868,57 \text{ mol.s}^{-1}$$

$$\alpha = 0,0744 (t) + 0,01173 = 0,0744.(0,5) + 0,01173 = 0,04893$$

$$\beta = 0,0304 (t) + 0,015 = 0,0304.(0,5) + 0,015 = 0,0302$$

El dato de tensión superficial de la mezcla es un dato promedio de las tensiones superficiales del propano y el propileno (bibliografía)

$$\sigma_{\text{propano}} = 0,0136 \text{ N/m}$$

$$\sigma_{\text{propileno}} = 0,0158 \text{ N/m}$$

$$\sigma_{\text{promedio}} = (\sigma_{\text{propano}} \cdot 0,95) + (\sigma_{\text{propileno}} \cdot 0,05) = 0,0137 \text{ N.m}^{-1}$$



**1.3.2.1 Cálculo de la constante de inundación,  $C_F$** 

$$C_F = \left[ \alpha \cdot \log \cdot \frac{1}{\left(\frac{L'}{G'}\right) \cdot \left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5}} + \beta \right] \cdot \left(\frac{\sigma}{0.02}\right)^{0.2}$$

$$C_F = [0,04893 \cdot (\log (1/0,2121)) + 0,0302] \cdot (0,0137/0,02)^{0.2} = 0,0586$$

**1.3.2.2 Cálculo de la velocidad superficial del gas,  $V_F$** 

La velocidad superficial del gas se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$V_F = C_F \cdot \frac{(\rho_L - \rho_V)^{0.5}}{\rho_V^{0.5}}$$

Siendo,

$$C_F = 0,0586$$

$$\rho_V = 25,1 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_L = 583,5 \text{ kg/m}^3$$

$$V_F = 0,2764 \text{ m/s}$$

Para el cálculo de la velocidad de inundación, hay que tener en cuenta que el líquido forma espuma, luego se utiliza un factor de corrección de 0,8. Este factor suele oscilar entre 0,75 y 0,85

$$V_{\text{inundación}} = 0,8 \cdot V_F = 0,2211 \text{ m/s}$$

**1.3.2.3 Cálculo del área neta,  $A_n$** 

Para el cálculo de  $A_n$  se utiliza la expresión que sigue:

$$A_n = V' / 0,8 \cdot V_F$$

Para calcular el área neta, se necesita el valor de  $V'$  (volumétrico) y éste se calcula haciendo uso de la ecuación de los gases ideales conocidos caudal molar, presión y temperatura.

$$V' = \left( \frac{V'_{\text{molar}} \cdot R \cdot T}{P} \right)$$

Donde,

$$V' = 868,57 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$T = 305 \text{ K}$$

$$P = 14,25 \text{ atm}$$

$$V' = 1.524,41 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$V' = 1,52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Luego,

$$A_n = 6,87 \text{ m}^2$$

#### 1.3.2.4 Cálculo del área total del plato ( $A_t$ )

De la tabla XIV del presente anexo se asume el siguiente valor típico:

$$W = 0,7 T \rightarrow \text{Área utilizada por el vertedero} = 8,8 \%$$

$W$ , es la longitud del vertedero

$T$ , es el diámetro de la torre

El cálculo del área total es el área completa del plato, incluye tanto la sección perforada, como la de los derramaderos...

$$A_v = 0,088 \cdot A_t$$

$$A_t = A_n + 0,176 \cdot A_t$$

$$A_t = 8,33 \text{ m}^2$$

### 1.3.2.5 Cálculo del diámetro de la torre

Se calculará el diámetro en función del área total obtenida anteriormente, a partir de la siguiente expresión:

$$T = (4 \cdot A_t / \pi)^{0.5}$$

$$T = 3,26 \text{ m}$$

Para que el diseño de la torre sea correcto es necesario que se cumpla una condición sobre el flujo del líquido:

$$q/T \leq 0,015 \text{ m}^3/\text{m}$$

En este caso no se cumple, ya que:

$$q/T = 0,067 / 3,26 = 0,0205$$

Para que se cumpla esta condición el diámetro tendrá que ser de 4,5 m.

Luego,

$$T = 4,5 \text{ m}$$

Habrá que recalcular las áreas utilizando las expresiones en sentido inverso.

$$A_t = 15,9 \text{ m}^2$$

$$A_n = 13,11 \text{ m}^2$$

### 1.3.2.6 Cálculo de la longitud del vertedero

El vertedero, es la zona que permite que el líquido se desplace de un plato a otro.

Los vertederos pueden ser tuberías circulares, o simples partes de la sección de la columna eliminadas para que el fluido fluya por los platos verticalmente.

$$W = 0,7 \cdot T = 0,7 \cdot 4,5 = 3,15 \text{ m}$$

Donde:

W: Longitud del vertedero

T: Diámetro de la torre

### 1.3.2.7 Cálculo de la sección transversal del vertedero ( $A_v$ )

Este cálculo hace referencia al área ocupada por el vertedero y se calcula a partir de la expresión:

$$A_v = 0,088 \cdot A_t = 0,088 \cdot 15,9 = 1,399 \text{ m}^2$$

Donde:

$A_v$ : Sección transversal del vertedero

$A_t$ : Área total del plato

### 1.3.2.8 Cálculo del área activa para la lámina perforada ( $A_a$ )

Se calcula a partir de:

$$A_a = A_t - 2 \cdot A_v - (\text{área ocupada por soporte de platos} \\ + \text{zonas de desprendimiento y distribución.})$$

Se emplea soporte de anillo y las viguetas empleadas son de 40 mm de espesor entre los vertederos y zonas de desprendimiento y distribución de 50 mm de espesor, estas áreas suman un total de 0,222 m<sup>2</sup> (Se trata de una estimación)

$$A_a = 15,9 - (2 \cdot 1,399) - 0,222 = 12,88 \text{ m}^2$$

### 1.3.3. Cálculo de la caída de presión en seco ( $h_D$ )

Esta pérdida se produce a la entrada de las perforaciones. El plato tiene un espesor y como consecuencia de las perforaciones, se puede hablar de pequeños tubos en los que existe fricción.

Se empleará la siguiente expresión:

$$\frac{2 \cdot h_D \cdot g \cdot \rho_L}{V_0 \cdot \rho_G} = C_0 \left( \left( 0.40 \cdot \left( 1.25 - \frac{A_0}{A_N} \right) + 4 \cdot \frac{l \cdot f}{d_0} \right) + \left( 1 - \frac{A_0}{A_N} \right) \right)^2$$

Donde:

$h_D$ : Caída de presión en seco (m)

$C_0$ : Coeficiente de orificio

$g$ : Valor de la aceleración de gravedad;  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$\rho_L$ : Densidad del líquido ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_G$ : Densidad del gas ( $\text{kg/m}^3$ )

$V_0$ : Velocidad del gas a través del orificio (m/s)

$A_0$ : Área de orificio ( $\text{m}^2$ )

$A_N$ : Área neta ( $\text{m}^2$ )

$l$ : Espesor del plato (m)

$f$ : Factor de fanning

$d_0$ : Diámetro de orificio (m)

#### 1.3.3.1. Cálculo del área del orificio ( $A_0$ )

Es el área que tiene un orificio de la hoja perforada del plato.

$$A_0 = 0,1451 \cdot A_a = 0,1451 \cdot 12,88 = 1,87 \text{ m}^2$$

Donde:

$A_a$ : Área activa para lámina perforada

**1.3.3.2. Cálculo de la velocidad del líquido**

$$V_0 = \frac{Q}{A_a} = \frac{0,067}{12,88} = 0,005 \text{ m/s}$$

Donde:

$A_a$ : Área activa

$Q$ : Caudal de líquido

**1.3.3.3. Cálculo del coeficiente de orificio,  $C_0$** 

El coeficiente de orificio,  $C_0$ , depende de la relación existente entre el espesor de plato ( $l$ ) y el diámetro del orificio ( $d_0$ ), y se utilizará la siguiente expresión siempre que el valor de esta relación esté comprendido entre 0,2 – 2.

$$C_0 = 1,09 \cdot (d_0/l)^{0,25} = 1,09 \cdot \left(\frac{0,0045}{0,00495}\right)^{0,25} = 1,0643$$

**1.3.3.4 Cálculo del factor de fanning,  $f$** 

El factor de fanning se calcula en función del número de Reynolds de orificio, que habrá que calcular:

$$Re = \frac{d_0 \cdot V_0 \cdot \rho_G}{\mu_G}$$

Donde:

$\mu_G$  (viscosidad del gas) =  $8,76 \cdot 10^{-5}$  kg/m.s

$d_0$  : diámetro de orificio = 0,0045 m

$V_0$  : velocidad del gas = 0,82 m/s

$\rho_G$  : densidad del gas = 25,1 kg./ m<sup>3</sup>

Se obtiene  $Re = 1.049,95$

El  $Re < 2000$ , luego  $f = 64/Re$ ;  $f = 0,061$

Ahora se puede proceder al cálculo de la caída de presión en seco,  $h_D$

$$\begin{aligned}C_0 &= 1,0643 & \rho_G &= 25,1 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_L &= 583,5 \text{ kg/m}^3 & V_0 &= 0,82 \text{ m/s} \\ A_n &= 13,11 \text{ m}^2 & d_0 &= 0,0045 \text{ m}^2 \\ g &= 9,8 \text{ m/s}^2 & A_0 &= 1,87 \text{ m}^2 \\ l &= 0,00495 \text{ m} & f &= 0,061\end{aligned}$$

Se obtiene un valor de caída de presión en seco del gas de:

$$h_D = 0,0047 \text{ m}$$

#### 1.3.4 Cálculo de la cabeza hidráulica, $h_L$

En la región perforada del plato, el líquido está en forma de espuma. La profundidad equivalente de líquido claro,  $h_L$ , es una estimación del valor que se obtendría si la espuma coalesciera. Este valor es generalmente menor que la altura del derramadero de salida, y decrece al aumentar el flujo del gas.

##### 1.3.4.1 Cálculo de la velocidad lineal del gas

$$V_a = \frac{Q_G}{A_o} = \frac{1,52}{1,87} = 0,82 \text{ m/s}$$

Donde:

$V_a$  = velocidad lineal del gas

$Q_G$  = Caudal del gas

$A_o$  = Área orificio

$$V_a = 0,82 \text{ m/s}$$

### 1.3.4.2 Cálculo del ancho del flujo promedio, Z

Es la zona del plato transversal donde se encuentran las perforaciones, donde se produce la transferencia de materia de una fase a otra.

$$Z = (T + W) / 2 = (4,5 + 3,15) / 2 = 3,83 \text{ m}$$

Donde:

T: Diámetro de la torre

W: Longitud del derramadero

A continuación se procederá al cálculo del frente hidráulico,  $h_L$ :

$$h_L = 6.1 \cdot 10^{-3} + 0.725 \cdot h_w - 0.238 \cdot h_w \cdot V_a \cdot \rho_G^{0.5} + 1.225 \cdot \left(\frac{Q_L}{Z}\right)$$

Donde:

$h_w$  : Altura del derramadero, variable de diseño;  $h_w = 0,05 \text{ m}$ .

$V_a$  : Velocidad lineal del gas (m/s)

$\rho_G$  : Densidad del gas ( $\text{kg/m}^3$ )

$Q_L$  : Caudal de líquido ( $\text{kg/m}^3$ )

Z : Anchura del flujo promedio (m)

Tras hacer el cálculo, se obtiene:

$$h_L = 0,0152 \text{ m}$$

### 1.3.5 Cálculo de la caída de presión residual, $h_R$

Es el resultado de vencer la tensión superficial cuando el gas sale a través de una perforación.

$$h_R = \frac{6 \cdot \sigma}{\rho_L \cdot d_0 \cdot g} = 0.0032 \text{ m}$$



Donde:

$\sigma$  : Tensión superficial del líquido;  $\sigma = 0,0137 \text{ N/m}$

$\rho_L$  : Densidad del líquido ( $\text{kg/m}^3$ )

$d_0$  : Diámetro del orificio (m)

$g$  : Aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

### 1.3.6 Cálculo de la caída de presión total en el gas, $h_G$

La caída de presión en el gas será la suma de las tres pérdidas de carga:

- Caída de presión en seco
- Pérdida de carga de la cabeza hidráulica
- Caída de presión residual

$$h_G = h_D + h_L + h_R = 0,0047 + 0,0152 + 0,0032 = 0,0231 \text{ m.}$$

### 1.3.7. Cálculo de la pérdida de presión a la entrada del líquido, $h_2$

Es la pérdida de presión provocada por el flujo del líquido por debajo del vertedero cuando entra en el plato:

$$h_2 = 3 \cdot q^2 / 2 \cdot g \cdot A_d^2 = 0,0004 \text{ m.}$$

Donde:

$A_d$ : Área de sección transversal del vertedero ( $\text{m}^2$ )

$q$ : Caudal de líquido ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$g$  : Aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

### 1.3.8 Cálculo del retroceso en el vertedero, $h_3$

Es la diferencia en el nivel del líquido dentro e inmediatamente afuera del vertedero, será la suma de las pérdidas de presión que resultan del flujo del líquido y del gas en el plato superior.

$$h_3 = h_2 + h_G = 0,0004 + 0,0231 = 0,0235 \text{ m}$$

Donde:

$h_2$ : Pérdida de carga debida a la entrada del líquido (m)

$h_G$ : Pérdida de presión total del gas (m)

### 1.3.9 Cálculo de la verificación sobre la inundación del plato

Se comprobará que la distancia entre platos es lo suficientemente grande como para que no se produzca inundación, fenómeno que dificulta el proceso de transferencia de materia, a partir de la siguiente expresión:

$$h_w + h_3 < t/2$$

$$h_w + h_3 = 0,05 + 0,0235 = 0,0735 < t/2 = 0,5/2 = 0,250$$

$$\mathbf{0,0735 < 0,250}$$

Donde:

$h_w$  : Altura del derramadero (m)

$h_3$  : Retroceso en el vertedero (m)

$t$  : Distancia entre platos (m)

### 1.3.10 Cálculo del arrastre

Con este parámetro se puede apreciar la fracción de líquido que es arrastrada por el vapor ascendente hacia el plato superior. Con la figura 5 del presente anexo y las siguientes variables, se puede observar la fracción arrastrada.

$$V/VF = 0,8$$

$$\frac{L' \cdot \rho_{gas}^{0.5}}{G' \cdot \rho_L^{0.5}} = \frac{q}{Q} \cdot \frac{\rho_{gas}^{0.5}}{\rho_L^{0.5}} = 0.21$$

Se obtiene un valor de  $E = 0,01$  por lo que la retroalimentación del líquido es muy pequeña, de forma que la hidráulica del plato no se modifica.

### 1.3.11 Cálculo de la velocidad de lloriqueo

El lloriqueo es el fenómeno que ocurre cuando la velocidad del gas a través de los orificios es muy pequeña, el líquido goteará a través de ellos y se perderá el contacto sobre el plato para el líquido. Además, para los platos con flujo transversal, no hay flujo por toda la longitud del plato inferior. A mayor profundidad del líquido, mayor es la proporción de lloriqueo. Por tanto, el gas debe alcanzar una velocidad mínima para que no se produzca dicho lloriqueo. Esta velocidad es  $V_{ow}$  (velocidad mínima del gas a través de los orificios)

$$\frac{V_{ow} \cdot \mu_G}{\sigma} = 0,0229 \cdot \frac{(\mu_G^2 \cdot \rho_L)^{0,279}}{(\sigma \cdot \rho_G^2 \cdot d_0)^{0,279}} \cdot \frac{l^{0,292}}{d_0^{0,292}} \cdot \frac{(2 \cdot A_0 \cdot d_0)^{2,8/z/d_0^{0,724}}}{(1,73 \cdot p^2)^{2,8/z/d_0^{0,724}}}$$

Obteniéndose un valor de  $V_{ow} = 0,018$  m/s, siendo ésta la velocidad mínima a la que debe fluir el gas entre los orificios. Como la velocidad calculada para el gas a través de los orificios es de 0,82 m/s, indica que hasta que no se reduzca no se produce lloriqueo.

## 1.4 CÁLCULO DEL ESPESOR Y PESO DE LA COLUMNA

### 1.4.1 Cálculo de los espesores de la columna; Virola y fondos

Para el cálculo de los espesores se utilizarán expresiones experimentales para la estimación del espesor de los recipientes a presión.

Sabiendo que la tensión máxima admisible del acero al carbono a la temperatura de diseño (32°C) es de 790 Kg/cm<sup>2</sup>.

Siendo la presión de diseño de 14,25 Kg/cm<sup>2</sup>, se dispone de la relación  $e/R = 0,019$ .

$$e/R = 0,019 \rightarrow e = 0,019 \cdot (4500 / 2) = 42,75 \text{ mm} = 4,28 \text{ cm}$$

Donde:

e, es el espesor de la columna

R, es el radio de la columna

#### **1.4.2 Cálculo del espesor final de la columna**

Para el cálculo del espesor final es necesario tener en cuenta un sobreespesor por corrosión. En el caso del splitter, se tomará un sobreespesor (c) máximo de 6 mm, suficiente, puesto que los compuestos no son corrosivos.

$$e_f = e + c = 42,75 + 6 = 48,75 \text{ mm}$$

#### **1.4.3 Cálculo del peso de la columna**

Para el cálculo del peso de la columna es necesario previamente calcular la longitud de la columna:

La medida de longitud de la torre se obtiene de multiplicar 111 platos reales por la distancia entre platos tomada, que es de 500 mm, teniendo en cuenta el espesor de éstos. (El peso de los fondos se estima por otra parte, por ello no se tienen en cuenta en este cálculo)

$$L = (111 \cdot 0,5) + (111 \cdot 0,00495) = 56,1 \text{ m}$$

Para dar la longitud completa de la columna se ha de tener en cuenta la longitud de los fondos que será  $0,8 \cdot T$ .

$$\text{Longitud fondos} = 2 \cdot 0,8 \cdot 4,5 = 7,2 \text{ m.}$$

$$\text{Longitud total columna} = 56,1 \text{ m} + 7,2 \text{ m} = 63,3 \text{ m.}$$

#### **1.4.3.1 Peso de la virola**

Se conocen el diámetro de la columna (4,5 m) y el espesor (48,75 mm), luego con la ayuda de la siguiente expresión, se puede calcular el peso de la virola:

Peso de la virola = 5 · Longitud columna (mm) = 5 · 56.100 = 280.500 kg.

#### **1.4.3.2 Peso de los fondos**

El peso de los dos fondos se estima en 800 kg. (Referencia bibliográfica)

Luego, el peso de la columna será:

Peso columna = Peso virola + peso fondos = 281.300 kg

#### **1.4.3.3 Peso de las tubuladuras**

El peso de las tubuladuras se estima en aproximadamente un 7 % del peso de la columna según el código ASME, luego el peso de éstas es de 19.691 kg.

#### **1.4.3.4 Peso de las bocas de hombre**

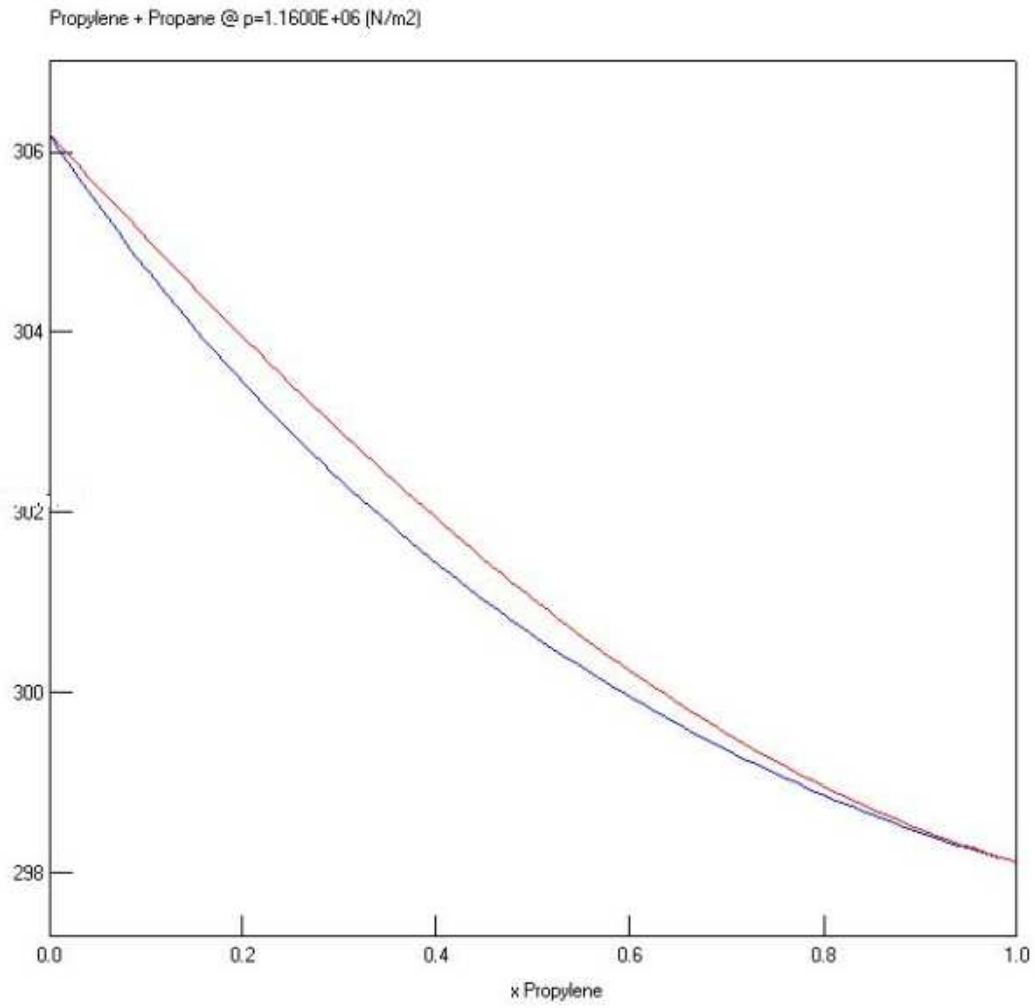
Se colocarán tres bocas de hombre a lo largo de la columna (plato 1 fondo superior, plato 86 alimentación y plato 111 fondo inferior) y éstas serán de 24" que tienen un peso aproximado de 240 kg.

Luego, el peso de éstas será de 720 kg.

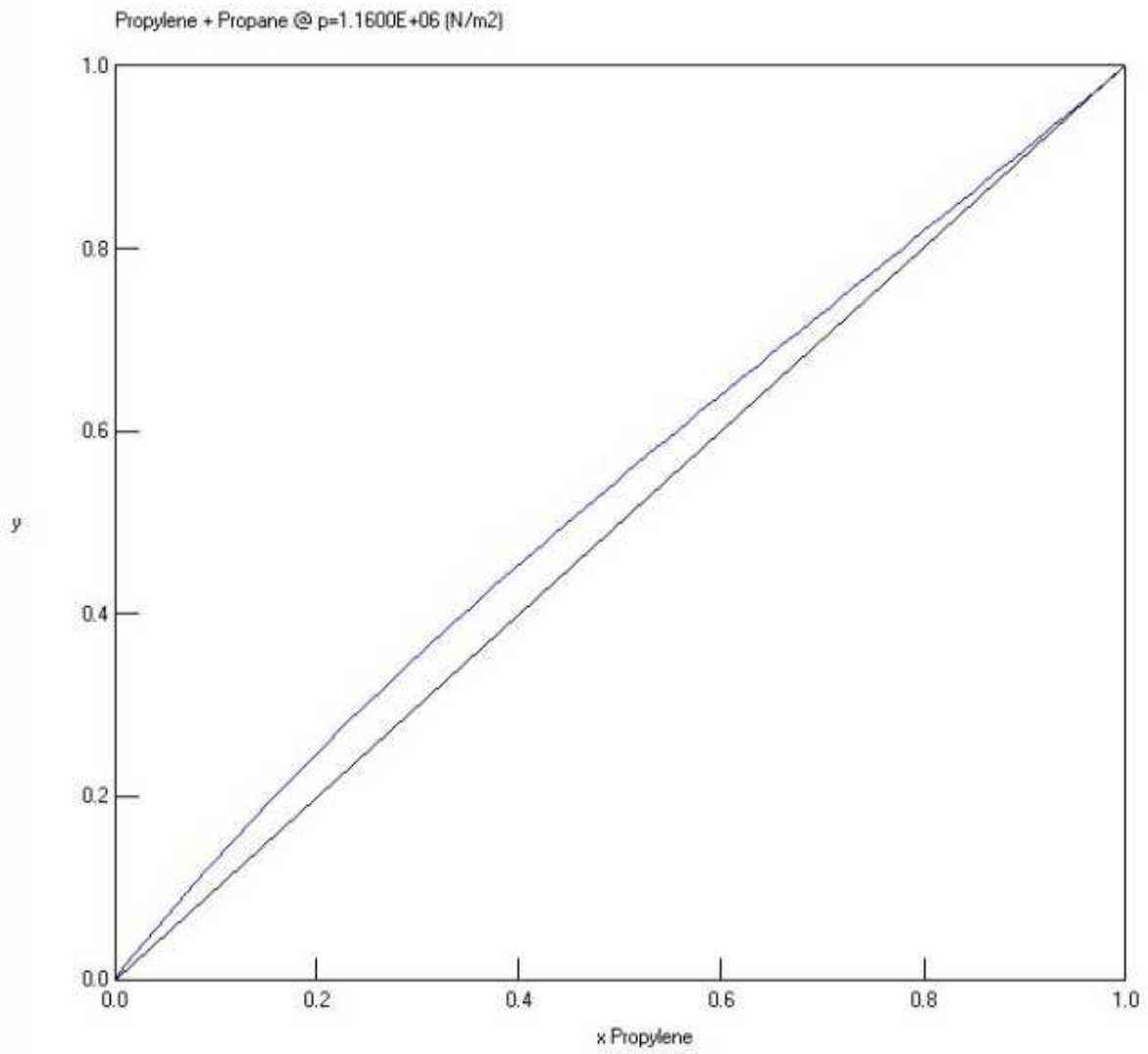
#### **1.4.3.5 Cálculo del peso total de la columna**

Peso total = Peso columna + Peso tubuladuras + Peso bocas de hombre

Peso total = 281.300 + 19.691 + 720 = 301.711 kg



**FIGURA 3: GRÁFICA T-XY**



**FIGURA 4: CURVA EQUILIBRIO PROPANO- PROPILENO 11,15 ATM**

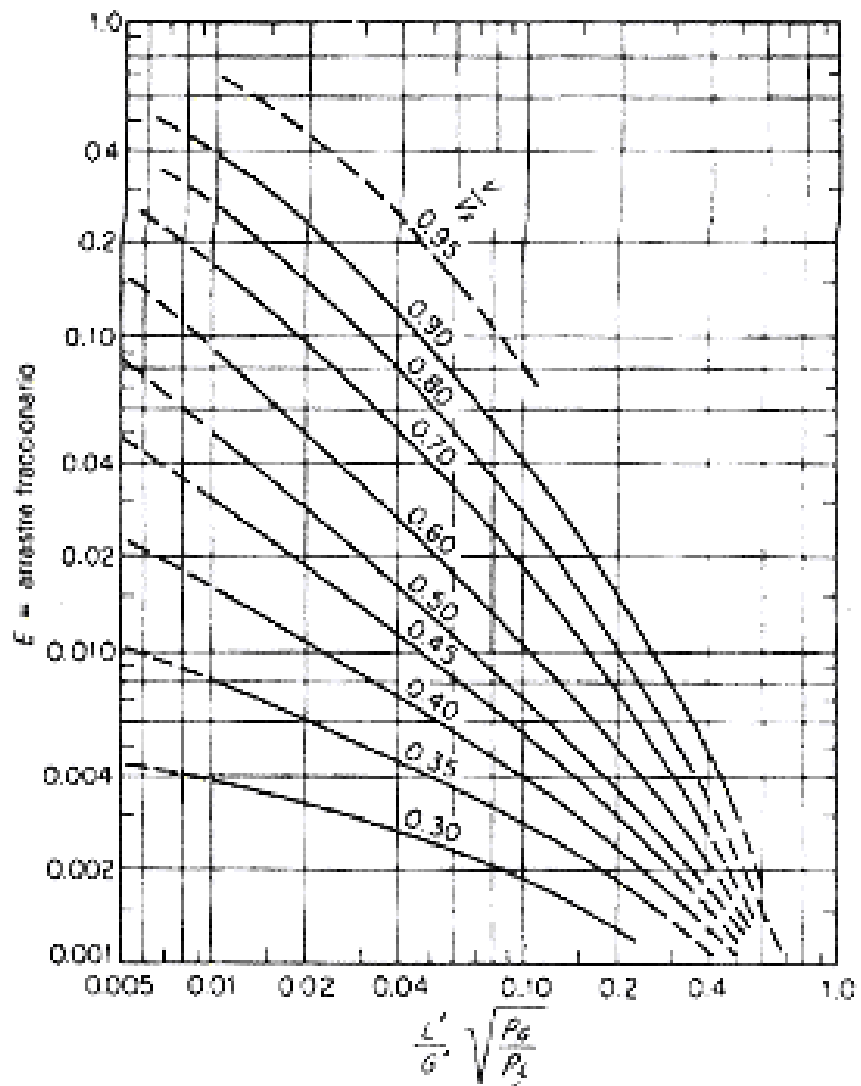


FIGURA 5: FRACCIÓN DE ARRASTRE EN PLATOS



**TABLA XIV: DIMENSIONES TORRES PLATOS PERFORADOS**

1. Espaciamiento de los platos			
Diámetro de la torre, $T$		Espaciamiento de la torre, $I$	
m	ft	m	in
1 menos	4 menos	0.15	6 mínimo
1-3	4-10	0.50	20
3-4	10-12	0.60	24
4-8	12-24	0.75	30
		0.90	36

2. Flujo del líquido	
a.	No superior a $0.015 \text{ m}^3/(\text{m diam}) \cdot \text{s}$ ( $0.165 \text{ ft}^3/\text{ft} \cdot \text{s}$ ) para platos de flujo transversal de un solo paso
b.	No superior a $0.032 \text{ m}^3/\text{longitud de derramadero}$ ( $0.35 \text{ ft}^3/\text{ft} \cdot \text{s}$ ) para otros.

3. Sellado de los vertederos	
a.	Vacío, n, 5 mm minimum, 10 de preferencia ( $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ in)
b.	Presión atmosférica y superior, 25 mm mínimo, 40 mm de preferencia ( $\frac{1}{2}$ - 1.5 in)

4. Longitud del derramadero para derramaderos rectangulares rectos, platos de flujo transversal, $0.6T$ a $0.8T$ , $0.3T$ típica			
Longitud del derramadero $W$	Distancia desde centro de la torre	Porcentaje del área de la torre utilizada por un vertedero	%
$0.55T$	$0.4181T$		3.877
$0.60T$	$0.3993T$		5.257
$0.65T$	$0.2516T$		6.899
$0.70T$	$0.3562T$		8.808
$0.75T$	$0.3296T$		11.255
$0.80T$	$0.1991T$		14.145

5. Caída de presión normal por plato	
Presión total	Caída de presión
35 mmHg abs	3 mm Hg o menos
1 std atm	900-800 $\text{N/m}^2$ ( $0.07$ - $0.12 \text{ lb}_f/\text{in}^2$ )
$2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	1000 $\text{N/m}^2$
100 $\text{lb}_f/\text{in}^2$	0.15 $\text{lb}_f/\text{in}^2$

**TABLA XV: DIMENSIONES DE TORRES DE PLATOS**

1. Constantes de irradiación  $C_T$  [Eq. (6.28) and (6.30)],  $d_o < 4$  mm ( $\frac{1}{4}$  in)

Rango de $\frac{A_s}{A_c}$	Rango de $\frac{L^3}{G^2} \left( \frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{0.5}$	Unidades de $L$	Unidades de $G$	Unidades de $V_s$	$\alpha, \beta$
$> 0.1$	0.01-0.1, utilizar valores en 0.1	m	N/m	m/s	$\alpha = 0.0748r + 0.01173$ $\beta = 0.0204r + 0.015$
	0.1-1.0	cm	dinas/cm $\times 10^{-3}$	ft/s	$\alpha = 0.0062r + 0.0383$ $\beta = 0.00253r + 0.050$

$< 0.1$  Multiplicar  $\alpha$  y  $\beta$  por  $5A_s/A_c + 0.5$

2. Diámetro el orificio, espesor del plato

Diámetro del orificio		Espesor del plato/diam. orif.	
mm	in.	Acero inoxidable	acero al carbón
3.0	$\frac{1}{8}$	0.65	
4.5	$\frac{3}{16}$	0.43	
6.0	$\frac{1}{4}$	0.32	
9.0	$\frac{3}{8}$	0.22	0.5
12.0	$\frac{1}{2}$	0.16	0.38
15.0	$\frac{5}{8}$	0.17	0.3
18.0	$\frac{3}{4}$	0.11	0.25

3. Profundidad del líquido

50 mm (2 in) mínimo    100 mm (4 in) máximo

4. Área activa típica

Diámetro de la torre		$\frac{A_s}{A_c}$
m	ft	
1	3	0.65
1.25	4	0.70
2	6	0.74
2.5	8	0.76
3	10	0.78

## **ANEXO II**

## 2. DISEÑO DEL CALDERÍN

### 2.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

En este proyecto se ha optado por el uso de un intercambiador de calor de carcasa y tubos para el diseño del calderín.

Esta decisión se ha tomado en base a criterios económicos y a la disponibilidad del fluido calefactor procedente de otras líneas de la planta.

Como fluido calefactor se dispone de vapor sobrecalentado, lo que quiere decir que su disponibilidad no es ilimitada pero suficiente. De este modo, se obtiene un aprovechamiento óptimo de los recursos de la planta.

#### 2.1.1 Detalles de construcción

Los cambiadores de calor de carcasa y tubos son los modelos de equipos de transferencia de calor más usados en la industria química. Esencialmente constan de una bancada de tubos encerrada en una carcasa cilíndrica, aunque existen modelos muy variados.

En el presente proyecto se ha optado por un intercambiador de carcasa y tubos, con placas tubulares fijas.

### 2.2 MÉTODOS DE CÁLCULO

La transmisión de calor entre fluidos se define por la siguiente ecuación general:

$$Q = A \cdot (U_s \cdot \Delta T_{ml})$$

Donde:

Q, es la carga térmica a aplicar (kcal/h)

A, es la superficie de intercambio (m<sup>2</sup>)

U<sub>s</sub>, es el coeficiente global (Kcal/h\*m<sup>2</sup>\*°C)

ΔT<sub>ml</sub>, es el incremento de temperatura media logarítmica (°C)

La incógnita que debe obtenerse, como en la gran mayoría de problemas de diseño, es la superficie de intercambio requerido A, y a partir de ella los parámetros físicos y geométricos.

Existen diversos métodos de cálculo pero los procedimientos que siguen son muy similares entre sí. De este modo, puede establecerse uno genérico, como el que se sugiere a continuación.

### **2.3 CÁLCULOS GENERALES DE DISEÑO**

Antes del cálculo de las dimensiones y parámetros del calderín, se procederá al cálculo del calor absorbido por el fluido a calentar (Q) que será un dato de utilidad en el procedimiento de cálculo.

La corriente de entrada al intercambiador de calor se encuentra en fase líquida y se trata de una mezcla propano- propileno.

#### **2.3.1 Datos de la corriente de entrada**

En el intercambiador entra una corriente líquida del orden de 888,7 mol/s cuya composición es de 95 % en propano y 5% en propileno.

La entrada de esta corriente se produce a una presión de 14,25 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **2.3.2 Datos de la corriente del fluido calefactor**

Como fluido calefactor se ha seleccionado vapor de agua recalentado a una temperatura de 150 °C. Este fluido procederá de otra unidad de planta que pueda abastecer al intercambiador de calor del splitter propano- propileno.

El fluido calefactor abandonará el intercambiador a una temperatura de 90°C.

Un dato de gran importancia es el calor específico que posee el fluido calefactor.

Se define calor específico como la energía necesaria para incrementar en una unidad de temperatura una cantidad de sustancia.

El calor específico se encuentra tabulado en función de la temperatura, luego será necesario obtener un dato promedio entre 90 y 150 °C.

$$C_p = 0,475 \text{ Kcal/}^\circ\text{C.kg}$$

La entrada de esta corriente tiene lugar a presión atmosférica.

### 2.3.3 Cálculo del calor de vaporización

Para el cálculo de este calor es necesario realizar el balance entálpico al calderín, teniendo en cuenta que se opera en estado estacionario (no hay acumulación), que no existen pérdidas debido al aislamiento y que no existe reacción química:

$$\{Entrada\} = \{Salida\}$$

$$L' \cdot H_{L'} + q_B = V' \cdot H_{V'} + W \cdot H_w$$

$$q_B = V' \cdot H_{V'} + W \cdot H_w - L' \cdot H_{L'}$$

Siendo  $V' \cdot H_{V'} + W \cdot H_w = \lambda$

$$W \cdot H_w - L' \cdot H_{L'} = C_p$$

Asumiendo que los calores sensibles son mucho menores que los calores latentes:  $H_w = H_{L'}$

$$q_B = V' \cdot H_{V'} + W \cdot H_{L'} - L' \cdot H_{L'}$$

$$q_B = V' \cdot H_{V'} + (W - L') \cdot H_{L'}$$

Siendo  $W - L' = -V'$

$$\text{Luego } q_B = V' \cdot H_{V'} - V' \cdot H_{L'}$$

$$q_B = V' \cdot (H_{V'} - H_{L'}) = V' \cdot \lambda_{V'}$$

Para el cálculo del vapor se necesitan dos datos:

$$V' = 137.555 \text{ kg/h}$$

$$\lambda_{V'} = 77,505 \text{ kcal/h}$$

$$V'_{\text{molar}} = 868,57 \text{ mol/s}$$

Para pasar a caudal másico se necesita el peso molecular promedio de la mezcla.

$$M_{r \text{ promedio}} = 43,99 \text{ g/mol, obteniéndose } V' = 137.555 \text{ kg/h}$$

Este calor latente de vaporización es un dato bibliográfico del propano puesto que la mezcla tiene una composición del 95% en propano y se asume este dato como promedio.

De esta forma:

$$Q = 10.661.200 \text{ kcal/h}$$

#### 2.3.4 Cálculo caudal másico fluido calefactor

Otra expresión válida para el cálculo de Q es la siguiente:

$$Q = m_{\text{vapor agua}} \cdot \lambda_{\text{vapor agua}} + m_{\text{vapor agua}} \cdot C_{p \text{ vapor agua}} \cdot (T_{c, \theta} - T_{c, s})$$

Donde todos los datos son conocidos, exceptuando  $m_{\text{vapor agua}}$ , que será la incógnita.

Q: Carga térmica

$\lambda_v$ : Calor latente del vapor de agua a temperatura promedio

$C_{pv}$ : Calor específico del vapor de agua a temperatura promedio

$T_{c,e}$ : Temperatura de entrada del fluido caliente

$T_{c,s}$ : Temperatura de salida del fluido caliente

$m_{\text{vapor agua}}$  : Caudal másico del fluido calefactor

**TABLA XVI: DATOS PARA CALCULAR EL CAUDAL DE VAPOR**

Q	10.661.200 kcal/h
$\lambda_{\text{vapor agua}}$	540 kcal/kg
$C_{p\text{vapor agua}}$	0,475 kcal/°C.kg
$T_{c,e}$	150 °C
$T_{c,s}$	90 °C

Resolviendo la ecuación, se obtiene:

$$m_{\text{vapor agua}} = 18753,21 \text{ kg. Vapor/h}$$

## 2.4 DISEÑO TÉRMICO DEL INTERCAMBIADOR

### 2.4.1 Cálculo $\Delta T_{ml}$ (incremento temperatura media logarítmica)

Es necesario el cálculo del incremento de temperatura media logarítmica para proceder al cálculo del área de intercambio. Dicho cálculo se realizará mediante la siguiente expresión para fluidos a contracorriente:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{s,c} - T_{e,f}) - (T_{e,c} - T_{s,f})}{\ln \left( \frac{T_{s,c} - T_{e,f}}{T_{e,c} - T_{s,f}} \right)}$$



Donde:

$T_{e,f}$  : Temperatura de entrada del fluido frío = 32 °C

$T_{e,c}$  : Temperatura de entrada del fluido caliente = 150 °C

$T_{s,f}$  : Temperatura de salida del fluido frío = 32 °C

$T_{s,c}$  : Temperatura de salida del fluido caliente = 90 °C

$$\Delta T_{ml} = 84,5 \text{ °C}$$

#### **2.4.2 Coeficiente global de transmisión de calor, U**

Para el diseño, será necesario suponer un coeficiente global, denominado "U".

Para la suposición de este valor se hará uso de fuentes bibliográficas; por tanto, este coeficiente para un intercambiador donde el fluido caliente es vapor y el fluido frío una mezcla de compuestos orgánicos ligeros, tomará el valor de 900 W / m<sup>2</sup>.°C (Tabla XXVII del presente anexo).

### **2.5 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE. DIMENSIONAMIENTO**

#### **2.5.1 Cálculo del área total de intercambio**

Para el presente cálculo, se hará uso de la ecuación general antes citada:

$$Q = A \cdot (U_s \cdot \Delta T_{ml})$$

En esta expresión todos los parámetros son conocidos a excepción del área de intercambio, que es el objetivo del cálculo.

**TABLA XVII: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO**

Q	10.661.200 kcal/h
Us	900 W./m <sup>2</sup> .°C
$\Delta T_{ml}$	84,5 °C

$$A = 140,2 \text{ m}^2$$

### 2.5.2 Diseño de los tubos

Los valores de diámetro nominal y longitud para los tubos están estandarizados según TEMA.

**TABLA XVIII: VALORES ESTANDARIZADOS PARA INTERCAMBIADORES**

do	1/4 " – 2 1/2 "
L	6 ,8, 16, 20, 24 (ft)

En el presente diseño se supondrá un diámetro nominal de 1" y una longitud de 16 ft.

#### 2.5.2.1 Longitud total

Conocida el área total del intercambiador y el perímetro de cada tubo se podrá conocer la longitud total necesaria

$$L_{total} = A / P_{tubo}$$

$$P_{tubo} = 2\pi r$$

**TABLA XIX: DATOS PARA EL CÁLCULO LONGITUD TOTAL**

A	140,2 m <sup>2</sup>
P <sub>tubo</sub>	0,08 m

$$L_{total} = 1.752,5 \text{ m}$$

### 2.5.2.2 Número de tubos

Conocida la longitud total y la longitud de cada tubo, es posible calcular el número de tubos,  $N_t$ .

$$N_t = L_{total} / L_{tubo}$$

Luego,

$$N_t = 360 \text{ tubos}$$

### 2.5.2.3 Espesor de tubo

La expresión adecuada para el cálculo de espesor de tubo es la siguiente:

$$t = P.Ri / (\sigma_t.Es - 0,6.P)$$

Donde:

t : espesor en cm

P : Presión de trabajo en kg. /cm<sup>2</sup>

Ri : Radio interno en cm

$\sigma_t$  : tensión máxima admisible del material kg/cm<sup>2</sup>

Es : eficacia soldadura; en el caso de las tuberías será 1 porque no van soldadas

**TABLA XX: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE TUBO**

P	14,25 kg/cm <sup>2</sup>
Ri	1,27 cm
$\sigma_t$	1500 kg./ cm <sup>2</sup>
Es	1

$$t = 0,0121 \text{ cm}$$

Además hay que tener en cuenta un espesor de corrosión, que se supone de 2 mm.

Luego se obtiene un tubo que corresponde a un tubo comercial 1" 40-ST. ( $d_e = 0,033 \text{ m}$ )

#### 2.5.2.4 Diámetro de la bancada de tubos

El cálculo del diámetro de la bancada de tubos se hará mediante la siguiente expresión:

$$Db = de \cdot (Nt/k1)^{1/n1}$$

Donde:

Db = Diámetro de la bancada de tubos

de = Diámetro externo de tubo

Nt = Número total de tubos

K1 y n1 = Constantes tabuladas

**TABLA XXI: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE BANCADA DE TUBOS**

de	0,033 m
Nt	360
K1	0,319
1/n1	0,467

$$D_b = 0,879 \text{ m}$$

### 2.5.2.5 Espesor de la carcasa

Conocido el diámetro de la bancada de tubos, será necesario calcular el diámetro y el espesor de la carcasa.

Entre la bancada de tubos y la carcasa existe una holgura que se encuentra tabulada gráficamente; en el presente caso adopta un valor de 0,025 m.

Luego si al diámetro de la bancada de tubos se le suma la holgura, se obtendrá el diámetro interno de la carcasa.

$$D_{i, \text{carcasa}} = 0,904 \text{ m}$$

Se procederá al cálculo del espesor de la carcasa del mismo modo en que se hizo con el espesor de tubo, exceptuando que  $E_s$  será 0,85, puesto que en este caso si existen soldaduras.

$$t = P.R_i / (\sigma_t.E_s - 0,6.P)$$

Donde:

t : espesor en cm

P : Presión de trabajo en  $\text{kg/cm}^2$

Ri : Radio interno en cm

$\sigma_t$  : tensión máxima admisible del material  $\text{kg/cm}^2$

Es : eficacia soldadura; en el caso de las tuberías será 1 porque no van soldadas

**TABLA XXII: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE CARCASA**

P	1,0332 $\text{kg/cm}^2$
Ri	45,2 cm
$\sigma_t$	1500 $\text{kg/cm}^2$
Es	0,85

$$t = 0,000366 \text{ m}$$

También se ha de tener en cuenta un espesor de corrosión de 2 mm.

Luego,

$$D_{e, \text{ carcasa}} = 0,906 \text{ m}$$

## 2.6 PÉRDIDAS DE CARGA

Existen pérdidas de carga tanto en el lado de los tubos como en el lado de la carcasa.

Se procederá al cálculo de ambas pérdidas.

Las pérdidas de carga deben ser menores a los siguientes valores si el diseño es el adecuado.

Para líquidos:

**TABLA XXIII: PÉRDIDAS DE CARGA EN INTERCAMBIADORES**

Viscosidad (mNs / m <sup>2</sup> )	Pérdida de carga (kN. /m <sup>2</sup> )
< 1	35
1 - 10	50 - 70

Para vapores:

**TABLA XXIV: PÉRDIDAS DE CARGA EN INTERCAMBIADORES**

Presión (bar)	Pérdida de carga (kN/m <sup>2</sup> )
Alto vacío	0,4 – 0,8
Medio vacío	0,1.P <sub>absoluta</sub>
1 – 2	0,5.P <sub>sistema</sub>
10	0,1.P <sub>sistema</sub>

### 2.6.1 Pérdida de carga en el lado de los tubos

Hay dos fuentes de pérdidas de carga en el lado de los tubos: la caída de presión por fricción en el interior del tubo, y las pérdidas de presión debidas a las contracciones, expansiones e inversiones de flujo que sufre el fluido en su paso por los tubos. La caída de presión total será:

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left[ 8 \cdot j_f \cdot \left( \frac{L}{d_1} \right) \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_r^2}{2}$$

Siendo:

$\Delta P_t$  : Pérdida de carga (N.m<sup>-2</sup>)

$N_p$ : Número de pasos por los tubos

$j_f$ : Factor de fricción

L: Longitud de tubo (m)

$d_1$ : Diámetro interior de tubo (m)

$u_t$ : Velocidad de paso del fluido ( $m \cdot s^{-1}$ )

$\mu_w$ : Viscosidad del fluido en la pared de la carcasa ( $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ )

Algunas consideraciones:

- En el presente diseño, el número de pasos por tubos es 1
- Consideramos  $\mu = \mu_w$

Aclarar que por tubos circula mezcla líquida propano-propileno a temperatura de saturación.

La velocidad de paso del fluido se calculará a partir del caudal total de líquido, el número de tubos y el área de paso de cada tubo.

$$L' = 0,067 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L' / Nt = 0,0001861 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L'_{\text{tubo}} / A_{\text{tubo}} = u_s = 0,82 \text{ m/s}$$

El factor de fricción se estima del orden de 0,002.

Ya se tienen todos los parámetros para el cálculo de la pérdida de carga.

$$\Delta P_t = 1.689,68 \text{ N/m}^2$$

Este valor es mucho menor a  $35 \text{ KN/m}^2$ , con lo que la pérdida de carga es más que aceptable.



### 2.6.2. Pérdida de carga en el lado de la carcasa

En primer lugar se procederá al cálculo de la densidad de flujo y de la velocidad.

Para ello:

Densidad de flujo,  $G_s$

$$G_s = m_v / A_{carcasa}$$

$$G_s = 29.089 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

$$u_s = G_s / \rho$$

$$u_s = 14,7 \text{ m/s}$$

La pérdida de carga a través de la carcasa se calcula a través de la siguiente expresión:

$$\Delta P_s = N_p \cdot \left[ 8 \cdot j_f \cdot \left( \frac{D_s}{d_e} \right) \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_t^2}{2}$$

Donde:

$N_p$ : Número de pasos por tubo

$j_f$ : Factor de fricción

$D_s$ : Diámetro interno de la carcasa

$d_e$ : diámetro equivalente

$u_t$ : Velocidad de paso del fluido

$\mu_w$ : Viscosidad del fluido en la pared

Se hacen las mismas consideraciones que en el lado de los tubos.

Se estima un factor de fricción de 0,0017 según datos bibliográficos.

Para el cálculo del diámetro equivalente,  $d_e$ , es necesaria la siguiente expresión:

$$d_e = \frac{1,1}{\alpha_2} \cdot (P_t^2 - 0,917 \cdot d_2^2)$$

$$P_t = 1,25 \cdot d^2$$

A partir de las expresiones anteriores y los datos necesarios obtenidos y expuestos anteriormente, se calcula el diámetro equivalente

$$d_e = 0,012 \text{ m}$$

Ahora se puede calcular la pérdida de carga, puesto que se tiene el valor de todos los parámetros

$$\Delta P_s = 60,83 \text{ N / m}^2$$

Valor aceptable puesto que no supera los  $564 \text{ KN / m}^2$  ( $0,5 \cdot P_{\text{sistema}}$ )

## 2.7 AISLAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Es necesario aislar el intercambiador de calor para que las pérdidas térmicas sean las mínimas.

Esto se conseguirá mediante lana de vidrio de un determinado espesor que se calculará posteriormente. La lana de vidrio se recubrirá de chapa de aluminio.

El método de cálculo se basa en un método iterativo que hará mínimo el flujo de calor transferido en función del espesor de la lana de vidrio.

La expresión de cálculo del flujo de calor transferido es la siguiente:

$$\frac{T_i - T_{e,a}}{\frac{R_{in} - R_e}{K/MLTD1} + \frac{R_e - R_{in}}{MLTD2/K}}$$

A continuación se refleja un cuadro resumen donde aparece la iteración final:

Datos:

**TABLA XXV: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE PARA EL INTERCAMBIADOR**

Espesor de la tubería (m)	0,002
Diámetro interno (m)	0,904
k de la tubería (W /m.°C)	52,52
Espesor del aislamiento (m)	0,35
k del aislamiento (W /m.°C)	0,057
Temp. de la superficie interna de la tubería (°C)	120
Temp. del aislamiento externa (°C)	25
Longitud de la tubería (m)	4,88

Radio interno (m)	0,452
Radio intermedio (m)	0,454
Radio externo (m)	0,804
MLTD 1 (DEG)	2,85
MLTD 2 (DEG)	3,85
Flujo de calor transferido (W)	<b>62,67</b>

Se ha finalizado la iteración cuando se ha considerado equilibrada la relación espesor de aislante – Flujo de calor transferido.

Luego, el espesor de aislante será de 35 cm.

### TABLA XXVI: CALORES LATENTES DE VAPORIZACIÓN

TABLE 2-193 Heats of Vaporization of Inorganic and Organic Compounds

Cmpd. no.	Name	Formula	CAS no.	Mol wt	C1 × 1E-07	C2	C3	C4	T <sub>sat</sub> <sup>*</sup> K	ΔH <sub>v</sub> at T <sub>sat</sub> × 1E-07	T <sub>sat</sub> <sup>*</sup> K	ΔH <sub>v</sub> at T <sub>sat</sub>
1	Methane	CH <sub>4</sub>	74828	16.043	1.0194	0.26087	-0.14694	0.22154	90.69	0.8724	190.56	0
2	Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	74840	30.070	2.1091	0.60646	-0.55492	0.32799	90.35	1.7879	305.32	0
3	Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	74986	44.097	2.0900	0.78237	-0.77319	0.30246	85.47	2.4737	369.83	0
4	n-Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	106978	58.123	3.6238	0.8337	-0.82274	0.30613	134.86	2.8684	425.12	0
5	n-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	106660	72.150	3.9100	0.38651	0	0	143.42	3.3968	469.7	0
6	n-Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	110543	86.177	4.4544	0.39002	0	0	177.83	3.7647	507.6	0
7	n-Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	142825	100.204	5.0014	0.38795	0	0	182.57	4.2619	540.2	0
8	n-Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	111650	114.231	5.5150	0.38467	0	0	216.38	4.5908	568.7	0
9	n-Nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	111842	128.258	6.0370	0.38522	0	0	219.66	5.0545	594.6	0
10	n-Decane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	124185	142.285	6.6126	0.39797	0	0	243.51	5.4168	617.7	0
11	n-Undecane	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	1120214	156.312	7.2284	0.40607	0	0	247.57	5.9240	639	0
12	n-Dodecane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	112403	170.338	7.7337	0.40681	0	0	263.57	6.2802	658	0
13	n-Tridecane	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	620505	184.365	8.4330	0.4257	0	0	267.76	6.8015	675	0
14	n-Tetradecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	620594	198.392	9.0539	0.44467	0	0	279.01	7.2002	693	0
15	n-Pentadecane	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	620620	212.419	9.6741	0.45309	0	0	283.07	7.6728	708	0
16	n-Hexadecane	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	544763	226.446	10.1960	0.45726	0	0	291.31	8.0225	723	0
17	n-Heptadecane	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	620787	240.473	10.4730	0.4374	0	0	285.13	8.3699	736	0
18	n-Octadecane	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	593453	254.500	10.9600	0.44327	0	0	301.31	8.7246	747	0
19	n-Nonadecane	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	620925	268.527	11.6740	0.45865	0	0	305.04	9.2185	758	0
20	n-Eicosane	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	112058	282.553	12.8600	0.50351	0.32086	-0.42184	309.58	9.5933	768	0
21	2-Methylpropane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	75285	58.123	3.1667	0.3855	0	0	113.54	2.7927	408.14	0
22	2-Methylbutane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	78784	72.150	3.7700	0.3902	0	0	113.25	3.3720	460.43	0
23	2,3-Dimethylbutane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	79298	86.177	4.1404	0.38124	0	0	145.19	3.6328	499.98	0
24	2-Methylpentane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	107835	86.177	4.2780	0.384	0	0	119.55	3.8405	497.5	0
25	2,3-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	535593	100.204	4.6536	0.37579	0	0	160	4.0747	537.35	0
26	2,2,3-Trimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	560214	114.231	4.9010	0.382	0	0	172.22	4.3330	573.5	0
27	2,2,4-Trimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	540841	114.231	4.7721	0.37992	0	0	165.78	4.1565	543.96	0
28	Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	74851	28.054		0.3746	0	0	104	1.6025	282.34	0

TABLA XXVII: COEFICIENTES TOTALES TÍPICOS

Intercambiadores tubulares		
Fluido caliente	Fluido frío	$U$ : ( $W.m^2. ^\circ C$ )
<i>Intercambiadores de calor</i>		
Agua	Agua	800 – 1500
Solventes orgánicos	Solventes orgánicos	100 – 300
Aceites ligeros	Aceites ligeros	100 – 400
Aceites pesados	Aceites pesados	50 – 300
Gases	Gases	10 – 50
<i>Enfriadores</i>		
Solventes orgánicos	Agua	250 – 750
Aceites ligeros	Agua	350 – 900
Aceites pesados	Agua	60 – 300
Gases	Agua	20 – 300
Solventes orgánicos	Salmuera	150 – 300
Agua	Salmuera	600 – 1200
Gases	Salmuera	15 – 250
<i>Calentadores</i>		
Vapor	Agua	1500 – 4000
Vapor	Solventes orgánicos	500 – 1000
Vapor	Aceites ligeros	300 – 900
Vapor	Aceites pesados	60 – 450
Vapor	Gases	30 – 300
Dowtherm	Aceites pesados	50 – 300
Dowtherm	Gases	20 – 200
Gases de combustión	Vapor	30 – 100
Caldero	Vapores de hidrocarburos	30 – 100

**TABLA XXVII: COEFICIENTES TOTALES TÍPICOS (Cont.)**

<b>Intercambiadores tubulares</b>		
<b>Fluido caliente</b>	<b>Fluido frío</b>	<b><math>U</math>: (W.m<sup>2</sup>. °C)</b>
<b><i>Condensadores</i></b>		
Vapores acuosos	Agua	100 – 1500
Vapores orgánicos	Agua	700 – 100
Orgánicos (con no condens.)	Agua	500 – 700
Condensación al vacío	Agua	200 – 500
<b><i>Vaporizadores</i></b>		
Vapor	Soluciones acuosas	100 – 1500
Vapor	Orgánicos ligeros	900 – 1200
Vapor	Orgánicos pesados	600 - 900

## **ANEXO III**

### 3. DISEÑO DEL CONDENSADOR

Para el condensador, también se ha optado por un intercambiador de carcasa y tubos, con placas tubulares fijas.

El método de diseño es el mismo. A continuación se presentan los resultados.

#### 3.1 MÉTODOS DE CÁLCULO

Al igual que en el caso del calderín, en el condensador, la transmisión de calor entre fluidos se define por la siguiente ecuación general:

$$Q = A \cdot (U_s \cdot \Delta T_{mi})$$

La incógnita que debe obtenerse es la superficie de intercambio requerido A, y a partir de ella los parámetros físicos y geométricos.

#### 3.2 CÁLCULOS GENERALES DE DISEÑO

Antes del cálculo de las dimensiones y parámetros del condensador, se procederá al cálculo del calor cedido por el fluido a enfriar (Q) que será un dato de utilidad en el procedimiento de cálculo.

La corriente de entrada al condensador se encuentra en fase vapor y se trata de una mezcla propano- propileno.

##### 3.2.1 Datos de la corriente de entrada

$$V = 868,57 \text{ mol/s}$$

Cuya composición es de 0.004 % en propano y 99.6 % en propileno

La entrada de esta corriente se produce a 8,75 kg/cm<sup>2</sup>.



### 3.2.2 Datos de la corriente del fluido refrigerante

Como fluido refrigerante se ha seleccionado agua líquida a temperatura de 7 °C, que proviene de una unidad criogénica de planta.

El fluido refrigerante abandonará el condensador a una temperatura de 10 °C.

El calor específico que posee el fluido refrigerante:

$$C_p \text{ fluido refrigerante} = 0.9994 \text{ Kcal/}^\circ\text{C.kg}$$

La entrada de esta corriente se produce a presión atmosférica

$$P = 1 \text{ atm}$$

### 3.2.3 Cálculo del calor de condensación:

$$Q = V \cdot \lambda_v$$

Esta ecuación sale de realizar el balance entálpico al condensador como sigue:

Asumiendo que se opera en estado estacionario (no hay acumulación), que no hay reacción química y que las pérdidas son despreciables porque existe aislamiento :

$$\{Entrada\} = \{Salida\}$$

$$V \cdot H_v = L \cdot H_L + D \cdot H_D + q_c$$

$$q_c = V \cdot H_v - L \cdot H_L - D \cdot H_D$$

Asumiendo que los calores sensibles son mucho menores que el calor latente de condensación ( $H_L = H_D$ ) :

$$q_c = V \cdot H_V - L \cdot H_L - D \cdot H_D$$

$$q_c = V \cdot H_V - (L + D) \cdot H_L = V \cdot H_V - V \cdot H_L = V(H_V - H_L) = V \cdot \lambda_v$$

TABLA XXVIII: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL CALOR INTERCAMBIADO

V	132000 kg/h
$\lambda_v$	78,87 kcal/kg

Luego,

$$Q = 10\,500\,000 \text{ Kcal/h}$$

### 3.2.4 Cálculo caudal másico fluido refrigerante

$$Q = m_a \cdot c_{p_a} \cdot (T_{f,e} - T_{f,s})$$

TABLA XXIX: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL DE FLUIDO REFRIGERANTE

Q	10500000 Kcal/h
Cpa	0.9994 Kcal/°C.kg
Tf,e	7 °C
Tf,s	10 °C

$$m_a = 3.503.218,9 \text{ kg. agua / h}$$

## 3.3 DISEÑO TÉRMICO

### 3.3.1 Cálculo $\Delta T_{ml}$ (incremento temperatura media logarítmica)

$$\Delta T_{ml} = 17 \text{ °C}$$

### 3.3.2 Coeficiente global de transmisión de calor, U

Para el diseño, será necesario suponer un coeficiente global, denominado "U".

Para la suposición de este valor se hará uso de fuentes bibliográficas; por tanto, este coeficiente para un intercambiador donde el fluido caliente es un compuesto orgánico ligero y el fluido frío es agua líquida, tomará el valor de 603 W/m<sup>2</sup>.°C.

## 3.4 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE. DIMENSIONAMIENTO

### 3.4.1 Cálculo del área total de intercambio

$$Q = A \cdot (U_s \cdot \Delta T_{ml})$$

**TABLA XXX: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO**

Q	10500000 Kcal/h
U <sub>s</sub>	603 W/m <sup>2</sup> .°C
ΔT <sub>ml</sub>	17 °C

$$A = 1024,3 \text{ m}^2$$

### 3.4.2 Diseño de los tubos

En el presente diseño se supondrá un diámetro nominal de ¼ " y una longitud de 24 ft.

En el caso del calderín, el diámetro nominal y la longitud eran mayores, pero para el condensador es necesario aumentar la superficie de contacto.

### 3.4.2.1 Longitud total

Conocida el área total del intercambiador y el perímetro de cada tubo se podrá conocer la longitud total necesaria

$$L_{total} = A / P_{tubo}$$

$$P_{tubo} = 2\pi r$$

**TABLA XXXI: DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA LONGITUD TOTAL**

A	1024,3 m <sup>2</sup>
P <sub>tubo</sub>	0,02 m

$$L_{total} = 51.215 \text{ m}$$

### 3.4.2.2 Número de tubos

$$N_t = L_{total} / L_{tubo}$$

Luego,

$$N_t = 7.016 \text{ tubos}$$

### 3.4.2.3 Espesor de tubo

$$t = P.Ri / (\sigma_t.Es - 0,6.P)$$

**TABLA XXXII: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE TUBO**

P	8,75 kg/cm <sup>2</sup>
Ri	0,3175 cm
$\sigma_t$	1500 kg./ cm <sup>2</sup>
Es	1

$$t = 0,00186 \text{ cm}$$

Además hay que tener en cuenta un espesor de corrosión, que se supone de 2 mm.

Luego se obtiene un tubo de diámetro externo 5,19 mm.

Es necesario elegir un tubo que se comercialice, por tanto, se optará por un tubo que corresponde a un catálogo 1/8" 80-XS. ( $d_e = 10,3 \text{ mm}$ )

#### 3.4.2.4 Diámetro de la bancada de tubos

$$D_b = d_e \cdot (N_t/k_1)^{1/n_1}$$

**TABLA XXXIII: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE BANCADA DE TUBOS**

$d_e$	0,0103 m
$N_t$	7.016
$K_1$	0,319
$1/n_1$	0,467

$$D_b = 1,09 \text{ m}$$

### 3.4.2.5 Espesor de la carcasa

Entre la bancada de tubos y la carcasa existe una holgura que se encuentra tabulada; en el presente caso adopta un valor de 0,025 m.

Luego si al diámetro de la bancada de tubos se le suma la holgura, se obtendrá el diámetro interno de la carcasa.

$$D_{i,carcasa} = 1,12 \text{ m}$$

Se procederá al cálculo del espesor de la carcasa del mismo modo en que se hizo con el espesor de tubo, exceptuando que  $E_s$  será 0,85, puesto que en este caso si existen soldaduras.

$$t = P.R_i / (\sigma_t.E_s - 0,6.P)$$

Donde,

**TABLA XXXIV: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA CARCASA**

P	1,0332 kg/cm <sup>2</sup>
R <sub>i</sub>	56 cm
$\sigma_t$	1500 kg./ cm <sup>2</sup>
$E_s$	0,85

$$t = 0,045 \text{ cm}$$

También se ha de tener en cuenta un espesor de corrosión de 6,5 mm.

Luego,

$$D_{e, carcasa} = 1,127 \text{ m}$$

### 3.5 PÉRDIDAS DE CARGA

#### 3.5.1 Pérdida de carga en el lado de los tubos

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left[ 8 \cdot j_f \cdot \left( \frac{L}{d_1} \right) \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_t^2}{2}$$

Se supone, como en el anterior caso, un factor de fricción de 0,002 para el lado de los tubos

La velocidad de paso del fluido se calculará a partir del caudal total de vapor, el número de tubos y el área de paso de cada tubo.

$$V = 2,43 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V / N_t = 3,46 \cdot 10^{-4}$$

$$V_{\text{tubo}} / A_{\text{tubo}} = u_s = 14,8 \text{ m/s}$$

Ya se tienen todos los parámetros para el cálculo de la pérdida de carga.

$$\Delta P_t = 1.601 \text{ KN /m}^2$$

Este valor es mucho menor a  $0,1 \cdot P_{\text{sistema}}$  (KN/m<sup>2</sup>), con lo que la pérdida de carga es aceptable.

#### 3.5.2 Pérdida de carga en el lado de la carcasa

Densidad de flujo,  $G_s$

$$G_s = mv / A_{\text{tubo}}$$

$$G_s = 1826648,15 \text{ kg. / m}^2 \cdot \text{h}$$

$$u_s = G_s / \rho$$

$$u_s = 2,4 \text{ m/s}$$

$$\Delta P_s = N_p \cdot \left[ 8 \cdot j_f \cdot \left( \frac{D_s}{d_e} \right) \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_t^2}{2}$$

Se hacen las mismas consideraciones que en el lado de los tubos.

El factor de fricción se supone del orden de 0,0017, como en el caso del calderín, para el lado de la carcasa

$$d_e = \frac{1.1}{d_2} \cdot (P_t^2 - 0.917 \cdot d_2^2)$$

$$P_t = 1.25 \cdot d^2$$

A partir de las expresiones anteriores y los datos necesarios obtenidos y expuestos anteriormente, se calcula el diámetro equivalente

$$d_e = 0.0059 \text{ m}$$

Ahora se puede calcular la pérdida de carga, puesto que se tiene el valor de todos los parámetros

$$\Delta P_s = 386.2 \text{ N / m}^2$$

Valor aceptable puesto que no supera los 35 KN / m<sup>2</sup>



### 3.6 AISLAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

**TABLA XXXV: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE PARA EL INTERCAMBIADOR**

Espesor de la tubería (m)	0,007
Diámetro interno (m)	1,12
k de la tubería (W/m.°C)	52,52
Espesor del aislamiento (m)	0,1
k del aislamiento (W/m.°C)	0,057
Temp. de la superficie interna de la tubería (°C)	12
Temp. del aislamiento externa (°C)	25
Longitud de la tubería (m)	7,32

Radio interno (m)	0,56
Radio intermedio (m)	0,567
Radio externo (m)	0,667
MLTD 1 (m <sup>2</sup> )	3,54
MLTD 2 (m <sup>2</sup> )	3,87
Flujo de calor transferido (W)	<b>-28,66</b>

Se ha finalizado la iteración cuando se ha considerado equilibrada la relación espesor de aislante – Flujo de calor transferido.

## TABLA XXXVI: CALORES LATENTES DE CONDENSACIÓN

TABLE 2-192 Heats of Fusion of Organic Compounds

The values for the hydrocarbons are from the tables of the American Petroleum Institute Research Project 44 at the National Bureau of Standards, with some from Parks and Huffman, *Ind. Eng. Chem.*, 23, 1138 (1931).  
The values for the nonhydrocarbon compounds were recalculated from data in *International Critical Tables*, vol. 5.

Hydrocarbon compounds	Formula	mp, °C	Heat of fusion, cal/g	Hydrocarbon compounds	Formula	mp, °C	Heat of fusion, cal/g
Paraffins				Aromatics—(Cont.)			
Methane	CH <sub>4</sub>	-182.48	14.03	1-Methyl-3-ethylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	-95.55	15.14
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-183.23	22.712	1-Methyl-4-ethylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	-62.350	25.29
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-187.65	19.100	1,2,3-Trimethylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	-25.375	16.64
n-Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-138.33	19.167	1,2,4-Trimethylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	-43.80	24.54
2-Methylpropane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-159.60	18.668	1,3,5-Trimethylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	-44.720	18.97
n-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-129.723	27.874	Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	+90.0	36.0
2-Methylbutane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-159.890	17.076	Camphene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	+51	57
2,2-Dimethylpropane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-16.6	10.786	Durene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	+79.3	37.4
n-Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	-95.320	36.138	Isodurene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	-24.0	23.0
2-Methylpentane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	-153.650	17.407	Prehnitene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	-7.7	20.0
2,2-Dimethylbutane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	-99.73	1.607	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	-68.9	17.1
2,3-Dimethylbutane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	-128.41	2.251	n-Butyl benzene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	-88.5	19.5
n-Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	-90.595	33.513	tert-Butyl benzene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	-58.1	14.9
2-Methylhexane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	-118.270	21.158	β-Methyl naphthalene	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	+34.1	20.1
3-Ethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	-118.593	22.555	Diphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	+68.6	28.8
2,2-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	-123.790	13.982	Hexamethyl benzene	C <sub>12</sub> H <sub>18</sub>	+165.5	30.4
2,4-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	-119.230	15.968	Diphenyl methane	C <sub>12</sub> H <sub>12</sub>	+25.2	26.4
3,3-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	-134.46	16.856	Anthracene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	+216.5	38.7
2,2,3-Trimethylbutane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	-24.96	5.250	Phenanthrene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	+96.3	25.0
n-Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-56.798	43.169	Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	+90	28.7
2-Methylheptane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-109.04	21.458	Stilbene	C <sub>14</sub> H <sub>12</sub>	+124	40.0
3-Methylheptane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-120.50	23.795	Dibenzil	C <sub>14</sub> H <sub>14</sub>	+51.4	30.7
4-Methylheptane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-120.955	22.692	Triphenyl methane	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub>	+92.1	21.1
2,2-Dimethylhexane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-121.18	24.226	Alkyl cyclohexanes			
2,5-Dimethylhexane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-91.200	26.903	Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	+6.67	7.569
3,3-Dimethylhexane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-126.10	14.9	Methylcyclohexane	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	-126.58	16.429
2-Methyl-3-ethylpentane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-114.960	23.690	Alkyl cyclopentanes			
3-Methyl-3-ethylpentane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-90.870	22.657	Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	-93.80	2.068
2,2,3-Trimethylpentane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-112.27	18.061	Methylcyclopentane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	-142.445	19.68
2,2,4-Trimethylpentane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-107.365	19.278	Ethylcyclopentane	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	-138.435	11.10
2,3,3-Trimethylpentane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-100.70	3.204	1,1-Dimethylcyclopentane	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	-69.73	3.36
2,3,4-Trimethylpentane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-109.210	19.392	cis-1,2-Dimethylcyclopentane	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	-53.85	3.87
2,2,3,3-Tetramethylbutane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	+100.69	14.900	trans-1,2-Dimethylcyclopentane	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	-117.57	15.68
n-Nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	-53.9	41.2	trans-1,3-Dimethylcyclopentane	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	-133.680	17.93
n-Decane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-30.0	48.3	Monoclefins			
n-Undecane	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	-25.9	34.1	Ethene (Ethylene)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-169.15	28.547
n-Dodecane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-9.6	51.3	Propene (Propylene)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	-185.25	17.054
Eicosane	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	+36.4	52.0	1-Butene	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	-185.35	16.393

## **ANEXO IV**

#### 4. INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ACONDICIONAR LA ALIMENTACIÓN

La alimentación del splitter se encuentra almacenada a temperatura ambiente (20 °C aproximadamente) y a una presión de 15 kg/cm<sup>2</sup> y hay que acondicionarla para que entre al splitter a una temperatura de 26,5 °C.

Para este intercambiador de calor, también se ha optado por un intercambiador de carcasa y tubos, con placas tubulares fijas.

El método de diseño es el mismo. A continuación se presentan los resultados.

##### 4.1 MÉTODOS DE CÁLCULO

Al igual que en el caso del calderín y el condensador, el método de cálculo es el mismo y las expresiones utilizadas también. Luego, se presentará la relación de los resultados obtenidos.

##### 4.2 CÁLCULOS GENERALES DE DISEÑO

A partir de estos datos se obtienen los resultados para el intercambiador:

W	15.153 kg./h
X <sub>f</sub>	0,804
T <sub>e,f</sub>	20 °C
T <sub>s,f</sub>	26,5 °C
T <sub>e,c</sub>	150 °C
T <sub>s,c</sub>	90 °C
C <sub>p,vapor</sub>	0,475 kcal/ °C.kg
P <sub>fluido calefactor</sub>	1 atm
C <sub>p,vapor</sub>	0,475 kcal/°C.kg
λ <sub>vapor agua</sub>	540 kcal/°C.kg

**Resultados:**

Q	7.999.723 kcal/h
$m_v$	14.071 kg/h

**4.3. DISEÑO TÉRMICO**

$\Delta T_{ml}$	86,4 °C
U	900 W/m <sup>2</sup> .°C

**4.4 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE. DIMENSIONAMIENTO**

Para el dimensionamiento del intercambiador se utilizan las mismas expresiones que para el calderín y el condensador. A continuación se presentan los resultados:

A	102,9 m <sup>2</sup>
$d_0$	1"
$L_{tubo}$	6 ft
$L_{total}$	1289,5 m
$N_t$	706 tubos
$E_s, tubo$	1
$t_{tubo}$	0,0098 cm
$D_b$	0,93 m
$D_i, carcasa$	0,955 m
$E_s, carcasa$	0,85
$t_{carcasa}$	0,038 cm
$D_e, carcasa$	0,956 m

## **ANEXO V**

## 5. INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ENFRIAR PRODUCTO DE COLAS

Una vez que el producto de colas (propano al 95 %) sale del splitter a 32 °C, pasará por un intercambiador de calor para enfriarse hasta 20 °C y así asegurar que se almacena aproximadamente a temperatura ambiente.

Para este intercambiador de calor, también se ha optado por un intercambiador de carcasa y tubos, con placas tubulares fijas.

El método de diseño es el mismo. A continuación se presentan los resultados.

### 5.1 MÉTODOS DE CÁLCULO

Al igual que en el caso del calderín y el condensador, el método de cálculo es el mismo y las expresiones utilizadas también. Luego, se presentará la relación de los resultados obtenidos.

### 5.2 CÁLCULOS GENERALES DE DISEÑO

A partir de los siguientes datos se obtienen los resultados para el presente cambiador siguiendo el método de cálculo anteriormente desarrollado:

$W$	3.190 kg./h
$x_w$	0,05
$T_{e,f}$	15 °C
$T_{s,f}$	12 °C
$T_{e,c}$	32 °C
$T_{s,c}$	20 °C
$C_{p,agua}$	0,9994 kcal/ °C.kg
$P_{fluido}$ refrigerante	1 atm
$C_{p_w}$	79 kcal/°C.kg

**Resultados:**

Q	3.204.120 kcal/h
$m_a$	1.068.645 kg/h

**5.3. DISEÑO TÉRMICO**

$\Delta T_{ml}$	9,82 °C
U	350 W/m <sup>2</sup> .°C

**5.4 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE. DIMENSIONAMIENTO**

A	879 m <sup>2</sup>
$d_0$	1"
$L_{tubo}$	16 ft
$L_{total}$	11.015 m
$N_t$	2.410 tubos
$E_{s, tubo}$	1
$t_{tubo}$	0,021 cm
$D_b$	1,65 m
$D_{i, carcasa}$	1,657 m
$E_{s, carcasa}$	0,85
$t_{carcasa}$	0,0094 m
$D_{e, carcasa}$	1,684 m



## **ANEXO VI**

## 6. ACUMULADOR DE REFLUJO

Se dimensionará el acumulador de reflujo para un tiempo de operación de 20 minutos.

Se determina el volumen  $V$ , para ese tiempo, en función del caudal que le llega,  $Q$ , y una vez obtenido ese volumen,  $V$ , se obtiene el diámetro,  $D_{ac}$ , mediante la siguiente expresión:

$$D_{ac} = 0,74 \cdot V_f^{1/3}$$

Siendo:

$D_{ac}$  = Diámetro del acumulador (m)

$V_f$  = Volumen final del acumulador

Para el cálculo del volumen del acumulador, se sabe que el caudal que circula por la línea es de 204,76 m<sup>3</sup>/h; si se ha dicho que su dimensionamiento es para 20 minutos, se obtiene el volumen de la siguiente manera:

$$V = Q \cdot t_{operación} = 204,76 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,33 \text{ h} = 67,57 \text{ m}^3$$

Se llenará como máximo hasta el 80 % de su capacidad, dando un volumen final de:

$$V_f = 67,57/0,8 = 84,46 \text{ m}^3$$

$$D_{ac} = 3,25 \text{ m}$$

La longitud,  $L$ , se calculará mediante la siguiente fórmula, utilizada en el caso de recipientes horizontales:

$$L = 4V / \pi \cdot D^2$$

Siendo:

$L$  : Longitud del acumulador (m)

$V$  : Volumen del acumulador (m<sup>3</sup>)

$D$  : Diámetro del acumulador (m)

$$L = 10,24 \text{ m}$$

Para el cálculo del espesor de la envolvente se hará uso de la expresión aportada por el código ASME, Sección VIII, División I, ya que se trata de recipientes horizontales:

$$e = P.R / (S.E - 0,6.P)$$

Siendo:

e : espesor de la chapa envolvente (cm)

P: Presión de diseño ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

R: Radio interno (cm)

S: Tensión admisible ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

E: Eficiencia de la junta = 0,6

$$e = 25,9 \text{ mm}$$

Se optará por un espesor comercial que se adapte al resultado obtenido:

$$e = 30 \text{ mm}$$

## **ANEXO VII**

## 7. ESFERAS PARA EL ALMACENAMIENTO

Es necesario contar con tres tanques de almacenamiento: un tanque para el almacenamiento de la alimentación, otro para almacenar el producto destilado (objetivo de este proyecto) y por último un tanque donde se almacene el producto de colas.

A continuación se muestran las composiciones de los productos a almacenar:

**TABLA XXXVII: COMPOSICIONES DE LOS PRODUCTOS**

<b>PRODUCTO</b>	<b>PROPILENO</b>	<b>PROPANO</b>
Alimentación	80,4 %	19,6%
Destilado	99,6%	0,04%
Colas	5%	95%

Para el almacenamiento de los productos citados anteriormente, se ha optado por tanques esféricos que comúnmente se denominan esferas.

Las esferas son tanques de almacenamiento a presión con forma esférica que trabajan a una presión interior de 15 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente y a temperatura ambiente.

Estos tanques no necesitan sistema de vaciado o llenado, puesto que trabajan con el equilibrio líquido- vapor que hay en su interior. Al bajar la presión en la operación de vaciado, más producto pasa a la fase vapor. Durante el llenado, el aumento de presión hace que el producto vuelva a la fase líquida. La presión es aproximadamente constante.

Las válvulas de seguridad ventean a la línea de antorchas ante cualquier aumento de presión, como puede ser el aumento de temperatura en el verano.

Las esferas se construyen en gajos utilizando chapas de acero y se sostienen mediante columnas que soporten el peso de la esfera completa durante la prueba hidráulica.

La esfera contará con una escalera para acceder a la parte superior y poder mantener así las válvulas de seguridad, aparatos de telemedición, etc.

En primer lugar se calcula el volumen necesario de la esfera para que almacene producto durante dos días:

El caudal de alimentación es de 600 m<sup>3</sup>/día. La esfera tendrá un volumen útil del 80 %, luego el cálculo del volumen final de la esfera se hará en base a este dato de volumen útil.

El mismo método se sigue para los otros dos tanques, como se muestra a continuación:

**TABLA XXXVIII: VOLÚMENES DE ESFERA**

PRODUCTO	CAUDAL	VOLUMEN FINAL ESFERA
Alimentación	600 m <sup>3</sup> /día	1500 m <sup>3</sup>
Destilado	470 m <sup>3</sup> /día	1175 m <sup>3</sup>
Colas	132 m <sup>3</sup> /día	330 m <sup>3</sup>

Los gajos de acero deben tener un determinado espesor que se calcula mediante la expresión que da el código ASME sección VIII, recipientes a presión.

$$t = P \cdot R_i / (2 \cdot \sigma \cdot E_s - 0,6 \cdot P)$$

Donde :

t : Espesor del gajo de acero, cm

P: Presión interna del recipiente, kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>i</sub>: Radio interno de la esfera, cm

σ: Tensión máxima admisible del material, kg/ cm<sup>2</sup>

E<sub>s</sub>: Eficacia de la soldadura, 0,85

Se hace necesario el cálculo del radio interno de la esfera mediante la expresión que determina el volumen de la esfera:

$$V = \frac{4}{3} \cdot (\pi \cdot R^3)$$

De esta expresión se deducen los siguientes resultados:

**TABLA XXXIX: RADIO INTERNO DE LAS ESFERAS**

ESFERA	RADIO INTERNO
Alimentación	7,1 m
Destilado	6,6 m
Colas	4,3 m

Ahora se puede proceder al cálculo del espesor de los gajos de la esfera, siendo:

$$P = 15 \text{ kg/ cm}^2$$

$$\sigma = 790 \text{ kg/ cm}^2$$

$$E_s = 0,85$$

**TABLA XL: ESPESOR GAJOS DE ACERO**

ESFERA	ESPESOR GAJOS DE ACERO
Alimentación	8 cm
Destilado	7,4 cm
Colas	4,8 cm

En todos los casos se añadirán 6 mm de sobre espesor por corrosión.

## **ANEXO VIII**



## 8. BOMBAS

### 8.1 CÁLCULO GENERAL

Se seguirá la siguiente secuencia de cálculo:

1. Presión de aspiración: Es la presión a la que entra el fluido en la bomba, y se considerará como la suma de los siguientes términos:
  - Presión de trabajo en el recipiente que alberga la alimentación
  - Presión ocasionada por la altura del líquido de volumen útil
  - Caída de presión que va del recipiente a la aspiración de la bomba

$$P_{\text{aspiración}} = P_a + P_b + P_c$$

2. Presión de impulsión: Es la presión que hay que dar al fluido para que llegue a su destino en las condiciones deseadas, y se considerará como la suma de los siguientes términos:
  - Presión en el punto donde se tiene que transportar el fluido
  - Altura del líquido que se desea vencer
  - Pérdidas de presión que se ocasionan hasta llegar a ese punto

$$P_{\text{impulsión}} = P_a + P_b + P_c$$

3. Cálculo de presión diferencial: Es la diferencia entre la presión de impulsión y de aspiración.

$$P_D = P_{\text{impulsión}} - P_{\text{aspiración}}$$

4. Presión hidráulica: Se obtiene de la siguiente expresión

$$\Delta h = 1,014.m.H/ 33.000$$

Donde:

m: caudal másico, lb/min

H: altura de agua en ft de H<sub>2</sub>O

$\Delta h$ : Presión hidráulica en C.V

1,014 es un factor de conversión

33.000 es un factor de conversión

5. Potencia al freno, se obtiene de la siguiente fórmula:

$$P_{\eta} = \Delta H / \eta$$

Donde:

$P_{\eta}$ : Potencia al freno en C.V

$\Delta h$ : Presión hidráulica en C.V

$\eta$ : Rendimiento de la bomba en %

6. Potencia del motor necesaria, se obtiene de la siguiente expresión:

$$P_{mec} : P_{\eta} / \eta$$

Donde:

$P_{mec}$ : Potencia mecánica en C.V

$P_{\eta}$ : Potencia al freno en C.V

$\eta$ : Rendimiento del motor en %

## 8.2 CÁLCULO ESPECÍFICO

Como se van a instalar en la planta 3 bombas por duplicado, se hará el cálculo para una de ellas y para el resto se mostrará una tabla resumen con los resultados obtenidos.

- Bombas de almacenamiento del propileno (B-01 y B-02):
  - Presión de aspiración: Es la presión a la que entra el fluido en la bomba, y se considerará como la suma de los siguientes términos:
    - 1) Presión de trabajo en el recipiente que alberga el propileno, en este caso 8,75 atm.
    - 2) Presión ocasionada por la altura del líquido de volumen útil que se estima tras diversos cálculos es 0,2 atm.
    - 3) Caída de presión que va del recipiente a la aspiración de la bomba, teniendo en cuenta codos, longitud de la tubería, etc, se estima en 0,25 atm.

$$P_{\text{aspiración}} = P_a + P_b + P_c = 7,55 + 0,2 + 0,25 = 8,0 \text{ atm.}$$

- Presión de impulsión: Es la presión que hay que dar al fluido para que llegue a su destino en las condiciones deseadas, y se considerará como la suma de los siguientes términos:
  - 1) Presión en el punto donde se tiene que transportar el fluido, 15 atm.
  - 2) Altura del líquido que se desea vencer, se estima en 0,3 atm.
  - 3) Pérdidas de presión que se ocasionan hasta llegar a ese punto, se estima en 0,5 atm.

$$P_{\text{impulsión}} = P_a + P_b + P_c = 15 + 0,3 + 0,5 = 15,8 \text{ atm.}$$

- Cálculo presión diferencial: Es la diferencia entre la presión de impulsión y de aspiración.

$$P_D = P_{\text{impulsión}} - P_{\text{aspiración}} = 15,8 - 8,0 = 7,8 \text{ atm.}$$

- Presión hidráulica: Se obtiene de la siguiente expresión:

$$\Delta h = 1,014 \cdot m \cdot H / 33.000 = 34,15 \text{ C.V}$$

Donde:

m: caudal másico en lb/min= 484 lb/ min (sobredimensionando un 10%)

$$(m = 199,6 \text{ kg/min})$$

H : altura de agua en ft de H<sub>2</sub>O = 2296 ft de H<sub>2</sub>O

$\Delta h$  : Presión hidráulica en C.V = 34 C.V

1,014 es un factor de conversión

33.000 es un factor de conversión

- Potencia al freno: se obtiene de la siguiente expresión:

$$P_{\eta} = \Delta h / \eta = 76 \text{ C.V}$$

Donde:

$P_{\eta}$  : Potencia al freno en C.V = 76 C.V

$\Delta h$  : Presión hidráulica en C.V = 34,15 C.V

$\eta$  : Rendimiento de la bomba en % = 45 %

- Potencia del motor necesaria: Se obtiene de la siguiente expresión:

$$P_{\text{mec}} = P_{\eta} / \eta = 84,5 \text{ C.V}$$

Donde:

$P_{\text{mec}}$  : Potencia mecánica en C.V = 84.5 C.V

$P_{\eta}$  : Potencia al freno en C.V = 76 C.V

$\eta$  : Rendimiento del motor en % = 90 %

**Potencia de equipo 84,5 C.V**

La tabla resumen con el resto de los bombeos se presenta a continuación:

**TABLA XLI: CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS**

<b>Identificador</b>	<b>P<sub>aspiración</sub></b> (atm)	<b>P<sub>impulsión</sub></b> (atm)	<b>P<sub>D</sub></b> (atm)	<b>Δh</b> (c.v)	<b>P<sub>η</sub></b> (c.v)	<b>P<sub>mec</sub></b> (c.v)
B-03 y B-04	13,10	15,8	1,9	8,9	19,7	22
B-05 y B-06	8,00	9,55	1,55	2,82	6,3	6,7

## **ANEXO IX**

## **9. TUBERÍAS, BRIDAS Y ACCESORIOS**

### **9.1 CONSIDERACIONES PREVIAS**

Las partes componentes de un sistema de tuberías pueden agruparse en cuatro grandes familias: tuberías, accesorios, bridas y válvulas.

El simple hecho de visualizar un diagrama del proceso, deja ver la gran importancia que tienen los elementos anteriores en la construcción de una planta de este tipo. El cambio del esquema a la realidad conlleva gran cantidad de problemas, aunque existen infinidad de soluciones técnicas con diferentes ventajas referentes a pérdida de energía, vida útil del material, facilidad de uso y costes.

Los sistemas de tuberías representan aproximadamente un tercio del coste del material de una planta de proceso, requieren entre un 30% y un 40% del trabajo de montaje, consumen del 40% al 48% de las horas- hombre de ingeniería y ocupan un 60 % del volumen del material.

#### **9.1.1 Normalización de la tuberías**

Existen diferentes normas o códigos cuya aplicación se extiende a las áreas de influencia de los principales países industriales. De entre ellas destacan como las de mayor aplicación en España las A.S.A (American Standard Association) más recientemente agrupadas como normas A.N.S.I. (American National Standard Association), las A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials), las A.I.S.I (American Iron and Steel Institute), y también las A.P.I (American Petroleum Institute) o las M.S.S. (Manufacturers Standardization Society). Otras normalizaciones de países europeos como las A.F.N.O.R (Francia), las U.N.I (Italia), las B.S.S (Inglaterra) o incluso las D.I.N (Alemania) tienen actualmente un ámbito de aplicación más restringido.

#### **9.1.2 Dimensiones**

El standard de tuberías más importantes y de uso más frecuente es el Código para tuberías a Presión A.N.S.I B.3.1.1.8. Este código es una guía de los mínimos requerimientos para el diseño y como tal, permite al diseñador tomar

rápidas decisiones en los problemas referentes a este aspecto, con la seguridad de que sus decisiones serán aceptadas por las autoridades.

Las normas A.N.S.I establecen para cada diámetro nominal, expresado siempre en pulgadas, diferentes espesores normalizados, siendo idéntico el diámetro exterior, esto es, el diámetro interno para un mismo tamaño nominal varía junto con su espesor.

El diámetro nominal, designación convencional de la tubería expresado en pulgadas, representa hasta 12 “, unas dimensiones ideales no corresponden a una dimensión geométrica. A partir de 14”, el diámetro nominal coincide con el diámetro exterior, expresa por tanto una verdadera dimensión geométrica.

Para tuberías de acero al carbono, las normas más usuales de dimensiones, tolerancias y clasificaciones son:

- A.N.S.I B.36.10
- A.P.I 5L.
- A.P.I 5LX.

Y en acero inoxidable:

- A.N.S.I B.36.19
- A.P.I 5LS.

Tales normas establecen el diámetro externo y el espesor generalmente en función del diámetro nominal.

Con respecto al espesor, en una primitiva clasificación, todavía en uso, se definían tres espesores designados de la siguiente manera:

- Tubos standard (STD)
- Tubos extrafuertes (XS)
- Tubos dobles extrafuertes (XXS)



Debido a que el espesor mínimo de cada tubo resultaba excesivo para muchas aplicaciones y antieconómico cuando la calidad del material es especial (aceros inoxidables y otros materiales especiales), se creó una segunda clasificación más amplia según ciertos números de lista (Schedules numbers) completamente arbitrarios, a los que corresponden un determinado espesor según el tamaño nominal. La serie completa de los Schedules es:

$$5 - 10 - 20 - 30 - 40 - 60 - 80 - 100 - 120 - 140 - 160$$

Para el acero al carbono, los tipos o schedules más comunes son el 40 (equivalente al STD de la antigua clasificación), el 80 (equivalente al XS) y el 160 (de espesor algo inferior al XXS); para diámetros superiores a 10", también son usuales los schedules 20 y 10. En acero inoxidable los schedules más utilizados son 10, 20, 40.

Una determinación rápida aunque aproximada por exceso, del schedule conveniente para una presión de trabajo (psi), a una cierta temperatura T, la proporciona la siguiente expresión:

$$\text{Sch} = 1000.P / \sigma$$

Siendo  $\sigma$  la tensión máxima admisible del acero a la temperatura T, expresada en psi.

## 9.2 CÁLCULO DE LAS TUBERÍAS

Para determinar el diámetro básico de las tuberías, se utilizarán fundamentalmente las recomendaciones proporcionadas por la bibliografía de este proyecto. A continuación se enumeran estas recomendaciones:

- 1) Los valores usuales de los diámetros de las tuberías se obtienen a partir de:

$$Q = v. A \rightarrow Q = v. (\pi/4). D^2$$

Donde :

Q : caudal expresado en m<sup>3</sup> / h.

La velocidad aconsejada por UOP para evitar efectos de erosión está fijada en 1,5 m / s

Luego:

$$D = (4.Q / \pi.v)^{1/2}$$

2) Los valores recomendados para la pérdida de carga admisible en 100 metros de tubería son:

- Aspiración de bombas; 0,4 kg./ cm<sup>2</sup>
- Impulsión de bombas;

**TABLA XLII: VALORES PÉRDIDAS DE CARGA RECOMENDADOS**

Caudal ( m <sup>3</sup> / h)	Pérdida de carga (kg. /cm <sup>2</sup> )
0 - 60	0,6 – 0,8
0 - 160	0,4 – 0,7
0 - 160	0,3 – 0,4

- Línea de gases y vapores;  
 $P < 1 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 0,05 - 0,2 \text{ Kg/cm}^2$   
 $P > 1 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 0,005 - 0,1 \text{ kg/cm}^2$

### 9.2.1 Tuberías principales de la unidad

Antes de realizar el cálculo de los diámetros y espesores óptimos para cada una de las líneas de la unidad, se deberán identificar, y para ello se enumerarán a continuación, las líneas anteriores. Para la denominación de cada una de ellas se utilizará un número.

A continuación se facilita una tabla en la cual aparecen enumeradas cada una de las líneas con el servicio que realizan respectivamente. Esta misma nomenclatura se ha usado para representarlas en el diagrama de flujo del documento de planos.

**TABLA XLIII: LÍNEAS DE LA UNIDAD Y SUS CORRESPONDIENTES SERVICIOS**

<b>CORRIENTE</b>	<b>SERVICIO</b>
Línea 1	Línea de salida del tanque de almacenamiento de alimentación.
Línea 2	Línea de alimentación al splitter
Línea 3	Corriente vapor que va al condensador
Línea 4 y 5	Corriente líquida que va del condensador al botellón de reflujo y al splitter
Línea 6	Corriente de propileno que va a tanque de almacenamiento.
Línea 7	Corriente líquida rica en propano que va al calderín.
Línea 8	Corriente vapor que recircula del calderín al splitter.
Línea 9	Línea que alimenta el intercambiador de calor que enfría el propano.
Línea 10	Corriente rica en propano que va a tanque de almacenamiento.

**9.2.2 Cálculo del diámetro óptimo de las tuberías.**

Para el cálculo del diámetro óptimo de las tuberías, se debe suponer un diámetro de partida para cada una de las mismas. Partiendo de las recomendaciones dadas en apartados anteriores se siguen los siguientes pasos para la obtención de estos diámetros.

1. Los diámetros de las líneas de conexiones entre los equipos se obtienen de la primera recomendación, en la cual, se calculan los diámetros de las conexiones de entrada y salida de los distintos equipos.
2. En base al diámetro de partida supuesto con anterioridad, se hallará el número de Reynolds, de la siguiente forma:

$$Re = (4.Q) / (D.\mu)$$

Donde :

Q : Caudal másico en kg. /h

$\mu$  : Viscosidad  $C_p$

D : Diámetro interior en m

3. Una vez calculado el número de Reynolds, se debe calcular la caída de presión para 100 metros de conducción, para de esta forma compararla con las admisibles. Se utilizarán nomogramas, que son resoluciones gráficas de las expresiones experimentales, tal como:

$$P = 12,75.f. \frac{\rho.Q^2.L}{D^5}$$

Siendo:

P: Caída de presión en kg./cm<sup>2</sup>

F: Factor de fricción, se obtiene de la gráficamente

$\rho$  : Densidad del fluido en kg./l

Q: Caudal de fluido en m<sup>3</sup>/ h.

L : Longitud de la tubería, en este caso 100 metros

D : Diámetro interior de la tubería en metros.

4. Una vez calculadas las pérdidas de carga, éstas se comparan con las admisibles, enumeradas en un apartado anterior. Si la pérdida de carga fuese mayor a la admisible, se deberá tomar un diámetro mayor para la tubería.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las principales tuberías.

### **Línea 1**

La línea 1 corresponde a la salida del tanque de almacenamiento de la alimentación.

Fase de la corriente: Líquida

Caudal de la corriente: 25 m<sup>3</sup>/h

Densidad: 0,567 kg./l

Viscosidad: 0,0828 cP

Material: Acero al carbono

Tipo de tubo: 3" 40- ST

Diámetro interior: 0,0768 m

Reynolds: 8 919 182,41

Factor de fricción: 0,01

Caída de presión: 0,19 kg/cm<sup>2</sup>

### **Línea 2**

La línea 2 corresponde a la línea de alimentación del splitter, procedente del intercambiador de calor que precalienta dicha alimentación. En esta corriente varía muy poco la densidad y viscosidad, siendo el caudal el mismo que en la primera línea, por lo que se obtiene el mismo tipo de tubería

Fase de la corriente: Líquida

Caudal de la corriente: 25 m<sup>3</sup>/h

Densidad: 0,492 kg./l

Viscosidad: 0,0828 cP

Material: Acero al carbono

Tipo de tubo: 3" 40- ST

Diámetro interior: 0,0768 m

Reynolds: 8 809 069

Factor de fricción: 0,0105

Caída de presión: 0,19 kg/cm<sup>2</sup>

### Línea 3

La línea 3 corresponde a la corriente vapor que va al condensador

Fase de la corriente: Vapor

Caudal de la corriente: 273 m<sup>3</sup>/h

Densidad: 0,490 kg./l

Viscosidad: 0,081 cP

Material: Acero al carbono

Tipo de tubo: 10" 40- ST

Diámetro interior: 0,254 m

Reynolds: 2,56. 10<sup>7</sup>

Factor de fricción: 0,001

Caída de presión: 0,46 kg/cm<sup>2</sup>

### Línea 4 y 5

Las líneas 4 y 5 corresponden a la corriente líquida que va del condensador al botellón de reflujo y al splitter

Fase de la corriente: Líquida

Caudal de la corriente: 248 m<sup>3</sup>/h

Densidad: 0,492 kg./l

Viscosidad: 0,0828 cP

Material: Acero al carbono

Tipo de tubo: 10" sch 80

Diámetro interior: 0,242 m

Reynolds: 2,39.10<sup>7</sup>

Factor de fricción: 0,001

Caída de presión: 0,36 kg/cm<sup>2</sup>

### **Línea 6**

La línea 6 corresponde a la corriente de propileno que va a tanque de almacenamiento.

Fase de la corriente: Líquida

Caudal de la corriente: 24,8 m<sup>3</sup>/h

Densidad: 0,502 kg./l

Viscosidad: 0,0828 cP

Material: Acero al carbono

Tipo de tubo: 3" 40- ST

Diámetro interior: 0,0768 m

Reynolds: 7,9.10<sup>6</sup>

Factor de fricción: 0,0105

Caída de presión: 0,23 kg/cm<sup>2</sup>

### **Línea 7**

La línea 7 corresponde a la corriente líquida rica en propano que va al calderín

Fase de la corriente: Líquida

Caudal de la corriente: 293 m<sup>3</sup>/h

Densidad: 0,479 kg./l

Viscosidad: 0,091 cP

Material: Acero al carbono

Tipo de tubo: 12" sch 140

Diámetro interior: 0,263 m

Reynolds: 2,35.10<sup>7</sup>

Factor de fricción: 0,001

Caída de presión: 0,28 kg/cm<sup>2</sup>

### **Línea 8**

La línea 8 corresponde a la corriente vapor que recircula del calderín al splitter.

Fase de la corriente: Vapor

Caudal de la corriente: 268,35 m<sup>3</sup>/h

Densidad: 0,480 kg./l

Viscosidad: 0,0086 cP

Material: Acero al carbono

Tipo de tubo: 10" 40- ST

Diámetro interior: 0,252 m

Reynolds: 2,39.10<sup>8</sup>

Factor de fricción: 0,0017

Caída de presión: 0,28 kg/cm<sup>2</sup>

### **Línea 9**

La línea 9 corresponde a la corriente de propano que va al intercambiador de calor para refrigeración.

Fase de la corriente: Líquido

Caudal de la corriente: 6,5 m<sup>3</sup>/h

Densidad: 0,480 kg./l

Viscosidad: 0,0085 cP

Material: Acero al carbono

Tipo de tubo: 1 ½" 40- ST

Diámetro interior: 0,039 m

Reynolds: 3,79.10<sup>7</sup>

Factor de fricción: 0,0012

Caída de presión: 0,12 kg/cm<sup>2</sup>



**Línea 10**

La línea 10 corresponde a la corriente de propileno producto que va a tanque de almacenamiento.

Fase de la corriente: Líquido

Caudal de la corriente: 6,5 m<sup>3</sup>/h

Densidad: 0,480 kg./l

Viscosidad: 0,084 cP

Material: Acero al carbono

Tipo de tubo: 1 ½" 40- ST

Diámetro interior: 0,039 m

Reynolds: 3,78.10<sup>6</sup>

Factor de fricción: 0,0012

Caída de presión: 0,12 kg/cm<sup>2</sup>

**9.2.3 Comprobación de los espesores de las tuberías**

La sección del código aplicable en la mayoría de las plantas de proceso es ANSI B31.3, "Tuberías de Refinerías de Petróleos". Los siguientes datos y cálculos se han adaptado a partir de la sección E, que es la más utilizada.

La expresión que se emplea para los cálculos que corresponden es la siguiente:

$$T = M. \frac{P.D}{2.S} + M.C$$

Donde:

T: Espesor de la tubería o accesorio, incluyendo 12,5% de tolerancia de fabricación en pulgadas (in)

P: Presión interna de diseño (psi), es igual a 1,1 veces la presión normal de operación

D: Diámetro exterior de la tubería en pulgadas.

M: Tolerancia de fabricación (1,125 para tubos de acero)

C: Tolerancia o sobre espesor de corrosión (in). El sobre espesor de corrosión depende del proceso, pero se puede indicar que en tuberías de acero al carbono, trabajando con fluidos moderadamente corrosivos, se suele adoptar 0,118 (3 mm) de sobre espesor para tuberías.

S: Tensión máxima admitida por el material a la temperatura del diseño (psi). Siendo la temperatura de diseño el resultado de sumar a la de trabajo 35 °F.

En los apartados siguientes, se observan los espesores mínimos que deben tener las tuberías calculadas anteriormente.

### Línea 1

Utilizando la expresión anterior y la tabla XLIV del presente anexo se observan los siguientes resultados:

Diámetro exterior: 3"

Presión de diseño: 220,5 psi

Temperatura de diseño: 68 °F

Fatiga admisible del material: 11613 psi

Tolerancia de corrosión: 0,118"

Espesor mínimo calculado: 0,183"

Espesor real del tubo: 0,3 "

### Línea 2

Utilizando la expresión anterior y la tabla XLIV del presente anexo se observan los siguientes resultados:

Diámetro exterior: 3"

Presión de diseño: 163,9 psi

Temperatura de diseño: 78,8 °F

Fatiga admisible del material: 11613 psi

Tolerancia de corrosión: 0,118"

Espesor mínimo calculado: 0,174"

Espesor real del tubo: 0,2"

### Línea 3

Utilizando la expresión anterior y la tabla XLIV del presente anexo se observan los siguientes resultados:

Diámetro exterior: 10"

Presión de diseño: 163,9 psi

Temperatura de diseño: 79,7 °F

Fatiga admisible del material: 11613 psi

Tolerancia de corrosión: 0,118 "

Espesor mínimo calculado: 0,236”

Espesor real del tubo: 0,324 ”

#### Línea 4 y 5

Utilizando la expresión anterior y la tabla XLIV del presente anexo se observan los siguientes resultados:

Diámetro exterior: 10”

Presión de diseño: 120,5 psi

Temperatura de diseño: 79,7 °F

Fatiga admisible del material: 11613 psi

Tolerancia de corrosión: 0,118”

Espesor mínimo calculado: 0,212”

Espesor real del tubo: 0,530 “

#### Línea 6

Utilizando la expresión anterior y la tabla XLIV del presente anexo se observan los siguientes resultados:

Diámetro exterior: 3”

Presión de diseño: 220,5 psi

Temperatura de diseño: 68 °F

Fatiga admisible del material: 11613”

Tolerancia de corrosión: 0,118”

Espesor mínimo calculado: 0,183”

Espesor real del tubo: 0,192”

#### Línea 7

Utilizando la expresión anterior y la tabla XLIV del presente anexo se observan los siguientes resultados:

Diámetro exterior: 12"

Presión de diseño: 163,9 psi

Temperatura de diseño: 89,6 °F

Fatiga admisible del material: 11613 psi

Tolerancia de corrosión: 0,118"

Espesor mínimo calculado: 0,253"

Espesor real del tubo: 1"

#### Línea 8

Utilizando la expresión anterior y la tabla XLIV del presente anexo se observan los siguientes resultados:

Diámetro exterior: 10"

Presión de diseño: 163,9 psi

Temperatura de diseño: 89,6 °F

Fatiga admisible del material: 11613"

Tolerancia de corrosión: 0,118"

Espesor mínimo calculado: 0,236"

Espesor real del tubo: 0,324"

#### Línea 9

Utilizando la expresión anterior y la tabla XLIV del presente anexo se observan los siguientes resultados:

Diámetro exterior: 1 ½"

Presión de diseño: 163,9 psi

Temperatura de diseño: 89,6 °F

Fatiga admisible del material: 11613 psi

Tolerancia de corrosión: 0,118"

Espesor mínimo calculado: 0,1"

Espesor real del tubo: 0,13"

## Línea 10

Utilizando la expresión anterior y la tabla XLIV del presente anexo se observan los siguientes resultados:

Diámetro exterior: 1 ½"

Presión de diseño: 163,9 psi

Temperatura de diseño: 68 °F

Fatiga admisible del material: 11613 psi

Tolerancia de corrosión: 0,118"

Espesor mínimo calculado: 0,125"

Espesor real del tubo: 0,13

### 9.2.4 Aislamiento térmico de las tuberías

Las principales causas que motivan el aislamiento en la industria son las siguientes:

- La conservación de la energía calorífica, reduciendo el cambio de calor o frío entre un aparato o tubería y el medio ambiente.
- El control de temperatura, limitando la caída de temperatura de un fluido que circula en una canalización o almacenado en un depósito.
- La anti corrosión, evitando las condensaciones, causas eventuales de corrosión, sobre las paredes frías.
- La protección contra el hielo, recordando la solidificación de un fluido en una canalización.
- La seguridad y el confort, haciendo desaparecer el peligro de quemaduras al contacto con superficies calientes y evitando en un local los desprendimientos de calor demasiado fuertes debido a la radiación.

En el presente procesos también se hace necesario calorifugar las líneas, pues de ello depende que los fluidos se mantengan en sus fases correspondientes y que los parámetros fijados permanezcan lo más uniforme posible.

## **9.3 BRIDAS Y ACCESORIOS**

### **9.3.1 Bridas**

Las bridas son elementos universalmente adaptados para unir entre tramos de tuberías, o bien unir tuberías con válvulas, recipientes o bombas.

Para las bridas, independientemente de su clasificación según la presión primaria de servicio, existe una normalización en cuanto a:

Las conexiones por bridas son el medio más utilizado para conservar la posibilidad de desmontaje. Las bridas comprimen una junta de caucho, amianto o metal, que aseguran la estanqueidad. Las dimensiones de las bridas, de los pernos y su número, permiten soportar la presión longitudinal resultante, además de, apretar suficientemente la junta.

En las conexiones por bridas, entre tuberías o con válvulas, equipos, etc. los tramos de tubería deben estar bien alineados y sujetos y hay que asegurarse de ello antes de situar la válvula, bomba, etc. en posición, ya que, éstas no deben soportar esfuerzos que resultarían perjudiciales, la posición correcta de las bridas hay que comprobarlas con un nivel, en sentido horizontal (colocándolo a lo largo del tramo de tubería) y en sentido vertical (colocándolo en la cara refrentada de la brida). Este tipo de conexión puede realizarse con bridas soldadas a la tubería o con bridas roscadas a la misma, esto es:

#### **9.3.1.1 Bridas soldadas**

Se usa la soldadura para realizar uniones entre bridas y tubería. Las conexiones de este tipo son de más calidad que las bridas roscadas, porque eliminan la posibilidad de pérdidas a través de la rosca, se mantiene el espesor del tubo y la brida soldada pasa a ser parte integrante de la tubería.

En servicios de alta presión, el mejor modo de hacer la soldadura es aportando cordones finos, limpiando e inspeccionando después de cada cordón. De este modo, los defectos pueden ser descubiertos, ya que, se observan antes de ser taponados con el siguiente cordón; también se consigue así, mediante el calor

desarrollado por cada aportación, mejorar el grano del cordón inferior.

### **9.3.1.2 Bridas roscadas**

En el caso de estas conexiones, para instalaciones carentes de gran responsabilidad, la brida simplemente se enrosca a la tubería, en cuyos extremos se habrá practicado la rosca adecuada. La soldadura se puede usar también para perfeccionar el cierre de bridas de acero roscadas.

### **9.3.2 Selección de bridas**

A continuación se darán una serie de recomendaciones para la elección del tipo de brida más adecuada al presente caso:

Las bridas roscadas, se pueden emplear para alta presión y temperatura moderadas. No son adecuadas para servicios que impliquen fatigas térmicas.

- Las bridas de enchufe y soldadura, son buenas para pequeñas conexiones, donde se prefieren a las roscadas por motivos de estanqueidad.
- Las bridas deslizantes o postizas, se pueden emplear para servicios moderados y particularmente cuando un montaje fácil es una consideración de primer orden.
- Las bridas de reborde ó loca, se emplearán en aquellos servicios que requieran frecuentes inspecciones y desmontajes, para grandes diámetros, en los que la posibilidad de girar la brida es importante; se debe evitar para condiciones que impliquen fatiga a flexión, etc.
- Las bridas de cuello, son las de empleo más común en la industria de proceso y se pueden utilizar para condiciones de servicios severos, alta presión y temperatura o criogénico.

En cuanto al tipo de asiento (caras) son recomendables:



- Las de cara realzada, para condiciones de servicio moderadas.
- Las de anillo, son preferibles para altas presiones y temperaturas.
- Las de macho y hembra, para servicios especiales que requieran una junta retenida. No son frecuentes.
- Las planas para servicios poco severos, emparejan con válvulas y accesorios de hierro fundido.

#### **9.3.2.1 Selección de la bridas para las tuberías de esta unidad**

Con las recomendaciones anteriores obtenidas de la bibliografía, las bridas que se utilizan en las líneas anteriormente dimensionadas, tendrán las siguientes características:

- En cuanto a la forma de la unión de la brida con la tubería, ésta será de cuello, siendo el espesor del cuello de la brida igual al espesor del tubo al que se va a soldar la brida. Se ha usado este tipo de brida, ya que, es la más usada en las industrias de proceso, están dentro de los límites de utilización
- En cuanto a la terminación de las caras de la brida, ésta será del tipo “cara con resalte”, ya que, es la de uso más común. Se utiliza en condiciones de servicio moderadas, como tiene lugar en este caso en particular. Además, su elección se debe a que es el tipo de brida utilizada para hidrocarburos líquidos o gaseosos, con una presión de diseño inferior a 42,2 kg./ cm<sup>2</sup>.
- En cuanto a la presión primaria de servicio, todas las líneas tendrán bridas de unión con un Rating de 175 libras.

#### **9.3.2.2 Accesorios**

Los accesorios se emplean en las conducciones para:

- Cambiar la dirección de la línea.

- Cambiar el diámetro de la línea.
- Conectar las diferentes ramas de las líneas.
- Cerrar el final de una línea.

Cuando se desea efectuar conexiones a una línea determinada, para conseguir dos o más bifurcaciones se recurre a la instalación de una T o de una Y que, pueden ser además reductoras.

Para conseguir cambios de dirección se emplean codos, de los cuales existe una amplia variedad. También se dispone de casquetes o tapones para elementos finales para el cierre de una línea

Al no ser objeto del presente proyecto el trazado de la isométrica, correspondiendo ello a la Ingeniería de Detalle, no se conoce el resto de los accesorios que llevan las líneas.

**TABLA XLIV: PROPIEDADES TUBERÍAS (I)**

**TABLE 10-18 Properties of Steel Pipe**

Nominal pipe size, in	Outside diameter, in	Schedule no.	Wall thickness, in	Inside diameter, in	Cross-sectional area		Circumference, ft, or surface, ft <sup>2</sup> /ft of length		Capacity at 1-ft/s velocity		Weight of plain-end pipe, lb/ft
					Metal, in <sup>2</sup>	Flow, ft <sup>2</sup>	Outside	Inside	U.S. gal/min	lb/h water	
¼	0.405	10S	0.049	0.307	0.055	0.00051	0.106	0.0804	0.231	115.5	0.19
		40ST, 40S	.068	.269	.072	.00040	.106	.0705	.179	89.5	.24
		80XS, 80S	.095	.215	.093	.00025	.106	.0563	.113	56.5	.31
¼	0.540	10S	.065	.410	.097	.00092	.141	.107	.412	206.5	.33
		40ST, 40S	.088	.364	.125	.00072	.141	.095	.323	161.5	.42
		80XS, 80S	.119	.302	.157	.00050	.141	.079	.224	112.0	.54
¾	0.675	10S	.065	.545	.125	.00162	.177	.143	.727	363.5	.42
		40ST, 40S	.091	.493	.167	.00133	.177	.129	.596	298.0	.57
		80XS, 80S	.126	.423	.217	.00098	.177	.111	.440	220.0	.74
½	0.840	5S	.065	.710	.158	.00275	.220	.186	1.234	617.0	.54
		10S	.083	.674	.197	.00248	.220	.176	1.112	556.0	.67
		40ST, 40S	.109	.622	.250	.00211	.220	.163	0.945	472.0	.85
		80XS, 80S	.147	.546	.320	.00163	.220	.143	0.730	365.0	1.09
		160	.188	.464	.385	.00117	.220	.122	0.527	263.5	1.31
		XX	.294	.252	.504	.00035	.220	.066	0.155	77.5	1.71
¾	1.050	5S	.065	.920	.201	.00461	.275	.241	2.072	1036.0	0.69
		10S	.083	.884	.252	.00426	.275	.231	1.903	951.5	0.86
		40ST, 40S	.113	.824	.333	.00371	.275	.216	1.665	832.5	1.13
		80XS, 80S	.154	.742	.433	.00300	.275	.194	1.345	672.5	1.47
		160	.219	.612	.572	.00204	.275	.160	0.917	458.5	1.94
		XX	.308	.434	.718	.00103	.275	.114	0.461	230.5	2.44
1	1.315	5S	.065	1.185	.255	.00768	.344	.310	3.449	1725	0.87
		10S	.109	1.097	.413	.00656	.344	.287	2.946	1473	1.40
		40ST, 40S	.133	1.049	.494	.00600	.344	.275	2.690	1345	1.68
		80XS, 80S	.179	0.957	.639	.00499	.344	.250	2.240	1120	2.17
		160	.250	0.815	.836	.00362	.344	.213	1.625	812.5	2.84
		XX	.358	0.599	1.076	.00196	.344	.157	0.578	439.0	3.66
1¼	1.660	5S	.065	1.530	0.326	.01277	.435	.401	5.73	2865	1.11
		10S	.109	1.442	0.531	.01134	.435	.378	5.09	2545	1.81
		40ST, 40S	.140	1.380	0.668	.01040	.435	.361	4.57	2285	2.27
		80XS, 80S	.191	1.278	0.881	.00891	.435	.335	3.99	1995	3.00
		160	.250	1.160	1.107	.00734	.435	.304	3.20	1645	3.76
		XX	.382	0.896	1.534	.00438	.435	.235	1.97	985	5.21
1½	1.900	5S	.065	1.770	0.375	.01700	.497	.463	7.67	3835	1.28
		10S	.109	1.682	0.614	.01543	.497	.440	6.94	3465	2.09
		40ST, 40S	.145	1.610	0.800	.01414	.497	.421	6.34	3170	2.72
		80XS, 80S	.200	1.500	1.060	.01225	.497	.393	5.40	2745	3.63

**TABLA XLIV: PROPIEDADES TUBERÍAS (I) (Cont. )**

2	2.375	5S	.065	2.245	0.472	.02749	.622	.588	12.34	6170	1.61
		10S	.109	2.157	0.776	.02538	.622	.565	11.39	5695	2.64
		40ST, 40S	.154	2.067	1.075	.02330	.622	.541	10.45	5225	3.65
		80ST, 80S	.218	1.939	1.477	.02050	.622	.508	9.20	4600	5.02
		160	.344	1.687	2.195	.01552	.622	.436	6.97	3485	7.46
		XX	.436	1.503	2.656	.01232	.622	.393	5.53	2765	9.03
2½	2.875	5S	.083	2.700	0.728	.04003	.753	.700	17.97	8985	2.48
		10S	.120	2.635	1.030	.03787	.753	.690	17.00	8500	3.53
		40ST, 40S	.203	2.469	1.704	.03322	.753	.647	14.92	7460	5.79
		80ST, 80S	.276	2.323	2.254	.02942	.753	.608	13.20	6600	7.66
		160	.375	2.125	2.945	.02463	.753	.556	11.07	5535	10.01
		XX	.552	1.771	4.028	.01711	.753	.464	7.68	3840	13.69
3	3.500	5S	.083	3.334	0.891	.06063	.916	.873	27.21	13,605	3.03
		10S	.120	3.260	1.274	.05796	.916	.853	26.02	13,010	4.33
		40ST, 40S	.216	3.068	2.228	.05130	.916	.803	23.00	11,500	7.58
		80ST, 80S	.300	2.900	3.016	.04587	.916	.750	20.55	10,275	10.25
		160	.438	2.624	4.213	.03755	.916	.687	16.86	8430	14.32
		XX	.600	2.300	5.466	.02885	.916	.602	12.95	6475	18.58
3½	4.0	5S	.083	3.834	1.021	.08017	1.047	1.004	35.98	17,990	3.48
		10S	.120	3.760	1.463	.07711	1.047	0.984	34.61	17,305	4.97
		40ST, 40S	.226	3.548	2.680	.06870	1.047	0.929	30.80	15,400	9.11
		80ST, 80S	.318	3.364	3.678	.06170	1.047	0.881	27.70	13,850	12.50
4	4.5	5S	.083	4.334	1.152	.10245	1.178	1.135	46.0	23,000	3.92
		10S	.120	4.260	1.651	.09898	1.178	1.115	44.4	22,200	5.61
		40ST, 40S	.237	4.026	3.17	.08840	1.178	1.054	39.6	19,800	10.79
		80ST, 80S	.337	3.826	4.41	.07986	1.178	1.002	35.8	17,900	14.98

**TABLA XLIV: PROPIEDADES TUBERÍAS (II)**

**TABLE 10-18 Properties of Steel Pipe (Continued)**

Nominal pipe size, in	Outside diameter, in	Schedule no.	Wall thickness, in	Inside diameter, in	Cross-sectional area		Circumference, ft, or surface, ft <sup>2</sup> /ft of length		Capacity at 1-ft/s velocity		Weight of plain-end pipe, lb/ft
					Metal, in <sup>2</sup>	Flow, ft <sup>2</sup>	Outside	Inside	U.S. gal/min	lb/h water	
5	5.563	120	0.438	3.624	5.58	0.07170	1.178	0.949	32.2	16,100	19.00
		160	.531	3.438	6.62	.06647	1.178	0.900	28.9	14,450	22.51
		XX	.674	3.152	8.10	.05419	1.178	0.825	24.3	12,150	27.54
		5S	.109	5.345	1.87	.1558	1.456	1.399	69.9	34,950	6.36
		10S	.134	5.205	2.29	.1529	1.456	1.386	68.6	34,300	7.77
		40ST, 40S	.258	5.047	4.30	.1390	1.456	1.321	62.3	31,150	14.62
		80ST, 80S	.375	4.813	6.11	.1263	1.456	1.260	57.7	28,850	20.78
		120	.500	4.563	7.95	.1136	1.456	1.195	51.0	25,500	27.04
		160	.625	4.313	9.70	.1015	1.456	1.129	45.5	22,750	32.96
XX	.750	4.063	11.34	.0900	1.456	1.064	40.4	20,200	38.55		
6	6.625	5S	.109	6.407	2.23	.2239	1.734	1.677	100.5	50,250	7.60
		10S	.134	6.357	2.73	.2204	1.734	1.664	98.9	49,450	9.29
		40ST, 40S	.280	6.065	5.58	.2006	1.734	1.588	90.0	45,000	18.97
		80ST, 80S	.432	5.761	8.40	.1810	1.734	1.508	81.1	40,550	28.57
		120	.562	5.501	10.70	.1650	1.734	1.440	73.9	36,950	36.39
		160	.719	5.187	13.34	.1467	1.734	1.358	65.9	32,950	45.34
		XX	.864	4.897	15.64	.1308	1.734	1.282	58.7	29,350	53.16
		5S	.109	8.407	2.915	.3855	2.258	2.201	173.0	86,500	9.93
10S	.148	8.329	3.941	.3784	2.258	2.180	169.8	84,900	13.40		
20	.250	8.125	6.578	.3601	2.258	2.127	161.5	80,750	22.36		
30	.277	8.071	7.265	.3553	2.258	2.113	159.4	79,700	24.70		
40ST, 40S	.322	7.981	8.399	.3474	2.258	2.089	155.7	77,850	28.55		
60	.406	7.813	10.48	.3329	2.258	2.045	149.4	74,700	35.64		
80ST, 80S	.500	7.625	12.76	.3171	2.258	1.996	142.3	71,150	43.39		
100	.594	7.437	14.99	.3017	2.258	1.947	135.4	67,700	50.95		
120	.719	7.187	17.86	.2817	2.258	1.882	126.4	63,200	60.71		
140	.812	7.001	19.93	.2673	2.258	1.833	120.0	60,000	67.76		
XX	.875	6.875	21.30	.2578	2.258	1.800	115.7	57,850	72.42		
160	.906	6.813	21.97	.2532	2.258	1.784	113.5	56,750	74.69		
10	10.75	5S	.134	10.482	4.47	.5993	2.814	2.744	269.0	134,500	15.19
		10S	.165	10.420	5.49	.5922	2.814	2.728	265.8	132,900	18.65
		20	.250	10.250	8.25	.5731	2.814	2.685	257.0	128,500	28.04
		30	.307	10.136	10.07	.5603	2.814	2.655	252.0	126,000	34.24
		40ST, 40S	.365	10.020	11.91	.5475	2.814	2.620	246.0	123,000	40.48
		80S, 80ST	.500	9.750	16.10	.5185	2.814	2.550	233.0	116,500	54.74
		80	.504	9.562	18.95	.4987	2.814	2.503	223.4	111,700	64.43
		100	.719	9.312	22.66	.4729	2.814	2.438	212.3	106,150	77.03
		120	.844	9.062	26.27	.4479	2.814	2.372	201.0	100,500	89.29
		140, XX	1.000	8.750	30.63	.4176	2.814	2.291	188.0	94,000	104.13
		160	1.125	8.500	34.02	.3941	2.814	2.225	177.0	88,500	115.64

**TABLA XLIV: PROPIEDADES TUBERÍAS (III)**

12	12.75	5S	0.156	12.438	6.17	.8438	3.338	3.26	378.7	189,350	20.98
		10S	0.180	12.390	7.11	.8373	3.338	3.24	375.8	187,900	24.17
		20	0.250	12.250	9.82	.8185	3.338	3.21	367.0	183,500	33.38
		30	0.330	12.090	12.88	.7972	3.338	3.17	358.0	179,000	43.77
		ST, 40S	0.375	12.000	14.58	.7854	3.338	3.14	352.5	176,250	49.56
		40	0.406	11.938	15.74	.7773	3.338	3.13	349.0	174,500	53.52
		XS, 80S	0.500	11.750	19.24	.7530	3.338	3.08	338.0	169,000	65.42
		60	0.562	11.626	21.52	.7372	3.338	3.04	331.0	165,500	73.15
		80	0.688	11.374	26.07	.7056	3.338	2.98	316.7	158,350	88.63
		100	0.844	11.062	31.57	.6674	3.338	2.90	299.6	149,800	107.32
		120, XX	1.000	10.750	36.91	.6303	3.338	2.81	283.0	141,500	125.49
		140	1.125	10.500	41.09	.6013	3.338	2.75	270.0	135,000	139.67
		160	1.312	10.126	47.14	.5592	3.338	2.65	251.0	125,500	160.27
		14	14	5S	0.156	13.688	6.78	1.0219	3.665	3.58	450
10S	0.188			13.624	8.16	1.0125	3.665	3.57	454	227,000	27.73
10	0.250			13.500	10.80	0.9940	3.665	3.53	446	223,000	36.71
20	0.312			13.376	13.42	0.9750	3.665	3.50	438	219,000	45.61
30, ST	0.375			13.250	16.05	0.9575	3.665	3.47	430	215,000	54.57
40	0.438			13.124	18.66	0.9397	3.665	3.44	422	211,000	63.44
XS	0.500			13.000	21.21	0.9218	3.665	3.40	414	207,000	72.09
60	0.594			12.812	25.02	0.8957	3.665	3.35	402	201,000	85.05
80	0.750			12.500	31.22	0.8522	3.665	3.27	382	191,000	106.13
100	0.938			12.124	38.49	0.8017	3.665	3.17	360	180,000	130.85
120	1.094			11.812	44.36	0.7610	3.665	3.09	342	171,000	150.79
140	1.250			11.500	50.07	0.7213	3.665	3.01	324	162,000	170.21
160	1.406			11.188	55.63	0.6827	3.665	2.93	306	153,000	189.11
16	16			5S	0.165	15.670	8.21	1.3393	4.189	4.10	601
		10S	0.188	15.624	9.34	1.3314	4.189	4.09	598	299,000	31.75
		10	0.250	15.500	12.37	1.3104	4.189	4.06	587	293,500	42.05

**TABLA XLIV: PROPIEDADES TUBERÍAS (IV)**

**TABLE 10-18 Properties of Steel Pipe (Concluded)**

Nominal pipe size, in	Outside diameter, in	Schedule no.	Wall thickness, in	Inside diameter, in	Cross-sectional area		Circumference, ft, or surface, ft <sup>2</sup> /ft of length		Capacity at 1-ft/s velocity		Weight of plain-end pipe, lb/ft		
					Metal, in <sup>2</sup>	Flow, ft <sup>2</sup>	Outside	Inside	U.S. gal/min	lb/h water			
18	18	20	0.312	15.376	15.38	1.2985	4.189	4.03	578	289,000	52.27		
		30, ST	0.375	15.250	18.41	1.2690	4.189	3.99	968	284,000	62.58		
		40, XS	0.500	15.000	24.35	1.2272	4.189	3.93	550	275,000	82.77		
		60	0.656	14.688	31.62	1.1766	4.189	3.85	528	264,000	107.90		
		80	0.844	14.312	40.19	1.1171	4.189	3.75	501	250,500	136.61		
		100	1.031	13.938	48.48	1.0596	4.189	3.65	474	237,000	164.82		
		120	1.219	13.562	56.61	1.0032	4.189	3.55	450	225,000	192.43		
		140	1.438	13.124	65.79	0.9394	4.189	3.44	422	211,000	223.64		
		160	1.594	12.812	72.14	0.8953	4.189	3.35	402	201,000	245.25		
		5S	0.165	17.670	9.25	1.7029	4.712	4.63	764	382,000	31.43		
		10S	0.188	17.624	10.52	1.6941	4.712	4.61	760	379,400	35.76		
		10	0.250	17.500	13.94	1.6703	4.712	4.58	750	375,000	47.39		
		20	0.312	17.376	17.34	1.6468	4.712	4.55	739	369,500	58.94		
		ST	0.375	17.250	20.76	1.6230	4.712	4.52	728	364,000	70.59		
		30	0.438	17.124	24.16	1.5993	4.712	4.48	718	359,000	82.15		
		XS	0.500	17.000	27.49	1.5763	4.712	4.45	707	353,500	93.45		
40	0.562	16.876	30.79	1.5533	4.712	4.42	697	348,500	104.67				
60	0.750	16.500	40.64	1.4849	4.712	4.32	666	333,000	138.17				
80	0.938	16.124	50.28	1.4190	4.712	4.22	636	318,000	170.92				
100	1.156	15.688	61.17	1.3423	4.712	4.11	602	301,000	207.96				
120	1.375	15.250	71.82	1.2684	4.712	3.99	569	284,500	244.14				
140	1.562	14.876	80.66	1.2070	4.712	3.89	540	270,000	274.22				
160	1.781	14.438	90.75	1.1370	4.712	3.78	510	255,000	308.80				
20	20	5S	0.188	19.624	11.70	2.1004	5.236	5.14	943	471,500	39.78		
		10S	0.218	19.564	13.55	2.0878	5.236	5.12	937	467,500	46.06		
		10	0.250	19.500	15.51	2.0740	5.236	5.11	930	465,000	52.73		
		20, ST	0.375	19.250	23.12	2.0211	5.236	5.04	902	451,000	78.60		
		30, XS	0.500	19.000	30.63	1.9689	5.236	4.97	883	441,500	104.13		
		40	0.594	18.812	36.21	1.9302	5.236	4.92	866	433,000	123.11		
		60	0.812	18.376	48.95	1.8417	5.236	4.81	826	413,000	166.40		
		80	1.031	17.938	61.44	1.7550	5.236	4.70	787	393,500	208.87		
		100	1.281	17.438	75.33	1.6585	5.236	4.57	744	372,000	256.10		
		120	1.500	17.000	87.18	1.5763	5.236	4.45	707	353,500	296.37		
		140	1.750	16.500	100.3	1.4849	5.236	4.32	665	332,500	341.09		
		160	1.989	16.062	111.5	1.4071	5.236	4.21	632	316,000	397.17		
		24	24	5S	0.218	23.564	16.29	3.0285	6.283	6.17	1359	679,500	55.37
				10, 10S	0.250	23.500	18.65	3.012	6.283	6.15	1350	675,000	63.41
				20, ST	0.375	23.250	27.83	2.948	6.283	6.09	1325	662,500	94.62
				XS	0.500	23.000	36.90	2.885	6.283	6.02	1295	642,500	125.49
30	0.562			22.876	41.39	2.854	6.283	5.99	1281	640,500	140.68		
40	0.688			22.624	50.39	2.792	6.283	5.92	1253	625,500	171.29		
60	0.969			22.062	70.11	2.655	6.283	5.78	1192	595,000	238.25		
80	1.219			21.562	87.24	2.536	6.283	5.64	1138	569,000	296.58		
100	1.531			20.938	108.1	2.391	6.283	5.48	1073	536,500	367.39		
120	1.812			20.376	126.3	2.264	6.283	5.33	1016	508,000	429.39		
140	2.062			19.876	142.1	2.155	6.283	5.20	965	482,500	483.12		
160	2.344			19.312	159.5	2.034	6.283	5.06	913	456,500	542.13		
30	30	5S	0.250	29.500	23.37	4.746	7.854	7.72	2130	1,065,000	79.43		
		10, 10S	0.312	29.376	29.10	4.707	7.854	7.69	2110	1,055,000	98.93		
		ST	0.375	29.250	34.90	4.666	7.854	7.66	2094	1,045,000	118.65		
		20, XS	0.500	29.000	46.34	4.587	7.854	7.59	2055	1,027,500	157.53		
		30	0.625	28.750	57.68	4.508	7.854	7.53	2020	1,010,000	196.08		

## **ANEXO X**

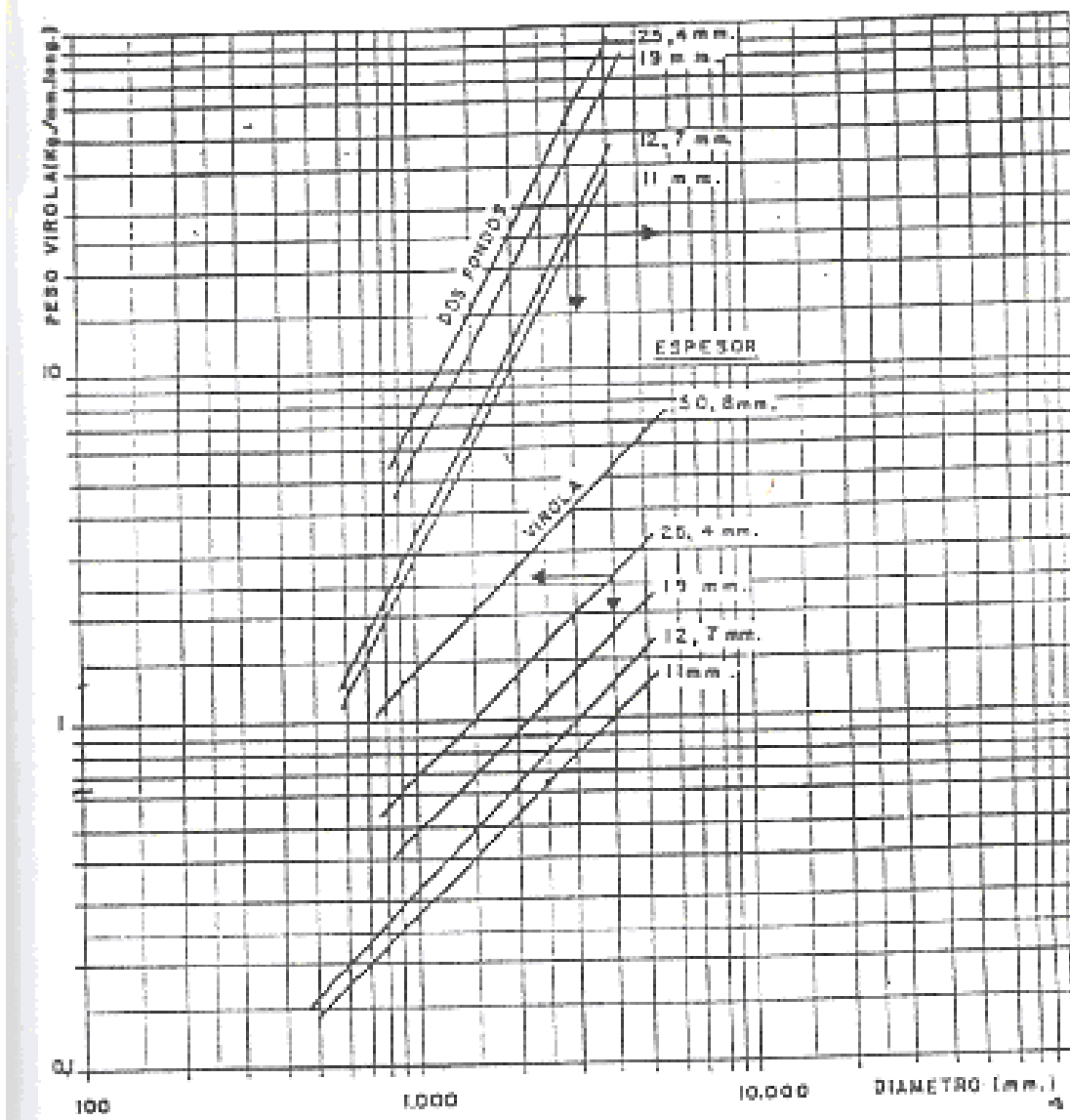


FIGURA 6 : PESO VIROLA Y FONDOS



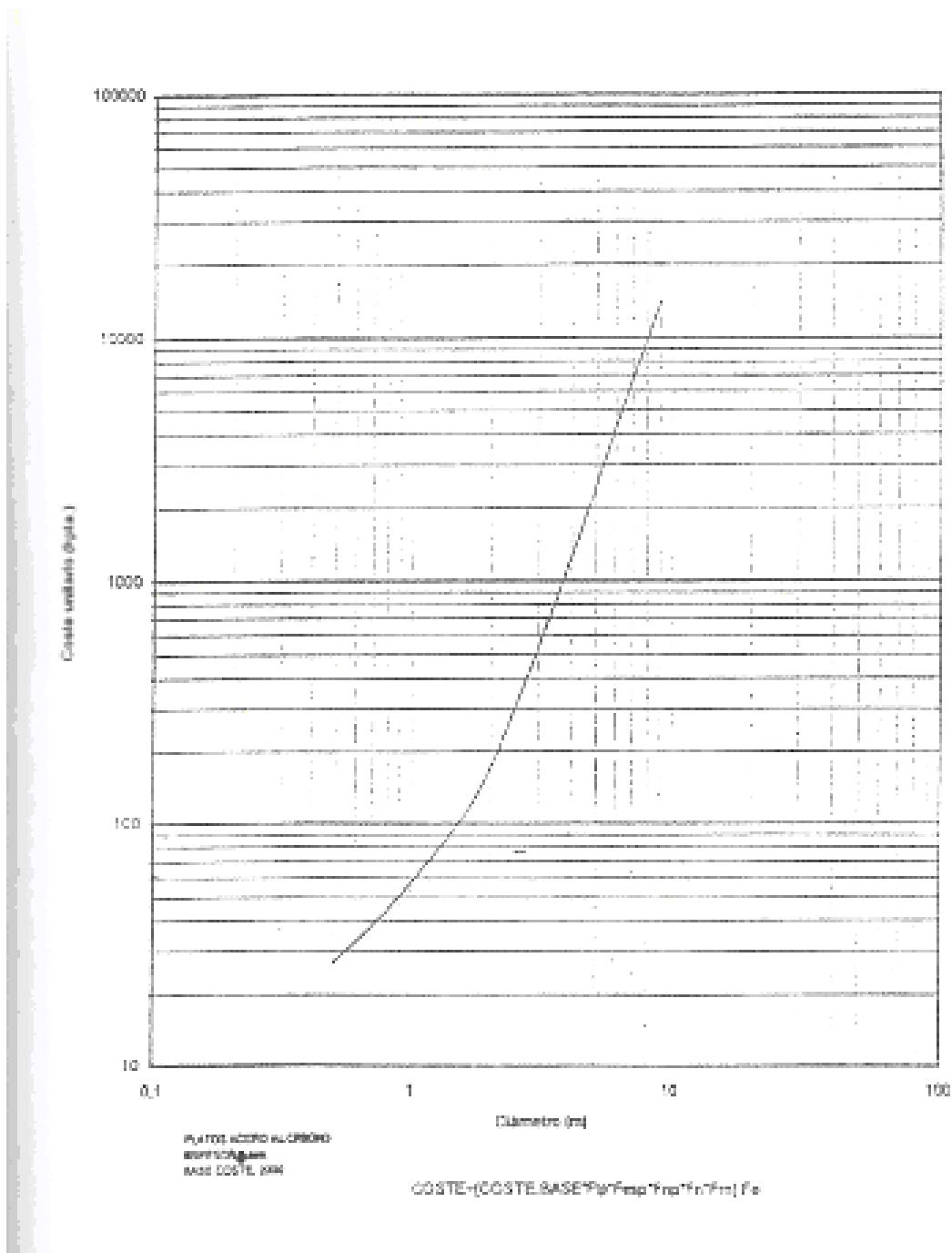


FIGURA 7 : COSTE PLATOS

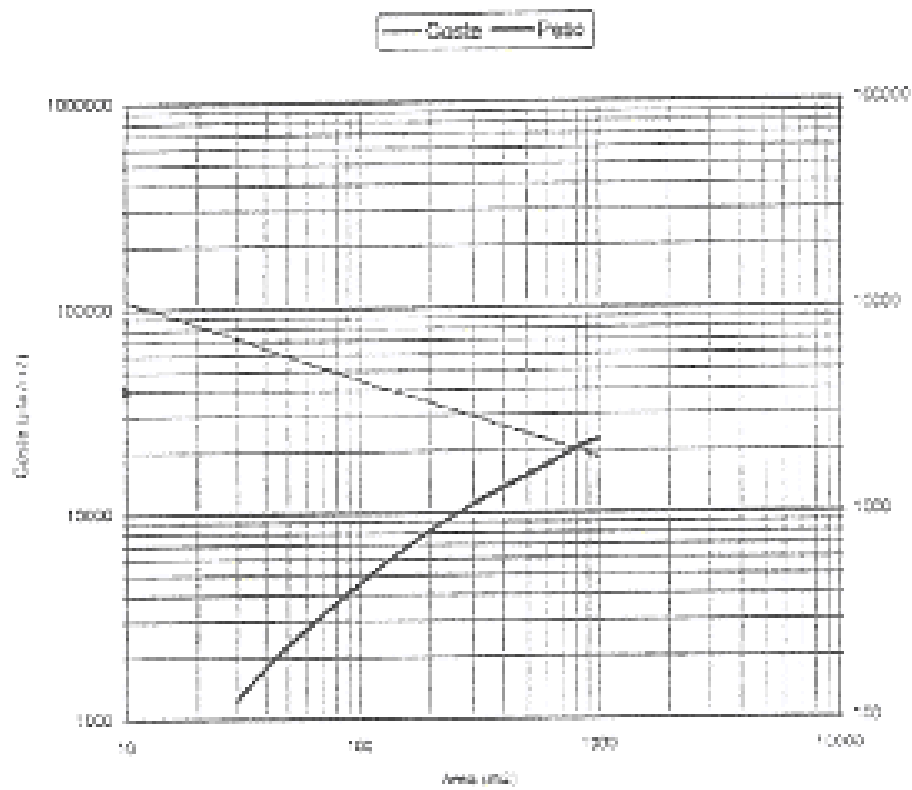


FIGURA 8: COSTE INTERCAMBIADORES DE CALOR CARCASA Y TUBOS

**TABLA XLV: BOCAS DE HOMBRE**

<b>BOCA DE HOMBRE (in)</b>	<b>PESO (kg)</b>
16	120
18	140
20	180
24	240

**TABLA XLVI: COSTE DE ACERO AL CARBONO**

<b>PESO (kg)</b>	<b>Coste (ptas/Kg)</b>	<b>PESO (kg)</b>	<b>Coste (ptas/Kg)</b>	<b>PESO (kg)</b>	<b>Coste (ptas/Kg)</b>
100	3730	1000	680	10000	330
200	1920	2000	530	20000	-
300	1380	3000	450	30000	-
400	1170	4000	400	40000	-
500	1040	5000	380	50000	315
600	890	6000	370	60000	-
700	830	7000	360	70000	-
800	770	8000	350	80000	-
900	750	9000	340	90000	-
1000	680	10000	330	100000	300

**TABLA XLVII: COSTES ASOCIADOS A LOS EQUIPOS**

EQUIPOS	TUBERIAS	INSTUMENTOS	ELECTRICIDAD	OBRA CIVIL	MONTAJE MECANICO	CALORIFICADO	PINTURA	FACTOR EQUIPO	(L/M)
HORNOS	17.7	5.1	4.2	26.9	23.0	-	-	1.37	1.30
CANBIADORES	44.7	10.4	4.2	19.7	64.0	11.5	2.6	2.57	1.31
AEROSREFRIGERANTES	13.2	4.8	19.5	4.2	22.5	-	3.1	1.68	1.37
COLUMNAS	55.5	14.8	10.5	26.8	91.4	15.1	6.6	3.29	1.37
RECIPIENTES HORIZ.	39.7	7.8	10.5	16.0	59.3	9.5	2.6	2.47	1.41
GORNAS	29.6	3.8	50.0	11.4	47.4	4.8	4.1	2.55	1.38
COMPRESORES	20.1	10.4	10.5	19	36.8	4.9	2.5	2.04	1.50
AGITADORES	-	-	52.5	-	5.0	-	-	1.58	1.30
CRISTALIZADORES	18	7.8	52.5	50	28.4	-	-	2.57	1.22
CENTRIFUGAS	12	11.7	46.0	23	23.6	-	-	2.15	1.26
SECADORES	18	-	23.0	33	30.04	7.6	-	2.10	1.49
RELACION (L/M)	0	0.5	1.1	1.3	-	1.15	4.0		

BASE: EQUIPO MAYOR = 100%

= FACTORES EN 2 SOBRE EL COSTE DE LA PARTIDA DE EQUIPO MAYOR; CON EXCEPCION DEL FACTOR EQUIPO, EN TANPO POR UNO.

## TABLA XLVIII: INFLUENCIAS EN LOS COSTES

INFLUENCIA DEL TIPO DE PLATO (F<sub>tp</sub>)

<u>TIPO DE PLATO</u>	<u>F<sub>tp</sub></u>
Campana	1,45
5/8"vuelta	1,00
Perforado	0,70

INFLUENCIA DEL ESPESOR (F<sub>esp</sub>)

<u>ESPESOR (m.m.)</u>	<u>F<sub>esp</sub></u>
3	1,0
6	1,6
10	2,4
12	2,8

INFLUENCIA DEL NUMERO DE PASOS (F<sub>np</sub>)

<u>Nº DE PASOS</u>	<u>F<sub>np</sub></u>
1	1,0
2	1,12
4	

INFLUENCIA Nº DE PLATOS IGUALES (F<sub>n</sub>)

<u>Nº DE PLATOS</u>	<u>F<sub>n</sub></u>
0 - 15	1,0
15 - 50	0,95
50 - 75	0,92
> 75	0,90

TABLA XLIX: INFLUENCIAS EN LOS COSTES

INFLUENCIA DEL TIPO DE MATERIAL (Fm)

<u>MATERIAL</u>	<u>Fm</u>
AC	1,0
INOX 304	3,0
INOX 316	3,4
MONEL	9,0
INCONE	11,0

## TABLA L: INFLUENCIA EN LOS COSTES

### Influencia del número de filas

<u>Nº de filas</u>	<u>F<sub>n</sub></u>
4	1,15
5	1,05
6	1,00
8	0,90
10	0,85

### Influencia longitud de tubos

<u>Longitud (m)</u>	<u>F<sub>L</sub></u>
6	1,09
8	1,02
9	1,00
10	0,97
12	0,85

### Influencia presión

<u>Presión Diseño (Kg/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>F<sub>p</sub></u>
10	1,00
10 - 20	1,03
20 - 30	1,06
30 - 50	1,10
50 - 75	1,13
75 -100	1,15
100 -150	1,20

## **BIBLIOGRAFÍA**

PERRY, R.F Y GREEN, D.W.

Manual del Ingeniero Químico. Tomo I y II.

COSTA NOVELLA

Ingeniería Química

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API)

CÓDIGO ASME. Sección VIII, Div. I

TREYBAL, ROBERT E.

Operaciones de transferencia de masa

OCÓN GRACÍA, J. Y TOJO BARREIRO, G

Operaciones básicas

ERNEST E. LUDWING

Applied process design for chemical and petrochemical plants. Vol 2.

ROMANO GRAGORIG

Cambiadores de calor

KERN, D.Q

Procesos de transferencia de calor

CLAVIJO TORNERO, J.A

Introducción al diseño de tuberías para planta de procesos. Vol, I y II

CRANE

Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.



P.WUITHIER

Refino y tratamiento químico. Volumen I y II.

J.M.COULSON Y J.F.RICHARSON

Ingeniería Química. Operaciones básicas Tomo II.

MATTHIEW VOM WINKLE

Chemical Engineering Series Distillation

VIAN OCON

Elementos de Ingeniería Química

FRANK P.INCROPERA, DAVID P.DEWITT

Fundamentos de transferencia de calor.

<http://www.cepsa.com>

<http://www.ingenieriaquimica.net>

<http://www.ingenieriaquimica.org>


<http://www.ingquimica.com>

<http://www.matches.es>

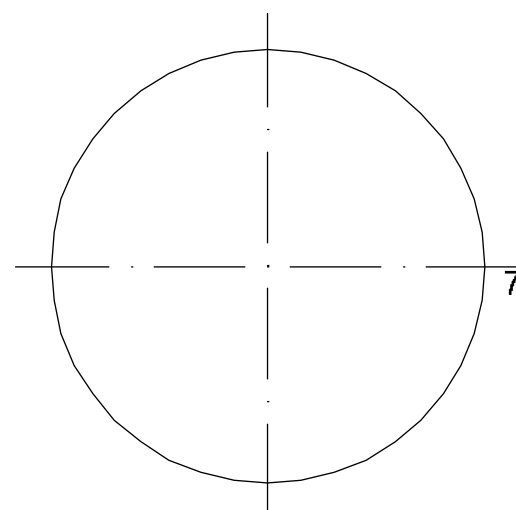
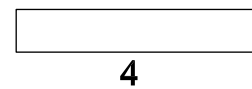
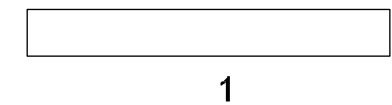
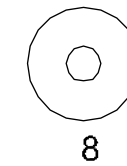
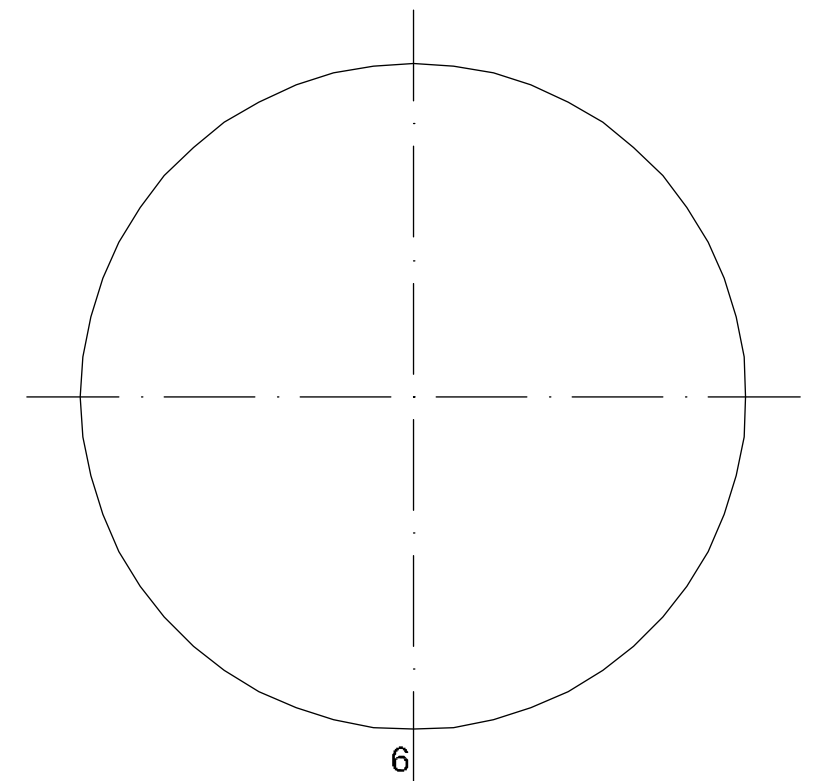
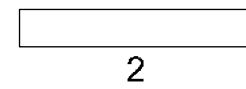
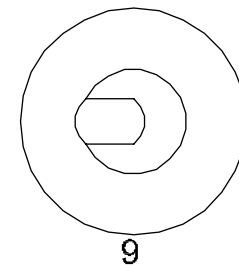
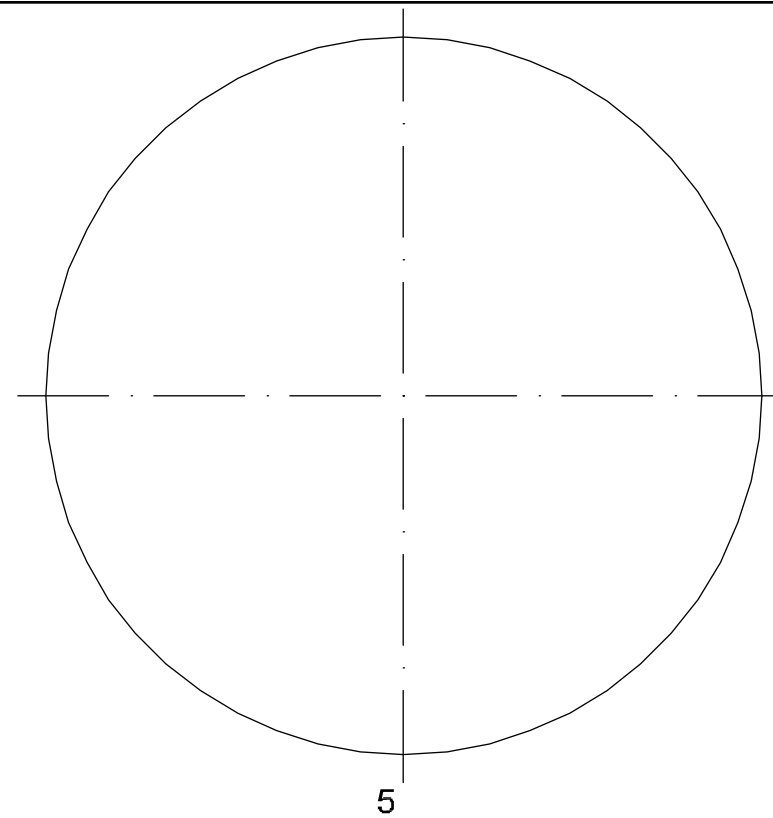
Base de datos electrónica CHERIC (Chemical Engineering Research Information Center)


**DOCUMENTO N° 2:**  
**PLANOS**



		DISEÑO DE SPLITTER PARA LA SEPARACIÓN DE LA MEZCLA PROPANO-PROPILENO	
Silvia Iglesias Lozano		SITUACIÓN	PLANO: 1
Fecha: Marzo 2009			ESC. 1/40.000

LEYENDA	
TABULADURA	SERVICIO
1	CONDENSADOR
2	CALDERIN
3	INTERCAMBIADOR QUE ACONDICIONA LA ALIMENTACIÓN
4	INTERCAMBIADOR QUE ACONDICIONA EL PROPANO PRODUCTO
5	ESFERA QUE ALMACENA LA ALIMENTACIÓN
6	ESFERA QUE ALMACENA EL PROPILENO PRODUCTO
7	ESFERA QUE ALMACENA EL PROPANO PRODUCTO
8	ACUMULADOR DE REFLUJO
9	SPLITTER

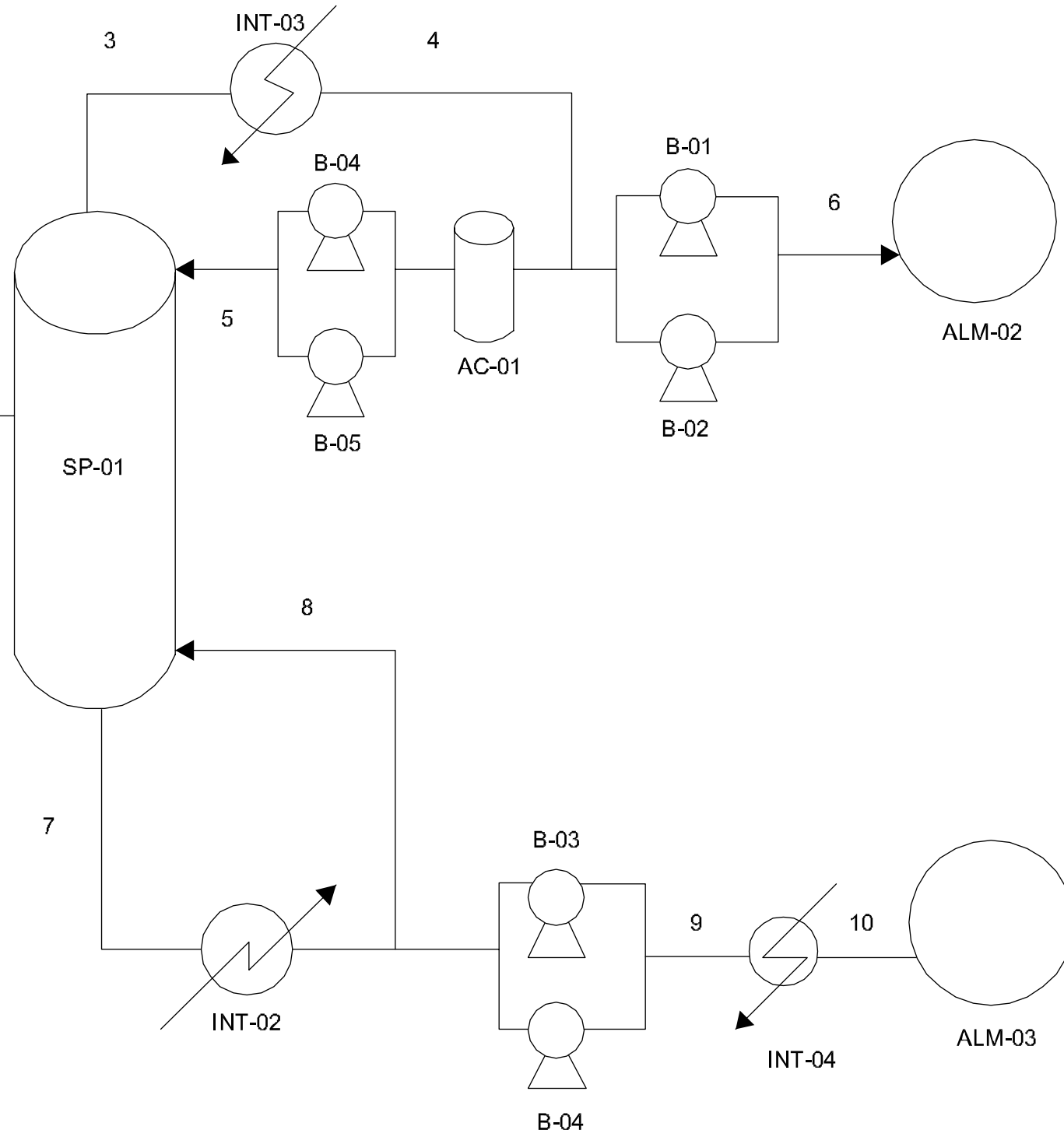
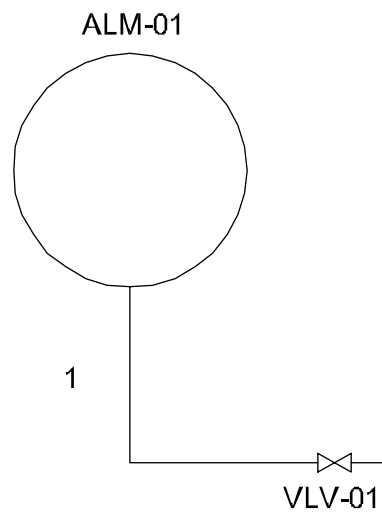


		DISEÑO DE SPLITTER PARA LA SEPARACIÓN DE LA MEZCLA PROPANO-PROPILENO	
Silvia Iglesias Lozano		IMPLANTACIÓN	
Fecha: Marzo 2009			
		PLANO: 2 ESC. 1/150	

LEYENDA

CORRIENTES

- 1 LÍNEA DE SALIDA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ALIMENTACIÓN
- 2 LÍNEA DE ALIMENTACIÓN AL SPLITTER
- 3 CORRIENTE VAPOR QUE VA AL CONDENSADOR
- 4 Y 5 CORRIENTE LÍQUIDA QUE VA DEL CONDENSADOR AL BOTELLÓN DE REFLUJO Y AL SPLITTER
- 6 CORRIENTE DE PROPILENO QUE VA A TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- 7 CORRIENTE LÍQUIDA RICA EN PROPANO QUE VA AL CALDERÍN
- 8 CORRIENTE VAPOR QUE RECIRCULA DEL CALDERÍN AL SPLITTER
- 9 LÍNEA QUE ALIMENTA EL INTERCAMBIADOR DE CALOR QUE ENFRÍA EL PROPANO
- 10 CORRIENTE RICA EN PROPANO QUE VA A TANQUE DE ALMACENAMIENTO



LEYENDA

EQUIPOS

- ALM-01 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LA ALIMENTACIÓN
- ALM-02 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL PROPILENO PRODUCTO
- ALM-03 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL PROPANO PRODUCTO
- INT-01 INTERCAMBIADOR QUE ACONDICIONA LA ALIMENTACIÓN
- INT-02 CALDERIN
- INT-03 CONDENSADOR
- INT-04 INTERCAMBIADOR QUE ACONDICIONA AL PROPANO PRODUCTO PARA SU ALMACENAMIENTO
- AC-01 ACUMULADOR DE REFLUJO
- B-01/B-02 BOMBAS QUE IMPULSAN EL PROPILENO PRODUCTO
- B-03/B-04 BOMBAS QUE IMPULSAN EL PROPANO PRODUCTO
- B-05/B-06 BOMBAS QUE IMPULSAN LA RECIRCULACIÓN AL SPLITTER
- SP-01 SPLITTER
- VLV-01 VÁLVULA EXPANSIÓN



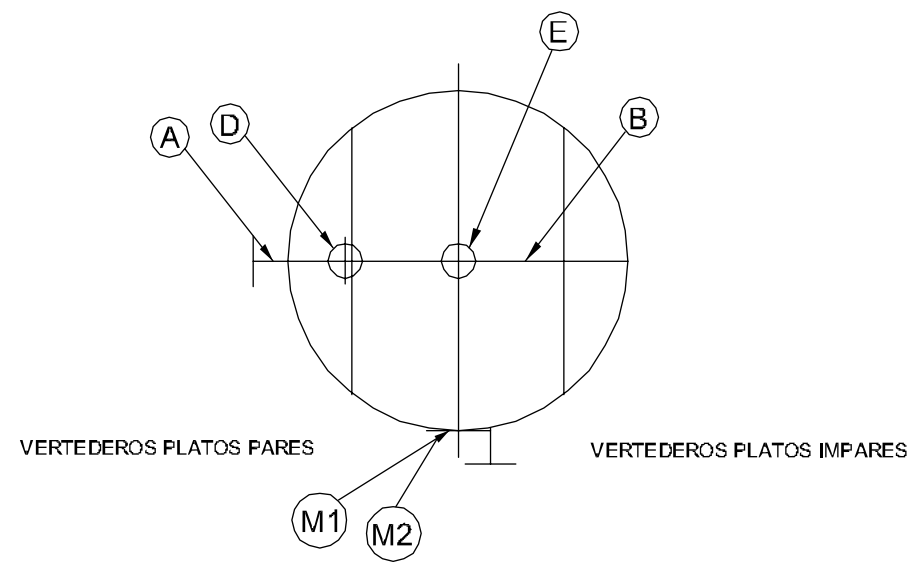
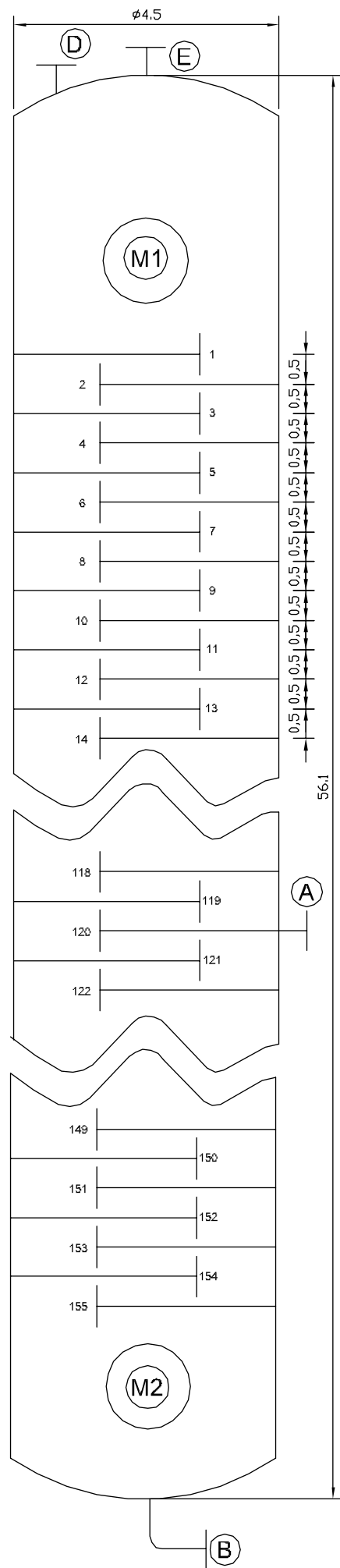
DISEÑO DE SPLITTER PARA LA SEPARACIÓN DE LA MEZCLA PROPANO-PROPILENO

Silvia Iglesias Lozano


Fecha: Marzo 2009

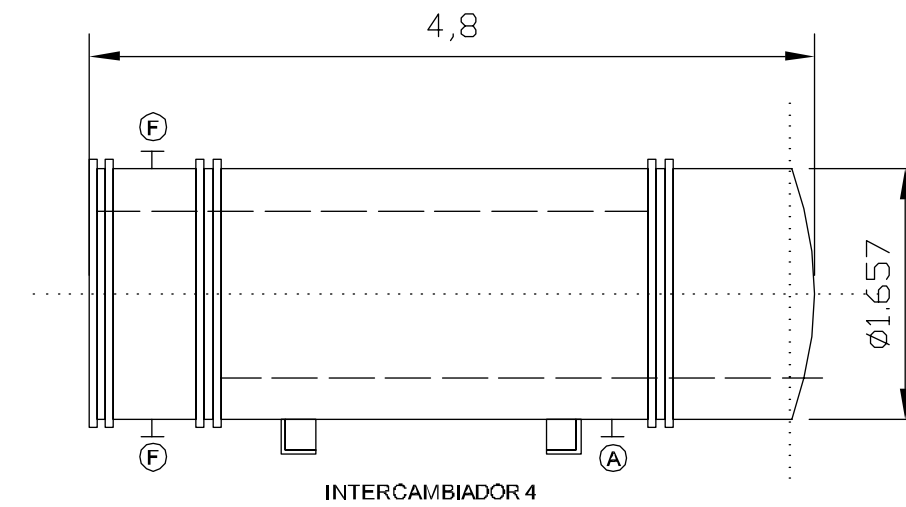
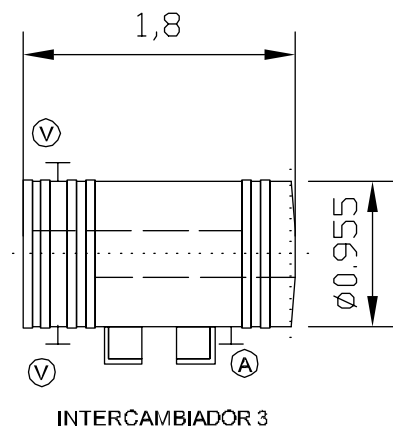
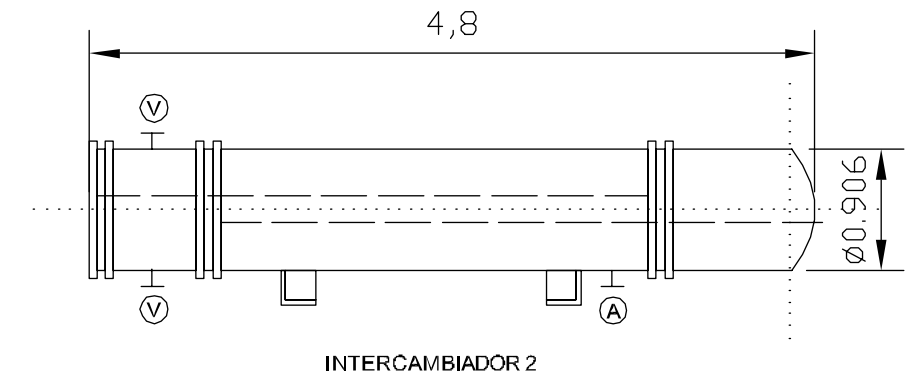
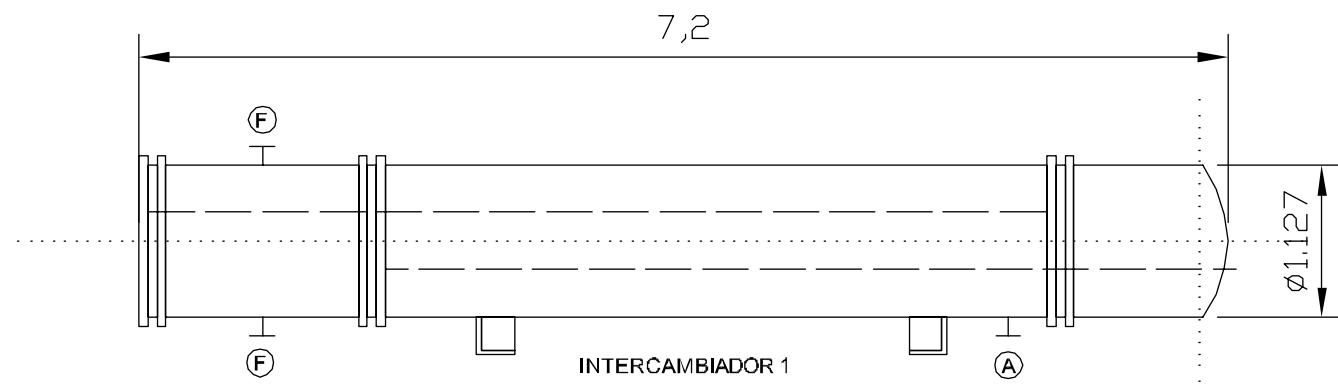
DIAGRAMA DE FLUJO

PLANO:  
3  
ESC. S/E



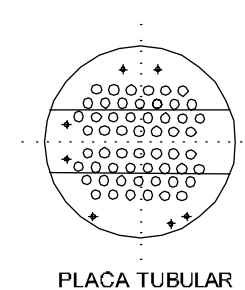
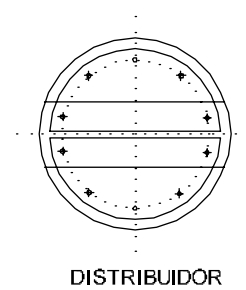
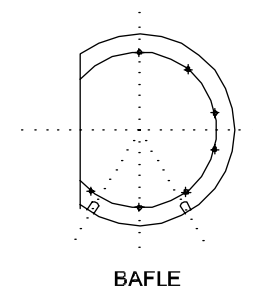
LEYENDA		
TABULADURA	DIAMETRO	SERVICIO
M1/M2	24"	BOCA DE HOMBRE
A	3"	ENTRADA ALIMENTACIÓN
B	12"	SALIDA DE LÍQUIDO
E	10"	SALIDA DE GAS
D	2"	VENTEO

		DISEÑO DE SPLITTER PARA LA SEPARACIÓN DE LA MEZCLA PROPANO-PROPILENO	
Silvia Iglesias Lozano		SPLITTER	
Fecha: Marzo 2009			
		PLANO: 4 ESC. 1/100	

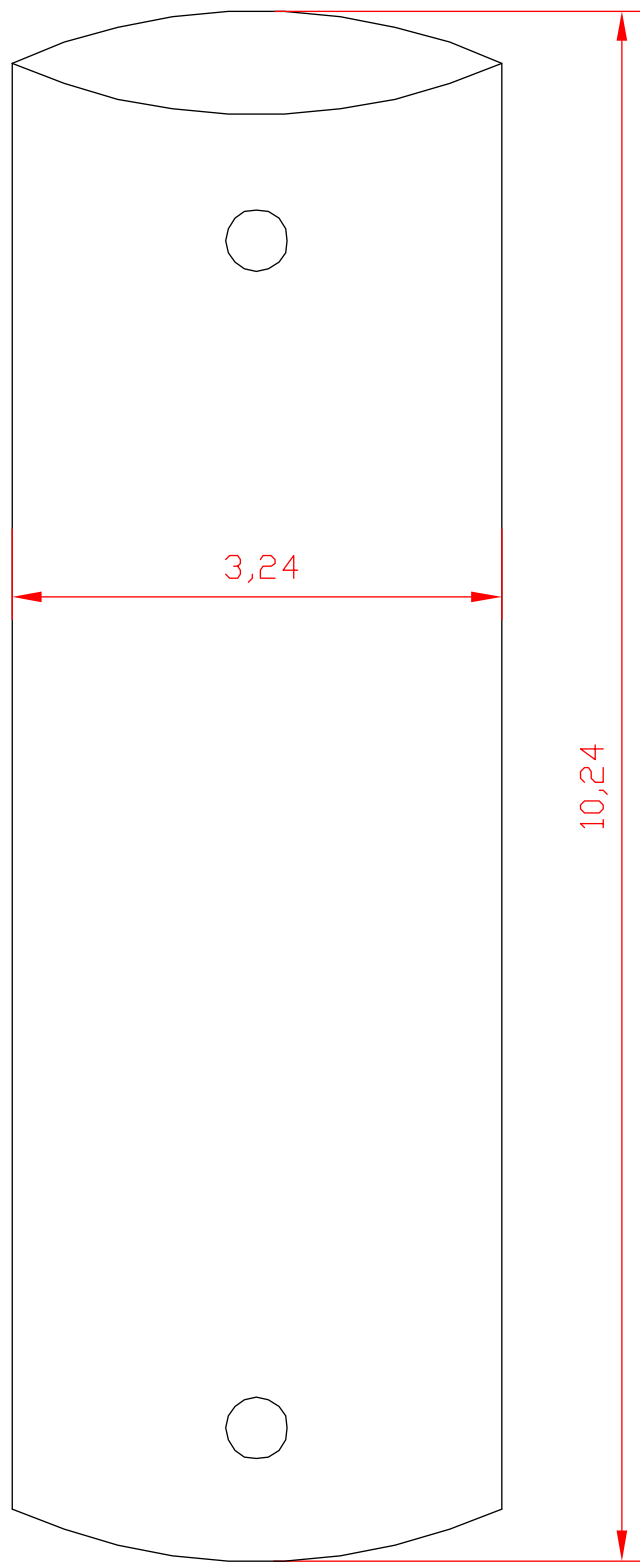


LEYENDA	
TABULADURA	SERVICIO
F	FLUIDO REFRIGERANTE
A	ALIMENTACIÓN
V	VAPOR CALEFACTOR

LEYENDA		
TABULADURA	SERVICIO	Nº DE TUBOS
INTERCAMBIADOR 1	CONDENSADOR	7.016
INTERCAMBIADOR 2	CALDERÍN	360
INTERCAMBIADOR 3	INTERCAMBIADOR QUE ACONDICIONA LA ALIMENTACIÓN	706
INTERCAMBIADOR 4	INTERCAMBIADOR QUE ACONDICIONA EL PROPANO PRODUCTO	2.410



 UCA Universidad de Cádiz		DISEÑO DE SPLITTER PARA LA SEPARACIÓN DE LA MEZCLA PROPANO-PROPILENO	
Silvia Iglesias Lozano		INTERCAMBIADORES DE CALOR	
Fecha: Marzo 2009			
		PLANO: 5 ESC. 1/50	



ACUMULADOR DE  
REFLUJO



DISEÑO DE SPLITTER PARA LA SEPARACIÓN  
DE LA MEZCLA PROPANO-PROPILENO

Silvia Iglesias Lozano	ACUMULADOR DE REFLUJO		
Fecha: Marzo 2009	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1337 2000 1541 2112">PLANO: 6</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1337 2112 1541 2157">ESC. 1/50</td> </tr> </table>	PLANO: 6	ESC. 1/50
PLANO: 6			
ESC. 1/50			



**DOCUMENTO N° 3:**  
**PLIEGO DE CONDICIONES**

## **1. OBJETIVO**

El objetivo del presente pliego de condiciones es definir el conjunto de directrices, requisitos y normas aplicables al desarrollo de las obras a las que se refiere el proyecto del que forma parte. Contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y equipos, el modo de ejecución, medición de las unidades de obra y, en general, cuantos aspectos han de regir en las obras comprendidas en el presente proyecto. El pliego de condiciones constituye el documento más importante desde el punto de vista contractual.

El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones.

Del mismo modo, la administración podrá conocer de forma detallada las diferentes tareas que se desarrollarán durante la ejecución del proyecto.

## **2. DISPOSICIONES GENERALES**

### **2.1 Contradicciones, omisiones o errores**

En el caso de contradicción entre los planos y el pliego de prescripciones técnicas, prevalecerá lo indicado en este último. Lo mencionado en el pliego de prescripciones técnicas y omitido en los planos o viceversa, habrá de ser aceptado como si estuviese expuesto en ambos documentos, siempre que, a juicio del director de obras, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y esta tenga precio en el contrato.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos por el director o contratista deberán reflejarse en el acta de comprobación.

### **2.2 Trabajos preparatorios**

Los trabajos preparatorios para el inicio de las obras consistirán en:

- Comprobación del replanteo
- Fijación y conservación de los puntos del replanteo

- Programación de los trabajos

### **2.2.1. Comprobación del replanteo**

En el plazo de quince días a partir de la adjudicación definitiva se comprobarán, en presencia del adjudicatario o de su representante, el replanteo de las obras efectuadas antes de la licitación, extendiéndose la correspondiente acta de comprobación del replanteo.

El acta de comprobación de replanteo reflejará la conformidad o la disconformidad del replanteo respecto a los documentos contractuales del proyecto, refiriéndose expresamente a las características geométricas de los trabajos, así como a cualquier punto que en caso de disconformidad pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Cuando el acta de comprobación del replanteo refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto, valorado a los precios del contrato.

### **2.2.2 Fijación de los puntos de replanteo**

La comprobación del replanteo deberá incluir como mínimo los datos y referencias previstos para poder materializar las obras, así como los puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalles y de otros elementos que puedan estimarse precisos.

Los puntos de referencia para los sucesivos replanteos se marcarán con los medios adecuados para evitar su desaparición.

Los datos, cotas y puntos fijados se anotarán en un anexo el acta de comprobación del replanteo, el cual se unirá al expediente de las obras, entregándose una copia al contratista.

El contratista se responsabilizará de la conservación de las señales de los puntos que hayan sido entregados.

### **2.2.3 Programación de los trabajos**

En el plazo que se determine en días hábiles a partir de la aprobación del acta de comprobación del replanteo, el adjudicatario presentará el programa de trabajos de las obras. Dicho programa de trabajo incluirá los siguientes datos:

- Fijación de las clases de obras y trabajos que integran el proyecto e indicación de las mismas.
- Determinación de los medios necesarios (instalaciones, equipos y materiales).
- Valoración mensual y acumulada de la obra, programada sobre la base de los precios unitarios de adjudicación.
- Representación gráfica de las diversas actividades, en un gráfico de barras o en un diagrama espacio – tiempo.

Cuando del programa de trabajos se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado por el adjudicatario y por la dirección técnica de las obras, acompañándose de la correspondiente propuesta de modificación para su tramitación reglamentaria.

### **2.3 Plazos de ejecución**

El contratista empezará las obras al día siguiente de la fecha del acta de comprobación de replanteo, debiendo quedar terminada en la fecha acordada en dicho acta.

### **2.4 Desarrollo y control de los trabajos**

Para el mejor desarrollo y control de los trabajos, el adjudicatario seguirá las normas que se indican en los apartados siguientes:

#### **2.4.1 Equipos de maquinaria**

El contratista quedará obligado a situar en las obras los equipos de la maquinaria que se comprometa a aportar en la licitación, y que el director de las obras considere necesario para el correcto desarrollo de las mismas. Dichos equipos de maquinaria deberán ser aprobados por el director.

La maquinaria y demás elementos de trabajo deberán estar en perfectas condiciones de funcionamiento y quedar adscritos a la obra durante el curso de la ejecución de las unidades en las que deban utilizarse. No podrán retirarse sin el consentimiento del director.

#### **2.4.2 Ensayos**

El número de ensayos y su frecuencia, tanto sobre materiales como unidades de obras terminadas, será fijado por el ingeniero director, y se efectuarán con arreglo a las normas afectantes a cada unidad de obra, o, en su defecto, con arreglo a las instrucciones que dicte el director.

El adjudicatario abonará el costo de los ensayos que se realicen, que no podrán superar el 1% del presupuesto de adjudicación.

El contratista está obligado a realizar su autocontrol de cotas, tolerancias y geométrico en general, así como el de calidad, mediante ensayos materiales, densidades de compactación, etc. Se entiende que no se comunicará a la dirección de obra que una unidad de obra está terminada a juicio del contratista para su comprobación hasta que el mismo contratista, mediante su personal facultativo para el caso, haya hecho sus propias comprobaciones y ensayos y se haya asegurado de cumplir las especificaciones.

Así, el contratista está obligado a disponer de los equipos necesarios para dichas mediciones y ensayos.

#### **2.4.3 Materiales**

Todos los materiales que se utilicen en las obras deberán cumplir las condiciones que se establecen en el pliego de condiciones, pudiendo ser rechazados en caso contrario por el ingeniero director. Por ello, todos los materiales que se propongan ser utilizados en obra deben ser examinados y ensayados antes de su aceptación en primera instancia mediante el autocontrol del contratista y, eventualmente, con el control de dirección de obra.

Cuando la procedencia de los materiales no esté fijada en el pliego de prescripciones técnicas, los materiales requeridos para la ejecución del contrato serán fijados por el contratista de las fuentes de suministro que este estime oportuno.

El contratista notificará al director, con la suficiente antelación, los materiales que se proponen utilizar y su procedencia, aportando, cuando así lo solicite el director, las muestras y los datos necesarios para su posible aceptación, tanto en lo que se refiere a su cantidad como a su calidad.

El no rechazo de un material no implica su aceptación. El no rechazo o la aceptación de una procedencia no impide el posterior rechazo de cualquier partida de material de ella que no cumpla las prescripciones, ni incluso la eventual prohibición de dicha procedencia.

En ningún caso podrán ser acoplados y utilizados en los trabajos materiales cuya procedencia no haya sido aprobada por el director.

#### **2.4.3.1 Manipulación de materiales**

Todos los materiales se manipulan con cuidado, y de tal modo que se mantengan su calidad y aptitud para la obra.

#### **2.4.3.2 Inspección en planta**

Si el volumen de la obra, la marcha de la construcción y otras consideraciones lo justifican, el ingeniero puede proceder a la inspección del material o de los artículos manufacturados en sus respectivas fuentes.

#### **2.4.3.3 Inspección de los materiales**

Con objeto de facilitar la inspección y prueba de los materiales, el contratista notificará al ingeniero con dos semanas como mínimo de antelación a la entrega.

#### **2.4.3.4 Materiales defectuosos**

Todos los materiales que no se ajusten a los requisitos del pliego de condiciones se considerarán defectuosos y, por tanto, se retirarán inmediatamente del lugar de la obra, a menos que el ingeniero ordene lo contrario.

Los materiales rechazados, cuyos defectos se hayan corregido substancialmente, no se utilizarán mientras no se les haya otorgado la aprobación.

#### **2.4.4. Acopios**

Quedará terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del director, efectuar acopio de materiales, cualesquiera que sea su naturaleza, sobre la plataforma de obra y en aquellas zonas marginales que defina el director.

Se considera especialmente prohibido el depositar materiales, herramientas, maquinaria, escombros o cualquier otro elemento no deseable, en las siguientes zonas:

- Áreas de proceso adyacentes o limítrofes con la zona donde se realizan los trabajos.
- Desagües y zonas de trabajo en general.
- Vías de acceso a casetas de operación, puntos de reunión para estados de emergencia y puntos de situación de extintores.
- Calles y vías de circulación interior, tanto de la zona de construcción como de áreas de proceso adyacentes a ésta.
- En general, cualquier lugar en el que la presencia de materiales, herramientas o utensilios puedan entorpecer las labores de mantenimiento y operación de las unidades de proceso, o pueda dificultar el proceso de emergencia de la planta.

Los materiales se almacenarán en forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en la obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de su utilización.

Las superficies empleadas en la zona de acopios deberán acondicionarse de forma que, una vez terminada su utilización, recuperen su aspecto original. Todos los gastos que de ello se deriven correrán por cuenta del contratista.

#### **2.4.5. Trabajos nocturnos**

Los trabajos nocturnos deberán ser previamente autorizados por el director, y solamente realizados en aquellas unidades de obra que así lo requieran. El contratista deberá instalar los equipos de iluminación y mantenerlos en perfecto estado mientras duren los trabajos nocturnos.

#### **2.4.6 Accidentes de trabajo**

De conformidad con lo establecido en el Reglamento de la Ley de Accidentes de Trabajo, el contratista está obligado a contratar, para su personal, el seguro contra riesgo por accidentes de trabajo.

El contratista y la dirección de obra fijarán de antemano las condiciones de seguridad en las que se llevarán a cabo los trabajos objeto del presente proyecto, así como las pruebas, ensayos, inspecciones y verificaciones necesarias, que en cualquier caso deberán ser, como mínimo, las prescritas por los reglamentos actuales vigentes.

No obstante, en aquellos casos en que el contratista o la dirección consideren que se deben tomar disposiciones adicionales de seguridad, podrán tomarse éstas sin reserva alguna.

Por otra parte, el contratista será responsable de suministrar al personal a su cargo los equipos de protección individual adecuados para trabajar en condiciones de seguridad.

Asimismo, serán responsabilidad del contratista los posibles daños causados en las instalaciones, tanto terminadas o aún en construcción, ocasionados por personas ajenas a la obra dentro del horario establecido de trabajo, así como de los accidentes personales que pueden ocurrir.



#### **2.4.7 Descanso en los días festivos**

En los trabajos concedidos a la contrata se cumplirá puntualmente el descanso en días festivos, del modo que se señale en las disposiciones vigentes.

En casos excepcionales, en los que fuera necesario trabajar en dichos días, se procederá como indican las citadas disposiciones.

#### **2.4.8 Trabajos defectuosos o no autorizados**

Los trabajos defectuosos no serán de abono, debiendo ser demolidos por el contratista y reconstruidos en el plazo de acuerdo con las prescripciones del proyecto.

Si alguna obra no se hallase ejecutada con arreglo a las condiciones del contrato y fuera, sin embargo, admisible a juicio del ingeniero director de obras, podrá ser recibida provisionalmente, y definitivamente en su caso, quedando el adjudicatario obligado a conformarse, sin derecho a reclamación con la rebaja económica que el ingeniero director estime, salvo en el caso de que el adjudicatario opte por la demolición a su costa y las rehaga con arreglo a las condiciones del contrato.

#### **2.4.9 Señalización de las obras**

El contratista queda obligado a señalar a su costa las obras objeto del contrato, con arreglo a las instrucciones y uso de aparatos que prescriba el director.

#### **2.4.10 Precauciones especiales**

##### **2.4.10.1 Lluvias**

Durante las fases de construcción, montaje e instalación de obras y equipos, éstos se mantendrán en todo momento en perfectas condiciones de drenaje. Las cunetas y demás desagües se mantendrán de modo tal que no produzcan daños.

El equipo que no necesite revisión o inspección previa a su instalación no será desembalado hasta el momento de la misma. Se protegerá el equipo desembalado de la lluvia mediante cubiertas y protectores adecuados.

#### **2.4.10.2 Incendios**

El contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes para la prevención y control de incendios, y a las recomendaciones u órdenes que reciba del director.

En todo caso, adoptará las medidas necesarias para evitar que se enciendan fuegos innecesarios, y será responsable de evitar la propagación de los que se requieran para la ejecución de las obras, así como de los daños y perjuicios que se puedan producir.

No obstante lo anterior, el contratista podrá exigir el asesoramiento de un técnico de seguridad competente, elegido por la dirección, en todos los casos en los que lo estime conveniente, y, particularmente, en aquellos en los que el riesgo de producción de incendio sea más elevado (soldadura, corte con soplete, etc.).

#### **2.4.11. Personal técnico**

El contratista está obligado a dedicar a los trabajos (tanto de obra civil como de montaje e instalación de líneas y equipos) el personal técnico a que se comprometió en la licitación. A pie de las obras, y al frente de las mismas, deberá haber un ingeniero superior.

Al personal así designado no se le asignarán otras obligaciones mientras duren los trabajos.

Por otra parte, el personal a cargo del contratista deberá estar lo suficientemente cualificado para la realización de los trabajos. Es responsabilidad del contratista, por lo tanto, cualquier retraso derivado de la incompetencia o ignorancia del personal a su cargo.

El director podrá prohibir la presencia en la zona de trabajos de determinado personal del contratista por motivo de falta de obediencia o respeto, o por causa de actos que comprometan o perturben, a su juicio, la seguridad, integridad o marcha de los trabajos.

El contratista podrá recurrir, si entendiéndose que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

## **2.5 Medición de obras**

La forma de realizar la medición, y las unidades de medida a utilizar, serán definidas en el pliego de prescripciones técnicas para cada unidad de obra.

Todas las mediciones básicas para el abono deberán de ser conformadas por el director y el representante del contratista.

Las unidades que hayan de quedar ocultas o enterradas deberán ser medidas antes de su ocultación. Si la medición no se efectuó a su debido tiempo, serán de cuenta del contratista las operaciones para llevarlas a cabo.

## **2.6. Certificaciones**

El importe de los trabajos efectuados se acreditará mensualmente al contratista por medio de certificaciones expedidas por el director en la forma legalmente establecida.

### **2.6.1. Precio unitario**

Los precios unitarios fijados en el contrato para cada unidad de obra cubrirán todos los gastos efectuados para la ejecución material de la unidad correspondiente, incluidos los trabajos auxiliares, mano de obra, materiales y medios auxiliares de cada unidad de obra, siempre que expresamente no se indique lo contrario en este pliego de prescripciones técnicas.

### **2.6.2. Partidas alzadas**

Las partidas alzadas a justificar se abonarán consignando las unidades de obra que comprenden los precios del contrato, o los precios aprobados si se trata de nuevas unidades.

### **2.6.3. Instalaciones y equipos de maquinaria**

Los gastos correspondientes a instalaciones y equipos de maquinaria se considerarán incluidos en los precios de las unidades correspondientes, y, en consecuencia, no serán abonados separadamente.

### **2.7. Legislación social**

El contratista estará obligado al cumplimiento de lo establecido en la Ley sobre el Contrato del Trabajo y Reglamentaciones de Trabajo Regulatoras de Subsidio y Seguros Sociales vigentes.

### **2.8. Gastos de cuenta del contratista**

Serán de cuenta del contratista, siempre que en el contrato no se prevea explícitamente lo contrario, los siguientes pasos:

- Los gastos de construcción y retirada de toda clase de construcciones auxiliares.
- Los gastos de alquiler o adquisición de terreno para depósito de maquinarias y materiales.
- Los gastos de protección de acopios y de la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los requisitos vigentes para almacenamiento de explosivos y carburantes.
- Los gastos de limpieza y evacuación de desperdicios de basuras.
- Los gastos de suministro, colocación y conservación de señales de tráfico, balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de las obras.
- Los gastos de montaje, conservación y retirada de instalaciones para el suministro del agua y la energía eléctrica necesarias para las obras.

- Los gastos de demolición y desmontaje de las instalaciones provisionales.
- Los gastos de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.

## **2.9. Ingeniero director de obras. Funciones**

El ingeniero director de obras será responsable de la inspección y vigilancia de la ejecución del contrato, y asumirá la representación de la administración o de la entidad pertinente frente al contratista.

Las funciones del ingeniero director de obras serán las siguientes:

- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.
- Definir aquellas condiciones técnicas que en el presente pliego de condiciones se dejen a su decisión.
- Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a la interpretación de los planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras y ocupaciones de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual, el contratista deberá poner a su disposición el personal y el material de la obra.
- Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.

- Participar en las recepciones provisionales y definitivas y redactar la liquidación de las obras conforme a las normas legales establecidas.

El contratista estará obligado a prestar su colaboración al ingeniero director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

## **2.10. Recepciones, garantías y obligaciones del contratista**

El adjudicatario deberá obtener a su costa todos los permisos y licencias para la ejecución de las obras. Del mismo modo serán de su cuenta los gastos derivados de los permisos y tasas.

La recepción, garantías y obligaciones del contratista serán las siguientes:

- Recepción provisional
- Plazo de garantía
- Recepción definitiva

### **2.10.1 Recepción provisional**

Una vez terminados los trabajos, se procederá al examen global por parte del director, el cuál, si los consideras aptos para ser recibidos, extenderá un acta donde así lo haga constar, procediéndose inmediatamente a la puesta en marcha y entrada en normal funcionamiento de las instalaciones.

En ningún caso la recepción provisional tendrá lugar antes de las siguientes operaciones:

- Inspección visual de todos los equipos y líneas, así como de los equipos auxiliares.
- Prueba hidrostática de las áreas que así lo requieran.
- Lavado del equipo tal y como se expone en el apartado “aparatos a presión” del presente pliego de condiciones.
- Comprobación de servicios auxiliares.

Teniendo en cuenta lo anterior, la obra no podrá ponerse en funcionamiento por partes desde su inicio, a menos que, a juicio del ingeniero director, no se

perjudique la integridad de la instalación y no se interfiera en la normal operación de otras unidades o procesos adyacentes.

Si el ingeniero director apreciase en las obras defectos de calidad u otras imperfecciones que, a su juicio, pudieran resultar perjudiciales o poco convenientes, el contratista deberá reparar o sustituir, a su costa, dichas partes o elementos no satisfactorios.

### **2.10.2 Plazo de garantía**

Será de un año, contando a partir de la fecha de recepción provisional, salvo indicación contraria expresa en el pliego de contratación de la obra. Durante dicho período, las posibles obras de reparación, conservación y sustitución serán por cuenta del contratista, siendo éste responsable de las faltas que puedan existir.

En caso de existir defectos o imperfecciones, no servirá de disculpa ni le dará derecho alguno al contratista el que el director o subalterno hayan examinado durante la construcción, reconocido sus materiales o hecha su valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, si se observan vicios o imperfecciones antes de efectuarse la recepción, se dispondrá que el contratista demuela y reconstruya, o bien repare, de su cuenta, las partes defectuosas.

### **2.10.3 Recepción definitiva**

Transcurrido el plazo de garantía, y previo a los trámites reglamentarios, se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras, una vez realizado el oportuno reconocimiento de las mismas y en el supuesto de que todas ellas se encuentren en las condiciones debidas.

En caso de que, al proceder al reconocimiento de las obras, éstas nos e encontrasen en estado de ser recibidas, se aplazará su recepción hasta que estén en condiciones de serlo.

Al proceder la recepción definitiva de las obras, se extenderá por cuadruplicado el acta correspondiente.

#### **2.10.4 Prescripciones particulares**

En todos aquellos casos en que, a juicio del director de la obras, se haga aconsejable para la ejecución de los trabajos previstos la fijación de determinadas condiciones específicas, se procederá a la redacción por éste del oportuno pliego de prescripciones particulares, que ha de ser aceptado por el contratista, quedando obligado a su cumplimiento.



### **3. CONDICIONES DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS**

El presente apartado del pliego de condiciones tiene por objeto establecer las calidades y características de los equipos y dispositivos objeto de este proyecto, así como de los materiales que los constituyen.

#### **3.1. Referencias y normativas**

Se tendrán como de obligado cumplimiento las siguientes normas y estándares:

- Código de construcción de recipientes a presión ASME, Sección VIII, División I. Se aplicarán las prescripciones de este código en los aspectos referentes a presiones y temperaturas de diseño, espesores de cuerpos y fondos, presiones de prueba, tests hidrostáticos y soldadura. Se aplicarán también las prescripciones de este código a la juntas.
- Standards of the Tubular Exchangers Manufactures Association (TEMA). Sixth Edition, 1986.
- Norma API 610 para bombas de proceso en servicios de refino y petroquímica.
- Normas ASME B.31.3 para diseño de sistemas de tuberías para el transporte del petróleo.
- Norma ANSI B.36.10 para dimensiones de tuberías de acero al carbono y aleado soldadas y sin soldadura.
- Norma ANSI B.16.5 para clasificación presión- temperatura, bridas, espárragos para bridas, válvulas bridadas y accesorios bridados de acero.
- Norma ANSI B.18.2 para espárragos y tuercas.
- Norma ANSI B.16.9 para accesorios de acero para soldar a tope.
- Norma ANSI B.16.11 para accesorios de acero para soldar a enchufe y roscados.
- Norma ANSI B.16.10 para la definición de dimensiones de válvulas bridadas.
- Norma ANSI B.16.34 para válvulas para soldara a tope.
- Norma API 600 para válvulas de compuerta.
- Norma API 602 para válvulas de compuerta de pequeña dimensión.

- Norma API 598 para inspección y prueba de válvulas.
- Norma API RP 520 para el dimensionamiento de válvulas de seguridad para recipientes a presión.
- Normas ASTM A-106 gr. B para tuberías de acero al carbono sin soldaduras.
- Norma ASTM A-234 WPB para accesorios de acero al carbono obtenidos de tubos para soldar a tope.
- Norma ASTM A-216 WCB para válvulas y accesorios bridados de acero al carbono fundido.
- Norma ASTM A-105 para bridas, válvulas y accesorios de acero al carbono forjado roscados y para soldar a enchufe.
- Norma ASTM A-193 B7 para espárragos.
- Norma ASTM A-194 gr.2H para tuercas.
- Norma ASME SA-285 gr. C para cuerpos cilíndricos y fondos de recipientes.
- Norma ASME SA-179 para tubos de intercambiador de calor.
- Norma ASME SA-212 gr. B para placas tubulares de intercambiador de calor.

### **3.2. Condiciones para los materiales**

#### **3.2.1. Condiciones generales para los materiales**

Todos los materiales tendrán las condiciones técnicas que dictan las normas citadas en el subapartado “referencias y normativas” del presente apartado del pliego de condiciones.

Las características de los mismos serán las expresadas en los subapartados que siguen, pudiendo la dirección técnica desechar aquellos que a su juicio no las reúnan.

No podrán ser en ningún caso distintos en sus características a los tipos proyectados. Si hubiese que variar la clase de algunos inicialmente aprobados, los nuevos no podrán ser instalados sin la previa autorización de la dirección de obra, la cual podrá someterlos a cuantas pruebas estime oportunas.

### **3.2.2. Condiciones para las tuberías y tubos de los intercambiadores de calor**

Las tuberías serán de los diámetros especificados en el apartado correspondiente de “Anexo a la memoria”. Serán de sección circular, de espesor uniforme y sin costura. Se montarán a partir de cañas con los extremos achaflanados para soldar a tope.

Estarán exentas de fisuras, grietas, poros, impurezas, deformaciones o faltas de homogeneidad, así como de otros defectos que pudieran disminuir su resistencia y apartar su comportamiento del esperado por sus características.

Las tuberías destinadas a las líneas serán de acero al carbono ASTM A-106 gr. B.

Los tubos del intercambiador de calor serán de acero al carbono ASME SA-179, de la longitud especificada en el apartado “Anexo a la memoria”.

### **3.2.3. Condiciones para las bridas**

Las bridas serán de acero al carbono forjado ASTM A- 105, del tipo de cuello soldado (welding neck), con cara elevada y de 150 libras de presión primaria en servicio (bridas 150 – R.F – W.N).

Los espárragos de unión estarán en consonancia con lo marcado por la norma ANSI B16.5. Sus diámetros serán los correspondientes a la línea en la que vayan a ser instaladas.

El estriado de las bridas será de estrías concéntricas, con grado de estriado “∇∇”. No se aceptarán bridas con estrías en espiral.

Estarán libres de defectos, irregularidades, rebabas, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso. Las bridas habrán de ser planas y paralelas, o presentar rigidez suficiente contra deformaciones debidas a la presión de los espárragos. Éstos habrán de apretarse en cruz con llave dinamométrica para controlar el par de apriete.

#### **3.2.4. Condiciones para los accesorios soldables**

Los accesorios para las tuberías (codos, tes, reducciones, etc.) serán de acero ASTM A-234 WPB para soldar a tope ó ASTM A-105 para roscar o soldar a enchufe, según corresponda, siendo su diámetro el correspondiente a las líneas en las que vayan instalados. Estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

#### **3.2.5. Condiciones para las válvulas**

Las válvulas serán del tipo que la dirección de la obra estime el más adecuado de cara a la línea y servicio en que vayan a ser instaladas.

Estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

Durante su instalación se tendrá especial cuidado de alinear correctamente los extremos con la tubería en la que vayan a ser instaladas.

El apriete de los espárragos se hará con llave dinamométrica, previa introducción de las correspondientes juntas.

#### **3.2.6. Condiciones para las juntas**

Las juntas serán espirometálicas. Estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

#### **3.2.7. Condiciones de las placas de fabricación de los equipos**

Las placas a partir de las cuales se fabriquen los nuevos equipos previstos estarán fabricadas en SA-285 gr. C.

Estarán libres de fisuras, grietas, poros, etc., que puedan disminuir sus resistencias o afectar a su comportamiento durante su funcionamiento dentro del proceso.

### **3.2.8. Condiciones para las soldaduras**

En las partes de la instalación en que deban llevarse a cabo procesos de soldaduras a tope, se instalarán durante el proceso de soldado anillos de protección, y se evitará en todo momento que penetren en el interior de las partes a soldar cascarillas y salpicaduras de soldadura.

La soldadura se hará mediante cordones finos, limpiando e inspeccionando después de cada cordón, evitando así que los defectos de un cordón puedan ser enmascarados por el siguiente.

### **3.3. Condiciones para los equipos**

#### **3.3.1. Condiciones para los intercambiadores de calor y tanques**

Las dimensiones de los equipos, 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 “Anexo a la memoria).

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 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 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 que aparecen en el apartado “equipos a presión” del presente pliego de condiciones.

### **3.3.2. Condiciones para las 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 se instalará 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 de las bombas a emplear, acompañados de los correspondientes certificados de pruebas de sobrecarga, rodaje, etc., efectuadas en el taller del fabricante.

### **3.3.3. Condiciones para los equipos reutilizados**

Se aplicará a los equipos sometidos a una alteración en sus condiciones de servicio lo recogido en el apartado “equipos a presión” del presente pliego de condiciones, especialmente en lo que se refiere a inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento del aparato antes de su puesta en servicio.

### **3.4. Condiciones sobre instalaciones auxiliares**

#### **3.4.1. Condiciones sobre pintura y preparación de superficies**

Todas las superficies exteriores de equipos y tuberías recibirán, antes del pintado, el tratamiento de preparación siguiente:

- Limpieza con disolventes de las zonas excesivamente cargadas de grasa o aceites, o que durante el proceso de instalación y manipulación hayan quedado impregnadas de estas sustancias o similares.
- Eliminación de depósitos de óxidos muy voluminosos mediante limpieza natural o mecánica. Esto puede hacerse mediante lijado de cordones y salpicaduras de soldadura.
- Redondeado de aristas vivas y alisado mediante lijado de cordones y salpicaduras de soldadura.
- Protección de zonas y anexos que no vayan a ser recubiertos.
- Chorreado con abrasivo (granalla o arena silíceas).
- Limpieza con aspirador o aire a presión de residuos abrasivos, polvo, y demás partículas extrañas y contaminantes.

Posteriormente, las superficies recibirán cuatro manos de pintura anticorrosión (pasivamente aniónica), como minio de plomo o cromato de zinc de aceite. Se controlará que, tras la capa definitiva, el espesor de la capa protectora de pintura sea de 150 micras como mínimo.

#### **3.4.2. Condiciones para los aislamientos**

Los equipos de nueva instalación contemplados en el presente proyecto, así como las líneas cuyo aislamiento se prevé, con la excepción de las líneas de purga, irán calorifugados con manta de lana de vidrio. Las mantas a utilizar no habrán tenido usos anteriores. Asimismo, no presentarán cortes o deformaciones que, a juicio del ingeniero director, pudieran afectar a su capacidad aislante. La malla metálica galvanizada estará en buen estado.

Las superficies a calorifugar habrán recibido su correspondiente pintado, tal y como se describe en el subapartado “condiciones sobre pintura y preparación de

superficies” del presente pliego de condiciones. Igualmente, si se encontrasen húmedas por el rocío o la lluvia, se dejarán secar antes de instalar el aislamiento. Si el pintado presenta desperfectos o suciedad adherida, se eliminarán antes de instalar el aislamiento. La pintura estará perfectamente seca. Con objeto de que el material aislante no se empape de agua o humedad, no se efectuará el montaje del calorifugado si las condiciones ambientales atmosféricas son de lluvia o excesiva humedad, debiendo posponerse éste hasta que las condiciones lo permitan.

El calorifugado se sujetará a los equipos y líneas mediante pletinas, alambres o tornillos de metal, o mediante otro sistema que el instalador crea adecuado, y que el ingeniero director estime eficaz. Todo el conjunto se recubrirá de chapa de aluminio de 1 a 1,5 mm de espesor, de primer uso, sujeta con remaches o tornillos autorroscantes (tornillos “de rosca- chapa”). Las chapas dispondrán de solape suficiente. Igualmente, tras la instalación no deberán quedar esquinas levantadas o salientes que puedan causar heridas a los operarios de la planta al moverse entre los equipos.

#### **3.4.3. Condiciones para las purgas y venteos**

Las purgas y los venteos de las líneas y equipos principales serán de  $\frac{3}{4}$  “ como mínimo, y dispondrán de válvulas de compuerta soldadas como elementos de cierre.

#### **3.4.4. Condiciones para la 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 “Bourdon”, “Wika” 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.



## **4. EQUIPOS A PRESIÓN. DISPOSICIONES GENERALES**

Dado que la totalidad de las líneas y equipos contemplados en el presente proyecto trabajan a presión superior a la atmosférica, se fijan las condiciones generales de fabricación, prueba, instalación, operación y funcionamiento de los mismos.

### **4.1 Referencias y normativas**

Se tendrán como referencia y de obligado cumplimiento las siguientes disposiciones y normas:

- Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía (R.D 1244/1976 del 4 de abril, BOE n1 128 del 29 de mayo) para todos los aparatos a presión en el ámbito de refinerías de petróleos y plantas petroquímicas.
- Instrucción Técnica complementaria (ITC MIE AP6) sobre refinerías de petróleos y plantas petroquímicas (O. 30-8-1982, B.O.E del 10 de Septiembre de 1982), (O. 11-7-1983, B.O.E del 22 de Julio de 1983). Los aparatos incluidos en el campo de aplicación de esta ITC, instalados en refinerías de petróleos cumplirán, además, las especificaciones que se indican en el Real Decreto 3143/1975 del 31 de Octubre, referentes al Reglamento de Seguridad de refinerías de petróleos y parques de almacenamiento de productos petrolíferos.

### **4.2 Definiciones generales**

Con el fin de que la interpretación del presente pliego de condiciones sea clara e inequívoca, se proporcionarán, de acuerdo con el Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía, las siguientes definiciones:

#### **4.2.1 Aparatos sometidos a presión**

Aparato cuya presión máxima de servicio es superior a la atmosférica. Por lo que se refiere al presente proyecto, esta definición aplica a:

- Splitter
- Botellón de reflujo
- Intercambiadores de calor (calderín, condensador, almacenamiento alimentación, propano y propileno)
- Bombas

#### **4.2.2 Tuberías**

Líneas de conducción de fluidos a presión o a vacío, no sometidas a fuego directo. Por lo que se refiere al presente proyecto esta definición afecta a:

- Línea de alimentación
- Líneas de impulsión de las bombas
- Líneas de alimentación de los intercambiadores
- Líneas de alimentación de los tanques

#### **4.2.3 Sistemas**

Conjunto de aparatos a presión, normalmente conectados en secuencia de proceso y susceptibles de ser probados a presión conjuntamente.

#### **4.2.4 Diseño mecánico**

Consiste en la definición completa e inequívoca de un aparato a presión en función de los datos básicos de proceso, código de diseño, características de los materiales utilizados, proceso de fabricación y control de calidad.

#### **4.2.5 Ingeniería**

Persona jurídica o técnico titulado competente que, mediante el conocimiento y aplicación correcta de los códigos de diseño de aparatos a presión, y a partir de los datos básicos necesarios, realiza el diseño mecánico de dichos aparatos. Estas ingenierías deberán estar inscritas en el Registro de Sociedades de Ingeniería o en el colegio oficial correspondiente, y cumplir los requisitos exigidos por la legislación vigente. Las ingenierías extranjeras que no dispongan de delegación en España debidamente legalizada deberán tener autorizado por la

Dirección General de Innovación Industrial y Tecnológica el correspondiente contrato de asistencia técnica, suscrito con el fabricante o con alguna ingeniería.

#### **4.2.6 Fabricante**

Persona física o jurídica que, a partir de un diseño mecánico y mediante el conocimiento y aplicación correcta de los códigos de construcción de aparatos a presión y disponiendo de personal cualificado y medios apropiados, realiza el acopio de materiales, la fabricación y ensamblaje total o parcial de los componentes de los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Fabricantes de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se fabrica el aparato.

#### **4.2.7. Reparador**

Persona física o jurídica que, mediante el conocimiento e interpretación de los códigos, normas de construcción y de reparación de aparatos a presión, dispone de personal cualificado y medios apropiados para reparar los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Reparadores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentren sus talleres de reparación.

#### **4.2.8 Instalador**

Persona física o jurídica que, mediante el conocimiento e interpretación de las normas de instalación de aparatos a presión y disponiendo de personal cualificado y medios apropiados, instala los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Instaladores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentre el domicilio social o sus talleres.

#### **4.2.9 Usuario**

Persona física o jurídica propietaria o explotadora de la refinería de petróleo o planta petroquímica donde se instalan los aparatos a presión.

#### **4.2.10 Inspector propio**

Personal técnico competente designado por el usuario o contratado, con experiencia en la inspección de aparatos a presión de refinerías y plantas petroquímicas.

#### **4.2.11 Inspecciones y pruebas previas**

Toda inspección anterior a la puesta en servicio o durante la misma de un aparato o sistema.

#### **4.2.12 Inspecciones y pruebas periódicas**

Toda inspección y prueba posterior a la puesta en servicio de un aparato o sistema.

#### **4.2.13 Control de calidad**

Se entiende como tal el de la ingeniería, fabricante o instalador, cuando una inspección o prueba previa se realiza bajo su competencia y responsabilidad.

### **4.3 Definiciones de ámbito técnico**

#### **4.3.1 Presión de diseño ( $P_d$ )**

Se entiende como el valor de la presión que se toma para el cálculo del espesor del aparato, a la temperatura de diseño. La presión de diseño no podrá ser menor que la presión máxima de servicio.

#### **4.3.2 Presión máxima de servicio ( $P_{ms}$ )**

Se entiende como la presión más alta que se puede dar en el aparato o sistema, en condiciones extremas de funcionamiento del proceso.

#### **4.3.3 Presión de precinto**

Se entiende como la presión a la que están tarados los elementos de seguridad que protegen al aparato o al sistema.

#### **4.3.4 Presión de servicio ( $P_s$ )**

Se entiende como la presión normal de trabajo del aparato o sistema a la temperatura de servicio.

#### **4.3.5 Presión de prueba ( $P_p$ )**

Se entiende como aquella presión a la que se somete el aparato o sistema para comprobar su resistencia en las condiciones estáticas para las que fue diseñado. Corresponde a la mayor presión efectiva que se ejerce en el punto más alto del aparato o sistema durante la prueba de presión.

#### **4.3.6 Temperatura de diseño ( $T_d$ )**

Es el valor de la temperatura que se toma para el cálculo del espesor del aparato.

#### **4.3.7 Temperatura máxima de servicio ( $T_{ms}$ )**

Es el máximo valor de la temperatura que se estima, puede producirse en el interior del aparato o sistema, en condiciones extremas de funcionamiento.

#### **4.3.8 Temperatura de servicio ( $T_s$ )**

Es el valor de la temperatura alcanzada en el interior del aparato o sistema en condiciones normales de funcionamiento a la presión de servicio.

### **4.4 Condiciones generales para todos los aparatos**

Todas las prescripciones expresadas a continuación se aplicarán a los equipos de nueva instalación relacionados en el subapartado “aparato sometido a presión” del presente apartado del pliego de condiciones, y , de entre ellas, las correspondientes a inspecciones y pruebas, al resto de los equipos disponibles.

#### **4.4.1 Manual de diseño**

De acuerdo con lo estipulado en el Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía, se entregará una copia al usuario del manual de diseño del aparato considerado, que comprenderá:

- a) Identificación de la ingeniería.
- b) Datos básicos de proceso necesarios para el diseño.
- c) Código de diseño o sistema de cálculo, ambos de reconocida solvencia técnica, y normas de construcción elegidas, cálculos justificativos, vida mínima estimada del equipo y demás especificaciones técnicas complementarias no contempladas por el código elegido y que la buena práctica requiera.
- d) Planos básicos normalizados según UNE, con indicación de los materiales a emplear y de los elementos que, por formar parte integrante del equipo a presión, puedan afectar a la seguridad del mismo.
- e) Especificación de prueba de presión.

La ingeniería que elabore el manual de diseño certificará que dicho manual cumple con el código de diseño elegido y que el aparato que se fabrique de acuerdo con él, será adecuado para el fin al que se destina.

#### **4.4.2 Certificados**

Los materiales utilizados en la construcción de los elementos resistentes de los aparatos a presión deberán poseer los certificados de calidad correspondientes. Los materiales de aportación que se utilicen en las soldaduras de los componentes de los aparatos a presión estarán clasificados bajo norma de reconocida solvencia técnica.

#### **4.4.3 Proceso de fabricación**

Para el proceso de fabricación deberán utilizarse unas normas de construcción, control y pruebas acordes con el código de diseño.

#### 4.4.4 Legalización de aparatos a presión

Para cada aparato a presión construido, con la excepción de las tuberías, el fabricante deberá elaborar un manual de construcción acorde al manual de diseño, del cual entregará copia al usuario, que comprenderá:

- a) Número de inscripción en el Libro de Fabricantes de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se fabrique el aparato.
- b) Nombre, razón social y domicilio de la ingeniería.
- c) Planos constructivos complementarios de los básicos que figuren en manual de diseño, comprobados por la ingeniería si fuese requerido contractualmente para ello por el fabricante o el usuario.
- d) Certificados de calidad de los materiales de base y materiales de aportación y de los componentes del aparato empleado en su construcción, aprobados por el control de calidad del fabricante, que puede ser propio o contratado a una ingeniería o entidad colaboradora.
- e) Procedimientos de conformado, soldadura, tratamientos térmicos y controles, calificación de procedimientos de soldaduras y soldadores, todo ello aprobado por el control de calidad del fabricante, que puede ser propio o contratado a una ingeniería o entidad colaboradora.
- f) Plano de situación de las zonas sometidas a control por ensayos no destructivos, ensayos requeridos, extensión de los mismos y resultados. Las placas radiográficas serán conservadas adecuadamente por el fabricante durante cinco años como mínimo, a partir de la fecha de fabricación del aparato.
- g) Certificado de ensayos y pruebas realizados durante la construcción, aprobados por el control de calidad del fabricante o una entidad colaboradora, indistintamente, y comprobados por la ingeniería si fuera requerida contractualmente para ello por el usuario.
- h) Acta de la prueba a presión realizada por el fabricante y aprobada por el control de calidad del fabricante.

- i) Certificado del fabricante del aparato, en el que se hará constar que éste ha sido construido de acuerdo con el manual de diseño, el código y normas utilizadas en su fabricación.

El fabricante, al solicitar de la Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía la placa de diseño, con su número de registro, presentará los documentos comprendidos en los puntos g), h) e i) anteriores.

El fabricante de un aparato a presión es responsable de que dicho aparato ofrezca las garantías debidas para el fin a que se destina.

#### **4.4.5 Instalación**

Para cada instalación el instalador deberá elaborar un expediente de instalación acorde con los manuales de diseño y construcción, del cuál entregará copia al usuario. Este expediente comprenderá:

- a) Número de inscripción en el Libro de Registro de Instaladores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentre su domicilio social.
- b) Nombre, razón social y domicilio tanto del fabricante como del instalador.
- c) Relación de aparatos a instalar.
- d) Procedimientos de soldadura y calificación de la mano de obra, aprobados por el control de calidad del instalador.

El instalador de todo sistema a presión es responsable de cualquier deficiencia que pudiera observarse o derivarse de las operaciones de instalación.

#### **4.4.6 Inspecciones y pruebas**

##### **4.4.6.1 Inspecciones y pruebas oficiales**

Todos los aparatos a presión especificados en el subapartado “aparato sometido a presión” deberán ser sometidos a las inspecciones y pruebas previas a la puesta en servicio ya citadas.



#### **4.4.6.2 Inspecciones y pruebas en el taller del fabricante**

Se comprobará por el control de calidad del fabricante que cada equipo ha sido construido de acuerdo con los manuales de diseño y construcción, y quedará constancia de que se han cumplido cada uno de los requisitos previstos en los citados manuales, en cuyo caso se someterán a las siguientes inspecciones y pruebas:

- Examen visual y control dimensional del aparato. Al objeto de poder examinar debidamente el aparato, la placa se hallará desprovista de pintura o de cualquier recubrimiento que pueda disimular los posibles defectos.
- Prueba de presión con el aparato completamente lleno de fluido de prueba. Si existiesen razones por las que dicha prueba no sea factible de realizar en el taller del fabricante, se realizará en el lugar de emplazamiento.

#### **4.4.6.3 Inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento del equipo**

Cada equipo se someterá a las siguientes inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento:

- Examen visual y control dimensional del aparato, si no se ha realizado anteriormente en el taller del fabricante.
- Prueba de presión de valor igual a la primera en el caso de que evidentemente el aparato haya sufrido alguna anomalía durante el transporte o la manipulación, que la inspección detecte algún fallo real o aparente que así lo aconseje, que el ingeniero director tenga dudas sobre la capacidad de un equipo para resistir las condiciones de servicio previstas, que confluyan circunstancias inesperadas que las hagan recomendables, o siempre que la prueba no se haya efectuado en el taller del fabricante.

En caso de tener que realizarse la prueba de presión en el lugar de emplazamiento, se seguirán las siguientes condiciones:

- a) Observación del procedimiento de prueba descrito por el fabricante en el manual de construcción. Este deberá ser lo suficientemente detallado, incluyendo las condiciones de prueba, los equipos necesarios para su

ejecución, los aparatos de medidas de control (debidamente contrastados y con la sensibilidad adecuada, procurándose que la lectura se sitúe en el tercio central de la escala del aparato), sistema de llenado y vaciado y tiempo de mantenimiento de la presión de prueba, que en ningún caso será inferior a 30 minutos.

- b) Observación de las condiciones de seguridad durante las pruebas de presión, comprobándose que el equipo para pruebas es correcto y que las conexiones son las adecuadas a las presiones máximas que se van a alcanzar, así como la disposición de las medidas de seguridad suficientes para evitar no sobrepasar la presión de prueba, ni en ningún momento estar por debajo de la temperatura señalada en el manual de diseño, ni dañar los elementos internos del aparato.

Se comprobará antes de la prueba que las estructuras y fundaciones que sustenten el aparato o sistema a probar estén en condiciones de resistir la carga a que van a ser sometidas.

Se cuidará que el personal se mantenga alejado durante el desarrollo de las pruebas de los fondos, tapas y piezas roscadas, y se evitará la presencia de personas ajenas a la prueba.

Los manómetros se instalarán fuera de la proyección vertical y se preferirá situarlos lateralmente o en posición superior.

Durante el llenado con fluido de prueba se cuidará de ventear bien el circuito para evitar que queden cámaras de aire o vapor.

- c) El fluido de prueba será agua a la temperatura ambiente, siempre que dicha temperatura no sea inferior a 10 °C. El valor de la presión de prueba será el correspondiente a la siguiente expresión:

$$P_p \geq 1,25 \cdot P_d \cdot S_p/S_d$$

Donde “ $P_p$ ” representa la presión de prueba, “ $P_d$ ” la presión de diseño, “ $S_p$ ” la tensión máxima admisible del material a la temperatura de prueba y “ $S_d$ ” la tensión máxima admisible a la temperatura de diseño.

En el lugar de emplazamiento se realizará, antes de cualquier otra operación, una inspección visual tanto interior como exterior del aparato.

#### **4.4.7 Placas**

Todos los aparatos a presión comprendidos en el presente proyecto, con excepción de las tuberías, deberán ir provistos de placas de diseño e identificación, conforme a lo estipulado en el artículo 19 del Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía. En dichas placas se grabará:

- Placa de diseño: presión de diseño, y en su caso, la presión máxima de servicio, número de registro del aparato y fecha de la primera prueba y sucesivas.
- Placa de identificación: nombre o razón social del fabricante, contraseña y fecha de registro del tipo, número de fabricación y características principales.

Las placas de diseño e identificación se fijarán mediante remaches, soldadura o cualquier otro medio que asegure su inamovilidad, en un sitio visible del aparato, y en ningún caso podrán retirarse del mismo.

#### **4.4.8 Elementos de seguridad**

Todos los aparatos y sistemas comprendidos en el presente proyecto deben ir provistos de los elementos de seguridad que prescriban los códigos de diseño empleados y los adicionales especificados en el manual de diseño.

Todas las válvulas de seguridad deben ser de apertura total y sistema de resorte, debiéndose cumplir la condición de que la apertura total de la válvula deberá ser ayudada por la presión del fluido evacuado, de tal manera que la apertura asegure una sección de paso a través de la válvula igual al 80% de la sección neta de paso en el asiento después de la deducción de la sección

transversal de los obstáculos en el orificio, debido a las guías y a la forma del cuerpo de la válvula en la posición de apertura máxima.

No se permitirá el uso de válvulas de seguridad de peso ni de palanca de contrapeso.

La descarga de las válvulas de seguridad deberá realizarse de tal forma que impida eficazmente que el fluido evacuado pueda producir daños a personas o cosas.

Durante las inspecciones interiores periódicas de los aparatos o sistemas a presión la válvula o válvulas de seguridad que protejan dichos aparatos o sistemas se desmontarán ya ajustarán para, a continuación, probarlas y precintarlas.

#### **4.5 Pruebas para las tuberías**

Para todas las tuberías contempladas en este proyecto se realizarán las siguientes pruebas y comprobaciones en el lugar de emplazamiento:

- Examen visual, control de espesores e identificación de los materiales.
- Primera prueba de presión, en el caso de no haber sido probadas en el taller.

#### **4.6 Prueba de los sistemas antes de la puesta en marcha**

##### **4.6.1 Prueba hidrostática**

Se deberá comprobar hidrostáticamente todas las líneas y equipos después de terminar la construcción del circuito, con los equipos interconectados entre sí (comprobación del sistema). El sistema se llenará con agua y se comprobará al menos a 1,25 veces la presión de diseño.

Las válvulas de control y placas de orificio deberán quitarse de servicio, así como los instrumentos. Las válvulas de seguridad estarán aisladas. Las secciones cuyas presiones de prueba sean diferentes serán separadas mediante juntas ciegas temporales.

Durante la prueba, se comprobará que no existen fugas, especialmente por las bridas atornilladas y por los asientos de las válvulas.

#### **4.6.2 Lavado del equipo**

Esta operación tiene por objeto eliminar cuerpos extraños que, durante el montaje, hayan podido quedar en las líneas o en los equipos, tales como virutas de metal o de madera. Estos restos pueden provocar durante la operación atascos en las líneas, bloqueos en válvulas o destrozar partes móviles de las bombas.

El lavado se llevará a cabo mediante circulación de agua, a la que previamente se habrá añadido la cantidad adecuada de inhibidor de corrosión.

Las bombas habrán sido alineadas, comprobadas y rodadas de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Se instalarán en ellas filtros de aspiración, que deberán limpiarse tan a menudo como sea necesario. Mientras dure el rodaje de las máquinas se vigilarán estrechamente todos los aspectos relacionados con sobrecalentamientos, vibraciones, posibles fugas y consumo eléctrico de motores.

Durante el lavado en los puntos bajos, líneas desconectadas, etc., se debe purgar para eliminar materiales sólidos. Los cambiadores de calor serán incluidos en el circuito al final de la operación. Así como las conexiones a los instrumentos, teniendo sus purgas abiertas.

Cuando se observe que los filtros instalados en las bombas han dejado de ensuciarse y el agua que se purga aparece limpia, puede darse por concluida la operación de lavado. Se parará entonces la circulación y se drenará completamente de agua el sistema.

Por último, se instalarán las válvulas automáticas y las placas de orificio, verificándose su posición.

### **4.6.3 Comprobación de servicios auxiliares**

#### **4.6.3.1 Equipo eléctrico**

Se comprobará la tensión de los equipos. Los motores eléctricos deberán ser rodados de acuerdo con las instrucciones del fabricante, desconectados del equipo impulsor.

#### **4.6.3.2 Agua de refrigeración**

El sistema debe ser comprobado antes de la puesta en marcha, atendiendo a la disponibilidad, presión y libre circulación.

#### **4.6.3.3 Aire de instrumentos**

Los colectores deben ser soplados para la eliminación de la posible suciedad. Toda red debe ser comprobada bajo presión.

#### **4.6.3.4 Red contra incendios**

Se comprobará la llegada de agua a los hidrantes, así como el libre y rápido acceso a los mismos.

#### **4.6.3.5 Sistema de drenaje**

Se comprobará que todos los drenajes y arquetas desalojan adecuadamente.

#### **4.6.3.6 Seguridad**

Se comprobará que todas la válvulas de seguridad estén instaladas sin discos ciegos ni cerrojos.

## **5. MEDICIÓN Y ABONO DE LAS OBRAS**

### **5.1. Mediciones y valoraciones**

Las mediciones de las obras concluidas se harán por el tipo de unidad fijada en el “presupuesto”. La valoración deberá obtenerse igualmente, aplicando a las unidades de obra el precio que tuviesen asignado en el “presupuesto”.

La valoración de las partidas no expresadas se verificará aplicando a cada una de ellas la medida más apropiada, en la forma y condiciones que estime el director de obra, multiplicando el resultado final de la medición por el precio correspondiente.

### **5.2 Condiciones económicas**

Las condiciones especiales que regirán esta obra para la liquidación y abono de la misma serán establecidas por la entidad contratante.

### **5.3 Condiciones de índole legal**

Regirán las condiciones contenidas en el anuncio de subasta y contrata de ejecución, las cuales se ajustarán a las establecidas por las Leyes Generales del Estado.

## **6. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**

### **6.1 Ejecución en general**

El contratista tiene obligación de ejecutar esmeradamente las obras, cumplir estrictamente todas las condiciones estipuladas y cuantas órdenes le sean dadas por el director de obra, entendiéndose que deben entregarse completamente terminadas cuantas obras afecten a este compromiso.

Si a juicio del citado director, hubiese alguna parte de la obra mal ejecutada, tendrá el contratista obligación de volverla a ejecutar cuantas veces sean necesarias, hasta quedar a satisfacción de aquel, no siendo motivos estos aumentos de trabajo para pedir indemnización alguna.

### **6.2 Replanteo**

Antes de comenzar los trabajos se realizará el replanteo general del trazado de cables y tuberías por el contratista o su representante bajo las órdenes del director de obra, marcando las alineaciones con los puntos necesarios para que, con el auxilio de los planos, pueda el contratista ejecutar debidamente las obras.

Será obligación del contratista la custodia y reposición de las señales que se establezcan en el replanteo. Para la realización del replanteo el contratista deberá aportar todo el material y personal necesario para la ejecución de esta operación.

### **6.3 Orden de los trabajos**

El técnico director encargado de las obras fijará el orden en que deben llevarse a cabo estos trabajos, y la contrata está obligada a cumplir exactamente cuanto se disponga sobre el particular.

### **6.4 Marcha de las obras**

Una vez iniciadas las obras deberán continuarse sin interrupción y terminarse en el plazo estipulado. Los retrasos, cuando sean justificados, podrán ser aceptados por la dirección de la obra.



## **6.5 Obra civil**

Se realizará con arreglo a las especificaciones de los restantes documentos del proyecto y a las órdenes que expresamente deberá solicitar el contratista al director de la obra.

## **6.6 Instalaciones varias**

En todas las instalaciones, y como norma general, se seguirá exactamente todo lo indicado en la memoria y demás documentos del proyecto. En caso de duda, será competencia del director del proyecto decidir la solución a adoptar. Las instalaciones serán efectuadas conforme a los reglamentos vigentes que les afectan.

## **6.7 Responsabilidad de la contrata**

La contrata será la única responsable de la ejecución de las obras, no teniendo derecho a indemnizaciones de ninguna clase por errores que pudiera cometer, y que serán de su cuenta y riesgo.

Aún después de la recepción provisional, la contrata está obligada a rectificar todas las deficiencias que sean advertidas por la dirección de obra. La demolición o reparación precisa será exclusivamente por cuenta de la contrata.

Asimismo, la contrata se responsabilizará ante los tribunales de los accidentes que puedan ocurrir durante la ejecución de las obras. Igualmente, estará obligada al cumplimiento de todos los preceptos legales establecidos o que se establezcan por disposiciones oficiales.

## **6.8 Dirección de los trabajos**

El técnico encargado de las obras constituye la dirección técnica y, como tal, ejecutará todos los trabajos del desarrollo del proyecto, así como la dirección e inspección de los trabajos. Por lo tanto, la dirección técnica asumirá toda la responsabilidad en lo concerniente a planos e instrucciones técnicas.

## **6.9 Legalización**

Para la recepción de las obras la contrata está obligada a la legalización de las obras e instalaciones ante los organismos oficiales competentes. Los gastos que éstos ocasionen correrán por cuenta de la contrata.

## **7. SEGURIDAD E HIGIENE**

El presente apartado del pliego de condiciones tiene por objeto establecer, de forma muy general, las medidas que se deben seguir, desde el punto de vista de la seguridad y la higiene, una vez que la instalación se haya puesto en funcionamiento.

### **7.1 Protección y lucha contra incendios**

Deberán seguirse las pautas impuestas por la refinería en la que serán instalados los equipos objeto del presente proyecto. Como medidas muy generales para la protección contra incendios cabe mencionar las siguientes:

- Los equipos de lucha contra incendio, tales como extintores, vapor de ahogo y líneas de agua deberán estar instalados y dispuestos para su inmediato acceso.
- Los derrames de hidrocarburos serán lavados hacia el alcantarillado de agua aceitosa inmediatamente.
- Los trabajos de soldadura en la zona requieren la toma de medidas extremas de precaución. En algunos casos, se deberá parar la unidad, vaciar los recipientes y vaporizar el equipo correspondiente. De ningún modo podrá un hombre entrar en un recipiente sin antes haber sido este aislado con bridas ciegas, vaporizado, aireado, comprobando su contenido en compuestos aromáticos y expedida la autorización para entrada por seguridad.

**DOCUMENTO N° 4:**  
**PRESUPUESTO**

## **PRESUPUESTO**

### **1. ALCANCE DEL PRESUPUESTO**

Completado el alcance técnico de la ingeniería básica se presenta el siguiente presupuesto. Se pretende disponer del coste real de la instalación una vez construida e instalada.

## 2. MÉTODO DE CÁLCULO DEL PRESUPUESTO

Como se ha dicho anteriormente el presupuesto se divide en partidas, agrupadas por equipos y líneas de proceso, cuya suma da lugar al coste total de la instalación.

El coste al que asciende cada una de las partidas se determina a partir del coste del equipo o línea al que se hace referencia. Dicho coste se determina, a su vez, a partir de datos reales y de correlaciones experimentales.

El método utilizado para el cálculo del presupuesto es el "Método Chilton", particularizado para instalaciones típicas de refinerías de petróleo a partir de datos proporcionados por la experimentación. Dichos datos se basan en una recopilación de situaciones normales de suministros y montajes, tales que permiten deducir una serie de costos asociados al equipo expresándose éstos en forma de un porcentaje sobre el costo de dicho equipo.

Las partidas en las que se dividen los costes asociados a los equipos son:

- Tubería: Incluye todo el material de tuberías, válvulas y accesorios para el montaje de la unidad
- Obra civil: Incluye hormigón, acero, encofrados y mano de obra necesaria para cimentaciones y estructuras, tanto de hormigón como de acero, realizado por subcontrato de la obra, necesarias para el equipo. No incluye almacenes ni edificios complementarios.
- Instrumentos: Incluye material y montaje de todos los instrumentos de la planta, incluyendo la parte proporcional de panel central de control.
- Electricidad: Todo el material eléctrico para mandos de motores, celdas, cables, etc., con la mano de obra de su montaje. No incluye los motores ni los edificios, si los hubiese.
- Calorifugado: Material y mano de obra por contratistas.

- Pintura: Material y mano de obra por contratas.
- Montaje mecánico: Incluye el montaje de los equipos, fabricados en el taller, en su emplazamiento así como todo el material de tuberías y accesorios por contratas.

### **3. EQUIPOS PRINCIPALES**

Los equipos principales del proceso, en los que se basa el cálculo del importe correspondiente a cada una de las partidas que constituyen el presupuesto son los siguientes:

- ✓ Torre splitter
- ✓ Platos de la torre
- ✓ Intercambiadores de calor
- ✓ Botellón de reflujo
- ✓ Tanques de almacenamiento



## **4. JUSTIFICACIÓN DEL COSTE DEL SUMINISTRO DE LOS EQUIPOS**

En este punto se incluyen los cálculos necesarios para la determinación de las características de cada equipo que permite hallar los costes de suministro de cada equipo según las tablas que se disponen para tal fin.

En este caso se detallan los pasos efectuados para la determinación de los datos necesarios para hallar el coste de cada uno de los equipos presentes en el proyecto.

Como las tablas que sirven de base para la determinación de los costes de los suministros de los equipos no pertenecen al año actual (2009), sino que pertenecen al año 1979, es necesario actualizar los valores obtenidos. Para ello es necesario aplicar un factor de corrección ( $F_e$ ), que se calcula según la variación de los datos del I.P.C desde el año correspondiente hasta 2009.

De la misma forma, a la hora de calcular los honorarios tanto por la redacción del proyecto como por la dirección de la obra, hay que aplicar una serie de factores, primero al P.E.M para corregirlo y después a ese dato según la actividad profesional que se desarrolla

### **4.1 Variación del I.P.C**

Con los datos de variación del I.P.C desde el año 1979 hasta el año actual (2009), se obtiene un factor de corrección que será de aplicación en el presente presupuesto.

Este factor de corrección se ha obtenido del Instituto Nacional de Estadística (INE) y tiene un valor de 5,2. ( $F_{2009} = 5,2$ )

### **4.2 Coeficiente para el cálculo de honorarios**

Según la actividad que se trate, el porcentaje que se aplica al P.E.M corregido, varía. En el presente caso el valor que hay que aplicar está cuantificado en un 10% del P.E.M corregido.

A la hora de corregir el P.E.M se aplican una serie de factores para disminuirlo hasta un valor sobre el que se aplica el 10% anterior, y que son los siguientes:

- Hasta 6.000 euros, se aplica un coeficiente de 1
- Al exceso hasta 30.000 euros, se aplica un coeficiente de 0,6
- Al exceso hasta 150.000 euros, se aplica un coeficiente de 0,5
- Al exceso hasta 300.000 euros, se aplica un coeficiente de 0,4
- Al exceso hasta 600.000 euros, se aplica un coeficiente de 0,3
- Al exceso hasta 3.000.000 euros, se aplica un coeficiente de 0,2
- Al exceso hasta 6.000.000 euros, se aplica un coeficiente de 0,1

## 5. COSTE DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES

### 5.1 Coste splitter

El estudio económico del splitter se divide en dos partes: por un lado se calcula el coste de la torre y por otro el de los platos para dar un coste final de dicho splitter.

#### 5.1.1 Coste torre

El coste del suministro del equipo viene determinado por el peso total del mismo, es decir, el peso del cuerpo, de los fondos, de las tubuladuras y de las bocas de hombre.

Se trata de un recipiente de 56.100 mm de altura, de un diámetro interior de 4500 mm y de un espesor de 48,75 mm.

Para el coste del equipo se procederá del siguiente modo:

- 1) El peso del cuerpo se calculará mediante el uso de la figura 6 del anexo 10.

Material: Acero al carbono

Tensión máxima de trabajo admisible para la temperatura de diseño: 790 kg/cm<sup>2</sup>.

Presión de diseño: 14,25 kg/cm<sup>2</sup>

Espesor: 48,75 mm

Diámetro: 4500 mm

Altura: 56.100 mm

De la figura 6 del anexo 10 se obtiene:

- Peso virola = 280.500 kg
- Peso fondos = 800 kg

2) Peso tubuladuras a partir del código ASME sección VIII capítulo I

Se estima en el 7 % del peso de la torre = 19.691 kg.

3) Peso de las bocas de hombre: A partir de la tabla XLV del anexo 10.

3 Bocas de hombre de 24" = 720 kg

El peso total de la columna será la suma de la virola, más los dos fondos, más la tubuladuras, más las tres bocas de hombre.

El peso total final de la torre será de 301.711 kg de acero al carbono.

Con la tabla XLVI del anexo 10 se obtiene un coste base para el acero al carbono de 1,80 euros/kg.

Cálculo del coste del suministro:

$$\text{Coste}_{\text{suministro}} = \text{Coste base} * \text{Peso columna} = 543.080 \text{ euros}$$

Para determinar el coste de montaje se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Coste}_{\text{total 1979}} = \text{Coste}_{\text{suministro}} (1+k)$$

Donde k (constante para columnas) es de 0,90

$$\text{Coste}_{\text{total 1979}} = 488.772 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{\text{total 2009}} = \mathbf{2.541.615 \text{ euros}}$$

### 5.1.2 Coste de los platos

Número de platos: 111

Acero al carbono

Diámetro: 4,5 m

Con la ayuda de la figura VII del anexo 10 se obtiene:

Coste unitario por plato = 1800 euros

Coste de los 111 platos = 199.800 euros

$$Coste_{total\ 1979} = Coste_{unitario} \cdot F_{tp} \cdot F_{np} \cdot F_n \cdot F_m$$

Donde:

$$F_{tp} \text{ (influencia del tipo de plato- perforado)} = 0,70$$

$$F_{np} \text{ (Influencia del número de pasos- 1)} = 1$$

$$F_n \text{ (influencia de número de platos iguales- 111)} = 0,90$$

$$F_m \text{ (influencia tipo material- ac)} = 1$$

$$Coste_{total\ 1979} = Coste_{unitario} \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 125.874 \text{ euros}$$

$$Coste_{total\ 2007} = F_{2007} \cdot Coste_{total\ 1979} = 5,2 \cdot 125.874 = 654.545 \text{ euros}$$

$$Coste \text{ del splitter} = Coste_{platos} + Coste_{torre} = 3.196.160 \text{ euros}$$

## 5.2 Coste intercambiadores de calor

En el presente proyecto se cuenta con 4 intercambiadores de calor de carcasa y tubos que cuentan con fluidos refrigerantes/ calefactores: agua/ vapor de agua.

Para hallar el coste de suministro de los intercambiadores de calor es necesario contar con el área de cada uno. Partiendo de ese dato y con la figura VIII del anexo 10 se obtiene:

**TABLA I: COSTE BASE INTERCAMBIADORES**

INTERCAMBIADOR	COSTE BASE (euros/m <sup>2</sup> )	COSTE BASE (euros)
Alimentación	244	26.181
Calderín	240	39.960
Condensador	120	123.240
Almacenamiento propano	220	36.960

$$Coste_{total\ 1979} = Coste \text{ base} \cdot F_n \cdot F_p \cdot F_m$$

Donde:

$F_n$  (influencia longitud de tubos) = 1

$F_p$  (influencia presión 10-20 kg/cm<sup>2</sup>) = 1,03

$F_m$  (influencia material-ac) = 1

**$Coste_{total\ 1979} = Coste\ base \cdot F_n \cdot F_p \cdot F_m = 233.131\ euros$**

**$Coste_{total\ 2009} = Coste_{total\ 1979} \cdot 5,2 = 1.212.282\ euros$**

### 5.3 Coste del botellón de reflujo

El coste del suministro del equipo viene determinado por el peso total del mismo, es decir, el peso del cuerpo, de los fondos, de las tubuladuras y de las bocas de hombre.

Se trata de un recipiente de 10.240 mm de altura, de un diámetro interior de 3.250 mm y 30 mm de espesor.

Para el cálculo del coste del equipo se procede del siguiente modo:

- 1) El peso del cuerpo se calculará en este caso mediante el uso de la figura 6 del anexo 10:

Material: Acero al carbono

Presión de diseño: 14,25 kg/cm<sup>2</sup>

Espesor: 30 mm

Diámetro: 3.250 mm

Altura: 10.240 mm

De la gráfica se obtiene:

Peso virola = 25.600 kg

Peso fondos = 320 kg

- 2) Peso tubuladuras a partir del código ASME sección VIII capítulo I

Se considera el 7% del peso de la torre = 1.815 kg

3) Peso de las bocas de hombre: A partir de la tabla XLV del anexo 10.

2 bocas de hombre de 16" = 120 kg

El peso total de la columna será la suma de la virola, más los fondos, más tubuladuras, más las dos bocas de hombre

El peso final de la torre será de 27.855 kg de acero al carbono.

Atendiendo a la tabla XLVI del anexo 10 se obtiene un coste base para el acero al carbono de 2,30 euros/kg.

Cálculo del coste de suministro:

$$\text{Coste}_{\text{suministro}} = \text{Coste base} \cdot \text{Peso columna} = 64.067$$

Determinación del coste de montaje aplicando las siguientes expresiones para recipientes:

$$\text{Coste}_{\text{total 1979}} = \text{Coste}_{\text{suministro}} (1 + k)$$

Donde k para recipientes a nivel del suelo es de k= 0,20

$$\text{Coste}_{\text{total 1979}} = 76.880 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{\text{total 2009}} = \text{Coste}_{\text{total 1979}} \cdot 5,2 = 399.778 \text{ euros}$$

#### 5.4 Coste tanques de almacenamiento

El coste para los tres de tanques de almacenamiento se estima en 2.100.000 euros (los tres tanques). Este es un coste aproximado de tanques comerciales reales. El dato se obtiene de una página web que calcula costes de determinados equipos con ciertas características.

## 6. COSTE ASOCIADO A LOS EQUIPOS PRINCIPALES

En este capítulo se presentan cada una de las partidas asociadas a cada uno de los equipos considerados como principales de la unidad. Para ello se han aplicado una serie de factores al precio de suministro, obteniendo con ello cual es el precio de cada una de las partidas que componen el coste asociado del equipo.

Para el cálculo de estos costes asociados se emplea la tabla XLVII del anexo 10.

### 6.1 Coste asociado al splitter

Considerando que el coste del suministro es de 3.196.160 euros, se halla el coste asociado del equipo aplicando una serie de porcentajes, para cada una de las partidas que componen el coste, obteniendo los siguientes resultados:

**TABLA II: COSTE ASOCIADO AL SPLITTER**

CONCEPTO	FACTOR %	IMPORTE
Tuberías	59.5	1.901.715
Instrumentos	14.8	473.032
Electricidad	10.3	329.204
Obra civil	26.8	856.571
Calorifugado	15.1	482.620
Pinturas	6.6	210.947
<b>Coste asociado</b>		<b>4.254.089</b>

### 6.2 Coste asociado a los intercambiadores de calor

Considerando que el coste del suministro es de 1.212.282 euros, se obtendrán a continuación los costes asociados:



**TABLA III: COSTE ASOCIADO A LOS INTERCAMBIADORES**

<b>CONCEPTO</b>	<b>FACTOR %</b>	<b>IMPORTE</b>
Tuberías	44.7	541.890
Instrumentos	40.4	489.761
Electricidad	4.2	50.915
Obra civil	19.7	238.819
Calorifugado	64	775.860
Pinturas	2.6	31.519
<b>Coste asociado</b>		<b>2.128.764 euros</b>

### 6.3 Coste asociado al botellón de reflujo

Considerando que el coste de suministro es de 399.778 euros, se presenta a continuación el desglose del coste asociado:

**TABLA IV: COSTE ASOCIADO AL ACUMULADOR DE REFLUJO**

<b>CONCEPTO</b>	<b>FACTOR %</b>	<b>IMPORTE</b>
Tuberías	39.7	158.712
Instrumentos	7.8	31.183
Electricidad	10.5	41.977
Obra civil	18	71.960
Calorifugado	9.5	37.979
Pinturas	2.6	10.394
<b>Coste asociado</b>		<b>352.205 euros</b>

### 6.4 Coste asociado a los tanques de almacenamiento

Partiendo de un coste de suministro de 2.100.000

**TABLA V: COSTE ASOCIADO A LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

<b>CONCEPTO</b>	<b>FACTOR %</b>	<b>IMPORTE</b>
Tuberías	39.7	833.700
Instrumentos	7.8	163.800
Electricidad	10.5	220.500
Obra civil	18	378.000
Calorifugado	9.5	199.500
Pinturas	2.6	54.600
<b>Coste asociado</b>		<b>1.850.100 euros</b>

## 7. COSTE DE LOS EQUIPOS AUXILIARES

En este caso, los equipos auxiliares son las bombas. Las bombas que se han diseñado tienen un coste aproximado de 9.000 euros/bomba (acero inoxidable).

La instalación cuenta con tres bombas por duplicado.

Además se cuenta con el coste de la válvula de expansión que es de 1.500 euros.

### 7.1 Coste asociado a las bombas

El coste de suministro es de 54.000 euros para las seis bombas totales de la instalación.

**TABLA VI: COSTE ASOCIADO A LAS BOMBAS**

CONCEPTO	FACTOR %	IMPORTE
Tuberías	26.9	14.526
Instrumentos	3.8	2.052
Electricidad	54	29.160
Obra civil	11.4	6.156
Calorifugado	4.8	2.592
Montaje mecánico	47.4	25.596
Pinturas	4.1	2.214
<b>Coste asociado</b>		<b>82.296 euros</b>

## 8. CUADRO DE PRECIOS FINAL

En el presente capítulo se presenta una tabla donde se muestra el resumen de los costes del suministro y los costes asociados a cada uno de los equipos que componen este proyecto, así como los costes totales de los mismos.

**TABLA VII: COSTES TOTALES**

<b>EQUIPO</b>	<b>COSTE SUMINISTRO (euros)</b>	<b>COSTE ASOCIADO (euros)</b>	<b>COSTE TOTAL (euros)</b>
Splitter	3.196.160	4.254.089	7.450.249
Intercambiadores	1.212.282	2.128.764	3.341.046
Botellón de reflujo	399.778	352.205	751.983
Tanques almacenamiento	2.100.000	1.850.100	3.950.100
Bombas	54.000	82.296	136.296
Válvula expansión	1.500	750	2.250
<b>Total</b>	<b>6.963.720</b>	<b>8.668.204</b>	<b>15.631.924 euros</b>

Donde el resultado final refleja el precio de ejecución material (P.E.M) y se obtiene como resultado de la suma del coste de suministro total de todos los equipos, el coste de los materiales auxiliares de cada uno de ellos y el coste de montaje de los mismos.

### 8.1 Precio de ejecución por contrata

El precio de ejecución por contrata (P.E.C) tiene en cuenta el beneficio industrial de la contrata que realiza la obra, y su valor se determina incrementando en un 15% el precio de ejecución material. Esto es:

$$P.E.C = 1,15 \cdot P.E.M = 17.976.713 \text{ euros}$$

### 8.2 Impuesto sobre el valor añadido

El valor del impuesto sobre el valor añadido (IVA) se determina como el 16%

del precio de ejecución por contrata. De esta forma:

$$IVA = 0,16 \cdot P.E.C = 2.876.274 \text{ euros}$$

### 8.3 Honorarios profesionales

El valor al que ascienden los honorarios profesionales que corresponden al beneficio del autor del presente proyecto, en concepto de realización de cálculos, diseño de planos y redacción de los documentos del proyecto, se determina como un porcentaje del precio total denominado "precio de ejecución corregido".

El valor del precio material corregido se determina a partir del precio de ejecución material (P.E.M) por aplicación de una serie de coeficientes a distintas cantidades en las que éste se divide, estando dichas cantidades y sus correspondientes coeficientes reflejados en el apartado 4.2.

**TABLA VIII: PRECIOS CORREGIDOS**

CANTIDAD	PRECIO	COEFICIENTE	P.CORREGIDO
Hasta 6000	6000	1	6000
6000- 30000	24000	0.6	14400
30000- 150000	120000	0.5	60000
150000-300000	150000	0.4	60000
300000-600000	300000	0.3	90000
Resto	15.031.924	0.2	3.006.385
Total	15.631.924		
<b>P.E.M corregido</b>			<b>3.236.785 euros</b>

Los honorarios profesionales para este tipo de proyectos corresponden al 10% del precio de ejecución material.

$$Honorarios\ profesionales = 0,10 \cdot 3.236.785 = 323.679 \text{ euros}$$

#### 8.4 Presupuesto total

El valor al que asciende el coste total de la planta se obtiene como resultado de sumar las cantidades correspondientes al precio de ejecución por contrata, el impuesto sobre el valor añadido y los honorarios profesionales. Esto es:

$$\begin{aligned} \text{Coste total} &= P.E.C + I.V.A + \text{Honorarios profesionales} \\ &= 17.976.713 + 2.876.274 + 323.679 = 21.176.666 \text{ euros} \end{aligned}$$

**Coste total = 21.176.666 euros**

**El coste total de la instalación asciende a veintiún millones setecientos sesenta y seis mil seiscientos sesenta y seis euros .**

Puerto Real, Febrero de 2009

## 9. ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO

### COSTES ANUALES

Precio crudo actual: 278 euros/tonelada

El crudo pasa por distintas unidades antes de llegar a la unidad objeto de diseño del presente proyecto, revalorizándose un 25% en la destilación a vacío y 100 % en la unidad FCC. De este modo el coste de la materia prima que entra en el splitter será de 696,5 euros/ tonelada.

Coste anual materia prima =  $696,5 \text{ euros/tn} \cdot 132.740 \text{ tn/año} = 92.453.410$  euros/año.

Para el desarrollo diario de la unidad se contará con el siguiente personal:

- 6 operarios (que trabajarán a turnos de 8 horas)
- 3 panelistas (que trabajarán a turnos de 8 horas)
- 1 ingeniero de procesos
- 1 jefe de planta

El coste anual de personal se estima en 285.600 euros/año

En concepto de gastos generales (mantenimiento, abastecimiento eléctrico...) se destinan 1.000.000 euros anuales.

**COSTE TOTAL ANUAL = 93.739.010 euros**

**COSTE DIARIO (FONDO MANIOBRA) = 256.819 euros**



## **ACTIVO FIJO**

Son los bienes que han sido adquiridos para usarlos en la operación social y sin propósito de venderlos o ponerlos en circulación.

En el presente caso, el activo fijo corresponde al coste total de la unidad.

ACTIVO FIJO = 21.176.666 euros

El activo fijo (la unidad) tendrá una vida útil de 10 años, siendo su cuota de amortización anual de 2.117.666,6 euros/año. (Está dentro de los límites permitidos por el Estado para este tipo de activos)

## **VENTAS ANUALES**

La producción anual de la unidad es de 109.857,7 toneladas y el precio de mercado del propileno es de 900 euros/tonelada.

VENTAS ANUALES = 98.871.930 euros

El presente estudio económico financiero se realiza para los próximos cuatro años.

## **FLUJOS DE CAJA**

Los movimientos de entrada y salida y los correspondientes beneficios se presentan en la siguiente tabla:

<b>MOVIMIENTOS</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>
<b>Cobros (+)</b>	98.871.930	98.871.930	98.871.930	98.871.930
<b>Pagos (-)</b>	93.739.010	93.739.010	93.739.010	93.739.010
<b>Flujos de caja antes de impuestos (=)</b>	5.132.920	5.132.920	5.132.920	5.132.920
<b>Cuota de amortización fiscal (-)</b>	2.117.666,6	2.117.666,6	2.117.666,6	2.117.666,6
<b>Base imponible (=)</b>	3.015.253,4	3.015.253,4	3.015.253,4	3.015.253,4
<b>Impuesto (25%) (-)</b>	753.813,35	753.813,35	753.813,35	753.813,35
<b>Flujos de caja después de impuestos (=)</b>	4.379,106,65	4.379,106,65	4.379,106,65	4.379,106,65

Como se observa en la tabla, se obtiene un beneficio constante para todos los años. Suponiendo que, al finalizar el 4º año, la maquinaria no será vendida y que tanto los cobros como los pagos serán constantes para todo el periodo, se observa que el proyecto es rentable.

**FINANCIACIÓN DEL PROYECTO**

El desembolso inicial (aunque solamente sea para un día de producción):

ACTIVO FIJO + INCREMENTO FONDO MANIOBRA = 21.176.666 euros +  
256.819 euros = 21.433.485 euros.

El proyecto se financiará a través de:

- Emisión de acciones (1.433.485 euros). Se les ofrece a los accionistas unos dividendos del 10% acumulativo anual.
- Préstamo bancario (20.000.000 euros). Tendrá una cuota lineal durante los cuatro años con un interés del 10%.

A continuación se presentan los datos de financiación anual del proyecto:

FINANCIACIÓN		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
Acciones	Amort. Cap				-1.433.485
	Dividendos	-143.348,5	-157.683,4	-173.451,7	-190.796,9
Préstamo	Cuotas	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000
	Cargas Finan.	-1.500.000	-1.125.000	-750.000	-375.000
Salidas de caja		-	-	-	-
		6.643.348,5	6.282.683,4	5.923.451,7	6.999.281,9

Durante los primeros cuatro años se sufrirán pérdidas debido a que los gastos de financiación son mayores que las ganancias.

A partir del cuarto año, una vez sufragados los gastos, se empiezan a obtener beneficios.

