

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de una columna de rectificación  
para la concentración de ácido fluorhídrico

Autor: Javier VIDAL PEREA

Fecha: Abril 2008





## **RESUMEN DEL PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**TÍTULO: DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO.**

**AUTOR: JAVIER ÁNGEL VIDAL PEREA.**

En la actualidad, tanto “Cepsa” como “Petresa”, necesitan un suministro de ácido fluorhídrico de pureza del 98% para poder llevar a cabo el proceso de alquilación, donde dicha sustancia actúa como catalizador. Este hecho hace que sean dependientes de la empresa Derivados del Fluor S.A. localizada en Oncón (Castro-Urdiales, Cantabria).

El suministro, en principio no aporta mayor beneficio que el de propiciar el que se lleve a cabo la reacción, confiriendo a los productos que se obtienen de la misma, propiedades de las cuales antes carecían. Es el caso, por ejemplo, del alquilbeceno que con anterioridad poseía una cadena ramificada y ahora gracias al uso del ácido fluorhídrico hace posible que sea lineal, lo que favorece el que sea más biodegradable.

Con el diseño de esta columna se persiguen dos objetivos:

- 1º La concentración del ácido fluorhídrico desde el 60% hasta el 98%, para poder abastecer a “Cepsa” y “Petresa”.
- 2º Obtención del ácido fluorhídrico del 40 % con la cual crear una nueva vía comercial que haga que el periodo de amortización de dicho proyecto sea más corto, con lo que a su vez se obtendrán mayores beneficios.

El desarrollo del mismo se llevará a cabo en las instalaciones de “Petresa”, aunque la inversión sea hecha por ambas, suponiendo una mayor rentabilidad.

El diseño de la columna y de los equipos asociados, parte del caudal consumido para poder hacer un adimensionamiento adecuado acorde con un óptimo económico. Dicho caudal es de 160 toneladas anuales de ácido fluorhídrico al 98%, lo que supone un caudal de alimentación a la columna de 53 kg/h de ácido fluorhídrico al 60%.

Este último caudal se abastece desde del tanque de alimentación, para dirigirse a la columna de rectificación pasando por el precalentador, entrando como líquido subenfriado. De la columna se obtienen:

- Por cabeza: Una corriente concentrada de ácido fluorhídrico que se dirige hacia el condensador para transportarse seguidamente al recipiente acumulador, del cual una fracción se lleva al tanque de producto y la restante se recircula cumpliéndose una relación de reflujo interna de 0,33.

- Por cola: Una corriente de ácido fluorhídrico al 40% que se transporta hasta el rehervidor donde una fracción se recircula hacia la columna y la restante se conduce hacia el enfriador del cual pasará al tanque de subproducto.

En lo que se refiere a la columna opera en un intervalo de temperaturas que va de 84 a 112 °c. Entre sus características más notables se tienen que:

- Diámetros
  - Zona de rectificación: 1.950 mm
  - Zona de agotamiento: 2.950 mm
- Platos
  - Número: 24 platos más el calderín.
  - Tipo: Platos perforados, cuyos orificios tienen una distribución en forma de triángulo equilátero y un diámetro de 16,5 mm.
  - Distancia de separación: 600 mm.
- Altura: 16.815 mm.
- Eficacia global: 50%.

Los cambiadores de calor que se han seleccionado son del tipo de carcasa y tubo, así se observa que:

- Tubos
  - Diámetro externo:  $\frac{3}{4}$  in
  - Calibre: 16 BMG
  - Longitud: 20 ft
  - Disposición de paso: cuadrada

Los tipos de cambiadores de calor que se observan son:

- Precalentador: tipo AES, donde la corriente de ácido fluorhídrico pasa de 25 a 82 °c.
- Condensador: tipo BEU, donde la corriente de ácido fluorhídrico pasa de 84 a 21 °c.
- Rehervidor: tipo AJW, donde la corriente de ácido fluorhídrico pasa de 111,6 a 112 °c.
- Enfriador: tipo BEM, donde la corriente de ácido fluorhídrico pasa de 112 a 37 °c.

Las tuberías seleccionadas poseen las siguientes características:

Diámetros:  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $2 \frac{1}{2}$ , 3, 8 in  
Cédulas: 10, 40, regular y extrafuerte.

En cuanto a las bombas las principales características son:

Bomba de carga: centrífuga, modelo RN 32-160, rendimiento 55%, 2900 rpm, altura neta positiva 8,47 m.

Bomba de reflujo: centrífuga, modelo RN 32-200, rendimiento 45%, 2900 rpm, altura neta positiva 17,10 m.

Los tanques de almacenamiento poseen una capacidad de:

- Tanque de alimentación: 20 m<sup>3</sup>
- Tanque de producto: 30 m<sup>3</sup>
- Tanque de subproducto: 30 m<sup>3</sup>

Para el desarrollo de este proyecto se han usado tres tipos de materiales diferentes debido a que a medida que va disminuyendo la concentración del ácido fluorhídrico el grado de corrosión del mismo va aumentando. Esta causa hace que se disponga de:

- Hastelloy c: desde el tanque de almacenamiento hasta la columna, inclusive la misma columna.
- Acero al carbono: desde la salida a la cabeza hasta el tanque de producto, incluyendo la línea que sirve para el reflujo.
- Aleación Cu/Ni 70/30: desde la salida de cola hasta el tanque de subproducto incluyendo la línea que sirve para recircular hacia la columna.

Principales reglamentos y códigos de construcción seguidos:

- Código TEMA: "tubular Exchanger Manufactures Association".
- Código ASME: "Boiler and Pressure Vessel Code", Sección VIII, División I.
- Código ASME.: "Boiler and Pressure Vessel Code", Sección II.
- Reglamento de Instalaciones Petrolíferas (RD 2085/1994, de 20 de octubre).
- Modificaciones introducidas en el antiguo Real Decreto 2085/1994 por el reciente Real Decreto 1523/1999).
- Reglamento de Aparatos de Presión (RD 1244/1979).
- API Estándar 660 "Cambiadores de carcasa y tubos para servicios generales de refinería".

- Código ANSI B-31.3: "Tuberías en Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo".
- Norma UNE 92102:1998 "Materiales Aislantes Térmicos. Lana de vidrio. Definiciones, clasificación y características.
- ANSI B-16.5: "Pipe Flanges and Flanged Fitting".
- Normas ISA: "Centrifugal Pumps fro Petreleum, Heavy Duty Chemicals and Industry Services".
- API 6.10: "Centrifugal Pumps fro Petreleum, Heavy Duty Chemicals and Industry Services".

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**ÍNDICE**

---

**ÍNDICE**

**DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA.**

**1. MEMORIA DESCRIPTIVA**

<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>15</b>
1.1.- Problemática actual.....	15
1.2.- Descripción general de la petroquímica.....	15
1.3.- Descripción general de la unidad.....	18
1.4.- Objeto del proyecto.....	19
1.5.- Situación.....	20
1.6.- Justificación.....	20
1.7.- Peticionario.....	20
<b>Capítulo 2. Descripción del proyecto.....</b>	<b>22</b>
2.1.- Descripción del proceso.....	22
2.2.- Variables de operación.....	25
2.3.- Balances de materia.....	25
2.4.- Balance de energía.....	28
<b>Capítulo 3. Diseño de la columna de rectificación.....</b>	<b>30</b>
3.1.- Número de etapas ideales de equilibrio.....	30
3.2.- Diseño hidráulico de la columna.....	30
3.2.1.- Diseño de los platos perforados.....	31
3.2.1.1.- Diámetro de la torre.....	31
3.2.1.2.- Profundidad del líquido.....	32
3.2.1.3.- Cresta del líquido sobre el derramadero.....	32
3.2.1.4.- Caída de presión para el gas.....	32
3.2.1.5.- Caída de presión en seco.....	33
3.2.1.6.- Cabeza hidráulica.....	33
3.2.1.7.- Caída de presión del gas residual.....	33
3.2.1.8.- Pérdida de presión en la entrada del líquido.....	33
3.2.1.9.- Retroceso en el vertedero.....	34
3.2.1.10.- Lloriqueo.....	34
3.2.1.11.- Arrastre del líquido.....	34
3.2.2.- Eficacia de la columna.....	34
3.2.3.- Número de platos reales y altura.....	35
3.3.- Diseño mecánico de la columna.....	35
3.3.1.- Material de construcción.....	35
3.3.2.- Espesor requerido.....	35
3.3.3.- Fondo columna.....	36

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO

**ÍNDICE**

---

3.3.4.- Soportes.....	36
3.3.5.- Pescante.....	37
3.3.6.- Tubuladura, bocas hombre y de inspección.....	37
3.3.7.- Aislamiento.....	38
3.3.8.- Pruebas y análisis.....	38
3.4.- Equipos auxiliares.....	38
3.5.- Puesta en marcha de la unidad.....	39
3.5.1.- Operaciones previas a la puesta en marcha.....	39
3.5.1.1.- Inspección de recipientes.....	39
3.5.1.2.- Comprobación de tuberías e instrumentos.....	39
3.5.1.3.- Pruebas de presión y fugas.....	40
3.5.1.4.- Lavado de líneas y equipos.....	40
3.5.1.5.- Puesta en servicio de las bombas y motores...	40
3.5.1.6.- Limpieza y puesta en servicio de los sistemas auxiliares.....	41
3.5.1.7.- Eliminación de aire.....	41
3.5.2.- Puesta en marcha de la columna.....	42
3.6.- Operación normal de la unidad.....	42
3.7.-Parada normal de la unidad.....	43
3.8.- Obra civil y estructuras.....	43
3.9.- Instalaciones eléctricas.....	44
3.10.- Condiciones generales de seguridad y personal.....	44
3.10.1.- Protección pasiva.....	44
3.11.- Códigos de construcción y disposiciones legales de aplicación .....	44
<b>Capítulo 4. Cambiadores de calor.....</b>	<b>47</b>
4.1.- Introducción.....	47
4.2.- Descripción de los equipos.....	47
4.2.1.- Cambiadores de calor de carcasa y tubos tipo TEMA.....	47
4.3.- Consideraciones generales acerca de los cambiadores de calor de carcasa y tubos utilizados.....	48
4.3.1.- Trayectoria del fluido.....	48
4.3.2.- Carcasas.....	48
4.3.3.- Tubos.....	49
4.3.4.- Deflectores.....	49
4.3.5.- Material de construcción.....	50
4.4.- Descripción de los cambiadores de la planta.....	50
4.4.1.- Cambiadores de carcasa y tubos.....	50
4.5.- Especificaciones de los cambiadores de calor.....	52
4.5.1.- Cambiadores de carcasa y tubos.....	52
4.6.- Aceite térmico.....	53
4.7.- Códigos de construcción y disposiciones legales de aplicación..	54

---

<b>Capítulo 5. Transporte e impulsión de fluidos: tuberías y bombas</b>	<b>54</b>
5.1.- Transporte de fluidos: tuberías.....	54
5.1.1.- Material.....	54
5.1.2.- Diámetro.....	54
5.1.3.- Espesor.....	55
5.1.4.- Aislamiento.....	55
5.1.5.- Distribución .....	56
5.2.- Equipos para la impulsión de fluidos.....	56
5.2.1.- Emplazamiento de las bombas.....	56
5.2.2.- Selección de las bombas.....	56
5.3.-Códigos de construcción y disposiciones legales de aplicación...57	
<b>Capítulo 6. Depósitos de almacenamiento.....58</b>	
6.1.- Tanques de almacenamiento.....	58
6.1.1.- Introducción.....	58
6.1.2.- Clasificación de productos.....	58
6.1.3.- Tipos de almacenamiento.....	58
6.1.4.- Capacidad del almacenamiento de los tanques.....	59
6.1.5.- Distribución de los tanques.....	59
6.1.6.- Características de construcción de los cubetos.....	60
6.1.7.- Materiales.....	60
6.1.8.- Pruebas.....	60
6.2.- Recipiente acumulador de reflujo.....	60
6.2.1.- Cálculos de las dimensiones del recipiente.....	61
6.2.2.- Diseño mecánico del recipiente acumulador.....	61
6.2.2.1.- Material.....	61
6.2.2.2.- Espesor requerido.....	61
6.2.2.3.- Fondo de la columna.....	62
6.2.2.4.- Soportes.....	62
6.2.2.5.-Tubuladuras, bocas de hombre y de inspección.....	62
6.2.2.6.- Aislamiento.....	62
6.2.2.7.- Pruebas y análisis.....	63
6.3.- Códigos de construcción y disposiciones legales de aplicación..63	
<b>Capítulo 7. Operaciones de mantenimiento.....64</b>	
7.1.- Introducción.....	64
7.2.- Tipos de mantenimiento.....	64
7.2.1.- Mantenimiento correctivo.....	65
7.2.2.- Mantenimiento preventivo.....	65
7.2.3.- Mantenimiento predictivo.....	66
7.3.- Cometidos del servicio de mantenimiento.....	67

---

<b>Capítulo 8. Impacto ambiental.....</b>	<b>69</b>
8.1.- Introducción.....	69
8.2.- Inventario y valoración ambiental.....	69
8.2.1.- Valoración ambiental de la situación actual y de su evolución.....	69
8.3.- Metodología de evaluación de impactos.....	87
8.3.1.- Identificación y valoración de las interacciones.....	88
8.3.2.- Repercusiones ambientales.....	88
8.3.3.- Caracterización cualitativa.....	89
8.4.- Propuesta de medidas correctoras.....	92
8.4.1.- Durante la fase de construcción.....	92
8.4.1.1.- Acotación de la zona afectada por las obras.....	92
8.4.1.2.- Minimización de las emisiones de polvo y partículas.....	93
8.4.1.3.- Mantenimiento de la maquinaria.....	93
8.4.1.4.- Mitigación del impacto acústico. Niveles de emisión.....	93
8.4.2.- Durante su funcionamiento.....	94
8.4.2.1.- Ruido.....	94
8.4.2.2.- Medio socioeconómico.....	94
8.4.2.3.- Paisaje.....	94
8.5.- Plan de seguimiento y vigilancia.....	95
8.5.1.- Programa de vigilancia durante la fase de construcción...95	
8.5.2.- Programa de vigilancia durante la fase de explotación....95	
<b>Capítulo 9. Control de las instalaciones.....</b>	<b>96</b>
9.1.- Control de las instalaciones.....	96
9.2.- Instalaciones, materiales y equipos eléctricos.....	97
9.3.- Distribución en planta.....	97
<b>2. ANEXOS A LA MEMORIA: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....</b>	<b>98</b>
<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>98</b>
1.1.- Fundamentos del proceso.....	99
1.2.- Propiedades físico-químicas.....	99
1.3.- Alimentación a la planta.....	109
<b>Capítulo 2. Descripción del proyecto.....</b>	<b>112</b>
2.1.- Introducción.....	112

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO

**ÍNDICE**

---

2.2.- Balance de materia.....	113
2.3.- Balance de energía.....	115
2.3.1.- Introducción.....	115
2.3.2.- Cálculo de $\Delta\overline{H}_D'$ .....	118
2.3.3.- Cálculo de $\Delta\overline{H}_W'$ .....	119
<b>Capítulo 3. Diseño de la columna de rectificación.....</b>	<b>120</b>
3.1.- Número de etapas ideales de equilibrio.....	120
3.1.1.- Método gráfico de Ponchon-Savarit.....	120
3.1.1.1.- Introducción.....	120
3.1.1.2.- Cálculo y operaciones.....	122
3.2.- Diseño hidráulico de la columna.....	130
3.2.1.- Vapor en el plato.....	131
3.2.2.- Líquido en el plato.....	133
3.2.3.- Perforaciones y área activa.....	135
3.2.4.- Velocidad de inundación y diámetro de la torre.....	136
3.2.5.- Pérdidas de carga.....	141
3.2.5.1.- Altura de vertedero.....	142
3.2.5.2.- Caída de presión para líquido.....	142
3.2.5.3.- Caída de presión para vapor.....	144
3.2.5.4.- Verificación sobre inundación.....	147
3.2.5.5.- Profundidad del líquido.....	148
3.2.5.6.- Retroceso en el vertedero.....	148
3.2.5.7.- Arrastre.....	148
3.2.5.8.- Lloriqueo.....	149
3.2.6.- Eficacia del plato.....	150
3.2.7.- Número de platos.....	151
3.3.- Diseño mecánico de la columna.....	151
3.3.1.- Cálculo del espesor mínimo de la envolvente.....	152
3.3.2.- Cálculo del fondo toriesférico tipo "Korbbogen".....	153
3.3.3.- Espesor aislante.....	155
<b>Capítulo 4. Cambiadores de calor.....</b>	<b>156</b>
4.1.- Diseño de los cambiadores de calor.....	156
4.1.1.- Cambiadores de calor de carcasa y tubos.....	156
4.2.- Diseño de los cambiadores de calor de carcasa y tubos de la planta.....	160
4.2.1.- Precalentador de carga, E-1.....	160
4.2.2.- Rehervidor de la columna, E-3.....	163
4.2.3.- Condensador de la columna, E-2.....	166
4.2.4.- Enfriador de salida de fondo, E-4.....	169

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO

**ÍNDICE**

---

<b>Capítulo 5. Transporte e impulsión de fluidos: tuberías y bombas</b>	<b>173</b>
5.1.- Transporte de fluidos: tuberías.....	173
5.1.1.- Determinación del diámetro de tuberías.....	173
5.1.2.- Determinación del espesor.....	175
5.1.3.- Aislamiento.....	175
5.2.- Equipos para la impulsión de fluidos: bombas.....	178
5.2.1.- Selección de bombas.....	178
5.2.2.- Altura útil o efectiva de una bomba.....	178
<b>Capítulo 6. Depósitos de almacenamiento.....</b>	<b>186</b>
6.1.- Tanques de almacenamiento.....	186
6.1.1.- Clasificación de productos.....	186
6.1.2.- Tipos de almacenamiento.....	187
6.1.3.- Capacidad de los tanques.....	188
6.1.4.- Diseño mecánico.....	190
6.1.5.- Cubeto de retención.....	193
6.1.6.- Disposición y separación entre tanques.....	194
6.2.- Recipiente acumulador.....	195
6.2.1.- Cálculo de las dimensiones del recipiente.....	195
6.2.2.- Diseño mecánico del recipiente.....	196
6.2.2.1.- Cálculo del espesor mínimo de la envolvente... 196	
6.2.2.2.- Cálculo del espesor de fondo toriésferico tipo	
“Koper”.....	197
6.2.2.3.- Espesor aislante.....	198
<b>ANEXOS.....</b>	<b>200</b>
ANEXO-1: Tablas y figuras para el diseño de la columna de	
rectificación.....	201
ANEXO-2: Tablas y figuras para los cambiadores de calor.....	208
ANEXO-3: Tablas y figuras para el transporte e impulsión de fluidos:	
tuberías y bombas.....	214
ANEXO-4: Tablas y figuras de los depósitos de almacenamiento.....	224
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>233</b>
Bibliografía.....	234
Páginas de consulta web.....	236
Consultas a especialistas.....	240
<b>DOCUMENTO Nº2: PLIEGO DE CONDICIONES</b>	
<b>1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.....</b>	<b>243</b>

<b>Capítulo 1. Condiciones generales de índole facultativa.....</b>	<b>244</b>
1.1.- De la Dirección Facultativa.....	244
1.1.1.- Dirección Facultativa.....	244
1.1.2.- Facultad general de la dirección facultativa.....	244
1.2.- Obligaciones y derechos generales del contratista.....	244
1.2.1.- Representación del contratista.....	244
1.2.2.- Presencia del contratista en la obra.....	245
1.2.3.- Oficina en la obra.....	245
1.2.4.- Trabajos no estipulados expresamente en el pliego de condiciones.....	246
1.2.5.- Insuficiente especificación en la documentación del proyecto.....	246
1.2.6.- Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.....	246
1.2.7.- Información del contratista a subcontratas, instaladores y oficios.....	246
1.2.8.- Copias de documentos.....	247
1.2.9.- Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa.....	247
1.2.10.- Recusación por el contratista del personal nombrado por la Dirección facultativa.....	247
1.2.11.- Recusación por la dirección facultativa del representante del contratista.....	247
1.2.12.- Del personal del contratista.....	248
1.2.13.- Libro de órdenes.....	248
1.3.- De las obras y de su ejecución.....	249
1.3.1.- Calendario de trabajo.....	249
1.3.2.- Reglamento general.....	249
1.3.3.- Comienzo de los trabajos.....	249
1.3.4.- Plazo de ejecución .....	250
1.3.5.- Orden de los trabajos.....	250
1.3.6.- Ampliación del proyecto por causas imprevistas de fuerza mayor.....	250
1.3.7.- Prorrogas por causas de fuerza mayor.....	250
1.3.8.- Responsabilidad de la Dirección facultativa.....	251
1.3.9.- Condiciones generales de la ejecución de los trabajos.....	251
1.3.10.- Obras ocultas.....	251
1.3.11.- Trabajos defectuosos.....	251
1.3.12.- Vicios ocultos.....	252
1.3.13.- De los materiales y aparatos y su procedencia.....	252
1.3.14.- Empleo de los materiales y aparatos.....	252
1.3.15.- Materiales no utilizables.....	253
1.3.16.- Materiales y aparatos defectuosos.....	253
1.3.17.- De los medios auxiliares.....	254

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO

**ÍNDICE**

---

1.4.- De la recepción de las obras.....	254
1.4.1.- Recepciones provisionales.....	254
1.4.2.- Conservación de las obras recibidas provisionalmente..	255
1.4.3.- Plazo de garantía.....	255
1.4.4.- Recepción definitiva.....	255
<b>Capítulo 2. Condiciones generales de índole económica.....</b>	<b>256</b>
2.1.- Base fundamental.....	256
2.1.1.- Base fundamental.....	256
2.2.- Fianzas.....	256
2.2.1.- Constitución de la fianza.....	256
2.2.2.- Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza.....	256
2.2.3.- De su devolución en general.....	256
2.2.4.- De su devolución en el caso de efectuarse recepciones parciales.....	257
2.3.- Precios.....	257
2.3.1.- Precios unitarios.....	257
2.3.2.- Alcance de los precios unitarios.....	257
2.3.3.- Precios contradictorios.....	257
2.3.4.- Precios no señalados.....	258
2.3.5.- Revisión de precios.....	258
2.3.6.- Formas tradicionales de medir o aplicar los precios.....	259
2.4.- Valoración u abono de los trabajos.....	259
2.4.1.- Forma de abono de las obras.....	259
2.4.2.- Abono de las unidades de obras ejecutadas.....	259
2.4.3.- Relaciones valoradas y certificaciones.....	259
2.4.4.- Mejoras de las obras libremente ejecutadas.....	261
2.4.5.- Abonos por partidas enteras.....	261
2.4.6.- Abonos por partidas alzadas.....	261
2.4.7.- Abonos de agotamiento y otros trabajos especiales no contratados.....	262
2.4.8.- Liquidaciones parciales.....	262
2.4.9.- Liquidación general.....	262
2.4.10.- Pagos.....	262
2.4.11.- Suspensión o retraso en el ritmo de los trabajos.....	263
2.4.12.- Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.....	263
2.4.13.- Valoración en el caso de rescisión.....	263
2.4.14.- Acopio de materiales.....	265
2.5.- Indemnización.....	265
2.5.1.- Importe de la indemnización por retraso.....	265
2.5.2.- Demora de los pagos.....	266
2.5.3.- Indemnización de daños causados por fuerza mayor.....	267

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO

**ÍNDICE**

---

2.6.- Otros pagos a cuenta del contratista.....	267
2.6.1.- Arbitrios.....	267
2.6.2.- Copia de documentos.....	267
2.6.3.- Vigilante de las obras.....	267
2.6.4.- Seguro de las obras.....	267
<b>Capítulo 3. Condiciones generales de índole legal.....</b>	<b>269</b>
3.1.- Contratistas.....	269
3.2.- El contrato y su adjudicación.....	269
3.3.- Formalización del contrato.....	269
3.4.- Arbitraje obligatorio.....	270
3.5.- Jurisdicción competente.....	270
3.6.- Responsabilidad del contratista.....	270
3.7.- Reconocimientos d obras con vicios ocultos.....	270
3.8.- Política de obra.....	270
3.9.- Accidentes de trabajo.....	271
3.10.- Daños a terceros.....	271
3.11.- Pago de arbitrarios.....	271
3.12.- Obligaciones laborales.....	272
3.13.- Anuncios y carteles.....	272
3.14.- Copias de documentos.....	272
3.15.- Hallazgos.....	272
3.16.- Causas de rescisión del contrato.....	273
<b>Capítulo 4. Condiciones generales de índole técnica.....</b>	<b>275</b>
4.1.- Generalidades.....	275
4.1.1.- Forma general de ejecutar los trabajos.....	275
4.1.2.- Replanteo.....	275
4.1.3.- Interpretación del pliego.....	275
4.1.4.- Condiciones que deben satisfacer los materiales.....	276
4.1.5.- Prescripciones técnicas.....	276
4.1.6.- Materiales no consignados en los pliegos.....	276
4.1.7.- Responsabilidades.....	276
4.1.8.- Procedencia de materiales y aparatos.....	277
4.1.9.- Control.....	277
4.1.10.- Materiales no utilizables.....	277
4.1.11.- Medios auxiliares.....	277
4.1.12.- Documentación técnica de referencia.....	277
4.2.- Características de las unidades de obra a realizar.....	278
4.2.1.- Encofrado.....	278
4.2.2.- Hormigones.....	280
4.2.3.- Estructuras metálicas.....	280
4.2.4.- Soleras de hormigón.....	281
4.2.5.- Recomendaciones finales del contratista.....	281

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**ÍNDICE**

---

**PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES**

<b>Capítulo 1. Reglamentos y normas de aplicación.....</b>	<b>283</b>
1.1- Disposiciones legales de aplicación.....	283
1.2.- Códigos de construcción de los equipos.....	285
1.3.- Especificaciones y procedimientos.....	285

**DOCUMENTO Nº3. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.**

<b>ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS.....</b>	<b>288</b>
---	------------

**Capítulo 1. Objeto del estudio de seguridad y salud en las obras.....**

1.1.- Objeto del estudio de seguridad y salud en las obras.....	288
---	-----

**Capítulo 2. Características de las obras.....**

2.1.- Descripción de las obras.....	288
2.1.1.- Descripción de la parcela.....	288
2.1.2.- Actuaciones previas.....	288
2.2.- Plazo de ejecución.....	290
2.3.- Personal previsto.....	290
2.4.- Interferencias y servicios afectados.....	291
2.5.- Unidades de las obras.....	291

**Capítulo 3. Análisis de riesgos laborales y medidas preventivas.....**

3.1.- Introducción.....	292
3.2.- Planificación de la prevención en el proceso constructivo.....	294
3.3.- Medidas contra incendios.....	297
3.3.1.- Protección contra incendios.....	297
3.4.- Riesgos y medidas preventivas de las fases y unidades de obra.....	298
3.4.1.- Obra civil.....	298
3.4.1.1.- Trabajos de demolición, excavación, relleno, compactación y pavimentación.....	299
3.4.1.2.- Trabajos de encofrado, ferrallado y hormigonado (cimentaciones y estructuras de hormigón)....	302
3.4.1.2.1.- Encofrado y desencofrado.....	302
3.4.1.2.2.- Trabajos de ferrallado.....	304
3.4.1.2.3.- Hormigonado.....	306
3.4.2.- Instalación y montaje mecánico de líneas y equipos.....	309

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO

**ÍNDICE**

---

3.4.3.- Trabajos a realizar en el interior de los equipos.....	310
3.4.4.- Montaje eléctrico.....	321
3.4.5.- Trabajos de pintura, aislamiento e ignifugado.....	325
3.4.6.- Pruebas.....	329
<b>Capítulo 4. Disposiciones legales de aplicación.....</b>	<b>333</b>
4.1.- Disposiciones legales de aplicación.....	333
<b>Capítulo 5. Normas generales de actuación preventiva.....</b>	<b>335</b>
5.1.- Normas generales de actuación preventiva.....	335
<b>Capítulo 6. Normas para la circulación.....</b>	<b>338</b>
6.1.- Circulación de vehículos por el interior de las instalaciones.....	339
<b>ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OPERACIONES.....</b>	<b>340</b>
<b>Capítulo 1. Seguridad y diseño.....</b>	<b>341</b>
1.1.- Seguridad en el diseño del proceso.....	341
1.1.1.- Sistemas de alivio de sobrepresión.....	341
1.1.2.- Evacuación de fluidos.....	341
1.2.- Protección contra incendios.....	342
1.2.1.- Medidas generales de defensa contra incendios.....	342
1.2.1.1.- Utilización de extintores.....	344
1.2.1.2.- Utilización de equipos móviles.....	344
1.2.2.- Protección e instalaciones para defensa contra incendios.....	344
1.2.2.1.- Protección personal.....	344
1.2.2.2.- Protección de las unidades.....	344
1.2.2.3.- Protección tanques.....	345
1.2.2.4.- Mando de instalaciones fijas.....	345
1.2.3.- Sistemas de alarmas.....	345
1.3.- Protección en caso de derrames, sistemas de mitigación y minimización de riesgos.....	346
1.3.1.- Protección personal.....	346
1.3.1.1.- Nivel alfa.....	346
1.3.1.2.- Nivel beta.....	346
1.3.1.3.- Nivel ganma.....	347
1.3.1.4.- Nivel delta.....	347
1.3.2.- Protección de las instalaciones y sistemas de mitigación.....	348
1.3.2.1.- Introducción.....	348
1.3.2.2.- Sistema monitorizado y detección.....	348

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO

**ÍNDICE**

---

1.3.2.3.- Sistemas de liberación-mitigación.....	349
1.3.2.4.-Válvulas de aislamiento para casos de emergencia.....	349
1.3.2.5.- Sistemas de desviación de las corrientes de ácido.....	350
1.4.- Relación de sustancias clasificadas y peligrosas.....	350
1.4.1.- Sustancias peligrosas.....	350
1.4.2.- Otras sustancias presentes.....	365

**DOCUMENTO Nº4. PRESUPUESTO**

<b>Capítulo 1. Ingeniería y supervisión.....</b>	<b>373</b>
<b>Capítulo 2. Equipos y materiales eléctricos y mecánicos.....</b>	<b>374</b>
<b>Capítulo 3. Obra civil e instalaciones.....</b>	<b>378</b>

**DOCUMENTO Nº5. PLANOS**

Plano nº1: Situación.	
Plano nº2: Emplazamiento.	
Plano nº3: Diagrama de flujo.	
Plano nº4: Diagrama de flujo de ingeniería.	
Plano nº5: Columna de rectificación.	
Plano nº6: Detalle del plato de rectificación.	
Plano nº7: Detalle del plato de agotamiento.	
Plano nº8: Perforaciones en el plato (distribución).	
Plano nº9: Fondo superior columna toriésferico tipo “Korbbogen”.	
Plano nº10: Fondo inferior columna toriésferico tipo “Korbbogen”.	
Plano nº11: Detalles del faldón: acceso de hombre, unión del faldón.	
Plano nº12: Enrejillado para acceso faldón.	
Plano nº13: Distribución de tubos en cambiadores de carcasa y tubos.	
Plano nº14: Botellón de reflujo.	
Plano nº15: Fondo botellón toriesférico tipo “Klopper”.	
Plano nº16: Tanque de alimentación.	
Plano nº17: Tanques de producto.	
Plano nº18: Tanques de subproducto.	
Plano nº19: Distribución en planta.	
Plano nº20: Distribución de tanques en el cubeto.	

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**DOCUMENTO N° 1**

**MEMORIA**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**MEMORIA DESCRIPTIVA**

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 PROBLEMÁTICA ACTUAL**

Actualmente “Cepsa” así como “Petresa” necesitan un suministro de ácido fluorhídrico del 98% para poder llevar a cabo el proceso de alquilación, donde dicha sustancia actúa como catalizador. Este hecho hace que sean dependientes de la empresa Derivados del Fluor S.A. localizada en Oncón (Castro-Urdiales, Cantabria).

El suministro de este ácido no se aporta mayor beneficio que la obtención de los productos derivados de la alquilación, lo cual plantea la base del presente proyecto final de carrera. En el mismo se desarrolla el diseño de una columna de destilación para aportar un mayor beneficio mediante la apertura de un nuevo mercado encargado de suministrar ácido fluorhídrico al 40%, cumpliendo a su vez el objetivo de autoabastecer a “Cepsa” y “Petresa” de dicho ácido con la pureza requerida.

#### **1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE PETRESA**

PETRESA pone en marcha, en 1969 en San Roque, la primera planta de lineal alquilbenceno (LAB) con tecnología FH (ácido fluorhídrico). Actualmente es la mayor planta mundial de producción de Alquilbenceno Lineal (LAB), materia prima para la fabricación de LAS (lineal sulfonato alquilbenceno), el tensioactivo biodegradable más usado en el mundo.

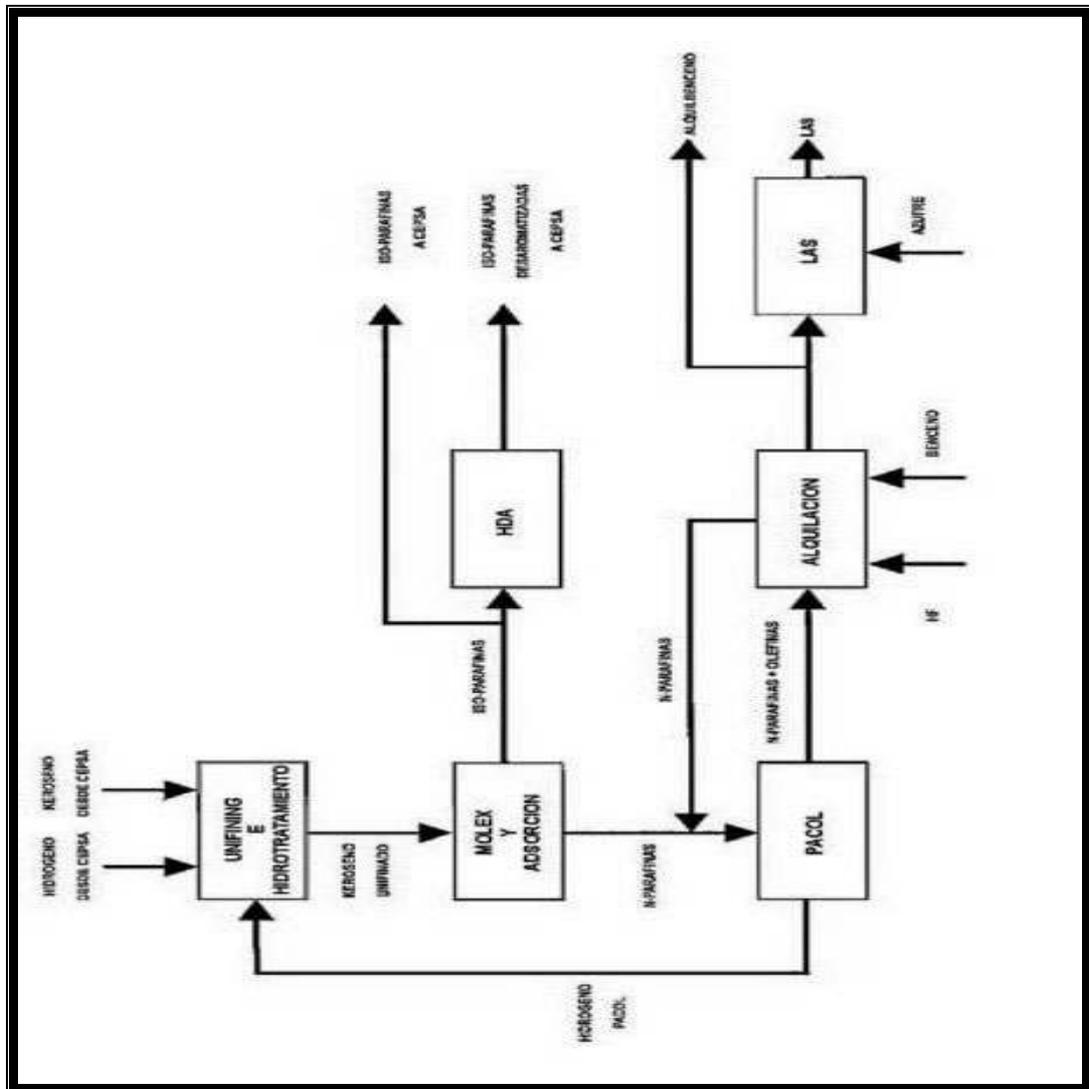
La planta de San Roque con capacidad para 230.000 Tm/año de n-parafinas, 200.000 Tm/año de LAB, 60.000 Tm/año de Acido Sulfónico, 10.000 Tm/año de Alquiltos pesados y 30.000 Tm/año de Disolventes. Con una capacidad de producción de 200.00 Tm/año de LAB en España y otras 120.000 Tm/año en Canadá, “Petresa” ostenta el 45% de la capacidad europea, el 33% respecto del área Nafta o el 15% de la capacidad mundial de producción de LAB.

En la planta de San Roque las materias primas se reciben por línea directa desde la Refinería “Cepsa” con la que está totalmente integrada. Son estas: Queroseno, Hidrógeno, Benceno, Azufre y Naftas. A su vez “Petresa” devuelve a la Refinería el queroseno hidrogenado sin las n- parafinas, que es un excelente combustible para

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

reactores de aviación. Asimismo “Petresa” suministra a la fábrica de Canadá las n- parafinas como principal materia prima.



**Figura 1.1: Diagrama de proceso de Petresa**

En la figura 1.1, anteriormente expuesta, se muestra el diagrama que comprende todas las unidades presentes en la instalación donde se pretende llevar a cabo la realización del presente proyecto.

A continuación se describirá los pasos anteriores a la alquilación

En un primer lugar se produce la eliminación de azufre mediante la unidad de “Unifinig”. En ella, el queroseno y el hidrógeno provenientes de Cepsa se alimentan a una temperatura y presión constantes. Dicha alimentación se hace pasar por un horno previamente al reactor, de forma que el producto se aprovecha para recuperar el calor mediante

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

un tren de intercambiadores. Al estar a alta presión se separa el hidrógeno y se devuelve a la corriente de entrada. El hidrógeno fresco se introduce antes del separador con el objeto de mantener la cantidad de éste constante, debido a que cierta fracción se pierde al reaccionar con el azufre para dar ácido sulfúrico. Con el uso del “Stripper” se separan las fracciones ligeras de las pesadas, de forma que parte de lo que sale del mismo es el queroseno unificado o sin azufre que alimenta a la siguiente unidad.

En la segunda etapa del proceso se introduce el queroseno libre de azufre en la unidad de “Molex” que está compuesta por un par de cámaras, aunque en realidad equivale a una al estar conectada la cola de la primera torre a la segunda. En dichas cámaras se realiza la separación de parafinas e isoparafinas mediante el uso de tamices moleculares y del pentano. Así, la misión de los tamices moleculares es la de no dejar pasar la parafina la cual se ve desplazada por el uso del pentano. En las cámaras se añaden desorbentes y para que no contaminen las corrientes posteriores se lavan. La forma de actuar por tanto se puede resumir en que con la válvula rotatoria se van introduciendo las parafinas e isoparafinas en los diferentes lechos o tamices (hay 6 lechos a 6 así da tiempo a extraer con pentano y tratar con el desorbente). Se tendrá entonces que separar el pentano e isoocetano de la parafina mediante destilación, para recuperar el desorbente que ha de ser usado de nuevo.

Las parafinas de C-10 a C-16 se obtienen por cola y se tratan para obtener los componentes puros (riqueza mayor del 95%). Las fracciones más ligeras C-8 y C-9 se obtienen por cabeza. Posteriormente se separan las fracciones C-10 a C-13 mediante el uso de dos columnas mientras que el C-14 se obtiene en otra columna diferente.

La tercera unidad, antes de llegar a la alquilación, es la unidad de “Pacol” donde se convierten las parafinas en olefinas, mediante un proceso catalítico diferente al que se lleva a cabo en la unidad de “Unifining” debido a que se lleva a cabo a una presión más baja. Antes de entrar en el reactor, la alimentación es precalentada. El catalizador es platino y el rendimiento del reactor es del 88% por lo que no se convierte un 12% y hay que recircular. Interesa que de ese 88% se obtenga olefina del tipo alfa. El hidrógeno se recupera de la corriente de salida de los reactores mediante un separador a baja presión. En el separador, de su cola se dirige al reactor que posee como catalizador el níquel. Éste a su vez comunica con un extractor de donde se obtienen tres partes:

- fases gas (a quemar en los hornos antes citados)

- fase líquida (que se dirige a la Refinería, "Cepsa")
- fondos (que se dirige al proceso de alquilación)

De esta unidad se pasa a alimentar a la unidad de Alquilación donde a las olefinas y parafinas se le añade benceno en exceso para que se lleve a cabo la reacción en presencia del ácido fluorhídrico.

### **1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA UNIDAD**

La columna de rectificación, objeto de este proyecto, se localiza, en la unidad de alquilación, la cual está diseñada para llevar a cabo la reacción entre las olefinas, parafinas y el benceno en exceso en presencia del ácido fluorhídrico como catalizador y así obtener como producto el alquilbenceno lineal base del posterior alquilbenceno sulfonado.

Básicamente el proceso de Alquilación comprende dos etapas:

- 1º etapa: En la que se lleva a cabo un 90% del proceso global de alquilación (donde se produce la reacción).
- 2º etapa: se lleva a cabo el 10% restante del proceso. En este se lleva a cabo la limpieza.

La alquilación combina las moléculas de las olefinas producidas en el craqueo catalítico con las de isoparafinas para aumentar el volumen y octanaje de las mezclas de gasolina. Las olefinas reaccionan con las isoparafinas en presencia de un catalizador muy activo, por lo general ácido sulfúrico o ácido fluorhídrico (o cloruro de aluminio) para crear una molécula parafínica de cadena ramificada larga, denominada alquilato (isooctano), con excepcionales cualidades antidetonantes. A continuación, el alquilato se separa y se fracciona. Las temperaturas de reacción, relativamente bajas, de 10 a 16 °c para el ácido sulfúrico, 27 a 0 °c para el ácido fluorhídrico y 0 °c para el cloruro de aluminio, se controlan y mantienen mediante refrigeración.

Hay dos tipos de procesos de alquilación del ácido fluorhídrico: "Phillips" y "UOP". En el proceso "Phillips", la carga de olefina e isobutano se seca y pasa a una unidad combinada de reacción y decantación. El hidrocarburo procedente de la zona de decantación se carga en el fraccionador principal. El producto de evaporación de la sección superior del fraccionador principal pasa a un despropanizador. El propano, que contiene trazas de ácido fluorhídrico (HF), pasa a una torre rectificadora de HF, y después se desfluora catalíticamente, se trata y se almacena. El isobutano se extrae del fraccionador principal y

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

se recicla en el reactor/decantador, y el alquilato del fondo del fraccionador principal se envía a un divisor.

El proceso "UOP" utiliza dos reactores con divisores separados. La mitad del material seco se carga en el primer reactor, junto con isobutano reciclado y de relleno, y después en su decantador, donde se recicla el ácido y se carga el hidrocarburo en el segundo reactor. La otra mitad del material va al segundo reactor; el ácido del decantador se recicla y los hidrocarburos se cargan en el fraccionador principal. El proceso subsiguiente es similar al "Phillips" en que el producto de la sección superior del fraccionador principal pasa a un despropanizador, se recicla el isobutano y se envía el alquilato a un divisor. Este es el tipo de proceso que se lleva a cabo tanto en "Cepsa" como en "Petresa".

La columna que se diseña en el presente proyecto se alimenta con una carga de 53,05 kg/h de ácido fluorhídrico, procedente del depósito inicial de recepción del mismo, que se ha diseñado, dimensionándolo acorde a las cantidades de destilado requeridas. Los productos obtenidos de dicha columna son ácido fluorhídrico con una pureza del 98% por cabeza y por fondo ácido fluorhídrico con una pureza del 40%.

Dicha columna se completa con equipos para el intercambio de energía, la impulsión, el transporte y el almacenamiento de fluidos. En concreto se trata de 4 equipos de intercambio de energía, 2 bombas centrífugas, una red de tuberías, un recipiente acumulador y 3 depósitos de almacenamiento, en concreto uno, el anteriormente citado (que provee a la columna del ácido fluorhídrico con una pureza del 60%) y dos destinados para el almacenamiento de los productos, uno de ellos para el ácido fluorhídrico al 98% y otro para el de 40%.

En conclusión, el presente proyecto abarca explícitamente el diseño de la columna y de los equipos asociados a la misma para la separación del ácido fluorhídrico y el agua, aplicándose los principios básicos de la transferencia de masa.

#### **1.4 OBJETO DEL PROYECTO**

Este proyecto tiene como objetivo el diseño de una columna de Rectificación para el tratamiento de una corriente de Ácido Fluorhídrico al 60%, procedente de la empresa "Derivados del Fluor" cuyas instalaciones se encuentran en el término de Oncón (Castro-Urdiales, Cantabria).

La separación que se realiza mediante este proceso de destilación tiene como fin la concentración del ácido para su posterior utilización como catalizador en el proceso de alquilación que se lleva a cabo en la Petroquímica “Pétresa” y la Refinería “Cepsa”. Dicha columna destila operando en un intervalo de temperatura comprendido entre 84,13 y los 112 °c.

### **1.5 SITUACIÓN**

Esta columna se ubica en “Petresa” cuyas instalaciones ocupan una superficie de 3.000.000 m<sup>2</sup>; situada en la Bahía de Algeciras, punto de escala internacional que se encuentra en el centro de las principales vías y rutas marítimas de comercio con Norteamérica, Sudamérica, Norte de Europa, Oriente Medio y Lejano Oriente. La zona dispone de grandes calados, y, además, se comunica con la península por medio de redes nacionales de carreteras así como de ferrocarriles.

### **1.6 JUSTIFICACIÓN**

La justificación del proyecto se basa en la necesidad de obtener ácido fluorhídrico anhidro usado como catalizador en el proceso en continuo de alquilación. Así como la obtención del ácido con una pureza al 40% para su posterior venta, lo que a su vez hará el proyecto aun más rentable.

El ácido fluorhídrico se caracteriza por conferir a los productos derivados del mencionado proceso un mayor carácter biodegradable, al pasarse de una estructura ramificada a una lineal.

Por otra parte, decir que la concentración del ácido mediante la columna de separación es la técnica más empleada para este tipo de proceso, al permitir la separación sin necesidad de introducir sustancias adicionales debido a que no se superará en ningún caso, una concentración por debajo del 40% para la corriente de cola. De ser así, no sólo no se estaría obteniendo beneficios aportados por la venta del producto de cola, sino que se tendría que acudir a una destilación azeotrópica si se pretendiera alcanzar una pureza por debajo del 34%, aspecto que no queda recogido en el proyecto.

### **1.7 PETICIONARIO**

La comisión de Proyecto de Fin de Carrera de la Universidad de Cádiz, concedió a día de 7 de Noviembre del 2007 el proyecto de carácter específico titulado “DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN  
DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO” al  
petionario, el alumno Don Javier Ángel Vidal Perea.

## **CAPÍTULO 2**

### **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

#### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

En la figura 2.1 se muestra un diagrama del proceso diseñado en el presente Proyecto Fin de Carrera.

En este diagrama se muestran los principales equipos, los depósitos intermedios así como las distintas interconexiones entre estos, que constituyen el objeto de estudio.

La carga de la columna, como se comentó anteriormente, proviene del tanque E-1 destinado a la recepción de ácido fluorhídrico con pureza del 60%. La columna V-1 separa por cabeza la fracción más ligera que corresponde a la corriente de ácido al 98%, que es enviada a el tanque E-2, y por fondo la fracción más pesada compuesta por ácido al 40%, que es enviada a el tanque E-3.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

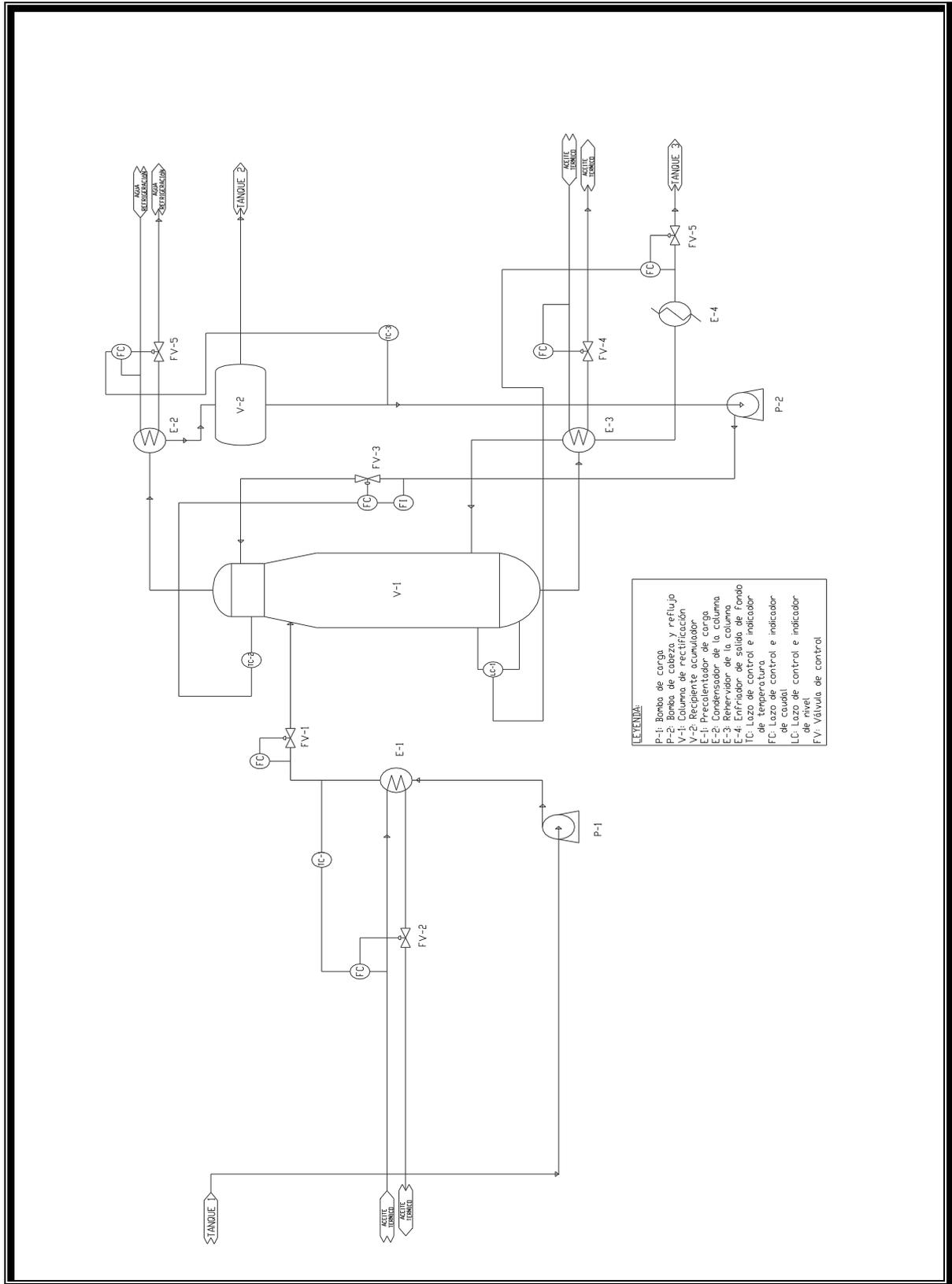


Figura 2.1: Diagrama de flujo de proceso

- **Alimentación a la columna.**

La carga fría de ácido fluorhídrico, procedente del tanque E-1, entra en la columna V-1 impulsado por la bomba de alimentación P-1, con un caudal de 53 kg/h.

Antes de entrar a la columna, se calienta hasta 82,22 °c, temperatura por debajo del punto de ebullición, en el precalentador de carga E-1, que utiliza como fluido calefactor aceite térmico por el lado de los tubos.

La temperatura del precalentador se controla por el controlador de temperatura TC-1, que mide dicha temperatura a la salida del precalentador y regula, en cascada, el caudal de aceite térmico que entra al cambiador mediante la válvula FV-2.

El caudal de alimentación se fija mediante la válvula de control FV-1, que se encuentra aguas abajo del precalentador E-1. La mezcla de alimentación se introduce en una cascada vertical de etapas, aparece como líquido siendo su composición de 0.56 en fracción molar de ácido fluorhídrico y 0.44 en fracción molar de agua.

- **Columna V-1.**

En la columna V-1 se destila la corriente de Ácido Fluorhídrico, obteniéndose por cabeza una corriente de Ácido Fluorhídrico al 98% en pureza y por fondo al 40% en pureza.

La columna consta de 24 platos perforados más el calderín, con una temperatura comprendida entre los 84,1 °c por cabeza y los 112 °c por el fondo. Esta temperatura de cabeza se controla mediante el controlador de temperatura TC-2, que regula el caudal de reflujo que entra a la columna por medio de la válvula FV-3.

El calor de intercambio en el rehervidor E-3 se regula con el caudal de aceite térmico.

- **Fondo de la columna.**

Tras abordar la columna, la corriente de fondo entra en el rehervidor.

La corriente de ácido fluorhídrico, con caudal aproximado de 66 kg/h y a una temperatura de 112 °c y con una composición de 0,36 en fracción molar, se envía hacia el enfriador de salida de fondos E-4, en el que se enfría con agua de refrigeración hasta una temperatura de 37 °c. A la salida de éste se dirige hacia su tanque de almacenamiento T-3.

El caudal de esta corriente se regula mediante la válvula FV-6, que está en cascada con el control de nivel de fondo de la columna LC-1.

- **Cabeza de la columna V-1.**

Los vapores que salen por la cabeza, con una pureza del 98%, lo hacen con un caudal de 27,3 kg/h y una temperatura de 84,13 °c. Dichos vapores son conducidos hasta el condensador E-2 donde pasan a estado líquido a una temperatura de 21°c. Para controlar esta temperatura se varía el caudal de agua de refrigeración mediante el controlador de temperatura TC-3.

Esta corriente de líquido condensado, se transporta hacia el recipiente acumulador V-2, de donde posteriormente una fracción se envía al tanque de almacenamiento T-2 mientras que la fracción restante se devuelve a la columna V-1 por medio de la bomba P-2 cuyo caudal está regulado mediante la válvula FV-3, que actúa controlada, en cascada, por el control de temperatura TC-2. El caudal de líquido que se transporta hasta el tanque T-2 es de 18,3 kg/h mientras que el caudal que se lleva de nuevo como reflujo hasta la columna V-1 es de 9,01 kg/h.

La relación de reflujo interna  $L_0/V_1$  de 0,35.

## **2.2 VARIABLES DE OPERACIÓN.**

La variable fundamental que controla la pureza del ácido es la temperatura del plato n° 4, que actúa sobre el reflujo de la columna. Así el valor habitual es de 96 – 97 °c.

En el caso en el que aumente el final de destilación del producto de cabeza, se disminuye el punto de consigna del controlador de temperatura del plato n° 4 LC-2.

En caso que disminuya el final de destilación del producto de cabeza, se aumenta el punto de consigna del controlador de temperatura del plato n° 4 LC-2.

Si se perdiese ácido por el fondo de la columna (principio de destilación de fondo bajo), habrá que aumentar el punto de consigna LC-2.

## **2.3 BALANCE DE MATERIA.**

La composición de las corrientes principales, se determina resolviendo balances de materia.

El cálculo se realiza aplicando un balance de materia total a la columna y otro al condensador, y con ayuda de la relación de reflujo y de la

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

condición de alimentación se determinan los caudales máxicos de las distintas corrientes que intervienen en el proceso.

En el diagrama 2.2, se recogen los resultados obtenidos de las composiciones y los caudales máxicos de dichas corrientes.

**PROYECTO DE FIN DE CARRERA**  
**DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE**  
**ÁCIDO FLUORHÍDRICO**  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

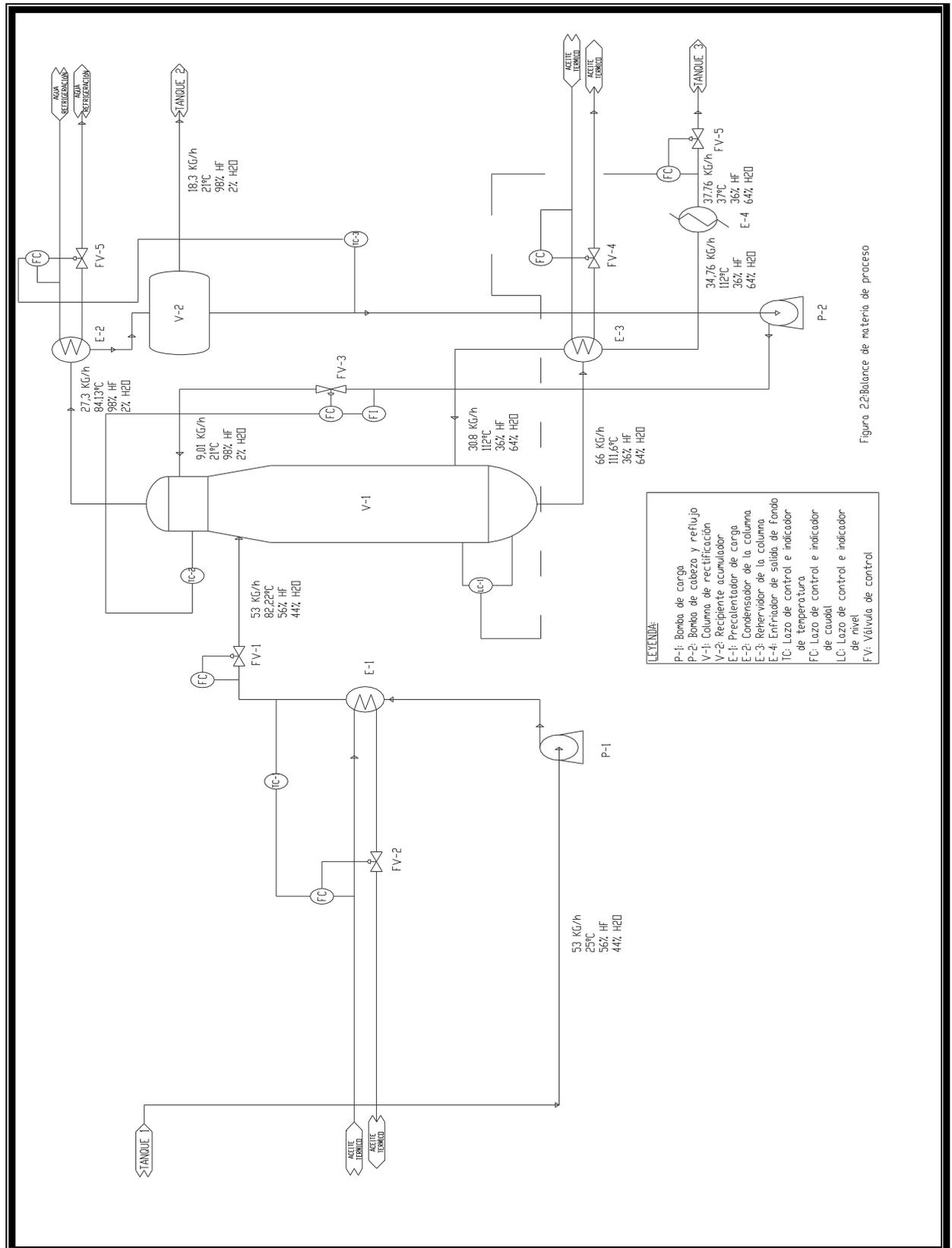


Figura 2.2: Balance de materia de proceso

Figura 2.2: Balance de materia de proceso.

## 2.4 BALANCE DE ENERGÍA.

La columna objeto de diseño del presente proyecto presenta una corriente de entrada y dos corrientes de salida. Luego el flujo neto de entrada de calor en la columna de rectificación vendrá dado por la diferencia existente entre sus calores intercambiados.

En el condensador tiene lugar la condensación de la corriente de vapores que abandonan la cabeza de la columna, en el cual el agua de refrigeración retira del sistema el calor latente de vaporización.

En el rehervidor, el producto de fondo se vaporiza parcialmente gracias al calor suministrado por la corriente de aceite térmico.

Considerando que se trabaja en estado estacionario, y que no se produce acumulación de calor en la columna de rectificación, la suma del flujo neto de entrada y el calor aportado por el rehervidor deberá ser igual al calor que el condensador mediante la corriente de agua de refrigeración retira del sistema.

La siguiente tabla presenta los valores de entalpía obtenidos a partir de del diagrama "Ponchon-Savarit".

Tabla 2.1: Entalpías.

Corriente	Entalpías kj/kg
Alimentación	-264,52
Destilado	58,16
Colas	34,90

Considerando estos valores se resuelven los balances de energía que con el uso combinado del diagrama del "Ponchon-Savarit" da como resultado los siguientes valores:

Tabla2.2: Calores retirados y aportados.

Corriente	Transferencia de calor kj/h
Condensador	6618,43
Rehervidor	55527,67

En el diagrama 2.3, se recogen los datos obtenidos de los caudales energéticos, así como las temperaturas de las distintas corrientes.

**PROYECTO DE FIN DE CARRERA**  
**DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE**  
**ÁCIDO FLUORHÍDRICO**  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

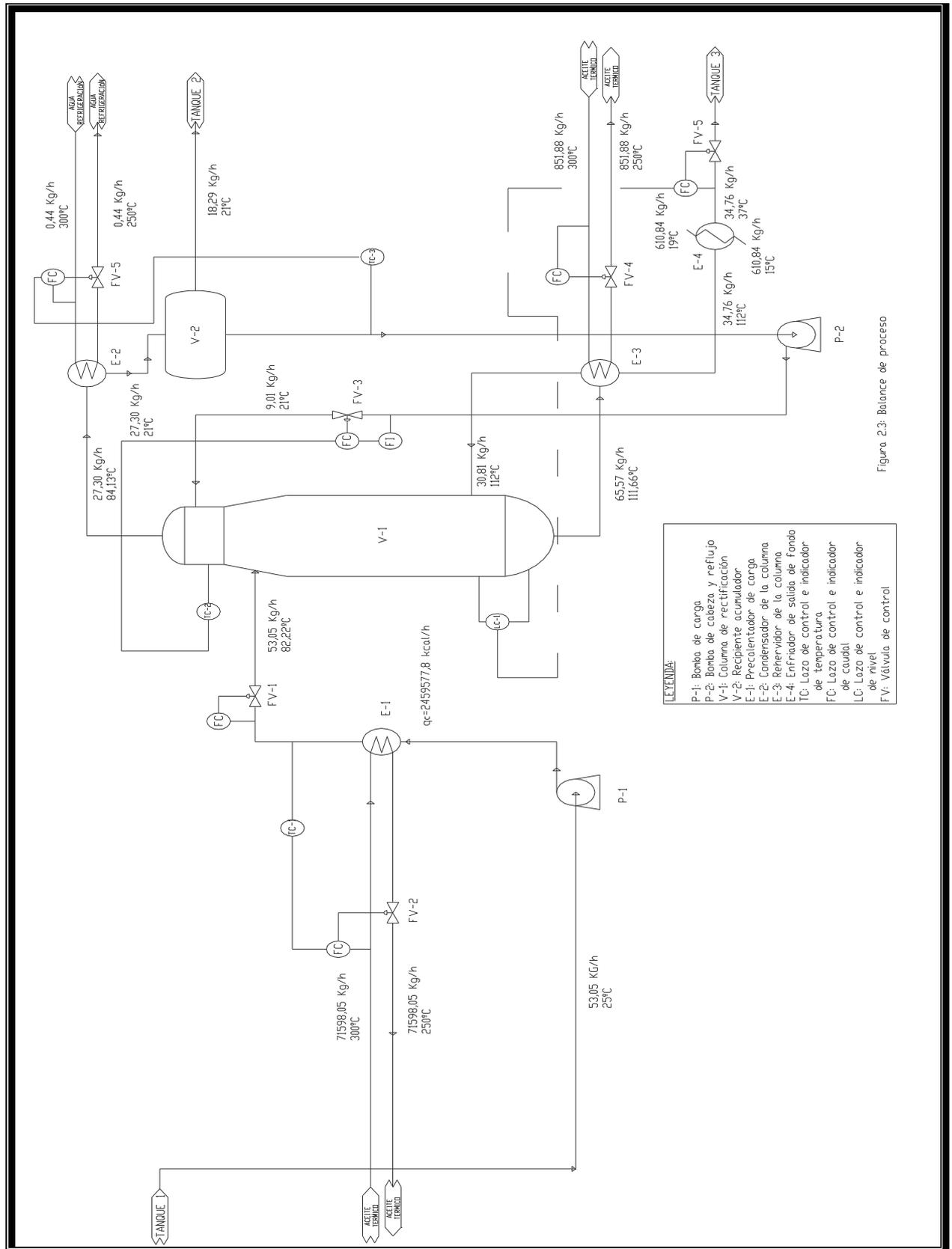


Figura 2.3: Balance de proceso

**LEYENDA:**

- P-1: Bomba de carga
- P-2: Bomba de cabeza y refluo
- V-1: Columna de rectificación
- V-2: Recipiente acumulador
- E-1: Precalentador de carga
- E-2: Condensador de la columna
- E-3: Reheñador de la columna
- E-4: Enfríador de salida de fondo de temperatura
- TC: Lazo de control e indicador de temperatura
- FC: Lazo de control e indicador de caudal
- LC: Lazo de control e indicador de nivel
- FV: Válvula de control

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO DE LA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN**

#### **3.1 NÚMERO DE ETAPAS IDEALES DE EQUILIBRIO**

El número de etapas ideales de equilibrio de la columna de destilación se puede obtener mediante varios métodos como el McCabe Thiele, que tan solo requiere los datos de equilibrio del sistema a tratar; siendo un método simplificado al tener sólo en cuenta los balances de materia; éste supone flujos constantes de vapor y líquido en cada sección de la columna y trabaja en el diagrama x - y.

Existe un método más riguroso, Ponchon Savarit, siendo un método gráfico que trabaja con el diagrama entalpía composición. El problema es que requiere datos detallados de entalpía, que en algunas ocasiones es difícil obtener para determinados sistemas. Pero frente a otros métodos presenta también ventajas bastantes destacables como es la obtención de datos significativos como son el calor a retirar en el condensador y el calor a aportar en el rehervidor. Es precisamente, la obtención de este tipo de datos lo que hace más atractivo, razón por la cual se empleará en la determinación del número de etapas de equilibrio.

Al aplicar este método se han obtenido 12 etapas ideales, es decir, la columna presenta 11 platos teóricos más calderín.

#### **3.2 DISEÑO HIDRAULICO DE LA COLUMNA**

Los balances de materia y energía, unidos a las ecuaciones de equilibrio y el mismo diagrama, permiten fijar las temperaturas y caudales en los distintos niveles de la torre, así como el número de etapas teóricas y la cantidad de calor a suministrar o retirar para obtener el fraccionamiento necesario. Son estos elementos de base, los usados para estimar las dimensiones de la torre en una primera fase, para, finalmente ejecutar el diseño de construcción de la torre con todos sus accesorios (tubuladuras, soportes, entradas de hombre, etc.) y de los platos con todo su equipamiento.

La hidrodinámica del plato fijará el diámetro de la torre, la separación entre platos, la pérdida de carga entre platos, y la elasticidad de funcionamiento; es decir, los caudales de líquido y de vapor máximos y mínimos autorizados, que corresponden a dominio de la estabilidad del plato.

La eficacia global media establece la relación entre platos teóricos y los platos reales a prever, es decir, que determina la altura de la torre,

teniendo en cuenta los espacios libres en la cabeza, en el fondo y en la zona de expansión.

### 3.2.1 Diseño de los platos perforados.

Para el diseño de la columna, objeto del presente proyecto, se han seleccionado platos tipo perforados.

Estos son de construcción sencilla, requiriendo solo la perforación de pequeños agujeros en la bandeja. Su bajo coste ha hecho que se convierta en el plato de mayor uso, unido a su gran versatilidad.

Se han seleccionado diámetros de los orificios de 16.5 mm, usándose para su construcción Hastelloy C.

En el caso de los platos perforados, el vapor atraviesa verticalmente la capa de líquido a través de las perforaciones, mientras que el líquido se desplaza horizontalmente a través del plato. Dichos platos están sujetos a inundaciones, debido a la elevación del líquido en los vertederos o a un excesivo arrastre del líquido en el gas por espumado.

#### 3.2.1.1 Diámetro de la columna

El espaciamiento entre platos presenta valores estandarizados en función de su diámetro, resultando finalmente de 50 cm.

Debido las características que presenta el sistema que aborda el presente proyecto se han de diferenciar dos secciones claramente, una que sería la de rectificación y otra la de agotamiento. Este aspecto es importante a destacar debido a los cambios de diámetro que se aprecian en el diseño de la torre para cada una de las secciones. En virtud de lo cual se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3.1: Valores de velocidad de inundación, velocidad para evitar la inundación, área neta de plato.

Sección	$V_f$ (m/s)	$V$ (m/s)	$A_n$ (m <sup>2</sup> )	$D_0$ (m)
Rectificación	1,860	1,487	2,668	1,950
Agotamiento	2,076	1,661	6,090	2,950

Donde:

$V_f$  = velocidad de inundación.

$V$  = velocidad del vapor que asegura que la columna no se inunde.

$A_n$  = Área neta del plato.

$D_0$  = Diámetro de torre.

### 3.2.1.2 Profundidad del líquido

Generalmente, las profundidades del líquido no deben ser menores de 50 mm, para asegurar una buena formación de espuma; se han usado profundidades de 150 mm, pero 100 es un máximo más común. Estos límites se refieren a la altura de derramadero,  $h_w$ , más la parte que queda sobre el derramadero,  $h_c$ , calculada como líquido claro, aunque en el área perforada la profundidad equivalente del líquido sea menor que ésta.

La profundidad del líquido calculada se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3.2: Altura de vertedero, cresta sobre derramadero y profundidad

Sección	$h_w$ (mm)	$h_c$ (mm)	Profundidad (mm)
Rectificación	$6,0 \cdot 10^1$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^1$
Agotamiento	$6,0 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^1$

### 3.2.1.3 Cresta del líquido sobre derramadero, $h_c$ .

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 comunes. Se usa una altura de derramadero de un 60 a 80 % el diámetro de la torre; con el fin de asegurar una distribución razonablemente uniforme del flujo del líquido en un plato de un paso.

La cresta del líquido sobre el derramadero presenta el valor expuesto en la anterior tabla 3.2.

### 3.2.1.4 Caída de presión para el gas, $h_{\text{vapor}}$ .

La caída de presión para el vapor  $h_{\text{vapor}}$  es la suma del efecto para el flujo de vapor a través del plato seco y de los efectos causados por la presencia del líquido.

La caída de presión para el gas se puede observar en la siguiente tabla 3.3.

Tabla 3.3: Pérdida de presión del vapor entre plato y plato

Sección	$h_L$ (mm)	$h_R$ (mm)	$h_D$ (mm)	$h_{\text{vapor}}$ (mm)
Rectificación	$4,96 \cdot 10^1$	$2,31 \cdot 10^1$	$9,74 \cdot 10^{-3}$	$7,27 \cdot 10^1$
Agotamiento	$4,96 \cdot 10^1$	$2,59 \cdot 10^1$	$5,96 \cdot 10^{-5}$	$7,55 \cdot 10^1$

Siendo:

$h_L$  = Caída de presión del vapor a través del líquido y de la espuma

$h_R$  = Caída de presión del gas residual.

$h_D$  = Caída de presión en plato seco.

$h_{\text{vapor}}$  = Caída de presión del vapor entre plato y plato.

### 3.2.1.5 Caída de presión en seco, $h_D$ .

Es el resultado de una pérdida de presión debido a la entrada de vapor en las perforaciones, a la fricción de este dentro del pequeño tubo que son las perforaciones (debido al espesor del plato) y a la pérdida existente a la salida.

La caída de presión en seco para ambas secciones se puede observar en la tabla 3.3.

### 3.2.1.6 Cabeza hidráulica, $h_L$ .

En la región perforada del plato, el líquido está en forma de espuma. La profundidad equivalente del líquido claro,  $h_L$ , es una estimación del valor que se obtendría si la espuma coalesciera.

La caída de presión resultante de la profundidad del líquido en el plato resulta ser la expuesta por la tabla 3.3.

### 3.2.1.7 Caída de presión del gas residual, $h_R$ .

Se debe al resultado de vencer la tensión superficial cuando el vapor sale a través de una perforación.

Se obtiene la caída de presión residual expuesta en la tabla 3.3.

### 3.2.1.8 Pérdida de presión en la entra del líquido, $h_E$ .

Se produce cuando el flujo del líquido debajo del vertedero, entra en el plato, provocando la pérdida de presión que se refleja en la siguiente tabla 3.4.

Tabla 3.4: Pérdida de presión en la entrada de líquido.

Sección	$h_E$ (mm)
Rectificación	$7,82 \cdot 10^{-8}$
Agotamineto	$5,93 \cdot 10^{-5}$

### 3.2.1.9 Retroceso en el vertedero.

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 vapor en el plato superior. Los resultados obtenidos pueden se encuentran expuestos en la tabla 3.5.

### 3.2.1.10 Lloriqueo.

La velocidad mínima del vapor a través de los orificios para ambas secciones se puede ver en la tabla 3.5, el no sobrepasar dichos valores asegura que no exista lloriqueo a través de los orificios.

Tabla 3.5: Retroceso y velocidad mínima

Sección	Retroceso (mm)	$U_{ow}$ (m/s)
Rectificación	72,69	9,90
Agotamineto	75,51	8,92

### 3.2.1.11 Arrastre del líquido.

Cuando el líquido es arrastrado por el gas hacia el plato superior, el líquido arrastrado es atrapado en el líquido del plato superior. El efecto es acumulativo y las cargas del líquido en los platos superiores de la torre pueden llegar a ser excesivas. En la siguiente tabla se observan los valores correspondientes a cada una de las secciones.

Tabla 3.6: Valores de fracción de arrastre del líquido.

Sección	$V_f/V$	$L'/V' \cdot \sqrt{\rho_V / \rho_L}$	E
Rectificación	0,800	0,018	0,1
Agotamineto	0,800	0,151	0,02

### 3.2.2 Eficacia de la columna.

La eficiencia de la columna se calcula con la ayuda de la figura 1.3 del anexo I, basada en datos experimentales del fraccionamiento de hidrocarburos.

Se necesita la volatilidad relativa y a la viscosidad del líquido de alimentación a la temperatura promedio de la torre.

La eficacia global de la columna resulta ser igual a 50%.

### **3.2.3 Números de platos reales y altura de la torre.**

El número de platos reales es función del número de platos ideales calculados a partir del diagrama de "Ponchon-Savarit" y de la eficacia de la columna calculada en el apartado anterior. Resulta ser de 24 platos más el calderín.

La altura de la columna se obtiene teniendo en cuenta la separación entre los platos (0,5m), considerando la distancia entre el plato primero y la parte superior de la columna y la que existe entre el plato inferior y la parte inferior de la columna; y, además, considerando también los espesores de cada uno de los platos. Con todas estas consideraciones el valor obtenido ha sido de 16,81 m.

### **3.3 DISEÑO MECÁNICO DE LA COLUMNA.**

Para el diseño de la columna de destilación se aplican especificaciones para el diseño de recipientes a presión propias de Refinerías, de acuerdo con el Código ASME, Sección VIII, División I.

La presión de diseño presenta un valor de 14,48 kg/cm<sup>2</sup> siendo la temperatura de diseño de 150 °c.

#### **3.3.1 Material de construcción.**

La columna se construye de Hastelloy C - 276 SB - 575.

#### **3.3.2 Espesor requerido.**

El cálculo del espesor requerido por la columna se basa en las exigencias del código ASME, Sección VIII, División I, para recipientes verticales. Además, deberá tenerse en cuenta que, el espesor mínimo requerido, excluido el sobreespesor por corrosión, de las envolventes y fondos de los recipientes a presión, no será inferior de  $D/1000 + 254$  mm; siendo D, el diámetro del recipiente en milímetros, tampoco será inferior a 3 mm para recipientes de media y alta tensión, incluido cualquier tipo de Hastelloy C.

Se elige el mayor valor que resulte y se redondea hasta alcanzar un espesor comercial.

Se adopta un espesor de 14,2 mm, incluido un sobreespesor para la corrosión de 0.9 mm, gobernado por tensión circunferencial y se redondea hasta conseguir un espesor comercial de chapa de 20 mm.

Los platos, con un espesor de 4,5 mm, se acoplan a la envolvente de la columna mediante unos anillos de resistencia adecuada para soportar el peso de los platos así como el peso de los fluidos que hay sobre él.

### 3.3.3 Fondo de la columna.

Su relación altura/diámetro es de 5,7, pero la presión de diseño es de 14,48 kg/cm<sup>2</sup>, superior a la permitida para poderse usar fondos de tipo “Klopper” por lo que se utilizan fondos toriesféricos de tipo “Korbbogen”. Debido a que nos encontramos con un par de secciones diferenciadas se ha de presentar dos valores relativos respectivamente uno al fondo superior y otro al inferior:

Tabla 3,7: Valores de espesor por especificación, por tensión circunferencial y comercial

Sección	t <sub>especificación</sub> (mm)	t <sub>circunferencial</sub> (mm)	t <sub>comercial</sub> (mm)
Rectificación	5,40	5,80	10
Agotamiento	6,41	15,00	20

### 3.3.4 Soportes.

La columna se ha diseñado como unidad autosoportada, utilizándose como soporte un faldón al disponer de un diámetro de envolvente de 1961 mm para la de rectificación y 2980 mm para la sección de agotamiento, valores superiores en ambos casos a los 1500 mm. Dicho faldón se suelda al fondo inferior de la columna de forma que los diámetros medios del faldón y de la envolvente coincidan.

La tubuladura del fondo inferior del recipiente, de 101,6 mm (4 in) de diámetro nominal, que conduce hacia el rehervidor el líquido de fondo de la columna, lleva un codo de 90° y una tubería de prolongación hasta el exterior del faldón terminada en una brida.

El faldón dispone de una abertura de acceso estándar e irá provisto de una rejilla desmontable, también estandarizada, y cuatro ventiladores igualmente espaciados.

Se utilizará también un collarín, de tamaño suficiente para admitir al calorifugado y la expansión térmica de la tubería de 101,6mm (4 in) que atraviesa el faldón.

La proyección interior y exterior de los refuerzos de las aberturas del faldón, venteos y collarín para el paso de tubería, tendrán un mínimo de 50 mm y de 15 mm superior al espesor de ignifugado.

Para concluir, decir que este faldón tendrá un espesor adecuado para aguantar el peso de la columna y de los fluidos que se encuentran en su interior y que presentará una capa ignifuga por su interior y su exterior.

### **3.3.5 Pescantes.**

Todo recipiente vertical tendrá instalado un pescante de capacidad suficiente para desmontar las válvulas en cabeza o internos y, en ningún caso, esta capacidad será inferior a 500 kg. Dicho pescante estará de acuerdo con el STD-RP-044.

### **3.3.6 Tubuladuras, bocas hombres y de inspección.**

Todas las conexiones se realizarán mediante bridas. Las de 3 in de diámetro nominal y mayores, deberán ir provistas de una chapa de refuerzo cuyas dimensiones mínimas se indican en el STD-RP-026.

Para tamaños de 24 in de diámetro nominal y menores se aplicará la Norma ASME/ ANSI B 16.5; y para tamaños superiores a 24 pulgadas de diámetro nominal la ASME B 16.47.

En la parte superior de la cabeza de la columna aparece una tubuladura de 203,1 mm (8 in) de diámetro nominal que lleva el vapor hacia el condensador y otra de 63,5 mm (2 ½ in) para el reflujo.

En la parte inferior de la columna se encuentra una tubuladura de 76,2 mm (3 in) de retorno del rehervidor y otra de 3,18 mm (1/8 in) de salida de fondo hacia el rehervidor.

La alimentación a la columna presenta una la tubuladura de diámetro nominal de 6.35 mm (1/4 in).

La columna de destilación contará con 3 bocas hombres, las cuales disponen de una forma circular. Así una está situada encima del plato superior, otra situada encima del plato de alimentación y la otra debajo del plato inferior de 609,6 mm (24 in) de diámetro interior mínimo.

Las bocas de hombre estarán colocadas de forma que se eviten riesgos personales que pudieran producirse al entrar o salir el personal de la columna.

Todas las bridas de las tubuladuras, incluidas bocas de hombre e inspección, serán "Welding Neck", en tamaños de 2 in y mayores, y "Long Welding Neck", en tamaños de 1 ½ in. Se usarán bridas de "rating" 150 lb.

### **3.3.7 Aislamiento.**

Se empleará aislamiento de fibra de vidrio; "Vitrofibra RF4000". Este producto cumple con la norma nacional; NOMC-230-85 tipo A Clase I y la norma internacional ASTM C-533-70.

En los cálculos justificativos correspondiente a este apartado, se dan espesores recomendados de placas RF-4000. Resulta un valor de 3.8 mm (1 ½ in), considerando la mayor de las temperaturas alcanzadas en la columna, 112 °c.

### **3.3.8 Pruebas y análisis.**

Se realizarán pruebas hidráulicas y análisis vibratorios según las especificaciones para el diseño de recipientes a presión.

## **3.4 EQUIPOS AUXILIARES.**

En este apartado se van a describir los equipos e instrumentos necesarios para el correcto funcionamiento de la columna:

### **- Pre calentador de carga.**

Representado por E-1 en la figura 2.1, se trata de un cambiador de calor de carcasa y tubos. La carga fría procedente del tanque T-1, antes de entrar en la columna, se calienta en este pre calentador, que utiliza como fluido calefactor aceite térmico por el lado de los tubos.

### **- Condensador de la columna.**

Recibe el vapor procedente del último plato de la columna y viene representado por el símbolo E-2 en la figura 2.1, se trata de un cambiador de calor de carcasa y tubos. En dicho equipo condensa el vapor. Una vez condensado, primero se envía al recipiente acumulador V-2 desde donde una fracción de ese líquido se envía hacia el tanque T-2, mientras que la fracción restante se envía de vuelta a la columna como reflujo mediante la bomba P-2.

### **- Rehervidor de la columna.**

Está representado en la figura 2.1 por el símbolo E-3, situado en la base de la columna, se trata de un intercambiador de calor de carcasa y tubos, cuyo fin es efectuar una evaporación parcial de los productos de fondo, con el fin de producir una fase gaseosa gracias al calor cedido por la corriente de aceite térmico.

- **Enfriador de salida de fondo.**

Representado por el símbolo E-5, es un cambiador de carcasa y tubos, en el que se enfría la corriente de ácido fluorhídrico con pureza del 40%, mediante el uso de agua de refrigeración, para posteriormente enviarse al tanque de almacenamiento T-3.

- **Bomba de alimentación.**

Representada en la figura 2.1 por el símbolo P-1, es una bomba centrífuga que impulsa una carga de ácido fluorhídrico con pureza 60% para alimentar la columna.

- **Bomba de cabeza y reflujo.**

Representada por el símbolo P-2 en la figura 2.1, es una bomba centrífuga que devuelve una fracción de la corriente, una vez ya ha condensado dicha corriente y ha pasado por el recipiente acumulador V-2.

### **3.5 PUESTA EN MARCHA DE LA UNIDAD.**

#### **3.5.1 Operaciones previas a la puesta en marcha.**

Cuando se realiza alguna modificación en la unidad que implica la instalación, modificación o aperturas de tuberías o recipientes las operaciones a realizar son:

##### **3.5.1.1 Inspecciones de recipientes: Columna de rectificación y botellón de reflujo.**

Se debe de inspeccionar la columna de rectificación y el botellón de reflujo durante la fase de montaje, antes de la puesta en marcha y se deben comparar con las especificaciones de diseño.

Como precaución; antes de entrar en cualquiera de dichos recipientes, se deben seguir las normas de seguridad existentes al respecto. Deben incluir: análisis de toxicidad y atmósfera explosiva, uso del equipo de seguridad apropiado, y tener asistencia fuera del recipiente.

##### **3.5.1.2 Comprobación de tuberías e instrumentos.**

Se debe comprobar la unidad para asegurarse que está de acuerdo con el diagrama de tuberías e instrumentos.

### **3.5.1.3 Pruebas de presión y fugas.**

Cualquier equipo, tuberías, o recipiente que se haya modificado, reparado o soldado alguna conexión, durante o posteriormente al período de montaje, se deberá someter a una prueba de presión, normalmente con agua. Cuando se va a realizar la prueba hidráulica, el personal de operación asignado a la unidad deberá comprobar que el equipo esté aislado correctamente.

Todos los equipos montados recientemente o abiertos posteriormente, se deberán someter a una comprobación de fugas antes de admitir ácido.

Normalmente, no se necesita realizar la prueba de fuga a las bridas y conexiones que se han sometido a pruebas de presión y que no se han abierto posteriormente.

La columna y tuberías asociadas con la misma, se pueden someter a la prueba de fugas, mediante vapor o presión de N<sub>2</sub> durante el proceso de eliminación de aire.

Aunque las pruebas antes mencionadas dan una seguridad razonable para poner en marcha la unidad sin fugas importantes, se debe tener en cuenta que a menudo éstas aparecen, cuando el equipo alcanza las temperaturas de operación, es decir, cuando las tuberías y los recipientes han dilatado. Por ello, los operadores deben de mantenerse alerta durante la puesta en marcha.

### **3.5.1.4 Lavado de líneas y equipos.**

Una vez finalizada la prueba de presiones, se considera preparada la planta para su limpieza. Generalmente, las líneas diseñadas para manejar líquidos se lavarán con agua y se drenarán. Las que manejen gases se soplarán con aire o N<sub>2</sub>, o si los soportes se diseñan para líquidos se lavarán con agua.

Este es un paso muy importante ya que la suciedad, residuos, etc., si no se eliminan, pueden obstruir las mallas de los separadores.

### **3.5.1.5 Puesta en servicio de las bombas y motores.**

Es esencial una instalación y una operación adecuada de las bombas y motores para evitar mayores problemas durante la puesta en marcha. Todos los motores se rodarán un mínimo de 4 horas en vacío. Después se acoplarán la bomba y el motor, adecuadamente alineados, y se dejarán dispuestos para la operación.

Esta operación se realizará generalmente con agua. Como el agua es más pesada que el producto para el que fue diseñada, se deben tomar precauciones y no circular demasiado caudal a través de la bomba para no sobrecargar el motor.

### **3.5.1.6 Limpieza y puesta en servicio de los sistemas auxiliares.**

Para facilitar las operaciones de los servicios auxiliares (agua, aire, vapor, nitrógeno, etc.) se deberá poner en servicio tan pronto como lo permita la fase de montaje. Las diferentes líneas se deberán someter a pruebas de fuga y presiones; también se limpiarán con agua para eliminar la suciedad. Las líneas se pueden limpiar mediante barridos con vapor el tiempo que sea necesario. Se deberán calentar lentamente para minimizar los golpes de ariete. Otras líneas se pueden limpiar mediante soplado con vapor, aire o si es posible con agua.

La puesta en servicio del sistema de vapor requiere ciertas precauciones. Debe evitarse el choque térmico y mecánico y la introducción de condensado en otros sistemas.

Todos los tanques carga y almacenamiento de productos deberán estar lavados, sometidos a las pruebas de presiones, secos y libres de oxígeno antes de contener ácido. Donde sea posible, lavar todas las líneas de estos tanques y pasar un taco unido a un cable para barrer la cascarilla y la suciedad. Eliminar después todo el agua que sea posible, barriendo con nitrógeno, cerrar las bridas y chequear las fugas. Una vez los tanques libres de aire, se dejarán con presión positiva de nitrógeno.

### **3.5.1.7 Eliminación de aire.**

Una vez finalizado el lavado con agua y antes de admitir el ácido fluorhídrico se deben eliminar el aire y el agua de la planta y de las tuberías y los tanques a utilizar fuera de los límites de batería. Se supone que ya se han realizado las pruebas de presión y todas las conexiones con otras plantas.

El procedimiento común para eliminar el aire de un sistema es la evacuación o vaporización. Cuando se puede efectuar vacío en una columna, el procedimiento a utilizar será el desplazamiento con nitrógeno.

Se ha de incidir en la importancia que tiene este paso debido a que la presencia de aire provocaría un aumento en la corrosión, que ya de por sí supone un problema en la selección de los materiales elevando los costes fijos de la instalación.

### **3.5.2 Puesta en marcha de la columna de rectificación.**

El procedimiento para la puesta en marcha será el siguiente:

- a. Introducir nitrógeno en la torre y el botellón de reflujo para eliminar el oxígeno.
- b. Llenar el fondo de la columna.
- c. Avisar que se va a tomar aceite térmico para el rehervidor.
- d. Poner en servicio el condensador avisando de que se va a tomar agua de refrigeración para el mismo.
- e. Introducir carga y elevar la temperatura del fondo aumentando el caudal de aceite térmico.
- f. Cuando suba el nivel del botellón de cabeza V-2 (tras pasar 5 minutos), poner en servicio la bomba P-2 y enviar el producto como reflujo a la columna.
- g. Comprobar que el agua del refrigerante del fondo a tanques está en servicio.
- h. Cuando se ajusta la relación de reflujo eliminar el sobrante de cabeza.
- i. Llevar la carga hasta el valor deseado.
- j. Cuando la columna esté estabilizada y con su relación de reflujo, poner el reflujo a trabajar en cascada con la temperatura del plato 4.
- k. Los productos se irán enviando a sus respectivos tanques de almacenamiento.

### **3.6 OPERACIÓN NORMAL DE LA UNIDAD.**

La unidad debe operar para conseguir productos en calidad y cantidad programada de acuerdo con la máxima seguridad y el mínimo coste posible.

Como norma general, hay que resaltar que los cambios en los parámetros de operación han de realizarse suavemente; ya que las variaciones bruscas conducen a grandes desequilibrios.

La columna de rectificación funciona para obtener ácido fluorhídrico con una pureza del 98%, caracterizado por su rango de destilación

(84,13/112,00°C), de esta forma se obtendrá por fondo el ácido con una pureza del 40%.

Para controlar la calidad y las pérdidas del mismo del ácido en la corriente de fondo, se pueden enviar muestras al laboratorio para su análisis, ya que éste una vez almacenado en su correspondiente tanque será vendido como producto de química fina y de laboratorio.

Si el final de destilación del producto de cabeza aumenta, habrá que disminuir el punto de consigna, y si disminuye habrá que aumentarlo, del controlador de temperatura del plato n°4 LC-2.

### **3.7 PARADA NORMAL DE LA UNIDAD.**

Los pasos a seguir para dejar la columna fuera de servicio son:

- a) Avisar de que se va a dejar de consumir aceite térmico en el rehervidor.
- b) Desviar las corrientes de cabeza y fondo, hacia sus respectivos tanques de almacenamiento.
- c) Comenzar a cortar la carga y a reducir el caudal de aceite térmico al rehervidor.
- d) Cortar la carga procedente de la cabeza.
- e) Cortar la carga procedente del fondo.
- f) Cortar la carga de alimentación.
- g) Continuar disminuyendo el caudal aceite térmico.
- h) Cuando la columna se quede sin reflujo, parar la bomba P-2.
- i) Cortar el agua de refrigeración del condensador, así como del enfriador de cola.

### **3.8 OBRA CIVIL Y ESTRUCTURAS.**

Las cimentaciones de la columna y estructura serán profundas a base de pilotes existentes en el área de implantación, con las modificaciones necesarias en los encepados para adaptarlos a la nueva configuración.

La estructura principal será de hormigón armado, y la estructura secundaria, para el apoyo de equipos, plataformas y escaleras de acceso, será metálica.

El conjunto de tuberías y equipos ligeros situados a nivel del suelo se apoyarán sobre cimentaciones superficiales, dimensionadas para minimizar la transmisión de tensiones al terreno.

### **3.9 INSTALACIONES ELÉCTRICAS.**

La instalación eléctrica de la nueva unidad se integrará en la existente, en la zona de implantación del proyecto.

Se equiparán las reservas disponibles para la alimentación de las bombas.

El alumbrado adicional se alimentará desde las reservas disponibles de los cuadros existentes.

### **3.10 CONDICIONES GENERALES DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN PERSONAL.**

#### **3.10.1 Protección pasiva.**

a) Estará de acuerdo con el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas, el Reglamento de Instalaciones de Productos Químicos (cuando sea de aplicación) y, complementariamente, con los puntos que se indican a continuación.

b) El ignifugado a aplicar en los equipos, indicados a continuación, debe diseñarse para una temperatura límite del material de 540°C y con la resistencia al fuego mínima que se indica.

- Estructuras metálicas para los soportes de los equipos

- Si están en el interior de áreas con riesgo de fuego, se debe ignifugar con resistencia al fuego de 2 horas mínimo excepto en el caso de aplicación del Reglamento de Productos Químicos.
- Si es de aplicación el Reglamento de Productos Químicos, los soportes o columnas de acero para recipientes líquidos de la clase A, B y C, se ignifugarán con resistencia al fuego 3 horas, salvo que su dimensión vertical no sea superior de 300 mm desde el punto más bajo.

Este requisito se incrementará con el criterio precedente, para ignifugado suplementario que no esté contemplado legalmente en el reglamento mencionado.

- Estructuras metálicas para el soporte del condensador.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

- Si están en el interior de áreas con riesgo de fuego, se deben ignifugar con resistencia al fuego de 2 horas mínimo.
- Estructuras metálicas para los soportes de tuberías.
  - Todos los soportes individuales de tuberías o de un conjunto de tuberías con ácido en áreas con riesgo de fuego, deben estar ignifugados con resistencia al fuego de 2 horas mínimo hasta una altura mínima de 8 m.
  - En áreas de fuego, se deben ignifugar las vigas hasta una altura mínima de 8 m, con resistencia al fuego de 2 horas mínimo.
- c) El ignifugado a aplicar en los cables eléctricos de alimentación a las válvulas de corte de emergencia y en estas mismas (dejando la ventilación necesaria para evitar elevaciones de temperatura) debe ser:
  - Para el cableado eléctrico, cableado de instrumentos y de “trips” de emergencia.
    - Cableado crítico eléctrico (de potencia) o de instrumentación (de mando) o de las válvulas monitorizadas de aislamiento de equipos o circuitos, situado en área con riesgos de incendio, debe ser ignifugado con una resistencia al fuego de 20 minutos mínimo.
    - Como alternativa, cuando el ignifugado no sea posible, se podrán utilizar cables eléctricos, con una resistencia al fuego de 20 minutos mínimo o bien se pueden instalar rociadores como es el caso del presente proyecto.
  - Para válvulas de corte de emergencias.
    - Las válvulas de corte, que aíslen recipientes o circuitos, situadas en un área de incendio con riesgo, deben ser resistentes al fuego (resistencia al fuego mínima de 20 minutos) o como alternativas estar ignifugadas (resistencia mínima al fuego de 20 minutos) con sus actuadores o estar cubiertas por sistemas rociadores de arranque automático como es el caso con el que nos encontramos en el presente proyecto.

### **3.11 CÓDIGOS DE CONSTRUCCIÓN Y DISPOSICIONES LEGALES DE APLICACIÓN.**

A continuación se citan las principales referencias bibliográficas a considerar en el diseño de la columna.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

- Código ASME: “Boiler and Pressure Vessel Code”, Sección VIII, División I.
- Código ASME: “Boiler and Pressure Vessel Code”, Sección II.
- Reglamento de Instalaciones Petrolíferas (RD 2085/1994, de 20 de octubre).
- Modificaciones introducidas en el antiguo Real Decreto 2085/1994 por el reciente Real Decreto 1523/1999.
- Especificaciones Técnicas de Ingeniería sobre Diseño de Recipientes a Presión.
- Reglamento de Aparatos a Presión (RD 1244/1979).
- Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (R.D. 379/2001, 6 de abril).
- Operaciones de transferencia de masa, 2ª Edición, Ed.: McGraw – Hill.
- Manual del Ingeniero Químico, 7ª Edición, Ed.: McGraw – Hill.

## **CAPÍTULO 4**

### **CAMBIADORES DE CALOR**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN.**

Los cambiadores de calor son dispositivos cuyo objetivo es el de llevar una corriente de fluido a una temperatura determinada, calentándola o refrigerándola mediante otra corriente de fluido calentador o refrigerante. Se emplean habitualmente en la industria química y petroquímica para situar las distintas corrientes de fluido a su nivel térmico adecuado, y además conseguir el máximo ahorro de energía posible.

El tipo de equipo de transmisión de calor empleado depende básicamente de la aplicación, de la presión de operación, así como del área necesaria para la transferencia de calor.

Los cambiadores de calor de carcasa y tubos tipo TEMA constituyen la parte más importante de los equipos de transmisión de calor sin combustión en las plantas de procesos químicos y son capaces de operar en condiciones extremas de presión y temperatura.

#### **4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.**

##### **4.2.1 Cambiadores de calor de carcasa y tubos tipo TEMA.**

El aparato está constituido por un haz de tubos montados sobre dos placas que llevan un número determinado de placas deflectoras. Por cada extremo se fijan las cajas de distribución que aseguran la circulación de fluidos por el interior del haz, en varias fases. El haz está alojado en una carcasa provisto de una tobera de entrada y otra de salida para el segundo fluido que circula por el interior de los tubos, siguiendo el camino impuesto por las placas deflectoras.

La transferencia de calor se realiza fundamentalmente por conducción y convección desde un fluido caliente a otro frío que están separados por una pared metálica.

Todos los elementos que entran en la construcción de los intercambiadores, han sido objeto de normalización publicada por "Standard of Tubular Exchanger Manufacturers Association" comúnmente conocida por sus siglas como TEMA., que especifica las características mecánicas y térmicas correspondientes a las diversas condiciones de funcionamiento.

La norma TEMA, sirve para complementar y definir el código “American Society of Mechanical Engineers” conocido como ASME para todas las aplicaciones de intercambiadores de calor del tipo carcasa y tubos (diferentes a la construcción de tubería doble). El diseño de la clase R de la TEMA es “para los requisitos generales severos de las aplicaciones petroleras y de procesos relacionados. Los equipos fabricados según esas normas se diseñan para equipos fabricados según esas normas se diseñan para obtener seguridad y duración de servicio riguroso y las condiciones de mantenimiento que se requieren en esas aplicaciones”.

La norma “American Petroleum Institute” que se suele conocer con el nombre de sus siglas como API complementa tanto las normas TEMA como el código ASME

#### **4.3 CONSIDERACIONES GENERALES ACERCA DE LOS CAMBIADORES DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS UTILIZADOS.**

##### **4.3.1 Trayectoria de flujo.**

Para la elección de la trayectoria del fluido en los cambiadores de esta unidad se ha tenido en cuenta la consideración de que el fluido del lado del tubo es más corrosivo o está más sucio o a una presión más alta; siendo el fluido del lado de la carcasa un líquido de viscosidad moderada, o bien un gas.

Por otra parte, la trayectoria de los fluidos en determinados diseños, viene dada por la función que desempeñe el cambiador; este es el caso del rehervidor, donde el líquido a vaporizar deberá circular por el lado de la carcasa con el objeto de facilitar la separación entre el vapor y el líquido generador por el aporte de calor.

##### **4.3.2 Carcasas.**

El material usado en la construcción de la carcasa es diverso para cada caso, en función del grado de corrosión del fluido que se estudia en este proyecto. Así los materiales usados se muestran en el siguiente cuadro.

**Tabla 4.1: Materiales de construcción para los intercambiadores de calor.**

<b>Cambiador de calor</b>	<b>Material</b>
<b>E-1</b>	Hastelloy-C
<b>E-2</b>	Acero al carbono
<b>E-3</b>	Aleación Cu-Ni (70/30)
<b>E-4</b>	Aleación Cu-Ni (70/30)

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

El número de tubos albergados en la carcasa están estandarizados por la normativa TEMA.

En relación al número de pasos en la carcasa, cabe destacar que serán de un solo paso para los cuatro intercambiadores que son usados en la unidad del presente proyecto.

#### **4.3.3 Tubos.**

En los cuatro intercambiadores de esta planta se emplean tubos con un diámetro externo de  $\frac{3}{4}$  in. Mientras que el espesor de pared utilizado será de 16 unidades de calibre de alambre "Birmingham" (BMG).

La longitud estándar de los tubos empleada en el diseño de los cuatro cambiadores es de 20 pies.

Se ha seleccionado una disposición de los tubos de paso cuadrado; disposición típica en las refinerías.

En el siguiente cuadro aparecen las características de los aparatos que más frecuentemente se encuentran.

**Tabla 4.2: Características de los aparatos tubulares**

DIÁMETRO EXTERIOR DEL TUBO (IN)	NATURALEZA DEL TUBO	ESPESOR (BMG)	ESTADO DEL FLUIDO	PASO UTILIZADO <sup>(1)</sup>
$\frac{3}{4}$	Acero	14	Limpio	Triangular P=15/16"
	No ferroso o aleado	16	Sucio	Cuadrado P=1"

(1) el paso es la distancia entre dos tubos contiguos

En resumen, los tubos seleccionados para los cuatro intercambiadores de calor presentan un diámetro de  $\frac{3}{4}$  in, un espesor de 16 BMG, una longitud de 20 ft, un pitch de 1 in y una disposición de paso cuadrada.

#### **4.3.4 Deflectores y haces de tubos.**

El haz de tubos lleva deflectores transversales que tiene por finalidad alargar el camino del fluido que circula por la carcasa y mejorar, así, la transmisión por el exterior del tubo, aumentando la velocidad. Estos deflectores están constituidos, generalmente, por un disco que tiene un diámetro ligeramente inferior al de la carcasa y que posee un segmento libre igual al 25% del diámetro interior  $D_c$ , de la carcasa.

El espaciamiento entre deflectores, que condiciona directamente la velocidad del fluido, está comprendido entre  $D_c/5$  y  $D_c$ .

Además estos deflectores aseguran la rigidez del haz y son solidarios de la placa tubular fija por medio de unos tirantes y refuerzos que ocupan el lugar de los tubos.

#### **4.3.5 Material de construcción.**

Los intercambiadores se construyen en los materiales antes mencionados en la tabla 4.1.

### **4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMBIADORES DE CALOR DE LA PLANTA.**

#### **4.4.1 Cambiadores de calor de carcasa y tubos.**

Los cambiadores de calor son designados mediante números y letras establecidas por el Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA.).

##### **- Precalentador de carga.**

En este cambiador se calienta la alimentación de un caudal de 53,05 kg/h, procedente del tanque T-1, desde una temperatura de 25 °c a 82,22 °c. Esta corriente circula por lado de la carcasa, circulando por el lado de los tubos a contracorriente el aceite térmico, con un caudal de 71598,05 kg/h cuya temperatura desciende desde los 300 °c a los 250 °c.

Según la designación TEMA se trata de un cambiador de calor de cabezal flotante y anillo partido, con cubierta y canal desmontable de paso simple, diámetro interno de 387,35 mm (15 ¼ in) con tubos de 6,096 m (20 ft) de longitud. TAMAÑO 12-240 TIPO AES.

La trayectoria de los fluidos se ha seleccionado teniendo en cuenta las consideraciones acerca del funcionamiento de estos dispositivos: el fluido menos viscoso, el aceite térmico, circulará por el lado de los tubos.

##### **- Condensador de cabeza.**

Este cambiador tiene como fin el efectuar una condensación del producto de cabeza, con el fin de producir una fase líquida que asegure la destilación óptima en la sección de rectificación.

La corriente procedente de la cabeza de la columna condensa en este cambiador pasando por el interior de los tubos con un caudal de 27,31

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

kg/h. Entra con una temperatura de 84,13 °c condensándose hasta llegar a un temperatura de 21°c para ser enviado en parte hacia el tanque T-2, mientras que el resto se devuelve a la columna a través de la bomba P-2. La corriente refrigerante es agua de refrigeración con un caudal de 0,44 kg/h, pasando de una temperatura de 15 °c hasta llegar a una de 19 °c.

La corriente de este cambiador de calor para dirigirse al recipiente acumulador V-2, desde el que se suministra con un caudal de 18,3 kg/h al tanque T-2, mientras que desde el mismo recipiente, a su vez, se suministra a la columna V-1 mediante la bomba P-2 un caudal de de 9,01 kg/h.

Se trata de un cambiador de panel de tubos y con cabezal flotante con empaque externo y carcasa de flujo dividido, 590,55 mm (23 ¼ in) de diámetro interior con tubos de 6,09 m (20 ft) de longitud. TAMAÑO 12-240 TIPO BEU.

**- Rehervidor de la columna.**

Este cambiador tiene como fin el efectuar una vaporización parcial del producto de fondo de columna, con el fin de producir una fase gaseosa que asegure la separación en la sección de agotamiento.

La corriente procedente del fondo de la columna compuesta fundamentalmente por agua, variando su temperatura desde 111,6 °c a 112 °c. Dicha corriente tiene un caudal másico de 65.58 kg/h, y entra en el cambiador por la tobera inferior, circulando por el lado de la carcasa. Por el lado de los tubos circula la corriente de aceite térmico con un caudal de 851,88 kg/h, variando su temperatura desde 300 °c a 250 °c.

La corriente de vapor sale del rehervidor por la tobera superior y es recirculada a la columna de rectificación V-1. Su caudal másico es de 30,81 kg/h.

La corriente de líquido por la tobera de salida abandona el rehervidor constituyendo el producto de colas, su caudal másico es de 34,76 kg/h.

El cambiador está compuesto por un panel de tubos y un cabezal flotante con empaque externo y carcasa de flujo dividido, de 203,80 mm (8 in) de diámetro interior con tubos de 6,09 m (20 ft) de longitud. TAMAÑO 12-240. TIPO AJW.

**- Enfriador de salida de fondo.**

So objetivo es el enfriar la corriente procedente del rehervidor. Dicha corriente circula por la carcasa presentando un caudal másico de 34,76 kg/h y es enfriada por la corriente de agua de refrigeración que circula

por el interior de los tubos para ser almacenada en su respectivo tanque T-3 a una temperatura de 37°C. La corriente de agua presenta un caudal másico de 610,84 kg/h y su temperatura aumenta de 15 a 19 °C.

Consiste en un cambiador de calor de panel de tubos fijo, con cabezal estacionario de tipo casquete y de paso simple, de 939,60 mm (37 in) de diámetro interior con tubos de 6,09 m (20 ft) de longitud. TAMAÑO 19-240. TIPO BEM.

#### **4.5 ESPECIFICACIONES DE LOS CAMBIADORES DE CALOR.**

##### **4.5.1 Cambiadores de calor de carcasa y tubos.**

###### **- Material.**

Como ya se ha comentado, el material de construcción usado en los intercambiadores de calor está en función del grado de concentración del ácido, ya que a medida que desciende su concentración la corrosividad del ácido fluorhídrico aumenta proporcionalmente. Los materiales han sido seleccionados teniendo en cuenta este factor y se pueden ver en la tabla 4.1 de este capítulo.

Según las recomendaciones del fabricante se seleccionará el tipo de material a emplear:

**Tabla 4.3: Especificaciones de materiales para intercambiadores de calor**

<b>Intercambiador de calor</b>	<b>Carcasa y fondos embutidos</b>	<b>Placas tubulares y bridas forjadas</b>	<b>Tubo del haz</b>
<b>E-1</b>	ASME II B	ASME II B	ASME II B
<b>E-2</b>	ASME II A	ASME II A	ASME II A
<b>E-3</b>	ASME II B	ASME II B	ASME II B
<b>E-4</b>	ASME II B	ASME II B	ASME II B

###### **- Carcasa.**

La carcasa será del tipo E y J según la función del cambiador. Son carcasas de un paso único. Su espesor se regirá por la normativa TEMA empleada para su diseño.

###### **- Tubos.**

Los tubos son de ¾ pulgadas, un espesor de 16 BMG y una longitud de 20 ft. Presentan una disposición cuadrada con un pitch de 1 pulgada. Todos los equipos contarán con dos pasos por el lado de los tubos.

#### **4.6 ACEITE TÉRMICO.**

El aceite térmico es un fluido utilizado para la transferencia térmica, al cual se le adiciona una temperatura normalmente por acción de un quemador o resistencia eléctrica y es al que posteriormente se le extrae esta energía mediante un cambiador de calor para ser empleada en un proceso.

Es un fluido basado en aceites minerales parafínicos, altamente refinado y cuidadosamente seleccionado. "Shell" dispone de aceites con base mineral, conocidos con el nombre de "Thermia Oils", en diferentes grados de viscosidad. Para el presente proyecto se ha utilizado "Shell Termal Fluid S".

El aceite elegido es física y químicamente estable dentro del rango de temperatura para el que se ha especificado, posee buena resistencia a la oxidación, un alto coeficiente de transferencia de calor y una vida prolongada.

#### **4.7 CÓDIGOS DE CONSTRUCCIÓN Y DISPOSICIONES LEGALES DE APLICACIÓN.**

A continuación se citan las principales referencias bibliográficas a considerar en el diseño de cambiadores de calor.

- Código TEMA: "tubular Exchanger Manufactures Association".
- Código ASME: "Boiler and Pressure Vessel Code", Sección VIII, División I.
- Código ASME.: "Boiler and Pressure Vessel Code", Sección II.
- Reglamento de Instalaciones Petrolíferas (RD 2085/1994, de 20 de octubre).
- Modificaciones introducidas en el antiguo Real Decreto 2085/1994 por el reciente Real Decreto 1523/1999).
- Reglamento de Aparatos de Presión (RD 1244/1979).
- API Estándar 660 "Cambiadores de carcasa y tubos para servicios generales de refinería".

## **CAPÍTULO 5**

### **TRANSPORTE E IMPULSO DE FLUIDOS: TUBERÍAS Y BOMBAS**

#### **5.1 TRANSPORTE DE FLUIDOS: TUBERÍAS.**

En este apartado se especifican todos los aspectos involucrados a la hora de diseñar y seleccionar las distintas clases de tubería y su recubrimiento.

Las normas de uso más común en la actualidad en las industrias químicas, petroquímicas, petrolíferas y derivadas, son las normas aprobadas por "American Standard Association", ASA, que comprenden la mayoría de las normas que rigen el diseño de los sistemas de tuberías, las dimensiones y clasificación de tuberías, válvulas y accesorios en los Estados Unidos. La mayoría de estos estándares están apadrinados por la ASTM, la ASME y la AWWA.

El estándar de tuberías más importantes y de más frecuente uso es el Código para Tuberías a Presión ASA B31.1.

La sección B31.3 es específica para transporte de fluidos en las refinerías.

##### **5.1.1 Material.**

Se han elegido diferentes tipos de material para las distintas partes de esta planta, considerando la concentración a la que se encuentra el ácido fluorhídrico a su paso, así como el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas. Los materiales usados son Hastelloy C, Acero al carbono y aleación Ni-Cu (70/30).

##### **5.1.2 Diámetro.**

La tubería es sin duda el elemento básico de cualquier instalación. Se presentan en gran variedad de diámetros nominales, que se expresan en pulgadas. La norma ASA B 36.10 tabula diámetros desde 1/8 in (10 mm) hasta 36 in (0.914 m).

Una vez calculado el diámetro para todas las líneas de tuberías de la planta se acude a datos comerciales seleccionando así, el valor más próximo al calculado inicialmente.

Se han seleccionado tuberías de 1/8, 1/4, 2 1/2, 3, y 8 in.

### 5.1.3 Espesor.

Una vez seleccionado el diámetro de la tubería, en función de la temperatura y la presión para un material dado, se determina el espesor necesario mediante la fórmula de Barlow.

La gama de espesores normalizados viene expresado en términos de número de lista "Schedule number", de acuerdo con el ASA.

Los espesores comerciales definitivos están expuestos en los cálculos justificativos.

### 5.1.4 Aislamiento.

El espesor de aislamiento óptimo térmico es función de la temperatura de operación del diámetro nominal de las tuberías y del rendimiento óptimo del material aislante. Para las tuberías de esta planta se ha seleccionado aislamiento de fibra de vidrio.

Para el revestimiento del aislamiento se utiliza chapa de aluminio de 0,6-0,8 mm.

Los datos para la elección de espesor del aislante se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.1: Espesores de aislamiento

Nº línea	Diámetro de tubería (in)	Espesor de aislamiento (mm)
1	1/4	30
2	1/4	30
3	1/4	30
4	8	50
5	2 1/2	40
6	2 1/2	40
7	2 1/2	40
8	2 1/2	40
9	1/8	30
10	1/8	30
11	1/8	30
12	3	50

### **5.1.5 Distribución.**

Las tuberías para el transporte de ácido fluorhídrico se montarán en paralelo, dejando entre ellas una distancia tal que anule la posible influencia mutua entre ellas. Serán de la mayor longitud posible y se unirán mediante bridas, las cuales se limitarán a lo estrictamente necesario para reducir las posibles fugas.

Los haces de tuberías pueden ser aéreos, apoyados sobre durmientes en el suelo, enterrados o alijados en fosos. En este caso, dichos haces irán apoyados sobre durmientes en el suelo. Se mantendrán siempre limpias de maleza de modo que haya siempre espacio libre entre ellas y el suelo. Además, se dejará una zona libre de un metro a ambos lados del haz de tuberías exenta de maleza y materias combustibles para evitar que un posible incendio sobre éstas afecte a las tuberías.

## **5.2 EQUIPOS PARA LA IMPULSIÓN DE FLUIDOS: BOMBAS.**

Una bomba es un dispositivo físico que se emplea para transportar fluido desde una posición a otra, a través de conducciones. Los requisitos básicos para definir su aplicación están estrechamente relacionados con las presiones de succión y descarga, con la pérdida de presión transmitida, y la velocidad de flujo especificada.

Aunque existen diversos tipos de bombas, la bomba centrífuga es, con diferencia, el tipo de dispositivo que más se utiliza en la industria química, así como en la refinería, para transferir líquidos de todo tipo. Son sencillas, presentan bajo costo inicial, flujo uniforme (sin pulsos), necesitan pequeño espacio para su instalación, bajos costos de mantenimiento, tienen un funcionamiento silencioso y capacidad de adaptación para su empleo con una unidad motriz de motor eléctrico o de turbina. Por tanto, se ha elegido dicho tipo de bomba en el diseño de esta planta.

### **5.2.1 Emplazamiento de las bombas.**

El conjunto de bombas para la transferencia de líquidos petrolíferos, según se señala en el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas, se encuentran reunidas en un recinto denominado estación de bombeo.

### **5.2.2 SELECCIÓN DE BOMBAS.**

El tipo de bomba que se ha seleccionado pertenece a la serie F. Las normas DIN 24255/ NF E-44111 definen los campos de trabajos hidráulicos y principales dimensiones de las bombas centrífugas horizontales.

Así, la bomba P-1 que es la encargada de impulsar la carga de ácido que entra a la columna, presenta una potencia de 3 kW y un rendimiento del 55 %.

La bomba P-2, que se encarga de enviar de devolver a la columna como reflujo la corriente de productos, absorbe una potencia de 4 kW con un rendimiento del 45%.

## **5.2 CÓDIGOS DE CONSTRUCCIÓN Y DSIPOSICIONES LEGALES DE APLICACIÓN.**

A continuación se citan las principales referencias bibliográficas a considerar en la selección de tuberías y bombas.

- Código ANSI B-31.3: "Tuberías en Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo".
- Código ASME.: "Boiler and Pressure Vessel Code", Sección II.
- Norma UNE 92102:1998 "Materiales Aislantes Térmicos. Lana de vidrio. Definiciones, clasificación y características.
- ANSI B-16.5: "Pipe Flanges and Flanged Fitting".
- Normas ISA: "Centrifugal Pumps fro Petreleum, Heavy Duty Chemicals and Industry Services".
- API 6.10: "Centrifugal Pumps fro Petreleum, Heavy Duty Chemicals and Industry Services".

## **CAPÍTULO 6**

### **DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO**

#### **6.1 TANQUES DE ALMACENAMIENTO.**

##### **6.1.1 Introducción.**

El almacenamiento de ácido fluorhídrico se lleva a cabo en depósitos o tanques formando parte de las distintas operaciones en la industria tales como: producción, refinación, distribución, inventarios/ reservas y servicios.

La selección del tanque más adecuado se realizará de acuerdo con el “Reglamento de Instalaciones Petrolíferas” o con el “Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos”, ya que el primer Reglamento especifica que así se puede hacer. Debido a que no se está tratando con un producto que tiene punto de inflamabilidad, en el presente proyecto se ha utilizado el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y no el de Instalaciones Petrolíferas, el cual clasifica los productos por su punto de inflamabilidad para su almacenamiento.

##### **6.1.2 Clasificación de productos.**

El ácido fluorhídrico está clasificado en su ficha técnica de seguridad como corrosivo y muy tóxico.

##### **6.1.3 Tipo de almacenamiento.**

Al establecerse como condición más severa la toxicidad de dicho producto se ha de acudir a la Instrucción Técnica Complementaria MIE APQ-7. Dicha instrucción clasifica los tanques de almacenamiento en tres tipos fundamentales:

- tanques atmosféricos.
- tanques a baja presión.
- tanques a presión.

Debido a la experiencia, los tanques serán de tipo atmosférico, horizontal, siendo estos recipientes diseñados para soportar una presión interna manométrica igual a la de diseño, medida en el techo del tanque. Los tanques atmosféricos pueden ser de techo fijo, de techo flotante; de techo fijo con pantalla flotante. Los tanques no se usarán para almacenar líquidos a su temperatura de ebullición o superior. En el presente proyecto el tanque atmosférico a utilizar será de techo fijo. En

la siguiente tabla se pueden ver las temperaturas a las que se almacenan cada uno de los productos.

**Tabla 6.1: Temperaturas de almacenamiento**

Depósito	Temperaturas (°c)
T-1	25
T-2	21
T-3	37
T-4	21

#### **6.1.4 Capacidad de almacenamiento de los tanques.**

Para el dimensionamiento de los tanques de los tanques de almacenamiento se ha partido de una base de cálculo de 30 días.

Tras una consulta al personal “*in situ*” en la planta de “Petresa” se obtuvo información relativa al consumo anual de ácido, con la cual se ha dimensionado los tanques de almacenamiento.

Los valores obtenidos se muestran en el siguiente:

**Tabla 6.2: Dimensiones de los tanques.**

Tanque	Volumen (m <sup>3</sup> )	Longitud (m)	Diámetro externo (m)
T-1	20,000	1,370	4,450
T-2	30,000	1,570	5,071
T-3	30,000	1,570	5,071
T-4	0,001	0,060	0,160

#### **6.1.5 Distribución de los tanques.**

Los tanques de almacenamiento disponen un cubeto de retención cuya capacidad y dimensiones vienen especificadas en los cálculos justificativos.

Los tanques T-2 y T-3 están colocados paralelamente en hilera, teniendo una calle o vía de acceso entre ellos que permita la libre circulación de los medios móviles de lucha contra incendios.

Su distribución en el interior del cubeto se puede observar en planos.

#### **6.1.6 Características de construcción de los cubetos.**

Para evitar roturas, en particular en caso de incendio, las paredes del cubeto estarán constituidas por diques de tierra o muros de material no combustible y resistente a la presión de los ácidos eventualmente derramados. Las paredes laterales deben ser impermeables y las paredes de las esquinas deberán ser reforzadas.

La distancia horizontal entre la pared de los tanques y el arranque interior del muro del fondo del cubeto, será como mínimo, de 1,5 m, según el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos.

El paso de las tuberías a través de las paredes del cubeto, deberá hacerse de forma que la estanqueidad quede asegurada mediante dispositivos de material incombustible. Si las paredes son construidas de hormigón debe permitir la libre dilatación de las tuberías.

#### **6.1.7 Materiales.**

De los materiales en placas, entre los permitidos por la norma API-650, se han seleccionado los que se destacan en el siguiente cuadro en el que también aparecen los espesores de cada uno de ellos.

Tabla 6.3: Materiales de los tanques de almacenamiento.

Tanque	Material
T-1	Hastelloy C
T-2	Acero al carbono
T-3	Aleación Cu-Ni 70/30
T-4	Acero al carbono

#### **6.1.8 Pruebas.**

Los tanques han de ser probados hidrostáticamente (llenado de agua a temperatura ambiente), y su llenado debe ser gradual de manera que se pueda detectar a tiempo posibles fugas, asentamiento de la fundación o cualquier otro problema. Será necesario el revisar la API-510, la norma API-570 así como la norma API RP 572.

#### **6.2 RECIPIENTE ACUMULADOR.**

Su misión es recibir el efluente del condensador de cabeza, constituyendo una reserva de producto líquido para asegurar un caudal regular de reflujo.

Estos recipientes pueden ser verticales o horizontales. En esta planta en particular se encuentra en disposición horizontal, debido a que en la práctica, en dicha refinería se disponen de este tipo de tanques.

### **6.2.1 Cálculo de las dimensiones del recipiente.**

El método de cálculo para hallar las dimensiones de este tipo de recipiente se basa en la valoración de un tiempo tal, que la retención de líquido se la correcta para asegurar un correcto reflujo.

Estando asegurado el control del funcionamiento por la observación y el reglaje del nivel del líquido en el recipiente, es lógico considerar un nivel normal de trabajo NN, situado en la sección ecuatorial, y las variaciones máximas admisibles, es decir un nivel alto NA y un nivel Bajo NB.

Para recipientes con diámetro superior a 60 cm, el nivel bajo debe situarse 20 o 30 cm por encima del fondo.

### **6.2.2 Diseño mecánico del recipiente acumulador.**

Para el diseño del acumulador de reflujo se aplicarán las especificaciones para el diseño de recipientes a presión propias de refinerías.

La presión de diseño presenta un valor de  $3,5 \text{ kg/cm}^2$ , siendo la temperatura de diseño de  $120^\circ\text{C}$ , (temperatura por encima de la de salida de la columna).

#### **6.2.2.1 Material.**

El recipiente acumulador se construirá en acero al carbono SA-516.

#### **6.2.2.2 Espesor requerido**

El cálculo del espesor requerido del recipiente se basará en las exigencias del código ASME, Sección VIII, División 1, para recipientes horizontales. Al igual que en el cálculo de espesor de la columna, deberá tenerse en cuenta que, el espesor mínimo requerido, excluido el sobreespesor para la corrosión, de las envolvente y fondos de los recipientes a presión, no será inferior a  $D_0/1000+2,54 \text{ mm}$ ; siendo  $D_0$ , el diámetro del recipiente en milímetros, ni inferior a 3 mm recipientes de media y alta aleación, incluido cualquier tipo de acero sea cual sea.

Se elegirá el mayor espesor que resulte y se redondeará hasta alcanzar un espesor comercial.

Se adopta un espesor de 64,87 mm, incluido un sobreespesor para la corrosión de 1,5 mm, gobernado por especificación y se redondea hasta conseguir un espesor comercial de chapa de 70 mm.

#### **6.2.2.3 Fondo del recipiente.**

El recipiente acumulador presenta un fondo toriesférico de tipo KLOPPER.

El espesor de dicho fondo resulta ser de 64,87 mm, gobernado por especificación.

Se redondeará hasta obtener un espesor comercial de 70 mm.

#### **6.2.2.4 Soportes.**

El recipiente se diseñará para ser soportado por dos cunas que serán de acero al carbono y abarcarán, al menos, 120° de la circunferencia del recipiente.

Las cunas estarán unidas al recipiente a través de chapas de refuerzo del mismo espesor de la envolvente y tendrán sus mismas dimensiones de acuerdo con el Standard; STD-004.

#### **6.2.2.5 Tubuladuras, bocas hombres y de inspección.**

Todas las conexiones se realizarán mediante bridas, tal y como se explicó en el mismo apartado correspondiente al diseño mecánico de la columna.

En la parte superior aparece una tubuladura de 63,5 mm (2 ½ in) de diámetro nominal. El mismo valor se presenta para las tubuladuras correspondientes a la tubería que conduce el reflujo y la de destilado al tanque T-2.

El recipiente acumulador presenta una boca de hombre en la parte superior de 24 in; y el venteo que también está colocado en la parte superior, se sitúa en el extremo opuesto de la boca de hombre.

Al igual que en el resto de depósitos, la boca de hombre se colocará de forma que se eviten los riesgos personales que pudieran producirse al entrar o salir personal de la columna.

#### **6.2.2.6 Aislamiento.**

Se usará empleará el mismo tipo de aislamiento que el utilizado para la columna V-1.

#### **6.2.2.7 Pruebas y análisis.**

Se realizarán pruebas hidráulicas y análisis vibratorios según las especificaciones para el diseño de recipientes a presión.

#### **6.3 CÓDIGOS DE CONSTRUCCIÓN Y DISPOSICIONES LEGALES DE APLICACIÓN.**

A continuación se citan las principales referencias bibliográficas a considerar en el diseño de los depósitos.

- Código ASME: “Boiler and Pressure Vessel Code”, Sección VIII, División 1.
- Código ASME.: “Boiler and Pressure Vessel Code”, Sección II.
- Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (RD 379/2001, de 6 de Abril).
- Especificación Técnica complementaria MIE-APQ7.
- Especificaciones Técnicas de Ingeniería sobre Diseño de Recipientes a Presión.
- Norma API 510: “Pressure Vessel Inspection Code”.
- Norma API RP 572: “Inspection of Pressure Vessels”.
- Norma API 570: “Piping Inspection Code”.

## **CAPÍTULO 7**

### **OPERACIONES DE MANTENIMIENTO**

#### **7.1 INTRODUCCIÓN.**

El proceso de montaje y puesta en marcha de toda la planta industrial precisa de unas condiciones de funcionamiento que aseguran, al menos inicialmente la consecución del proceso productivo adecuado.

Con el tiempo se producen una serie de circunstancias que hacen que las condiciones iniciales varíen. El desgaste de los elementos mecánicos bajo fricción, el deterioro de las propiedades de los lubricantes en la maquinaria, la mala utilización de las máquinas y equipos, o la existencia de condiciones ambientales agresivas sobre elementos sensibles, pueden desencadenar en averías si no se toman las acciones correctoras pertinentes.

Por todo ello, surge la necesidad del mantenimiento. Su objetivo prioritario es garantizar la continuidad del funcionamiento del proceso productivo evitando que se produzcan averías. Para lograr, este objetivo, hay que disponer de los recursos técnicos, materiales y humanos necesarios para integrarlos en la estructura de la organización industrial.

#### **7.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO.**

Dentro del mantenimiento pueden distinguirse diferentes modos de realizar los trabajos, que pueden ir desde preparar tan pronto como se inicie el desgaste pero antes de llegar al peligro de parada o problema de calidad, hasta el extremo opuesto que sería esperar a que el desgaste o anomalía traiga consigo la parada final del equipo o repercuta en la calidad del producto fabricado. Ambos extremos son antieconómicos y, por tanto, en cada caso deben establecerse unos límites o tolerancias de desgaste que nos determine cómo y cuándo se debe intervenir.

Existen tres tipos de mantenimientos en cuanto a la forma de realizar la intervención, estos son:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.

Cada caso de estos tipos de mantenimiento se realiza, en general, de manera simultánea en toda la unidad, dependiendo el nivel de aplicación de cada uno de ellos por razones puramente económicas.

### **7.2.1 Mantenimiento Correctivo.**

Este método de mantenimiento corresponde al criterio de reparar la avería cuando esta se produce, arreglando o reemplazando el elemento averiado inmediatamente, o bien posteriormente en un paro programado. Su herramienta es la orden de trabajo (OT). La adopción de este sistema de mantenimiento en exclusiva solo se justifica en los siguientes casos:

- Cuando los costes indirectos del fallo son mínimos y los requerimientos de seguridad lo permiten.
- Cuando los paros eventuales de las máquinas no son críticos para la producción.
- Cuando se adopta una política de renovación frecuente del material.

Hay que tener en cuenta que las averías producidas pueden suponer la detención del proceso productivo, con las graves consecuencias económicas que ello ocasiona. En este tipo de mantenimiento las reparaciones tienen como base la emergencia, por lo tanto la improvisación y la presión acompaña a la mayoría de ellas. Además presenta otras desventajas, como los tiempos de paro imprevistos, ausencia de programación de trabajos, traslados continuos del personal por cambios en las prioridades de reparación, etc.

### **7.2.2 Mantenimiento preventivo.**

Este método de mantenimiento consiste en efectuar las intervenciones en las máquinas y equipos antes de que se produzca la avería, y a intervalos fijos previamente determinados. Con ello se pretende prevenir la avería antes de que ocurra. Es necesario crear una metodología a fin de poder definir la frecuencia de las intervenciones en cada máquina y equipo. Hay que tener en cuenta, que sea cual fuera la naturaleza y el nivel preventivo puesto en práctica, subsistirá inexorablemente un porcentaje de fallos residuales que requerirán acciones correctivas.

Se distinguen dos tipos de actuaciones diferentes dentro del mantenimiento preventivo:

- Gamas: actividades encaminadas a la sustitución de componentes, piezas, etc., independientemente de sus estado; para ello se utiliza un método sistemático y organizado de forma que no produzcan interferencias con los programas de producción.

- Inspecciones: su objetivo es comprobar el correcto funcionamiento de la maquinaria y equipos, normalmente en marcha, mediante la inspección visual de la misma y su entorno o anotando alguno de sus parámetros característicos.

La ventaja principal de este tipo de mantenimiento, también conocido como preventivo sistemático, es la disminución de los paros imprevistos, obteniéndose un funcionamiento más continuo del proceso productivo. Además existe la posibilidad de programar reparaciones.

Los inconvenientes que plantea este tipo de mantenimiento son principalmente, el provocar ciertos paros a la producción para poder efectuar las intervenciones, y lo antieconómico que resulta la sustitución de piezas o elementos antes del final de su ciclo de vida.

Tanto si se trata de una intervención preventiva como correctiva, la reparación puede efectuarse conservando la máquina o el equipo afectado con las características originales, o bien a la vista de las anomalías encontradas se efectúan unas determinadas modificaciones con el fin de aumentar la eficacia de la intervención, obteniendo así una vida más prolongada del equipo. Esto constituye otro tipo de actividad llamada Mantenimiento de Mejora.

### **7.2.3 Mantenimiento predictivo.**

Este método de mantenimiento consiste en predecir el estado y grado de fiabilidad de una máquina o instalación sin necesidad de pararla. Para ello se recurre a determinadas técnicas que permiten la realización de mediciones de determinados parámetros críticos de los activos de producción. Las mediciones efectuadas se comparan con los valores establecidos por Ingeniería de planta, o bien por el fabricante del equipo, para detectar y analizar las variaciones encontradas y emprender las acciones preventivas que sean necesarias. Este tipo de mantenimiento también es conocido como condicional.

Esta forma de hacer mantenimiento tiene la ventaja de ajustar con mayor precisión el ciclo de vida real de los componentes susceptibles de recambio o renovación. Sin embargo, presenta el inconveniente de necesitar equipos de medida sofisticados de elevado coste. Además se requiere personal con alto grado de cualificación para la interpretación de los resultados obtenidos.

Las técnicas más utilizadas para realizar mantenimiento predictivo son las siguientes:

- Análisis de vibraciones.
- Análisis de lubricantes.
- Ensayos no destructivos.

### **7.3 COMETIDOS DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO.**

Se pueden establecer como objetivos básicos del Servicio de Mantenimiento los siguientes:

1. Mantener el nivel necesario de disponibilidad y fiabilidad sobre el conjunto de los elementos que forman el capital productivo.
2. Garantizar el mantenimiento de las instalaciones y maquinaria en las condiciones de seguridad establecidas legalmente por industria.
3. Contribuir a mantener el nivel de calidad sobre los productos o servicios proporcionados. Para ello, se limitará la degeneración de la maquinaria, y sus consecuencias de aumento de producción defectuosa o de rechazo.
4. Una vez alcanzados los objetivos anteriores, reducir al mínimo los costes totales de mantenimiento.
5. Proporcionar asistencia, partiendo de la experiencia adquirida, a todo aquello que interviene en el proyecto y gestión del proceso industrial.

La dirección ha de proporcionar los medios materiales y humanos para el cumplimiento de estos objetivos, así como facilitar la coordinación de las actividades de mantenimiento con el resto de las funciones industriales. Las acciones que el servicio de mantenimiento tiene que poner en práctica para conseguir los objetivos indicados pueden estructurarse de la siguiente forma:

1. Efectuar intervenciones especializadas, preventivas y correctivas, sobre la maquinaria e instalaciones a fin de mantener su eficacia, con revisiones completas o parciales, reparación de averías, eliminación de anomalías, ejecución de modificaciones y restauraciones.
2. Crear una organización adecuada para la preparación del trabajo, la prevención de plazos, el aprovechamiento de materiales y la programación.
3. Estudiar y llevar a cabo las negociaciones con la empresa externa a las que van encomendar los trabajos de mantenimiento concretos que, por la excesiva carga de trabajo del momento o por la particular especialización, no pueden ser atendidas por el Servicio de Mantenimiento. Controlar la calidad de la ejecución de estos trabajos.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

4. Preocuparse de la continua mejora técnica de los medios que el mantenimiento dispone, ya sea renovando los medios en si, o bien desarrollando procedimientos, útiles y medios de nueva concepción más racionales.
5. Fomentar la puesta al día del nivel técnico de los operarios y del personal de supervisión mediante una acción continua y directa, a parte de utilizar la documentación específica y organizar cursos de formación.
6. Seguir de cerca la puesta en marcha de la maquinaria e instalaciones nuevas a fin de adquirir los conocimientos técnicos necesarios para su futuro mantenimiento.
7. Favorecer, conjuntamente con otros departamentos, la difusión del conocimiento de la maquinaria y las instalaciones, con objeto de mejorar continuamente su empleo desde el punto de vista técnico.
8. Colaborar constantemente con los departamentos técnicos encargados, para proveer elementos que aporten las correcciones y mejoras en la realización de proyectos.
9. Participar en la definición de los repuestos y materiales técnicos a adquirir a proveedores externos, vigilando las faltas de los mismos y cuidando de la organización de los almacenes para su conservación.
10. Mantener la seguridad de las instalaciones a un nivel en el que el peligro y la probabilidad de accidentes personales queden, por lo menos teóricamente, eliminados.
11. Secundar la experimentación y la introducción de técnicas organizativas, colaborando y participando en su aplicación y en la obtención de los éxitos previstos.
12. Llevar un registro significativo de los hechos y datos históricos referentes a la naturaleza, frecuencia y costes de las intervenciones efectuadas sobre cada medio de producción.

Todas estas actividades deberán ser complementadas con otras no menos importantes como trabajos de taller, pruebas y ensayos, supervisiones, preparaciones previas, calibraciones, etc., de manera que se asegure la ocupación completa de la jornada de los operarios y técnicos pertenecientes al Servicio de Mantenimiento.

## **CAPÍTULO 8**

### **IMPACTO AMBIENTAL**

#### **8.1 INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo se realiza una síntesis del Estudio de Impacto Ambiental a realizar como consecuencia del Proyecto de la Columna de Rectificación, al objeto de analizar la incidencia del mismo al medio ambiente.

Se ha tomado como referencia el contenido recogido en:

- Real Decreto Ley 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre.
- Ley 7/1994, de 18 de mayo, de protección ambiental de Andalucía.
- Decreto 292/1995, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Impacto Ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

#### **8.2 INVENTARIO Y VALORACIÓN AMBIENTAL.**

##### **8.2.1 Valoración ambiental de la situación actual y de su evolución.**

###### **a. Medio natural.**

###### **1. El Clima.**

Se define el clima como mediterráneo marítimo, caracterizado por la benignidad de las temperaturas, con ausencia casi total de heladas y una distribución de las lluvias poco homogénea, con un mínimo muy acusado en los meses de julio y agosto. En cuanto a las temperaturas, éstas no son extremas, debido al papel regulador del mar, oscilando la media anual en la costa entre los 17 y 20 °c, disminuyendo en el interior. En la costa no existe propiamente el invierno, ya que ningún mes tiene una temperatura inferior a 10 °c en lugares por debajo de los 300 m. Las precipitaciones son abundantes, irregulares y torrenciales, siendo la precipitación media anual de 881 m<sup>3</sup>, y el número medio anual de tormentas de 10 a 15, (ver Plano 7). La zona se encuadra en las zonas de riesgo medio de sequía. Un factor clave que caracteriza la zona son los fuertes vientos, bien de procedencia atlántica (ponientes) o de procedencia mediterránea (levante). Se estudia además el grado de insolación, que es elevado en la zona en cuestión, la humedad relativa, cuya media anual supera el 75 % y la evotranspiración potencial (ETP).

## **2. Geología.**

Se distinguen varios conjuntos geológicos: Zona subbética, terrenos de cobertera, de edad postpaleozoica, de facies casi exclusivamente marina; unidades alóctonas del Campo de Gibraltar (Algeciras, Aljibe y Bolonia, estando las dos primeras en el área de estudio), en las que destacan formaciones arcillosas y la serie de arenisca del Aljibe; y terrenos postorogénicos (desde el Mioceno Superior hasta el cuaternario).

Se presenta una tectónica actual activa, al ser zona de unión de las placas Ibérica y Africana y la microplaca de Alborán,. Litológicamente, en la zona, se diferencian llanuras, terrazas, conos, coluviones, playas, dunas, cuaternario indiferenciado, conglomerados, calizas, flysch, arenisca, margas y arcillas, arcillas, arenas y margas, limos y arcillas, calizas, margas y areniscas. La central se ubicará en la zona descrita como "llanuras", siendo una zona urbanizada y totalmente alterada por anteriores rellenos antrópicos

## **3 Geomorfología.**

La zona se caracteriza por relieves bajos de ondulaciones suaves y pequeñas llanuras aluviales de los ríos que aparecen de manera discontinua entre las suaves formas de las colinas.

## **4. Suelos.**

### **a.- Contaminación**

Los mismos factores que afectan a las aguas subterráneas producen un efecto contaminante en los suelos. Los usos agrícolas intensivos en las cuencas del Guadiaro-Hozgarganta y Guadarranque-Madre Vieja dan lugar a una contaminación por pesticidas y compuestos nitrogenados. Los vertidos incontrolados en los núcleos ilegales (Albarracín, etc) y las deficiencias en el sistema de depuración y vertidos de las aguas residuales urbanas son otros factores reales de riesgo.

Se producen grandes cantidades de residuos tóxicos y peligrosos de origen industrial, por encima de las 12.000 Tm/año. El 50% de estos residuos proceden de la refinera de petróleo de San Roque. El almacenamiento y transporte de dichas sustancias a vertederos específicos en otros lugares del territorio español (Alcalá de Henares), para su tratamiento constituye un potencial de riesgo muy importante dada la alta toxicidad de las sustancias de las que se trata.

Existe un estudio sobre los suelos contaminados en la provincia de Cádiz encuadrado en el Plan Nacional de Residuos de 1989. En Marzo

de 1995 se aprobó el nuevo Plan de Residuos Tóxicos y Peligrosos que contempla también estudios para el control y recuperación de zonas afectadas por vertidos. De los 49 emplazamientos contaminados inventariados en la provincia de Cádiz, tres se encuentran concretamente en el Polígono Petroquímico de Guadarranque, en San Roque. Es necesario advertir sobre la enorme dificultad que implica la recuperación y regeneración de estos suelos contaminados.

#### **b.- Erosión.**

Se entiende por erosión el proceso de destrucción de las rocas y el arrastre de los suelos mediante la acción de agentes naturales, fundamentalmente el agua (ataque superficial y en profundidad) y el viento (por deflación y abrasión).

La erosionabilidad o susceptibilidad a la erosión se relaciona frecuentemente con la estabilidad de los suelos. Si bien en general, se entienden como terrenos inestables aquellos en que la causa del movimiento está asociado al propio terreno y no a un factor externo.

Tras la erosión de los materiales se produce su sedimentación en zonas bajas del territorio y en las desembocaduras de los ríos. La erosionabilidad en San Roque se halla reducida debido al efecto atenuante de la vegetación. La degeneración de los bosques, o la sustitución de estos por usos urbanos, industriales y agrícolas intensivos, producen un aumento del riesgo a la erosión que en algunos puntos se ha materializado en una desertificación avanzada (cimas de las colinas y serranías).

Otro factor natural que favorece la erosión es la fuerte pendiente de las laderas, que en el término se encuentran.

Un tercer factor agravante del proceso son los fuertes vientos del estrecho.

Los abusos en los aprovechamientos de los bosques (carboneo intensivo, etc...) han eliminado gran parte de la cubierta vegetal de las colinas de la Sierra del Arca, Sierra de Almenara y Sierra Carbonera. Esta causa se une a los frecuentes incendios forestales. El deterioro del Bosque origina un paisaje de pastizal en regresión muy frágil frente a los vientos y lluvias.

La intensa agricultura de las vegas de los ríos unida a las características de los blandos suelos cuaternarios, favorece una progresiva pérdidas de suelos fértiles y por tanto la reducción de la capacidad productiva del territorio.

En lo que se refiere al frente marítimo, las construcciones de los puertos, espigones, y pantalanes (Crinavis, CEPESA, Marina de

Sotogrande, etc.), modifican las corrientes marinas afectando a las playas y produciendo su regresión y desaparición. La ocupación de sistemas dunares contiguos a las playas por desarrollos urbanos influye también en la disminución de la capacidad de autorregeneración de las playas incrementando los procesos de erosión.

Las extracciones de áridos en canteras a cielo abierto que abundan en el territorio de San Roque son un factor de deterioro ambiental que favorece la erosión, el deterioro de comunidades bióticas de flora y fauna en las proximidades y por supuesto del paisaje visual.

Relacionado con la erosión, pero también con el clima, se tiene el riesgo de inundaciones. Las características del régimen pluviométrico, la cercanía de las sierras hacen del territorio un espacio de riesgos elevados de inundación. La regulación de los recursos hidrológicos en la montaña permite una cierta atenuación de este riesgo natural. Esto ocurre en el Guadarranque, donde a pesar de todo ha de evitarse la instalación de usos urbanos en los cauces de inundación del río (Estación, Taraguillas, Guadarranque, Madre Vieja). El tramo inferior del Guadiaro es un sector de riesgo medio de inundación en el que la posible construcción de la Presa de Hozgarganta supondrá una mejora en la regulación de la cuenca.

### **c.- Agotamiento del recurso superficial suelo.**

La actividad humana exige del consumo de este bien para el desarrollo de los medios urbanos, y el mismo tiene por su propia naturaleza un carácter no reciclable, de modo que hecho, éste no puede ser subsanado.

En la situación actual y con algo más de 22.000 habitantes San Roque tiene unos índices de territorialización muy altos. Las Grandes Infraestructuras de Transporte, los usos industriales, los desarrollos turísticos, consumen grandes cantidades de suelo. A esto hay que unir el carácter polinuclear de San Roque con ocho núcleos muy desvinculados de la ciudad originaria, además de las ocupaciones ilegales que se están desarrollando en el entorno norte del Núcleo de San Roque.

La cantidad de Suelo disponible se ha convertido en un bien escaso y sumamente apetecible y presionado, pero fundamental para mantener el equilibrio ambiental del medio biótico de San Roque.

## **5. Edafología.**

Los suelos más típicos son la tierra parda forestal y el lehm margoso. En la parcela de la Central el suelo original fue sustituido por una capa de zahorra compactada, constituyendo un basamento artificial sin valor ambiental. Asimismo, el tramo de playa tiene escasa presencia de materia orgánica, por lo que puede considerarse con un valor limitado como recurso productivo.

## **6. Vegetación.**

Debido a la extensión y variedad, se aconseja distinguir, en base a criterios de homogeneidad de coberturas vegetales y usos, 2 grandes sub-unidades que se tratarán de forma independiente:

- Sub-unidad de Repoblaciones Forestales y Bosques Autóctonos.
- Sub-unidad de Mosaico de Cultivos, Matorral y Pastizal.
- Sub-unidad de Repoblaciones Forestales y Bosques Autóctonos: Son aquellos espacios en que las masas arbóreas cobran predominio frente a otros aspectos. Ocupa aproximadamente la mitad Oeste del total de la unidad, ciñéndose a la Sierra Almenara al Noroeste, y extendiéndose hasta el Pinar del Rey en el curso alto del arroyo Madre Vieja.

Su geología es muy heterogénea, predominando las calizas arenosas con restos orgánicos del Plioceno y las calizas, areniscas y margas anteorogénicas.

Del mismo modo la geotécnica también es variada, destacando los terrenos con condiciones constructivas desfavorables, con problemas de tipo geomorfológicos y geotécnicos, en las áreas centrales, y terrenos con condiciones constructivas aceptables, con problemas de tipo geomorfológicos e hidrológicos, en los extremos Norte y Sur de la sub-unidad. La vegetación predominante son las repoblaciones forestales de pinos y los bosques de alcornoques.

En cuanto a las repoblaciones forestales, su mejor representación dentro de la subunidad es El Pinar del Rey al Norte del núcleo de San Roque (350 Ha), y el Pinar del Rendón al Sur del anterior. Son fruto de repoblaciones con fines madereros a costa del alcornoque originario. Otras superficies de pinar se encuentran al Oeste de la Sierra del Arca, junto al límite del término municipal, en la zona del Cerro del Guijo Alto.

Junto a éstas, otras repoblaciones no han prosperado, como en el Norte de la Sierras del Arca, Almenara y Carbonera, en donde la densidad es

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

baja e incluso ha evolucionando hacia el matorral. En algunos lugares esta degeneración del pinar ha potenciado la regeneración natural del alcornocal, formando en algunos casos un sotobosque muy desarrollado. En estas zonas se han vigorizado los procesos de erosión y se están produciendo pérdidas de suelo importantes.

Respecto al bosque autóctono de alcornoques, pueden encontrarse masas dispersas por todo el término, vestigio del bosque originario. La mayor concentración se halla dentro de esta subunidad al Norte y al Oeste del Pinar del Rey y a lo largo de toda la Sierra de Almenara con mayores densidades en su vertiente Oeste.

Debido a la alta calidad y diversidad del sotobosque que acompaña al bosque de alcornoques y a la diversidad de fauna que soporta, constituye un tesoro ecológico valiosísimo, que a la vez reporta interesantes rendimientos junto a las repoblaciones forestales del término, culminando la altísima potencialidad ecológica, paisajística y patrimonial de la unidad (por ella transcurre de un extremo a otro la Cañada Real de Manilva) subunidad de Mosaico de Cultivos, Matorral y Pastizal: Es el otro gran espacio de esta unidad, en la que la característica fundamental es la ausencia total o parcial de masa arbórea. Comprende la mitad Este de los terrenos delimitados por los valles del Guadarranque y del Madre Vieja, conteniendo los terrenos situados entre las estribaciones de la Sierra de Almenara y la autovía, así como los comprendidos entre el valle del Madre Vieja y el valle del Guadalquivir -Borondo.

Respecto a la geología, la diversidad de materiales es amplia destacándose la presencia de la Arenisca del Algibe, Flysch de Algeciras con lutitas rojas en la base, arcillas, margas, calizas arenosas con restos orgánicos y areniscas del Plioceno.

En cuanto a la geotécnica, se encuentra todo tipo de terrenos desde los que poseen condiciones constructivas favorables, localizados entre los valles del Guadarranque y de Madre Vieja, y los que acogen en la actualidad el complejo turístico residencial de Sotogrande, y terrenos con condiciones constructivas aceptables y desfavorables, en la zona central de la Sub-unidad.

El paisaje predominante es el de colinas, lomas, pastizales y matorrales, que adquieren un especial valor en la estructura del espacio. Cabe destacar que una gran área ha sido declarada, en el PGOU, Área de Regadío de Especial Protección y Zonas de Huertas en el entorno del valle de Madre Vieja.

Como ya se ha mencionado, el tipo de vegetación predominante de esta sub-unidad es el matorral y pastizal. El matorral es una formación degradada del bosque originario, que se encuentra profusamente

distribuido por todo el término en transición de las masas forestales a pastizales. El pastoreo irracional, la pérdida de suelos por erosión, el abuso del carboneo, entre otras, son algunas de las razones que han provocado esta degeneración del matorral.

Estos espacios son muy frágiles a cualquier impacto visual. En ellos pueden prosperar la regeneración natural de rodales de bosque autóctonos, como ya ocurre en las partes más deshabitadas del término.

En las zonas de cultivos en regadío y huertas, se localizan posibles impactos por contaminación de los suelos y acuíferos por fertilizantes y pesticidas, así como la sobreexplotación de los mismos.

Pero quizás el mayor problema sea la ocupación del suelo, al que está sometida esta unidad por el desarrollo turístico que se localiza al Este de la Autovía, entre las estribaciones de la Sierra del Arca y Sierra Almenara. Aunque son espacios turísticos con una ocupación blanda, de baja densidad, con notable presencia de superficie verde y de impacto visual blando, ocupan una gran superficie de suelo debido a las dotaciones de ocio como campos de Golf y de Polo.

Se consideran fundamentales el diseño de estrategias dirigidas a garantizar la conservación de acuíferos, bosques de riberas, masas boscosas autóctonas, hitos sobresalientes en el paisaje y entornos de especial interés ambiental.

## **7. Fauna.**

La riqueza faunística de San Roque se centra en dos factores, en primer lugar existe una fauna autóctona diversa y profusa, incluyendo algunos endemismos muy valiosos. En segundo lugar se trata de una zona de paso de aves migratorias, que emigran de Europa al África Subsahariana, entre ellas podemos citar: la Cigüeña común (Ciconia ciconia), cigüeña negra (Ciconia nigra), águila pescadora (Pandion haliaetus), halcón abejero (Pernis apivorus), milano negro (Milvus migrans), milano real (Milvus milvus), alimoche (Neophron, pernop, buitre leonado (Gyps fulvus), águila culebrera (Circaetus gallicus), y águila calzada (Hieraetus pennatus), Como dato anecdótico cabe destacar la presencia de una comunidad de Babuinos en libertad en las cercanías del aula de la Naturaleza del Pinar del Rey, procedentes del antiguo "Safari Park".

En cuanto a la fauna de la parcela industrial de ubicación de la central, es inexistente, ya que es un área totalmente urbanizada.

## **8. El medio marino.**

La temperatura en el agua de la Bahía varía de forma estacional. En invierno, el perfil de temperatura es constante, situándose los valores alrededor de los 14 °c, aumentando la solubilidad del oxígeno, con lo que las concentraciones de oxígeno disuelto oscilan entre los 7 y los 8 mg/l. La temperatura superficial en el periodo estival alcanza los 21 °c, presentando un gradiente térmico vertical de 0,1 °c/m. En cuanto a la salinidad, a medida que aumenta la profundidad se produce un aumento gradual de los valores de salinidad, siendo estos valores de 37,6 PSU en la superficie y 37,8 en el fondo.

Los datos de concentración son remitidos por la Dirección General de Calidad Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente para el año 2001. De acuerdo con estos datos el pH se mantiene en toda la Bahía dentro del rango característico del agua de mar, en torno a 8. Los niveles de concentración de contaminantes son muy reducidos y excepto con los  $\text{NO}_2^-$ , en ningún caso se superan los valores objetivo de calidad indicados en el anexo de la Orden de 14 de febrero de 1997, correspondientes a las aguas litorales de la Bahía de Algeciras, clasificadas como aguas normales.

Parte de las aguas de la Bahía están declaradas zonas que requieren protección o mejora para la producción de moluscos bivalvos, moluscos gasterópodos, tunicados y equinodermos, según el Real Decreto 345/1993.

Las aguas de estas zonas se deben ajustar a los criterios que figuran en el Anexo IV del citado Real Decreto.

En cuanto a la bionos marina cabe decir que la Bahía de Algeciras es un enclave de gran riqueza biológica, aunque su franja litoral parece ser de extrema pobreza faunística y florística y se han detectado algunas regresiones importantes de especies. En general, las comunidades bentónicas asociadas al sustrato duro presentan dos grandes grupos que se corresponden con las zonas externas (donde se encuentran poblaciones puntuales de *Molgula pendiculata*) y con las zonas más internas de la bahía donde se encuentran especies más abundantes y cosmopolitas. Las zonas rocosas portuarias alrededor del pantalán de CEPESA son umbrías típicas de ambientes portuarios. En los fondos fangosos aparece un porcentaje elevado de restos calcáreos y biodetríticos. En cuanto a la ictiofauna, las especies más comunes en el interior de la Bahía son congrios, lubinas, sargos, morenas, besugos, etc.

## **9 Emisiones atmosféricas**

En el Campo de Gibraltar y concretamente en el entorno de San Roque se localiza unos de los Polos Industriales más importantes de Andalucía, en el que el tipo de industria instalada genera importantes problemas de contaminación atmosférica y seguridad. Los contaminantes atmosféricos principales ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , y partículas) son potencialmente muy peligrosos a pesar de la capacidad dispersante de los fuertes vientos de la zona.

Los datos procedentes de la Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica de Andalucía arrojan una evolución positiva respecto a los últimos años. Desde 1989 se pone en marcha el Plan Corrector de Emisiones Atmosféricas de la Bahía de Algeciras, que parece haber contenido la preocupante situación atmosférica de la Bahía.

En el Término de San Roque se emiten más de 60.000 Tm/año de  $\text{SO}_2$ , más de 2.500 Tm/año de partículas, unas 13.000 Tm/año de Óxidos de Nitrógeno y unas 14.000 Tm/año de  $\text{CO}$ , lo que supone un altísimo porcentaje de la contaminación atmosférica de toda la región andaluza. Hay que considerar no sólo las emisiones que se producen en régimen de "normalidad" sino también el peligro que entraña un posible escape accidental y los efectos sinérgicos derivados de la interacción de los distintos contaminantes atmosféricos, caso de la lluvia ácida que supone un factor de riesgo para San Roque y los espacios forestales del interior por la dirección de los vientos húmedos procedentes del suroeste. Otro factor de riesgo apreciable lo constituye la actividad del Horno de Acerinox, en Los Barrios.

A pesar de lo anterior, queda patente la existencia de un grave riesgo potencial para la población y el medio ambiente de San Roque inducido por la concentración industrial de la Bahía. De hecho en la zona de Guadarranque, Puente Mayorga y Campamento, los niveles contaminantes existentes son ya altos de por sí, con la consiguiente afección a la salud de sus habitantes. Por último, destacan las emisiones de  $\text{CO}_2$  producidas por las centrales térmicas que serán tratadas en el apartado dedicado al clima.

Se considera la autovía como otro factor de riesgo de contaminación atmosférica por la emisión de  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$  procedente de la combustión.

## **10. Contaminación Acústica.**

En San Roque existen dos fuentes principales emisoras de ruido. La primera son las actividades industriales instaladas en la bahía cuyos niveles alcanzan los 80 dB (A). Esto afecta fundamentalmente a Puente

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Mayorga, Campamento y Guadarranque, siendo especialmente molesto en las horas nocturnas.

La otra fuente importante de ruido es el tráfico rodado de la autovía. Sin que los niveles sonoros sean especialmente altos (excepción hecha de algunas motocicletas), la constancia incesante de la fuente emisora hace muy molesto este factor, que afecta especialmente al núcleo de San Roque y a Pueblo Nuevo y Torreguadiaro.

Las vías de penetración de tráfico pesado hacia los desarrollos industriales son también otra fuente importante de ruido al igual que la línea férrea que afecta al núcleo de Estación.

El aumento del tráfico ferroviario con la puesta en servicio del Puerto de Contenedores de Crinavis supone un notable incremento del tráfico ferroviario con el consiguiente riesgo a considerar.

La zona a estudiar es el área del Campo de Gibraltar incluyendo los términos municipales de Algeciras, La Línea, San Roque y Los Barrios. La superficie de estudio ocupa un área de 583,5 km<sup>2</sup>.

Tras un estudio preliminar de la zona, se determinaron que industrias o actividades relacionadas podían considerarse como los focos principales en el área industrial.

Así, una vez identificados, se procedió a la toma de medidas para su posterior análisis.

Estos puntos son:

**Tabla 8.1: Coordenadas UTM**

<b>EMPRESA</b>	<b>COORDENADA X</b>	<b>COORDENADA Y</b>
<b>ACERINOX</b>	1381135.9	4040279.68
<b>INTERQUISA</b>	1379002.26	4041920.41
<b>VORIDIAN</b>	1379104.4	4041975.79
<b>TERMICA LOS BARRIOS</b>	19378858.03	4040604.01
<b>COMPLEJO CEPESA</b>	1378878.03	4041334.94
	1378947.24	4040868.12

Se analizarán los resultados obtenidos para el ruido registrado emitido por focos industriales, vamos en primer lugar a aportar datos para cada punto principal de los principales parámetros:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

LAeq o “Nivel continuo equivalente de presión sonora ponderado en decibelios A”

En primer lugar se expondrán los resultados del parámetro LAeq obtenidos en cada uno de los puntos muestreados, para cada periodo temporal, según:

D,esem : diurno entre semana.  
N, esem: nocturno, entre semana.  
D,fsem: diurno, fin de semana.  
N, fsem: nocturno, fin de semana.

**Tabla 8.2: Valores de LAeq**

	<b>D,esem</b>	<b>D,fsem</b>	<b>N,esem</b>	<b>N,fsem</b>
<b>Acerinox</b>	59,7	66,9	64,4	65,1
<b>Voridian</b>	72,9	71,9	71,0	71,9
<b>Interquisa</b>	68,7	67,9	67,9	68,3
<b>Cepsa,v</b>	65,2	65,4	65,2	62,7
<b>Cepsa,a</b>	66,4	73,8	60,6	61,6
<b>Térmica palm</b>	53,6	55,8	56,1	59,1
<b>Térmica PMayorga</b>	47,5	52,0	48,6	48,4

En los planos se puede ver la localización de los polígonos industriales y estaciones de muestreo para el estudio.

$L_{den}$  o Nivel equivalente día-tarde-noche

Quizás la opción más estricta, sería la de calcular para cada punto el parámetro de contraste definido en la Directiva 2002/49/ce del Parlamento Europeo y del Consejo Europeo de 25 de junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del ruido ambiental, adoptada y/o transpuesta en nuestro país por la novísima Ley de Ruido del 17 de Noviembre de 2003.

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_{día}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{tarde+5}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{noche+10}}{10}} \right)$$

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Nivel equivalente día-tarde-noche donde:

–  $L_{\text{día}}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año.

–  $L_{\text{tarde}}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos vespertinos de un año

–  $L_{\text{noche}}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año

Como se puede observar, la Directiva introduce un nuevo periodo temporal, el periodo de tarde o vespertino, que se debe tener en cuenta. La Ley de Ruido, dispone que se deben emplear índices acústicos homogéneos correspondientes a las 24h, al periodo diurno, vespertino y nocturno, y dispone que se proveen distintos índices aplicables.

**Tabla 8.3: Valores de LDen**

	<b>LDEN</b>
<b>Acerinox</b>	77,7
<b>Voridian</b>	81,9
<b>Interquisa</b>	80,0
<b>Cepsa, v</b>	76,6
<b>Cepsa, a</b>	75,5
<b>Térmica palm</b>	72,7
<b>Térmica PMAyorga</b>	65,7

En definitiva, se optó por comparar para los puntos principales, los diferentes parámetros e índices aplicables ( $L_{\text{aeq}}$ , y  $L_{\text{den}}$ ), y analizar las diferencias obtenidas.

Si se efectúa el mismo proceso de comparación con los valores máximos admisibles propuestos por la normativa Autonómica, se observa en un primer análisis cómo la actividad industrial se encuentra bastante controlada y el mayor número de industrias principales, se ajustan a dichos límites. Cabe destacar que si bien lo anterior es cierto, todos los niveles registrados se acercan en extremo a dichos valores máximos.

Nótese que el valor del índice  $L_{den}$ , es un valor promedio de la actividad, teniendo en cuenta por pura definición las variaciones temporales entre periodos diurnos y nocturnos, así como semanales.

De todos modos es un buen indicador del estado de la cuestión, que nos acerca a la realidad de la emisión de los principales focos industriales del campo de Gibraltar.

Al estudiar los valores obtenidos para todas las industrias, vemos que a excepción de las centrales Térmicas, todas las industrias se encuentran por encima de 75 dBA, es decir por encima del máximo diurno de emisión permitido por la normativa vigente. Por lo tanto este índice de reciente aplicación revela un estado más problemático de la cuestión.

## **11. Hidrología superficial y subterránea**

### **a.- Hidrología Superficial.**

El sistema de cuencas de drenajes del Territorio de San Roque se halla representado fundamentalmente por el Guadarranque-Madre Vieja, Guadiaro-Hozgarganta. Existe además el sistema de cuencas del Frente Mediterráneo (Guadalquitón, Borondo, etc). Por el momento no soportan una alta carga contaminante.

Los focos de contaminación proceden de los efluentes urbanos, los usos agrícolas intensivos y la actividad industrial. Los índices de calidad del agua del Territorio presentan unos niveles muy aceptables en los cursos altos y sin embargo un alto porcentaje de contaminantes en las proximidades de las desembocaduras. La suavidad de la pendiente en los tramos medios y bajos así como la concentración de actividades humanas que emplean altas cantidades de recursos hídricos dan lugar a bajos niveles de disolución de los vertidos y fenómenos estacionales de estancamientos que favorecen la contaminación de las aguas superficiales.

- Contaminación de origen agrícola:

Especial incidencia en la contaminación de los cursos de los ríos tiene el uso de fertilizantes y pesticidas en la agricultura. El exceso artificial de nutrientes en las aguas provoca fenómenos de eutrofización que por poner un ejemplo han conducido a la desaparición de las praderas de *Zostera Noltii* en la desembocadura del río Guadarranque.

- Contaminación de origen industrial:

No están resueltos satisfactoriamente los problemas de vertidos industriales en los arroyos de Madre Vieja y Los Gallegos y el río

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Guadarranque, los cuales soportan una alta carga contaminante, que acaba en las aguas de la Bahía de Algeciras. Al efecto contaminante de estos vertidos se superpone el riesgo de posibles accidentes y vertidos no controlados. Cualquier rotura en las conducciones de materias peligrosas, cualquier incidente en las operaciones de carga y descarga de los buques petroleros puede conducir a un drama ecológico de carácter irreversible. Desde 1989 se encuentra en marcha el Plan Corrector de Vertidos Hídricos de la Bahía de Algeciras, que junto con el Decreto 339/94 para Autorizaciones de Vertidos al Dominio Público Marítimo Terrestre, suponen un control de la calidad de los efluentes vertidos a las aguas. De cualquier manera no existe garantía alguna que evite accidentes inesperados y vertidos esporádicos incontrolados por parte de las industrias.

- Explotación de los recursos superficiales:

En el Guadiaro se produce el aprovechamiento hidrológico para regadíos mediante el bombeo de aguas a un canal y presta servicio a unas 220 Ha.

En los próximos años esta cuenca no solo soportará un previsible incremento del uso agrícola, sino que es objeto de una fuerte tensión de ocupación en futuros desarrollos turísticos, mucho más intensos que los actuales. Esta situación hace necesaria una seria planificación de las posibilidades de soporte ambiental sostenible frente a los planteamientos futuros.

Hay que hacer notar que la mayoría de las necesidades de abastecimiento de los núcleos del término proceden del curso alto del Guadarranque, de acuerdo con el Plan Guadarranque, del embalse del mismo nombre. Este sistema se completará con el aporte de aguas trasvasadas desde el Hozgarganta. La capacidad actual de este sistema es de 61 Hm<sup>3</sup>/año, pero con los planes previstos crecerá hasta 115 Hm<sup>3</sup>/año.

Afluentes del Guadarranque dentro del término son el arroyo Dulce y el Miraflores, en el que se sitúa el embalse del mismo nombre, y al que llega el canal de traída de aguas desde el embalse.

Pero el arroyo más importante de este sector desde un punto de vista ambiental y dentro del ámbito municipal es el de la Madre Vieja. Dicha arroyo estructura todo el sector Oeste del Término y recoge aguas de la Sierra del Arca, recorriendo los Alcornocales y Pinares al Norte del Núcleo Histórico y coincidiendo en parte de sus tramos con recorridos básicos de la vieja Cañada Real.

Da soporte a algunos de los entornos ambientales de mayor interés del territorio. Otra actividad que supone una afección directa y un riesgo

constante para las aguas litorales es el trasiego de grandes buques de transporte de sustancias peligrosas.

#### **b.- Hidrología Subterránea.**

Los recursos subterráneos se hallan representados por los cuatro grandes acuíferos descritos en el punto correspondiente de este documento: policuaternario del Guadarranque, cuaternario de La Línea, plioceno del Sotogrande y aluvial del Guadiaro-Hozgarganta.

#### **• Contaminación:**

La afección más importante sobre estos recursos es la contaminación procedente de las aguas de regadío con altos contenidos en pesticidas y fertilizantes. Estos depósitos pueden ser también afectados indirectamente por la lluvia ácida.

Las aguas subterráneas constituyen un delicado e importantísimo recurso ambiental que interactúa con los suelos, las aguas superficiales, la flora y la fauna. Su capacidad de recuperación y regeneración es lenta y difícil, aún mucho tiempo después de cesar el foco contaminante. La descarga se produce en los ríos pero también en el mar con el consiguiente riesgo de contaminación de las aguas litorales. De hecho se han detectado indicios de contaminación por compuestos nitrogenados en todo el frente litoral mediterráneo desde la desembocadura del Guadiaro hasta La Línea de la Concepción. Hay que hacer notar que la máxima vulnerabilidad de estos acuíferos coincide con las cuencas de los principales ríos (Guadiaro-Hozgarganta y Guadarranque-Madre Vieja) donde la carga contaminante procedente de la agricultura es mayor. También aparecen zonas de vulnerabilidad media en los terrenos del bajo frente mediterráneo (Guadalquítón-Borondo) y en las unidades de Guadarranque-Madrevieja-Pinar del Rey.

Existe un sistema urbano muy extenso y progresivamente difuso, con una población relativamente pequeña, lo que es un causante indirecto de riesgo y descontrol de la carga contaminante, sobre todo en los núcleos de implantación ilegal (Albarracín).

Los actuales y previsibles planes de desarrollo turístico del frente mediterráneo amenazan con intensificar la carga contaminante.

En el documento de planos se puede ver el plano correspondiente al mapa hidrológico de la zona de estudio.

#### **12. Paisaje.**

En el área de estudio se han delimitado siete grandes unidades paisajísticas, definida cada una de ellas por una serie de rasgos

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

característicos a cierta escala en cuanto a vegetación, geomorfología de detalle y uso del suelo: Sierras de areniscas del Aljibe, piedemonte detrítico de las Sierras del Aljibe, colinas, vegas aluviales, litoral, embalses y zonas urbanizadas e industrializadas, estando la parcela donde se ubicará la central en esta última unidad de paisaje, donde dominan los elementos antrópicos, de baja calidad intrínseca, y calidad visual disminuida.

Espacios naturales protegidos.-Se describen los tres espacios de especial significación considerados, como el Parque Natural de los Alcornocales, las Marismas del Río Palmones y el Estuario del Río Guadiaro. El Parque Natural de los Alcornocales presenta cuatro tipos diferentes de vegetación: acebuchal, alcornocal, quejigar y matorral de montaña, mencionando especialmente un pequeño rebollar, que es el único de Cádiz y los canutos, formación de laurisilva relictas situada en las ramblas y torrenteras orientadas al océano. Entre la fauna destacada figuran meloncillos (*Herpestes ichneumon*), ginetas (*Genetta genetta*) y corzos (*Capreolus capreolus*), mencionando también nutrias (*Lutra lutra*), gatos monteses (*Felis silvestris*), jabalíes (*Sus scrofa*) y ciervos (*Cervus elephas*). Entre la avifauna, cabe mencionar importantes colonias de buitres leonados (*Gyps fulvus*), águilas culebrera (*Circus cyaneus*), perdicera (*Hieraaetus fasciatus*), calzada (*Haliaeetus pennatus*) e imperial (*Aquila adalberti*), estando bien representadas las rapaces nocturnas, incluido el búho real (*Bubo bubo*).

La zona protegida de las marismas del Río Palmones incluye una zona marismeña formada por numerosos canales y pozas intermareales y un terreno encharcable, que se transforma en humedal con las lluvias. En la marisma destacan el carrizo (*Phragmites communis*) y el almajo salado (*Sarcocornia fruticosa*). En cuanto a la fauna, la riqueza ornitológica es muy importante, habiendo sido censadas 181 especies de aves, destacando por su abundancia los chorlitejos (*Charadrius sp.*), los correlimos (*Calidris sp.*) y las garzas (*Ardea sp.*).

En la zona del Estuario del Río Guadiaro se sitúa una de las rutas más importantes seguidas por las aves migradoras, además de zona de invernada o reproducción, siendo la única zona húmeda que posee el litoral oriental gaditano. La vegetación palustre está formada por carrizos (*Phragmites australis*), juncos (*Juncus maritimus*), cañas (*Arundo donax*) y castañuelas (*Scirpus maritimus*), creciendo en los alrededores fresnos de hoja estrecha (*Fraxinus angustifolia*), acebuche (*Olea europaea*), tarays (g. *Tamarix*) y lentiscos (*Pistacia lentiscus*). Entre los peces destaca la abundante presencia, en el estuario y en los canales, de la anguila (*Anguilla anguilla*), así como numerosas lisas (g. *Mugil*). Entre las aves destacan el águila pescadora (*Pandion haliaetus*), la espátula (*Platalea leucodia*) y el flamenco (*Phoenicopterus ruber*), y entre los mamíferos el erizo común (*Erinaceus*

europaeus), el meloncillo (*Herpestes ichneumon*), el tejón (*Meles meles*) y la nutria (*Lutra lutra*).

### **13. Medio marino.**

#### **a.- Litología.**

Las formaciones rocosas de la Bahía de Algeciras están cubiertas por sedimentos de fangos, arena, grava y piedras en distinta proporción, teniendo en cuenta que la acción antrópica ha modificado sensiblemente la dinámica de acumulación-movilización de sedimentos en toda la bahía.

#### **b- Geomorfología.**

La topografía submarina de la Bahía de Algeciras está determinada por el gran cañón que ocupa su centro, y posee una batimetría acusada, destacándose una plataforma limitada por la isobata 100 m.

#### **c.- Hidrología marina.**

Dentro de la bahía la corriente de deriva dominante se desplaza de W - E, en sentido dextrógiro. Al mismo tiempo debido a la deformación del oleaje que produce el Peñón de Gibraltar, por la orilla de levante asciende otra corriente de deriva opuesta a la anterior, aunque en términos generales más débil.

Ello da lugar a que los aportes del río Guadarranque tengan tendencia a acumularse al este de su desembocadura y acaben formando parte de las playas que se extienden entre ésta y el término de La Línea. La zona registra intensidades de corrientes de 0,5 m/s y 0,6 m/s, que tienen su explicación en las oscilaciones mareales (semidiurnas y de amplitud de 0,8 m), la dirección dominante es N-S esto es entrante/saliente, o bien en los flujos que recorren el estrecho.

#### **d.- Salinidad.**

La salinidad media es de 37,5 por 1.000 y la temperatura es uniforme en invierno con una media de 14,5 °C, en verano oscila entre 21 °C en superficie y 13 °C en profundidad.

#### **e.- Biocenosis marina.**

En cuanto al estuario del río Guadarranque se han inventariado 2 especies vegetales y 22 especies animales.

En la Bahía de Algeciras hay varias unidades de estudio, considerándose como más representativas debido a la proximidad a la

zona de estudio, la que comprende el espigón artificial de roquedo natural de la margen derecha del río Guadarranque, de superficie muy accidentada y biocenosis de escasa madurez biótica, y la unidad que comprende el roquedo del área de Los Rocadillos, al este de la desembocadura del Guadarranque, tratándose de un roquedo natural y metamórfico constituido por masas compactas sumergidas en su totalidad durante pleamares, pero aflorando parcialmente en las bajamares. Se han inventariado 16 especies vegetales y 249 animales y se encuentra una biocenosis caracterizada por cinco poblaciones representativas de la zona: *Mytilus edulis*, *Padina pavonica*, *Corallina officinalis*, *Halopteris scoparia* y *Cystosera*. En la zona industrial a ocupar, la flora es de escasa entidad en cuanto a su presencia bentónica, siendo la más destacable la que se asienta sobre las columnas de los pantalones y los roquedos, propia de ambientes portuarios muy antropizados. La fauna de esta zona destaca por ser una de las de mayor diversidad, aunque la estructuración y la madurez no están muy desarrolladas.

#### **b. Medio socioeconómico.**

##### **1. Patrimonio Cultural.**

Una de las consecuencias de la situación estratégica a escala mundial de San Roque es la existencia de una importante herencia Cultural: la base de Datos de Patrimonio Histórico de Andalucía incluye hasta 40 registros, la mayoría de ellos de carácter arqueológico.

Dentro de este extenso patrimonio (enclaves arqueológicos, patrimonio arquitectónico monumental, etc.) el PGOU ha considerado de manera especial aquellos ámbitos que por su dimensión espacial y significación pueden considerarse estratégicos en la definición de la estructura territorial del término de San Roque. Así, como consecuencia de la Legislación Administrativa relativa al Patrimonio Cultural se definen tres zonas:

Cerro del Prado, Carteia y Torre Cartagena y Barbésula

- El asentamiento fenicio del Cerro del Prado forma parte de la marisma del curso bajo del Guadarranque y el Madre Vieja constituye un yacimiento de primer orden.
- Carteia y Torre Cartagena es un ámbito de pinar y matorral que desciende desde los 90 metros de altitud en Torre Cartagena hasta el nivel del mar, y que insertado entre las instalaciones de la refinería "Gibraltar" contienen un yacimiento arqueológico de primer orden: Ciudad Romana y Torre Medieval.

- La ciudad fenicia de Barbésula presenta asentamientos y construcciones funerarias de distintas civilizaciones que van desde la prehistoria reciente hasta los visigodos, pasando por iberos, púnicos y romanos. Cuenta con una destacada elevación topográfica sobre el valle del Guadiaro.

## 2. Sociológicas.

En la comarca del Campo de Gibraltar se ha visto un aumento significativo de la población debido a la industrialización de la zona factor favorable para el desarrollo positivo de una zona. Evolución demográfica en la Comarca del Campo de Gibraltar (1991-2001), datos oficiales de población según el censo del Insitutuo Nacional de Estadística:

**Tabla 8.4: Nivel demográfico**

Población	Habitantes	
	2.001	1.999
Algeciras	10.1468	101.256
Los Barrios	17.737	13.669
Castellar	2.571	2.269
Jimena	9.088	8.862
La Línea	59.437	58.315
San Roque	23.436	21.224
Tarifa	15.670	14.512
<b>Total</b>	<b>229.407</b>	<b>220.107</b>

### 8.3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS.

El complejo industrial de la Bahía se localiza en el borde litoral, del extremo sur del término, dentro de lo que se considera el saco de la Bahía de Algeciras. Su naturaleza geológica, a caballo entre el Flysch de Algeciras y la zona de dunas costeras soporta una topografía alomada que va suavizándose progresivamente en dirección a la línea de costa.

A pesar de ser terrenos con condiciones constructivas desfavorables, al estar constituidos por arcillas muy plásticas y por tanto con problemas de drenajes, se trata de un espacio profundamente intervenido donde los usos industriales predominan sobre cualquier otro.

Las condiciones paisajísticas y ambientales en general son muy deficientes como consecuencia de la clara incompatibilidad entre la intensa actividad industrial, desarrollada desde hace casi un siglo, y la preservación de las condiciones naturales originales de la Bahía.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

El complejo industrial ocupa casi la totalidad del suelo, a excepción de los núcleos urbanos de Puente Mayorga y Campamento. Estos núcleos de población se presentan muy degradados y con una escena urbana muy confusa.

### 8.3.1 Identificación y valoración de las interacciones.

Se han identificado y descrito cada una de las interacciones ecológicas claves. El estudio de impacto ambiental aplica un método de valoración “ad hoc” basado en el método de Leopold y Batelle que permite la valoración y homogeneización de los impactos ya cuantificados, por medio de matrices, cuyo objetivo es agrupar todos los impactos ponderados según su magnitud e importancia relativa y, tras su conversión en unidades homogéneas, poder agregarlas en un único valor global. De esta forma se han identificado y valorado los impactos previstos en forma cuantitativa.

Realizando un estudio pormenorizado sobre las actuaciones que se realizarán así como las consecuencias que implican, podemos ver que realizando una matriz causa efecto los resultados no son significativos de manera negativa y el desarrollo del presente proyecto no provocará ningún perjuicio para el medio ambiente.

**Tabla 8.5: Factores ambientales afectados por la construcción y el funcionamiento**

Vectores de impacto		Construcción				Funcionamiento	
		a. Captación terrenos	b. transporte de materiales y equipos	c. ruido en construcción	d. generación de empleo	e. vertidos	f. ruido activo
Medio Físico	1. geológico	x	x				
	2. geomorfológico						
	3. edafología						
	4. atmósfera		x				
Medio Biótico	5. vegetación	Terrestre	x				
		Acuático				x	
	6. fauna	Terrestre	x		x		x
		Acuático					x
Medio Cultural	7. Social-económico	Social		x	x		x
		Económico				x	
	8. Paisaje	x	x				

### 8.3.2 Repercusiones ambientales.

Relación de acciones del Proyecto susceptibles de producir impacto

A partir de las acciones determinadas y con los factores del medio que pudieron verse afectados por ellos, se procede a la identificación de impactos mediante cruces entre unas y otros en una matriz causa-efecto.

### 8.3.3 Caracterización cualitativa.

Se tratara de determinar la importancia del impacto a partir de una caracterización del efecto mediante atributos de tipo cualitativo. Los atributos son:

Signo: Impacto beneficioso: +  
Impacto perjudicial: -

Intensidad (I): Grado de incidencia de la acción sobre el factor, sus valores pueden ser:

Baja.....1  
Media.....2  
Alta.....4  
Muy alta.....8  
Total.....12

Extensión (EX): Área de influencia del impacto en relación al entorno, sus valores pueden ser:

Puntual.....1  
Parcial.....2  
Extensa.....4  
Total.....8

Momento (MO): Tiempo transcurrido entre la acción y el comienzo del efecto, sus valores pueden ser:

Largo plazo....1  
Medio plazo....2  
Inmediato.....4  
Critico.....(+4)

Persistencia (PE): Tiempo de permanencia del efecto desde su aparición.

Fugaz.....1  
Temporal.....2  
Permanente...4

Reversibilidad (RV): posibilidad de retorno a las condiciones iniciales de forma natural.

Corto plazo....1  
Medio plazo...2  
Irreversible.....4

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Sinergia (SI): Reforzamiento de un efecto simple.

Simple.....1  
Sinérgico.....2  
Muy sinérgico.4

Acumulaciones (AC): Incremento progresivo de la manifestación del efecto.

Simple.....1  
Acumulativo...4

Efecto (EF): Forma de manifestarse el efecto sobre el factor:

Indirecto.....1  
Directo.....4

Periodicidad (PR): Regularidad de la manifestación:

Irregular.....1  
Periódico.....2  
Contínuo.....4

Recuperabilidad (MC): Posibilidad de retorno a las condiciones iniciales de la forma artificial

Inmediata.....1  
Medio plazo....2  
Mitigable.....4  
Irrecuperable...8

Una vez puntuados, se obtiene la importancia del efecto (I), mediante la siguiente expresión:

$$I = [3 \cdot I + 2 \cdot EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Establecemos la matriz de importancia como:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 8.6: Matriz de importancia**

Atrib	a 1	A5 i	a6 i	a 8	b 1	b 4	b 8	c6 i	c7 i	d7 i	d7ii	e5i i	e6i i	f6i	f7i
I	1	1	1	1	2	4	2	2	1	4	4	1	1	2	1
EX	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1
MO	4	1	1	2	4	1	4	4	4	2	2	2	2	4	4
PE	1	4	4	4	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1
RV	4	4	4	4	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1
EF	4	1	1	4	1	1	1	4	4	4	4	1	1	4	4
PR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
IMP	2 4	21	21	2 5	2 2	2 4	2 1	25	19	34	31	16	16	25	19
SIGN O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-

Con los valores obtenidos en la tabla anterior, se establece la matriz de importancia como:

**Tabla 8.7: Valores de interacción**

Vectores de impacto		Construcción				Funcionamiento	
		a. Captación terrenos	b. transporte de materiales y equipos	c. ruido en construcción	d. generación de empleo	e. vertidos	f. ruido activo
Factores ambientales							
Medio Físico	1. geológico	24	22				
	2. geomorfológico						
	3. edafología						
	4. atmósfera		24				
Medio Biótico	5. vegetación	Terrestre	21				
		Acuático				16	
	6. fauna	Terrestre	21		25		25
Acuático						16	
Medio Cultural	7. Social- económico	Social		19	34		19
		Económico				31	
	8. Paisaje	25	21				

Como resumen de la tabla anterior se establece la calificación de los impactos según su importancia:

Poco significativo:  $IMP < 25$

Medianamente significativo:  $25 < IMP < 50$

Significativo:  $50 < IMP < 75$

Altamente significativo:  $> 75$

Se observa que los factores ambientales sobre los que más incide el proyecto no sobrepasan en ningún caso los límites del impacto moderado o poco significativo.

#### **8.4 PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS.**

##### **8.4.1 Durante la fase de construcción**

Impactos producidos durante la construcción son los debidos a la ocupación del terreno por movimientos de tierras, importación, exportación y cambio o traslado dentro y fuera de las zonas de obra, cimentaciones, construcción y montaje. Dada la gran antropización de la zona, altamente industrializada y urbanizada, se consideran impactos no significativos.

Durante esta fase se reservará una zona pavimentada para la maquinaria de obras, evitando la contaminación del terreno ante posibles derrames durante operaciones de mantenimiento o repostaje de maquinaria.

Dicha zona dispondrá de una red de recogida de efluentes de aguas pluviales que hayan entrado en contacto con aceites y grasas que se conducirán a un sistema de tratamiento de efluentes líquidos.

##### **8.4.1.1 Acotación de la zona afectada por las obras.**

Todas las actividades relacionadas con la construcción, se realizarán en el interior de los terrenos de "Petresa", donde se proyecta construir el depósito. El parque de maquinaria, las zonas destinadas para acopio de materiales y almacenamiento provisional de residuos se ubicarán en el interior de los citados terrenos.

Se aprovecharán los viales existentes minimizando la creación de caminos auxiliares provisionales, que en su caso serían de poca entidad y estaría debidamente señalizados con cunetas de recogida de aguas pluviales para evitar el arrastre de sedimentos a las aguas de la bahía.

#### **8.4.1.2 Minimización de las emisiones de polvo y partículas.**

Se adoptarán medidas correctoras, tales como realizar las operaciones de excavación y de carga y descarga de materiales susceptibles de emitir emisiones de polvo en días con condiciones atmosféricas favorables (reducida velocidad del viento, etc.), o bien proceder a la humectación previa de los materiales a manipular.

Restitución geomorfológica y edáfica de las zonas de obra. Al término de las obras se retirarán todos los escombros, residuos, materiales sobrantes y demás restos. Se procederá a la descompactación de los terrenos afectados por el paso de la maquinaria. Se efectuará la restitución geomorfológica y edáfica de todos los terrenos afectados por las obras.

#### **8.4.1.3 Mantenimiento de la maquinaria.**

Las operaciones de mantenimiento, lavado, repostaje, etc., de la maquinaria utilizada en las obras, se efectuarán en instalaciones debidamente autorizadas. En su defecto, se habilitará un área específica para este fin. Esta área dispondrá de suelo impermeabilizado y de sistema de recogida de efluentes, a fin de evitar la contaminación del suelo y el vertido directo a los arroyos próximos.

Durante la realización de las obras se efectuará un control arqueológico, con presencia permanente de un Arqueólogo, de los movimientos de tierra que se realicen en la parcela. En cualquier caso, se adoptarán las condiciones que establezca el organismo competente de la Junta de Andalucía en orden a proteger el patrimonio arqueológico.

#### **8.4.1.4 Mitigación del impacto acústico. Niveles de emisión**

En los proyectos de construcción se incluirán específicamente las características de aislamiento acústico. El diseño definitivo asegurará que el nivel de emisión de ruido al exterior de la central térmica no supere los 75 dB(A) durante el día, desde las siete a las veintitrés horas, ni los 70 dB(A) durante la noche, desde las veintitrés a las siete horas, tal como establece para zonas industriales el Decreto 74/1996, de 20 de febrero, de la Junta de Andalucía, por el que se aprueba el Reglamento de la Calidad del Aire.

Para efectuar la evaluación indicada anteriormente se estará a lo dispuesto en la Orden de 23 de febrero de 1996, de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, considerándose niveles de ruido, con la instalación parada, los obtenidos en el estudio pre-operacional.

Asimismo, los niveles de inmisión de ruido, como consecuencia del funcionamiento, no superarán los límites establecidos en el Reglamento de la Calidad del Aire de la Junta de Andalucía, ya citado.

#### **8.4.2 Durante su funcionamiento:**

##### **8.4.2.1 Ruido.**

Para evaluar el nivel sonoro el estudio identifica los principales focos de ruido y evalúa el impacto acústico utilizando un modelo de propagación acústica, sumando logarítmicamente la influencia de todos los focos emisores en cada punto del entorno. Posteriormente, se superpone el nivel de ruido existente previamente, consiguiendo la evaluación global buscada. De acuerdo con el modelo habrá un aumento de nivel sonoro en los puntos más próximos a las nuevas instalaciones, siendo el máximo esperado de 64,8 dB (A) en periodo diurno, lo que supone un incremento de +1,2 dB (A) y un incremento de 2,6 dB (A) en periodo nocturno. En todo caso los niveles se mantendrán por debajo de los niveles de «zonas con actividad industrial», según el Decreto 74/1996, de Calidad del Aire en Andalucía, cuyos límites están establecidos en 75 dB (A) durante el día y 70 dB (A) durante la noche.

##### **8.4.2.2 Medio socioeconómico.**

No se consideran significativos los impactos debidos al aumento del tráfico por el transporte de materiales y equipos, ni el debido al ruido, al tratarse de una zona industrial. Asimismo, los impactos debidos a las emisiones atmosféricas, vertidos líquidos de aguas de proceso, se consideran no significativos, ya que no se superarán los límites legalmente establecidos. En cuanto a los impactos debidos a la generación de empleo, estos se consideran positivos.

##### **8.4.2.3 Paisaje.**

El impacto producido sobre el paisaje debido a la ocupación del terreno se considera insignificante, ya que la obra se realiza en un entorno marcadamente industrial, muy afectado por una intensa ocupación urbana e industrial.

Vertidos de aguas residuales.

Petresa no vierte directamente a emisario. Los vertidos se envían a Refinería Gibraltar para el tratamiento previo al envío a emisario, conforme al Plan Corrector de Vertidos establecidos por la Consejería de Medio Ambiente de Andalucía de fecha 29.06.89.

Los límites establecidos para los parámetros que definen las características de los vertidos, se deben aun acuerdo con Refinería.

## **8.5 PLAN DE SEGUIMIENTO Y VIGILANCIA.**

Se redactará un programa de vigilancia ambiental, tanto para la fase de obras como para la fase de funcionamiento de la central, que permita el seguimiento y control de los impactos y la eficacia de las medidas correctoras establecidas en el estudio de impacto ambiental

Los informes deberán ser emitidos en las fechas propuestas en el programa y remitidos a la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental a través de la Dirección General de la Energía, que acreditará su contenido y conclusiones, todo ello, sin perjuicio de la información que corresponda remitir a la autoridad ambiental de la Junta de Andalucía.

El programa contemplará los aspectos indicados en el estudio de impacto ambiental y, en especial, incluirá los siguientes:

### **8.5.1 Programa de vigilancia durante la fase de construcción.**

Se incluirán en el programa de vigilancia los siguientes aspectos: La supervisión del terreno utilizado y el respeto del balizamiento, la elección de los equipos y maquinaria a utilizar, la realización de las operaciones de mantenimiento en los lugares específicamente destinados a este fin, las medidas destinadas a evitar la producción de nubes de polvo, los vertidos a cauces, suelos u otros lugares no destinados a este fin, la gestión de los residuos de obra y materiales sobrantes, la información a los trabajadores de las normas y recomendaciones para el manejo responsable de materiales y sustancias potencialmente contaminadoras, la estacionalidad de los trabajos para no interferir con la actividad turística, y presencia de un Arqueólogo durante los trabajos de excavación.

### **8.5.2 Programa de vigilancia durante la fase de explotación.**

Se redactará un programa de vigilancia que contemple todo lo indicado en el estudio de impacto ambiental y en las condiciones establecidas en este estudio. Este programa podrá integrarse en el que establezca la autorización ambiental integrada de manera que resulte un programa de vigilancia ambiental único para el almacenamiento de líquidos tóxicos.

## **CAPÍTULO 9**

### **CONTROL DE LAS INSTALACIONES**

#### **9.1 CONTROL DE LAS INSTALACIONES.**

El sistema de control debe encargarse, principalmente, de mantener la especificación de los productos de cabeza y de fondo obtenidos a partir de la alimentación.

##### **Corriente de alimentación**

En la corriente de alimentación la variable a controlar es la temperatura de entrada a la columna.

Esta temperatura se controlará por el controlador de temperatura TC-1 que mide dicha temperatura a la salida del precalentador de carga E-1, y regula, en cascada el caudal de aceite térmico que entra al cambiador mediante la válvula FV-2.

El caudal de alimentación estará fijado por la válvula de control FV-1.

##### **Columna de rectificación.**

En la columna de rectificación se necesita controlar la temperatura del plato n° 3, la cual se controla mediante el TC-2, que regula el caudal de reflujo que entra a la columna mediante la válvula FV-3.

El calor que se intercambia en el rehervidor se regula con el caudal de aceite térmico por medio de la válvula FV-6.

##### **Rehervidor de la columna.**

La corriente de cola de la columna se regula mediante la válvula FV-5, que está en cascada con el control de nivel en el fondo de la columna LC-1.

##### **Condensador de la columna.**

Para controlar la temperatura a la que se condensan los vapores del ácido en el condensador se varía el caudal de agua de refrigeración mediante el TC-3.

La salida de producto hacia el tanque T-2 se controla mediante la válvula de control de caudal FV-4 que actúa gobernada por el control de nivel LC-2.

El reflujo a la columna se regula mediante la válvula FV-3 que está controlada por la temperatura de la cabeza de la columna.

## **9.2 INSTALACIONES, MATERIALES Y EQUIPOS ELÉCTRICOS.**

Todas las instalaciones, equipos y materiales eléctricos cumplirán las exigencias de los reglamentos electrónicos de alta y baja tensión que les afecten.

La acometida general para el suministro de energía eléctrica podrá ser una línea área, siempre que no atraviese ninguna "área de instalación" de las definidas en el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas.

La protección contra los efectos de la electricidad estática y las corrientes que puedan producirse por alguna anomalía se establecerá mediante las puestas a tierra de todas las masas metálicas.

Para protección contra el rayo y las corrientes de circulación las puestas a tierra deberán cumplir lo establecido en la normativa vigente.

## **9.3 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.**

Los equipos que forman esta planta se han distribuido considerando las condiciones de seguridad recomendadas en el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y tratando de minimizar la superficie total.

Dicha distribución se puede observar en el documento de planos.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**2. ANEXOS A LA MEMORIA:**

**CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS**

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 FUNDAMENTOS DEL PROCESO.**

El objetivo de la destilación es la separación de compuestos que tienen distintas presiones de vapor a una temperatura dada. La palabra destilación, se refiere a la separación física de una mezcla de componentes o fracciones que tienen distintos puntos de ebullición.

La columna de destilación consiste en un espacio para que entren corrientes de vapor y de líquido con el fin de efectuar una transferencia de masa entre las dos fases. El contacto de las dos fases se efectúa mediante una serie de platos.

En cada plato, hay una cierta cantidad de líquido, cuyo nivel lo mantiene una pequeña presa. Los vapores ascienden y pasan a través de las perforaciones del plato superior poniéndose en contacto con el líquido. El líquido de un plato desciende rebosando de la presa por un conducto descendente y llegando al plato inferior.

En el contacto sucesivo que se produce entre el vapor y el líquido en cada plato, los vapores ascendentes se van enriqueciendo de los componentes más ligeros, mientras el líquido que va descendiendo, en los más pesados.

Los vapores de cabeza, tras abandonar el plato más alto, entran en un condensador, donde son total o parcialmente condensados. El líquido acumulado se recoge en un acumulador, del que se extrae una corriente de líquido llamada reflujo, que se retorna a la cabeza de la columna y cuya misión es mejorar el grado de separación. El producto de cabeza, que también se extrae del acumulador, puede estar en fase líquida con lo que el condensador se dice que es total, o en fase gaseosa, con lo que el condensador se dice que es parcial.

El líquido que cae del último plato llega al fondo de la columna. Una parte entra en el rehervidor, encargado de suministrar la energía de vaporización parcial y se retorna al fondo de la columna. Otra parte se extrae como producto de cola.

#### **1.2 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.**

Para llevar a cabo el diseño de esta unidad, es necesaria la determinación de algunas propiedades físico-químicas de los

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

---

compuestos implicados. Las expresiones para el cálculo de dichas propiedades se recogen en este apartado.

Es necesario, para la estimación de las distintas propiedades, el valor de las constantes críticas y factores acéntricos, así como los pesos moleculares. Estos valores aparecen recogidos en la siguiente tabla.

**Tabla 1.1: Constantes críticas, factores acéntricos y pesos moleculares.**

Compuesto	T <sub>c</sub> (k)	P <sub>c</sub> (Pa)	V <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /kmol)	T <sub>BN</sub> (K)	Z <sub>c</sub>	W	P <sub>m</sub>
Ácido Fluorhídrico	461,15	6490000	0,069	295,71	0,117	0,383	20
Agua	647,13	21940000	0,056	373,15	0,228	0,343	18

Siendo:

T<sub>C</sub> = Temperatura crítica, k.

P<sub>C</sub> = Presión crítica, Pa.

V<sub>C</sub> = Volumen Crítico, m<sup>3</sup>/kmol.

T<sub>BN</sub> = Temperatura normal de ebullición, k.

Z<sub>C</sub> = Factor de compresibilidad.

W = Factor acéntrico.

P<sub>m</sub> = Peso molecular.

**- Densidad.**

La densidad de líquidos puros puede estimarse, conocidas las constantes respectivas para cada una de las sustancias implicadas y que según el Manual del Ingeniero Químico son:

**Tabla 1.2: Constantes para el cálculo de la densidad del líquido puro**

Componente	C1	C2	C3	C4
Ácido fluorhídrico	2,5635	0,1766	461,15	0,3733
Agua	4,9669	0,27788	647,13	0,1874

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

La expresión mediante la cual se estima la densidad es:

$$\rho_L = \left( \frac{C_1}{C_2} \right) \left[ 1 + \left( 1 - \frac{T}{C_3} \right)^{C_4} \right]$$

Donde:

$\rho_L$  = Densidad del líquido puro, kmol/m<sup>3</sup>.

T = Temperatura, k.

La densidad de una mezcla líquida se obtiene a partir de las densidades de sus componentes y de sus composiciones en la mezcla; aplicando la siguiente expresión:

$$\rho_{mezcla} = \sum x_i \cdot \rho_i$$

Donde:

$\rho_{mezcla}$  = Densidad de la mezcla líquida, kmol/m<sup>3</sup>.

$\rho_i$  = Densidad del componente en fase líquida, kmol/m<sup>3</sup>.

$x_i$  = Concentración en el líquido, fracción molar.

La densidad del vapor se obtiene mediante la utilización de la expresión de estado virial generalizada, debido a que se está tratando con un sistema no ideal y ésta es la expresión que mejor representa el comportamiento del mismo, mediante el uso de las constantes críticas y los factores acéricos.

La expresión que se usa para el cálculo es la siguiente:

$$\rho_V = \frac{P \cdot P_m}{Z \cdot R \cdot T}$$

Donde:

P = Presión, atm.

P<sub>m</sub> = Peso molecular.

Z = Factor de compresibilidad.

R = Constante de los gases, 0,082 atm·L/(k·mol).

T = Temperatura, k.

El factor de compresibilidad se calcula mediante la siguiente expresión que es la base de la ecuación virial generalizada:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$$Z = 1 + \frac{B_{ij} \cdot P}{R \cdot T}$$

Donde:

$B_{ij}$  = Constante de la ecuación virial generalizada.

$P$  = Presión, atm.

$R$  = Constante de los gases, 0,082 atm·L/(k·mol).

$T$  = Temperatura, k.

La determinación de  $B_{ij}$  se realiza mediante la siguiente expresión:

$$B_{ij} = \frac{R \cdot T_{Cij}}{P_{Cij}} \cdot (B^0 + W_{ij} \cdot B^1)$$

Donde:

$R$  = Constante de los gases, 0,082 atm·L/(k·mol).

$T_{Cij}$  = Temperatura crítica generalizada de la mezcla, k.

$P_{Cij}$  = Presión crítica generalizada de la mezcla, atm.

$B^0$  = Constante generalizada.

$B^1$  = Constante generalizada.

$W_{ij}$  = Factor acéntrico de la mezcla.

La temperatura crítica generalizada de la mezcla se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$T_{Cij} = (T_{ci} \cdot T_{cj})^{1/2} \cdot (1 - K_{ij})$$

Donde:

$T_{Cij}$  = Temperatura crítica generalizada de la mezcla, k.

$T_{Ci}$  = Temperatura crítica generalizada del componente i, k.

$T_{Cj}$  = Temperatura crítica generalizada del componente j, k.

$K_{ij}$  = Parámetro de interacción específico del par molecular i-j. Dicho parámetro será 0 si se trata de especies similares, en cualquier otro caso es un número positivo muy pequeño que se puede llegar a despreciar, como es el caso.

La presión crítica de la mezcla se obtiene mediante la siguiente expresión:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$$P_{Cij} = \frac{Z_{Cij} \cdot R \cdot T_{Cij}}{V_{Cij}}$$

Donde:

$P_{Cij}$  = Presión crítica generalizada de la mezcla, atm.

$Z_{Cij}$  = Factor de compresibilidad crítico generalizado para la mezcla.

$R$  = Constante de los gases, 0,082 atm·L/(k·mol).

$T_{Cij}$  = Temperatura crítica generalizada de la mezcla, k.

$V_{Cij}$  = Volumen crítico generalizado, kmol/m<sup>3</sup>.

El factor de compresibilidad crítico se obtiene por medio de:

$$Z_{Cij} = \frac{Z_{Ci} + Z_{Cj}}{2}$$

Donde:

$Z_{Cij}$  = Factor de compresibilidad crítico generalizado para la mezcla.

$Z_{Ci}$  = Factor de compresibilidad crítico generalizado para el componente i.

$Z_{Cj}$  = Factor de compresibilidad crítico generalizado para el componente j.

Para el cálculo de  $P_{Cij}$  también hace falta determinar  $V_{Cij}$  para lo cual hace falta la siguiente expresión:

$$V_{ij} = \left( \frac{(V_{Ci} + V_{Cj})^{1/3}}{2} \right)$$

Donde:

$V_{Cij}$  = Volumen crítico generalizado, kmol/m<sup>3</sup>.

$V_{Ci}$  = Volumen crítico generalizado del componente i, kmol/m<sup>3</sup>.

$V_{Cj}$  = Volumen crítico generalizado del componente j, kmol/m<sup>3</sup>.

Las constantes  $B^0$  y  $B^1$  se obtienen mediante las siguientes expresiones:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$$B^0 = 0,083 - \frac{0,042}{T_r^{1,6}}$$
$$B^1 = 0,139 - \frac{0,172}{T_r^{4,2}}$$

Donde:

$B^0$  = Constante generalizada.

$B^1$  = Constante generalizada.

$T_r$  = Temperatura reducida, k.

De donde el cálculo de la temperatura reducida se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{T}{T_{Cij}}$$

Siendo:

$T_r$  = Temperatura reducida, k.

$T$  = Temperatura, k.

$T_{Cij}$  = Temperatura crítica generalizada de la mezcla, k.

Por último para el posible cálculo de  $B_{ij}$ , se ha de calcular previamente también  $W_{ij}$ , conocido como el factor acéntrico de la mezcla:

$$W_{ij} = \frac{W_i + W_j}{2}$$

Donde:

$W_{ij}$  = Factor acéntrico de la mezcla.

$W_i$  = Factor acéntrico del componente i.

$W_j$  = Factor acéntrico del componente j.

**- Viscosidad.**

La viscosidad para el líquido se determina despejando  $\mu$  de la siguiente expresión:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$$\log \mu_L = B \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

Donde:

$\mu_L$  = Viscosidad del líquido, cp.

B = Constante adimensional propia de cada componente.

T = Temperatura, k.

$T_0$  = Temperatura constante para cada componente, k.

**Tabla 1.3: Valores de las constantes**

Componente	B	$T_0$
<b>Ácido Fluorhídrico</b>	438,34	199,62
<b>Agua</b>	658,25	283,16

Así la viscosidad de la mezcla se determina despejando de:

$$\ln \mu_L = \sum \mu_{Li} \cdot x_i$$

Donde:

$\mu_L$  = Viscosidad del líquido, cp.

$\mu_{Li}$  = Viscosidad del líquido del componente en cada caso, cp.

$x_i$  = Fracción molar.

La viscosidad del vapor ha de calcularse a través de la siguiente expresión:

$$\mu_{Vi} = \frac{A \cdot T_r}{\left[ 1 + 0,36 \cdot T_r \cdot (T_r - 1)^{1/6} \right]}$$

Siendo:

$\mu_{Vi}$  = Viscosidad del vapor para cada uno de los componentes, Pa·s.

A = Constante para cada uno de los componentes.

$T_r$  = Temperatura reducida, k.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Donde A se determina mediante:

$$A = 1,6104 \cdot 10^{-10} \cdot \left[ \frac{M^{1/2} \cdot P_C^{2/3}}{T_C^{1/6}} \right]$$

Donde:

M = Peso molecular de cada uno de los componentes, g/mol.

P<sub>C</sub> = Presión crítica de cada uno de los componentes, atm.

T<sub>C</sub> = Temperatura crítica de cada uno de los componentes, K.

La determinación de la viscosidad de la mezcla de vapor se ha de hacer mediante:

$$\mu_{Vm} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{1 + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \left( Q_{ij} \frac{x_j}{x_i} \right)}$$

Siendo:

Q<sub>ij</sub> = Parámetro de interacción de las dos especies.

x<sub>i</sub> = Fracción molar del componente i.

x<sub>j</sub> = Fracción molar del componente j.

μ<sub>i</sub> = Viscosidad del componente i, Pa·s.

El cálculo de Q<sub>ij</sub> se hace por medio de:

$$Q_{ij} = \frac{1 + \left[ \left( \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{1/2} \cdot \left( \frac{M_j}{M_i} \right)^{1/4} \right]^2}{\sqrt{8} \cdot \left[ 1 + \frac{M_i}{M_j} \right]^{1/2}}$$

Donde:

$\mu_i$  = Viscosidad del componente i, Pa·s.  
 $\mu_j$  = Viscosidad del componente j, Pa·s.  
 $M_i$  = Peso molecular del componente i, g/mol.  
 $M_j$  = Peso molecular del componente j, g/mol.

- **tensión superficial.**

La tensión superficial de líquidos puros se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \left[ \frac{(P_i)}{1000} \cdot \rho_{Li} \right]^4$$

Donde:

$\sigma_i$  = Tensión superficial de cada uno de los componentes, mN/m.  
 $P_i$  = Paracoro de cada uno de los componentes.  
 $\rho_{Li}$  = Densidad del líquido para cada uno de los componentes, kmol/m<sup>3</sup>.

Para determinar la tensión superficial de la mezcla se debe usar la siguiente expresión:

$$\sigma_m = \sum \sigma_i \cdot x_i$$

Siendo:

$\sigma_m$  = Tensión superficial de la mezcla, mN/m.  
 $\sigma_i$  = Tensión superficial de cada uno de los componentes, mN/m.  
 $x_i$  = Fracción molar de cada uno de los componentes en la fase líquida.

A continuación, se puede observar en la siguiente tabla los valores de tensión superficial obtenidos para la corriente líquida.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

Tabla 1.4: Tensión superficial de la corriente líquida (mN/m)

Etapa	Tensión superficial (mN/m)		
	Ácido Fluorhídrico	Agua	Líquido
1	61,35	13846,57	5797,39
2	46,57	12800,35	6010,70
3	38,71	12167,62	6258,10
4	35,22	11863,15	6529,09
5	33,42	11699,95	6685,78
6	32,67	11630,45	6814,24
7	32,23	11589,31	6881,28
8	31,98	11565,65	6881,84
9	31,88	11556,28	6965,88
10	31,71	11539,78	7067,59
11	31,51	11521,07	7189,14
12	31,24	11494,81	7338,07

- **capacidad calorífica.**

Para los líquidos el cálculo de las capacidades caloríficas se hace por medio de la siguiente expresión:

$$C_p = C_1 + C_2 \cdot T + C_3 \cdot T^2 + C_4 \cdot T^3 + C_5 \cdot T^4$$

$C_p$  = Capacidad calorífica del líquido, J/(mol·k).

T = Temperatura, K.

$C_1, C_2, C_3, C_4$  y  $C_5$  = Constantes para cada uno de los componentes.

Tabla 1.5: Valores de las constantes para las capacidades caloríficas.

Componente	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
Ácido Fluorhídrico	$6,25 \cdot 10^4$	$-2,23 \cdot 10^2$	$6,29 \cdot 10^{-1}$	0	0
Agua	$2,76 \cdot 10^5$	$-2,09 \cdot 10^3$	8,12	$-1,41 \cdot 10^{-2}$	$9,37 \cdot 10^{-6}$

La determinación de la capacidad calorífica para la mezcla líquida se realizada por medio de la siguiente expresión:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$$C_{pm} = \sum_{i=1}^n C_{pi} \cdot x_i$$

Donde:

$C_{pm}$  = Capacidad calorífica de la mezcla, J/(k·mol).

$C_{pi}$  = Capacidad calorífica de cada uno de los componentes, J/(k·mol).

$x_i$  = Fracción molar de cada uno de los componentes de la mezcla.

Para el cálculo de la capacidad calorífica del aceite térmico se realizará por medio de la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{A}{\sqrt{\rho_r}} + B \cdot (t - 15)$$

Siendo:

A y B = Constantes específicas para el aceite térmico.

$\rho_r$  = Densidad relativa del aceite térmico, g/cm<sup>3</sup>.

t = Temperatura, °c.

$C_p$  = Capacidad calorífica del aceite térmico, cal/(g°c).

**Tabla 1.6: Valores de las constantes para la capacidad calorífica del aceite térmico.**

Sustancia	A	B	$\rho_r$ (g/cm <sup>3</sup> )
Aceite térmico	0,425	0,0009	0,88

### **1.3 ALIMENTACIÓN A LA PLANTA.**

En el presente apartado se describen todos los cálculos necesarios, al objeto de conocer el caudal másico de entrada a la unidad.

La alimentación que llega a la columna V-1, llega desde el tanque T-1, con un caudal de 53 kg/h. Dicho caudal ha sido determinado mediante el uso de los balances de materia global y al componente más volátil, en base al caudal requerido para que se lleve a cabo el proceso de alquilación en las respectivas plantas.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Balance de materia global.

$$F = D + W$$

Balance de materia al componente más volátil.

$$F \cdot x_F = D \cdot x_D + W \cdot x_W$$

Así teniendo como datos que:

$$D = 160000 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} = 18,26 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$x_F = 0,6$$

$$x_D = 0,98$$

$$x_W = 0,4$$

Por lo que operando se obtiene:

$$W = 34,76 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$F = 53,05 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Aún se ha de destacar un aspecto no menos importante que es la condición de alimentación, la cual viene expresada mediante:

$$\phi = \frac{\bar{H}_{vap} - \bar{H}_f}{\bar{H}_{vap} - \bar{H}_{liq}}$$

Donde:

$\bar{H}_{vap}$  = Entalpía de la alimentación como vapor saturado, kJ/kg.

$\bar{H}_f$  = Entalpía de la alimentación a la temperatura de operación, kJ/kg.

$\bar{H}_{liq}$  = Entalpía de la alimentación como líquido saturado, kJ/kg

Los valores de entalpía se han obtenido a través del diagrama entalpía-composición trazando una recta vertical que pase por el valor de fracción másica,  $x_F$ , y que corte a las líneas de líquido y vapor saturado. Así los valores que se han obtenido son los que se muestran en la siguiente tabla:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

---

**Tabla 1.7: Valores de entalpía para la condición de alimentación**

$\bar{H}_{vap}$	$\bar{H}_f$	$\bar{H}_{liq}$	$\Phi$	Alimentación
2127,07	-264.52	-116,32	1,06	Líquido subenfriado

## CAPÍTULO 2

### DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

#### 2.1 INTRODUCCIÓN.

Los datos de equilibrio del sistema ácido fluorhídrico–agua, expresando las composiciones en fracción molar, aparecen recogidos en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Datos equilibrio T-xy.

Temperatura (°c)	x	Y
99,9	0,00	0,00
103,2	0,10	0,02
106,0	0,20	0,06
110,0	0,30	0,20
111,8	0,34	0,34
111,9	0,40	0,60
110,4	0,42	0,70
106,9	0,44	0,80
104,9	0,50	0,91
86,9	0,60	0,97
62,0	0,70	0,98
45,5	0,80	0,98
30,6	0,90	0,99
20,8	1,00	1,00

Con estos datos se construye el diagrama de equilibrio xy, con el que se puede observar como la fugacidad relativa es mayor que 1 en el rango de composiciones para el cual se trabaja, por lo que queda justificado la operación de destilación correspondiente al sistema ácido fluorhídrico–agua con el que se está trabajando. El diagrama de composición xy se puede observar a continuación.

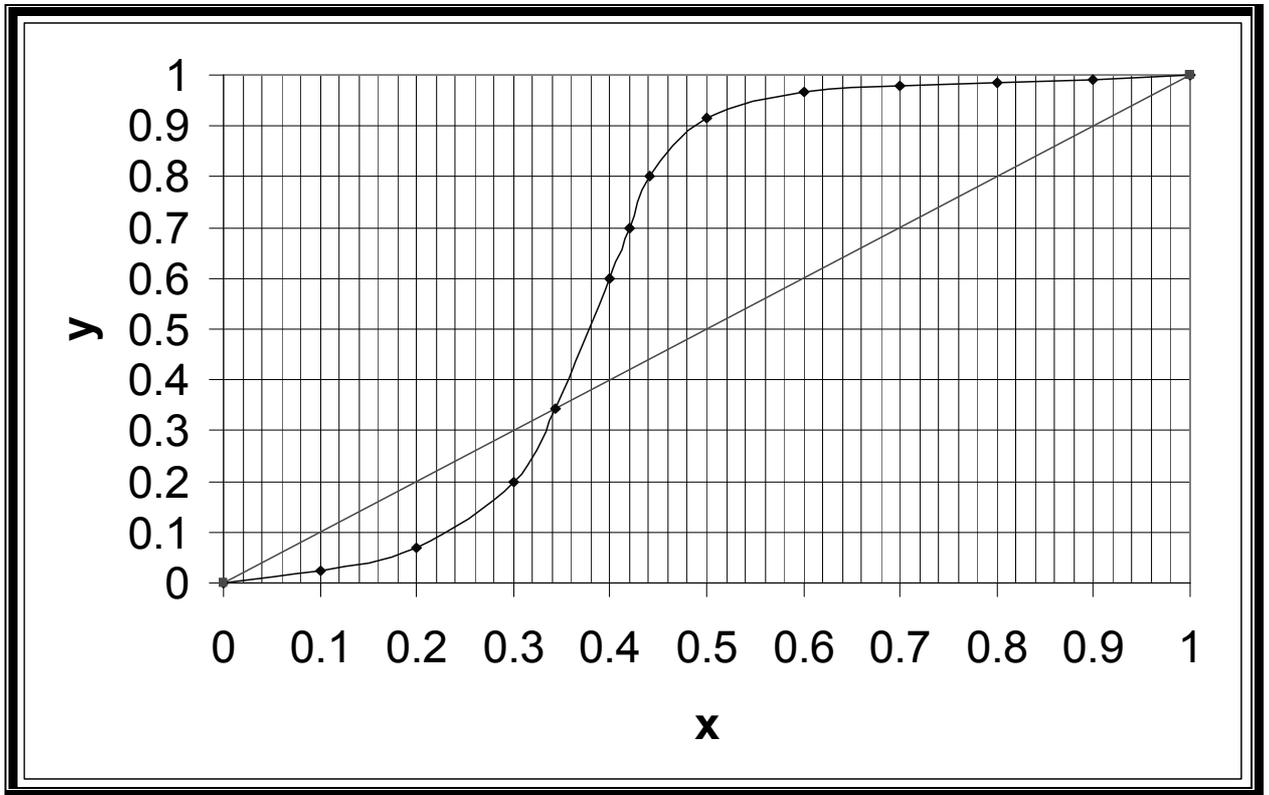
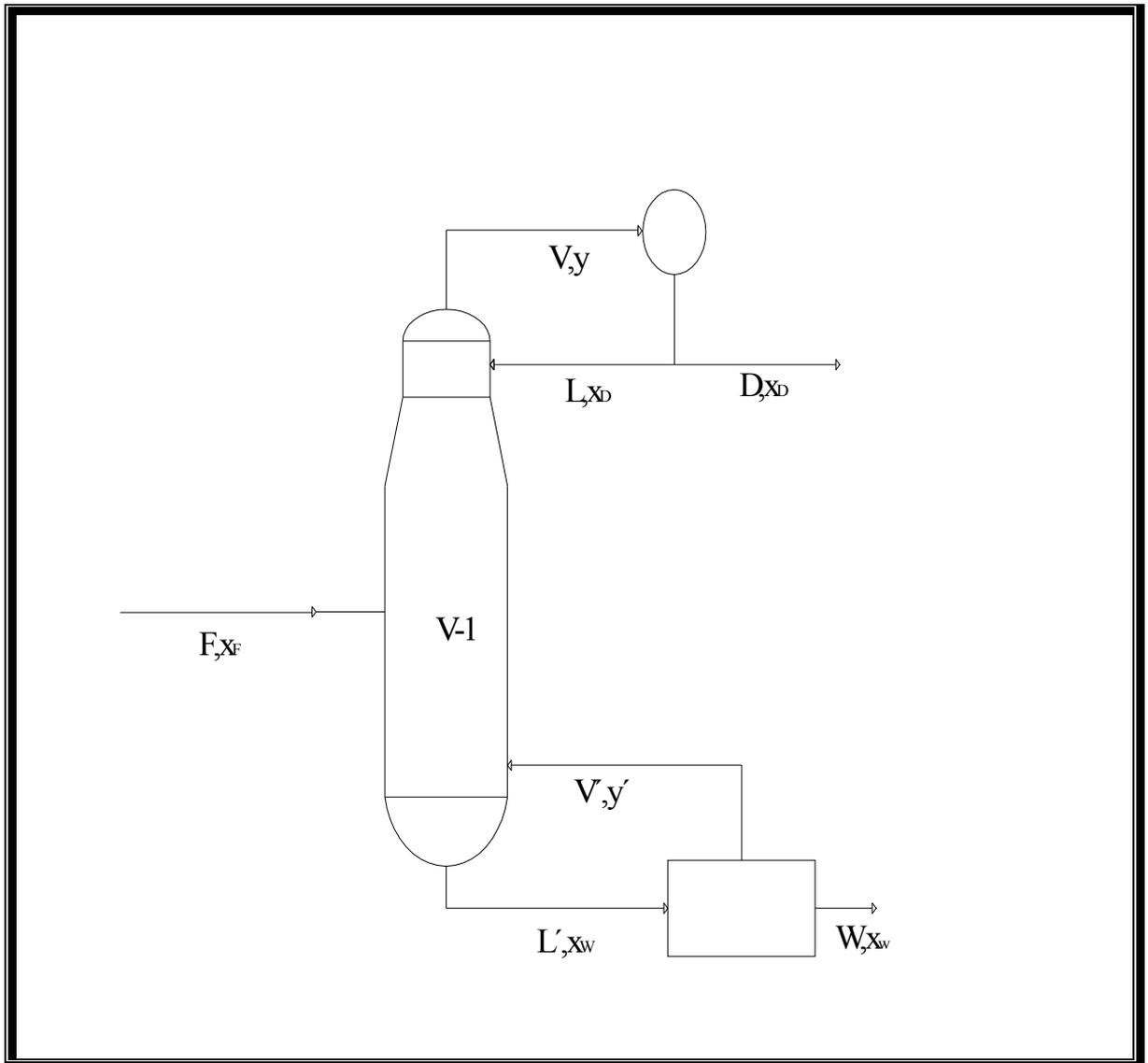


Figura 2.1: Diagrama de composición xy

## 2.2 BALANCE DE MATERIA.

Para la resolución de los balances de materia de la columna de rectificación, se tomará como base de partida el siguiente esquema, para mayor comprensión.



**Figura 2.2: Esquema de la columna de rectificación.**

Designaremos por  $F$  el caudal de alimentación, siendo  $D$  el producto destilado,  $W$  el producto de colas, y  $x_F$ ,  $x_D$ ,  $x_W$  sus composiciones respectivas, referidas al componente más volátil.

La corriente de alimentación es de 53,05 kg/h de composición 0,57 en fracción molar de ácido fluorhídrico entrando a la columna como líquido subenfriado, para obtener un producto de cabeza de 0,98 en fracción molar y un producto de colas de 0,38 en fracción molar.

El peso molecular el ácido fluorhídrico es de 20 kg/kmol y el del agua es de 18 kg/kmol; siendo el peso molecular de la mezcla de:

$$P_m = 0,57 \cdot 20 + 0,43 \cdot 18 = 19,14 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

Un balance total de materia, y otro aplicado al componente más volátil, conducen a:

$$F = D + W$$
$$F \cdot x_F = D \cdot x_D + W \cdot x_W$$

De donde se obtiene que  $D = 18,26$  kg/h y  $W = 34,76$  kg/h.

Un balance de materia al condensador conduce a la siguiente expresión:

$$V = L + D$$

La cual junto a la relación de reflujo óptima, determinada mediante el uso del diagrama de composición-entalpía:

$$\frac{L}{V} = 0,33$$

Hace que se obtenga  $V = 27,3$  kg/h y que  $L = 9,01$  kg/h.

Teniendo en cuenta la condición de alimentación: líquido subenfriado.

$$V' > V$$
$$L' > L + F$$

Y haciendo un balance de materia al rehervidor:

$$L' = V' + W$$
$$L' \cdot x_w = V' \cdot y' + W \cdot x_w$$

Se obtiene que  $L' = 65,58$  kg/h y  $V' = 30,81$  kg/h.

## **2.3 BALANCE DE ENERGÍA.**

### **2.3.1 Introducción.**

El balance global de energía a la columna de rectificación es:

$$\Delta H + \Delta E_C + \Delta E_P = Q + W$$

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Despreciando los términos correspondientes a la variación de energía cinética y energía potencial, y considerando que no se ejerce trabajo sobre el sistema, el balance de energía queda:

$$\boxed{\Delta H = Q}$$

El primer miembro de la ecuación viene dado por:

$$\boxed{\Delta H = \Sigma \Delta H_{salida} - \Sigma \Delta H_{entrada} = (\Delta H_D + \Delta H_W) - \Delta H_F = (\Delta \bar{H}_D \cdot D + \Delta \bar{H}_W \cdot W) - \Delta \bar{H}_F \cdot F}$$

Donde  $\Delta \bar{H}_D$ ,  $\Delta \bar{H}_W$  y  $\Delta \bar{H}_F$  son las entalpías específicas (kcal/kg) de las corrientes de cabeza, cola y alimentación respectivamente.

El segundo miembro de la ecuación, Q, está formado por dos sumandos, el correspondiente al calor aportado en el calderín,  $q_b$ , y el calor retirado del condensador,  $-q_c$ . Así, se tiene que:

$$\boxed{Q = q_b - q_c}$$

De este modo se tiene que:

$$\boxed{(\Delta \bar{H}_D \cdot D + \Delta \bar{H}_W \cdot W) - \Delta \bar{H}_F \cdot F = q_b - q_c}$$

Ahora bien, el método de Ponchon-Savarit se basa en un diagrama entalpía-composición, es decir, es aplicable a sistemas adiabáticos, y el proceso global en la columna es una escisión no adiabática de la alimentación para dar un producto de cabeza y otro de cola. Para utilizar la construcción adiabática hay que corregir la corriente D teniendo en cuenta el calor retirado del condensador y la corriente W teniendo en cuenta el calor aportado al calderín.

Para ello, reordenando la ecuación anterior, se obtiene:

$$\Delta \bar{H}_F \cdot F = (\Delta \bar{H}_D \cdot D + q_c) + (\Delta \bar{H}_W \cdot W - q_b) = D \cdot \left( \Delta \bar{H}_D + \frac{q_c}{D} \right) + W \cdot \left( \Delta \bar{H}_W - \frac{q_b}{W} \right) \Rightarrow$$

$$\boxed{\Delta \bar{H}_F \cdot F = \Delta \bar{H}'_D \cdot D' + \Delta \bar{H}'_W \cdot W'} \quad \text{ec.1}$$

Donde:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$$\Delta\bar{H}'_D = \Delta\bar{H}_D + \frac{q_c}{D} \quad , \quad \Delta\bar{H}'_W = \Delta\bar{H}_W - \frac{q_w}{W}$$

D' y W' son las corrientes de destilado y de producto de cola con las mismas composiciones y caudales másicos que D y W, pero con sus entalpías corregidas: la entalpía de D',  $\Delta\bar{H}'_D$ , es la de D más el caudal de calor retirado del condensador por kilo de destilado,  $\Delta\bar{H}'_D > \Delta\bar{H}_D$ ; y la entalpía de W',  $\Delta\bar{H}'_W$ , es la de W menos el caudal de calor aportado al calderín por kilo de producto de cola,  $\Delta\bar{H}'_W < \Delta\bar{H}_W$ .

De este modo, el balance de energía a la columna queda reducido a un balance entálpico:

$$\Delta H = 0$$

Una vez convertido el sistema en un proceso adiabático, se puede utilizar el diagrama entalpía-composición y el método de Ponchon-Savarit para el cálculo de las rectas de operación y poder determinar número de platos ideales de la columna de rectificación.

Para tener perfectamente definida la [ec. 1], hay que conocer los caudales de materia D' y W' y las entalpías corregidas  $\Delta\bar{H}'_D$  y  $\Delta\bar{H}'_W$ .

Los caudales de las corrientes de destilado y producto de cola,  $D = D'$  y  $W = W'$  se calculan a partir del balance de materia global y por componente a la columna:

$$F = D + W = D' + W'$$

$$x_F \cdot F = x_D \cdot D' = x_W \cdot W'$$

Es un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, D' y W', por lo que se puede resolver.

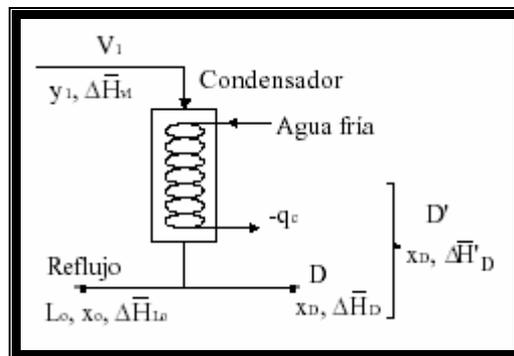
Las entalpías específicas corregidas de las corrientes de destilado y producto de cola,  $\Delta\bar{H}'_D$  y  $\Delta\bar{H}'_W$ , se calculan analíticamente a partir de los balances de materia y entalpía al condensador, junto con la relación de reflujo interna LV, en el caso del destilado, y a partir del balance de entalpía global a la columna, en el caso de la entalpía específica del producto de cola.

### 2.3.2 Cálculo de $\Delta\bar{H}'_D$ .

Balances al condensador:

- Balance de materia  $\Rightarrow V_1 = L_0 + D = L_0 + D'$
- Balance entálpico  $\Rightarrow V_1 \cdot \Delta\bar{H}_{V_1} = L_0 \cdot \Delta\bar{H}_{L_0} + D' \cdot \Delta\bar{H}'_D$

Para mayor comprensión de las operaciones realizadas se ha de seguir de cerca el siguiente esquema:



**Figura 2.3: Esquema de balances al condensador.**

En dicho balance ya se ha corregido la corriente de destilado para que su entalpía incluya el calor retirado del condensador. Sustituyendo  $D'$  por su expresión en el balance de materia y reordenando:

$$V_1 \cdot \Delta\bar{H}_{V_1} = (V_1 - L_0) \cdot \Delta\bar{H}_{L_0} + D' \cdot \Delta\bar{H}'_D$$

$$L_0 \cdot (\Delta\bar{H}'_D - \Delta\bar{H}_{L_0}) = V_1 \cdot (\Delta\bar{H}'_D - \Delta\bar{H}_{V_1})$$

Separando en el primer miembro la relación entre los caudales másicos y en el segundo el cociente entre las diferencias de entalpías:

$$\frac{L_0}{V_1} = \frac{\Delta\bar{H}'_D - \Delta\bar{H}_{V_1}}{\Delta\bar{H}'_D - \Delta\bar{H}_{L_0}} \quad [\text{ec.2}]$$

Donde el primer miembro de [ec. 2] es la relación de reflujo interna,  $R_I = \frac{L_0}{V_1}$ , conocida; y  $\Delta\bar{H}_{V_1}$  y  $\Delta\bar{H}_{L_0}$  las entalpías específicas del vapor que sale en equilibrio del plato 1 y del líquido que retorna a la columna procedente del condensador total, respectivamente. Estas entalpías específicas se leen en el diagrama H-xy, ya que se encuentran en las

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

líneas de vapor saturado y líquido saturado a la misma composición que el producto destilado.

Conocida la relación de reflujo interna y las entalpías de las corrientes de líquido y vapor, se calcula  $\Delta\bar{H}'_D$  despejándola de la expresión anterior.

Así una vez determinada la entalpía  $\Delta\bar{H}'_D$ , se localiza sobre la vertical correspondiente a la composición de destilado como punto de corte entre dicha línea y el valor correspondiente sobre el eje de abcisas.

### 2.3.3 Cálculo de $\Delta\bar{H}'_W$ .

Para la determinación de dicha entalpía se traza una recta que pase por el punto  $(x_F, \Delta\bar{H}_F)$  y por el punto  $(x_D, \Delta\bar{H}_D)$ , prolongándose dicha recta hasta cortar con la vertical correspondiente a  $x_W$ . De esta manera a su vez se localiza de paso el polo  $W'$  necesario para la determinación del número de platos y para el método gráfico a desarrollar, en concreto, el método "Ponchon-Savarit".

Se muestra a continuación un par de tablas en las que se ve los resultados obtenidos.

**Tabla 2.2: Resumen de los valores de entalpía.**

$\Delta\bar{H}_F$ (jul/kg)	$\Delta\bar{H}_D$ (kjul/kg)	$\Delta\bar{H}'_D$ (kjul/kg)	$\Delta\bar{H}_W$ (kjul/kg)	$\Delta\bar{H}'_W$ (kjul/kg)	$\Delta\bar{H}_{L_0}$ (kjul/kg)	$\Delta\bar{H}_{V_1}$ (kjul/kg)
-264,62	58,16	2488,8	-175	-1455,19	58,16	1687

**Tabla 2.3: Calores a retirar en el condensador y aportar en el rehervidor.**

<b>q<sub>b</sub> (kjul/h)</b>	<b>q<sub>c</sub> (kjul/h)</b>
55527,67	6618,43

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO DE LA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN**

#### **3.1 NÚMERO DE ETAPAS IDEALES DE EQUILIBRIO.**

Para la determinación del número de equilibrios se aplicará el método de Ponchon-Savarit, tal como se indicó en el apartado de la memoria 3.1.

Con los caudales obtenidos en el apartado anterior, y fijando las composiciones de destilado y de cola, se obtiene las líneas de operación de rectificación y agotamiento.

##### **3.1.1 Método gráfico de Ponchon-Savarit.**

El método de Ponchon-Savarit elimina la limitación impuesta por la suposición de flujo molar constante, de forma que mediante balances de energía, además de los de materia, se pueden obtener los caudales de líquido y vapor en cualquier punto de la columna. Este método más riguroso se utiliza para aquellos sistemas formados por compuestos de constitución química diferente y con temperaturas de ebullición muy distintas, en los que la suposición de igualdad de calores latentes conduce a errores apreciables.

Para calcular, mediante el método de Ponchon-Savarit, el número de platos ideales de una columna de rectificación en la que se desea conseguir una separación dada, hay que conocer, al igual que en los métodos de McCabe-Thiele y Sorel-Lewis, los datos de equilibrio, que relacionan las composiciones del vapor y el líquido que salen de un plato ideal, y las líneas de operación, que relacionan el vapor que sale de un plato con el líquido que cae procedente del plato inmediatamente superior.

##### **3.1.1.1 Introducción.**

###### **- Datos de equilibrio.**

Con respecto a los datos de equilibrio, éstos vienen dados por el diagrama H-xy, a través de las llamadas rectas de reparto.

En el eje de abscisas se representa la fracción, en masa o molar, del componente más volátil de la mezcla binaria, tanto de la fase líquida,  $x$ , como vapor,  $y$ ; mientras que en el eje de ordenadas se representa la entalpía específica de la mezcla, en kcal/kg ó kcal/mol, en la que se

incluyen los calores latentes, los calores de mezcla y los calores sensibles.

Realmente, aunque en el eje de ordenadas aparezca H, es una variación de entalpía, variación de entalpía específica,  $\Delta\bar{H}$ ; es decir, referido a un estado de referencia arbitrario y por unidad de materia (masa o mol). En este diagrama en concreto se utilizan unidades másicas.

La línea superior corresponde al vapor saturado, es la representación de la entalpía específica del vapor saturado,  $\Delta\bar{H}_V$ , frente a la composición del vapor, y; mientras que la línea de líquido saturado representa la entalpía específica del líquido saturado,  $\Delta\bar{H}_L$ , frente a la composición de la fase líquida, x. Todos los puntos situados por encima de la línea del vapor saturado representan vapor sobrecalentado y todos los puntos por debajo de la línea de líquido saturado representan líquido subenfriado. Las isotermas de la región del líquido representan la entalpía de mezclas líquidas en función de la temperatura y concentración.

Los puntos comprendidos entre ambas líneas de saturación representan las mezclas de líquido y vapor. El equilibrio entre fases viene dado por las rectas de reparto, que unen la línea de líquido saturado con las de vapor saturado.

Los extremos de estas rectas representan los calores correspondientes a x e y en equilibrio. Cada recta de reparto es una isoterma del diagrama T-xy, o un punto del diagrama xy. En el diagrama se muestra también la llamada línea auxiliar, que, como su nombre indica, ayuda a determinar las composiciones y entalpías de las fases en equilibrio.

#### **- líneas de operación.**

Con respecto a las líneas de operación, mediante los balances de materia, éstas tienen la forma, para un plato cualquiera n de la zona de rectificación y un plato m de la zona de agotamiento:

Sección de rectificación:

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} \cdot X_n + \frac{D}{V_{n+1}} \cdot X_D$$

Sección de agotamiento:

$$y_{m+1} = \frac{L_m}{V_{m+1}} \cdot X_m + \frac{W}{V_{m+1}} \cdot X_W$$

Al no considerarse flujo molar constante, las líneas de operación serán distintas para cada plato de la columna. Por tanto, el cociente  $L_n/V_{n+1}$  es diferente según el plato  $n$  de la zona de rectificación considerado; y del mismo modo, para la zona de agotamiento, la relación  $L_m/V_{m+1}$  dependerá del plato  $m$ .

### 3.1.1.2 Cálculo y operaciones.

#### - Determinación del reflujo mínimo y óptimo.

Para comenzar es importante desde el punto de vista económico; llegar a un reflujo óptimo; el cual representa una situación de compromiso entre los costes y la eficacia de la columna, ya que a medida que aumenta el reflujo aumenta también el número de platos lo que encarece en mayor medida los costes fijos de la misma.

Para la determinación del reflujo óptimo se ha de determinar previamente un reflujo mínimo  $R_{\min}$ , dicho reflujo requiere un número infinito de platos para lograr la separación deseada; corresponde a la carga térmica mínima del rehervidor y de enfriamiento del condensador para la separación. Teniendo en cuenta el tipo de mezcla con el que se está tratando. En el presente proyecto la mezcla inicial se caracteriza por poseer un azeotropo cuando se alcanza una fracción molar de 0,34, tratándose de un sistema con desviación negativa respecto de la idealidad.

Esta última característica hace que la determinación del reflujo mínimo se realice de una manera específica, que consiste en la prolongación de la última recta de reparto que quede entre la fracción molar de alimentación y la de cola y se localice inmediatamente después de la correspondiente a la recta de reparto para la fracción molar de alimentación. Dicha prolongación ha de cortar con otra prolongación perteneciente a la fracción molar de cola para la determinación del polo  $W'$ .

Una vez determinado el polo  $W'$  se traza una recta que pasando por dicho polo y el punto de alimentación  $F$  (previamente situado sobre la respectiva isoterma correspondiente a la temperatura a la que se alimenta a la columna) corte con la prolongación perteneciente a la fracción de destilado  $x_D$ . Así se determina el polo  $D_{\min}'$  con el que se puede determinar el reflujo mínimo mediante la siguiente expresión:

$$R_{\min} = \frac{\Delta \bar{H}_{D_{\min}'} - \Delta \bar{H}_{V1}}{\Delta \bar{H}_{V1} - \Delta \bar{H}_D}$$

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Donde:

$\Delta\bar{H}_{D_{\min}}$  = Entalpía correspondiente del polo  $D_{\min}$ , (kJul/kg).

$\Delta\bar{H}_{V1}$  = Entalpía correspondiente al punto de corte entre la línea de vapor saturado y la prolongación de la recta perteneciente a la fracción molar  $x_D$ , (kJul/kg).

$\Delta\bar{H}_D$  = Entalpía correspondiente al punto de corte entre la línea de líquido saturado y la prolongación correspondiente a la fracción molar  $x_D$ , (kJul/kg).

De esta forma se obtienen los valores que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1: Valores de entalpía y de reflujo mínimo.**

$\Delta\bar{H}_{D_{\min}}$	$\Delta\bar{H}_{V1}$	$\Delta\bar{H}_D$	$R_{\min}$
2070,56	1686,69	58,16	0,24

Para la determinación del reflujo óptimo se suelen tomar valores de reflujo que sean del rango de 1,3 – 1,5 veces el reflujo mínimo, por lo que se obtienen los siguientes valores:

**Tabla 3.2: Valores de reflujo óptimo**

$R_{\text{opt}} (R_{\text{opt}}=1,3 \cdot R_{\min})$	$R_{\text{opt}} (R_{\text{opt}}=1,4 \cdot R_{\min})$	$R_{\text{opt}} (R_{\text{opt}}=1,5 \cdot R_{\min})$
0,31	0,33	0,35

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

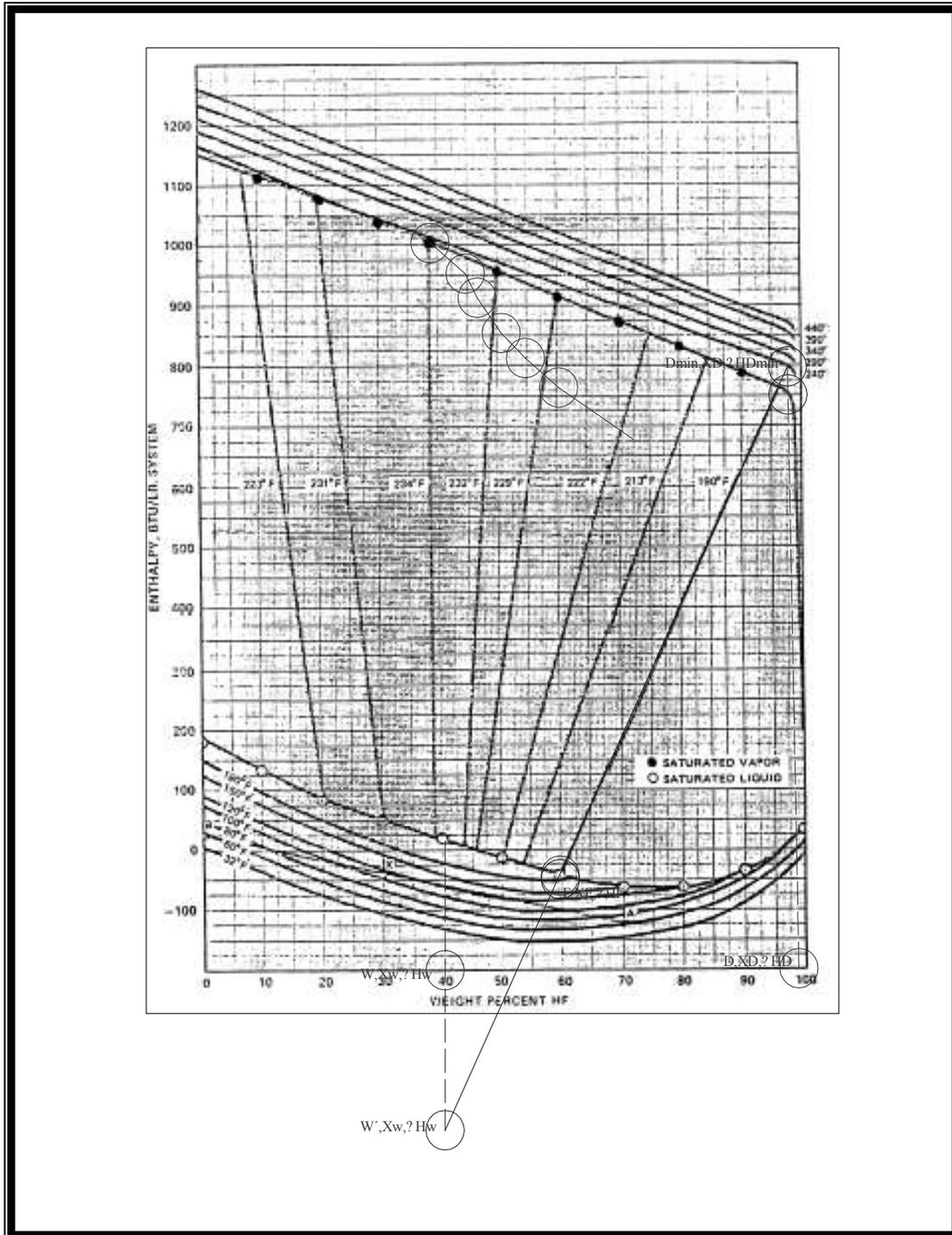


Figura 3.1: Determinación de entalpías necesarias para calcular el reflujo mínimo

- **Determinación del número de etapas ideales y sus correspondientes composiciones en equilibrio.**
  1. Para comenzar una vez determinado el reflujo interno óptimo de la columna pasamos a la determinación del número de etapas ideales mediante el uso del diagrama entalpía-composición.
  2. Para ello se parte de la localización del polo D' para lo cual hay que hacer previamente un cálculo para determinar la entalpía que corresponde a dicho punto y así poder marcar sobre la recta vertical que pertenece a  $x_D$  dicho polo. El cálculo de esa entalpía se hace por medio de un balance energético.
  3. Partiendo de los valores obtenidos anteriormente, en los balances de materia y los de energía, así como en las especificaciones de las composiciones que se necesitan obtener el ácido fluorhídrico por cabeza con una pureza del 98% y por cola de un 40%, se procede a determinar con ayuda de la línea auxiliar la 1º recta de reparto. Los pasos a seguir son los siguientes:
    4. Al cortar la vertical correspondiente a la composición  $x_D$  sobre la línea de vapor saturado se obtiene el punto  $(x_D, \Delta\bar{H}_{V_1})$  correspondiente al vapor que sale del plato n°1 y que está en equilibrio con el líquido que cae al plato n°2.
    5. Trazando una recta horizontal que corte a la línea auxiliar se obtiene un nuevo punto sobre la misma, a partir del cual se traza a continuación una nueva recta vertical que corta a la línea de líquido saturado en el punto  $(x_1, \Delta\bar{H}_{L_1})$ . Al unirse este punto con el punto  $(x_D, \Delta\bar{H}_{V_1})$  se obtiene la 1º recta de reparto.
    6. Posteriormente con base el polo D' que se había determinado anteriormente como se explicó en el balance de energía, se traza una recta que pase por el punto  $(x_D, \Delta\bar{H}_{D'})$ . Dicha recta corta a la línea de vapor saturado en el punto  $(y_2, \Delta\bar{H}_{V_2})$ . Al unirse este nuevo punto con  $(x_1, \Delta\bar{H}_{L_1})$  se obtiene la 1º línea de operación.
    7. A continuación, se traza desde  $(y_2, \Delta\bar{H}_{V_2})$  una recta horizontal que corte a la línea auxiliar. Si a continuación se traza desde ese punto de corte una recta vertical que corte a la línea de líquido saturado se determina el punto  $(x_2, \Delta\bar{H}_{L_2})$ .

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

8. Si desde ese último punto se traza una recta que lo una con el punto  $(y_2, \Delta \bar{H}_{V_2})$  se obtiene la 2ª recta de reparto.
9. Tras la obtención de la nueva recta de reparto, y debido a que se ha sobrepasado la composición de alimentación nos encontraremos en la zona de agotamiento por lo que se ha de usar como polo  $W'$  para obtener la nueva línea de operación que al pasar por el punto  $(x_2, \Delta \bar{H}_{L_2})$  y cortar con la línea de vapor saturado permita determinar el punto  $(y_3, \Delta \bar{H}_{V_3})$ .
10. Este paso es similar al paso 5 en adelante, ya que con ayuda de nuevo de la línea auxiliar se obtiene el nuevo punto  $(x_3, \Delta \bar{H}_{L_3})$ , con el que nuevamente se obtendrá una nueva recta de reparto y una nueva línea de operación para la determinación del nuevo punto  $(y_4, \Delta \bar{H}_{V_4})$ , con la ayuda del polo  $W'$ .
11. El paso 8 se repite hasta que se sobrepase la composición de cola, momento en el que se habrá finalizado la determinación de todas las rectas de reparto y de las líneas de operación.

A continuación se muestra el diagrama entalpía composición con sus respectivas rectas de reparto y líneas de operación.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

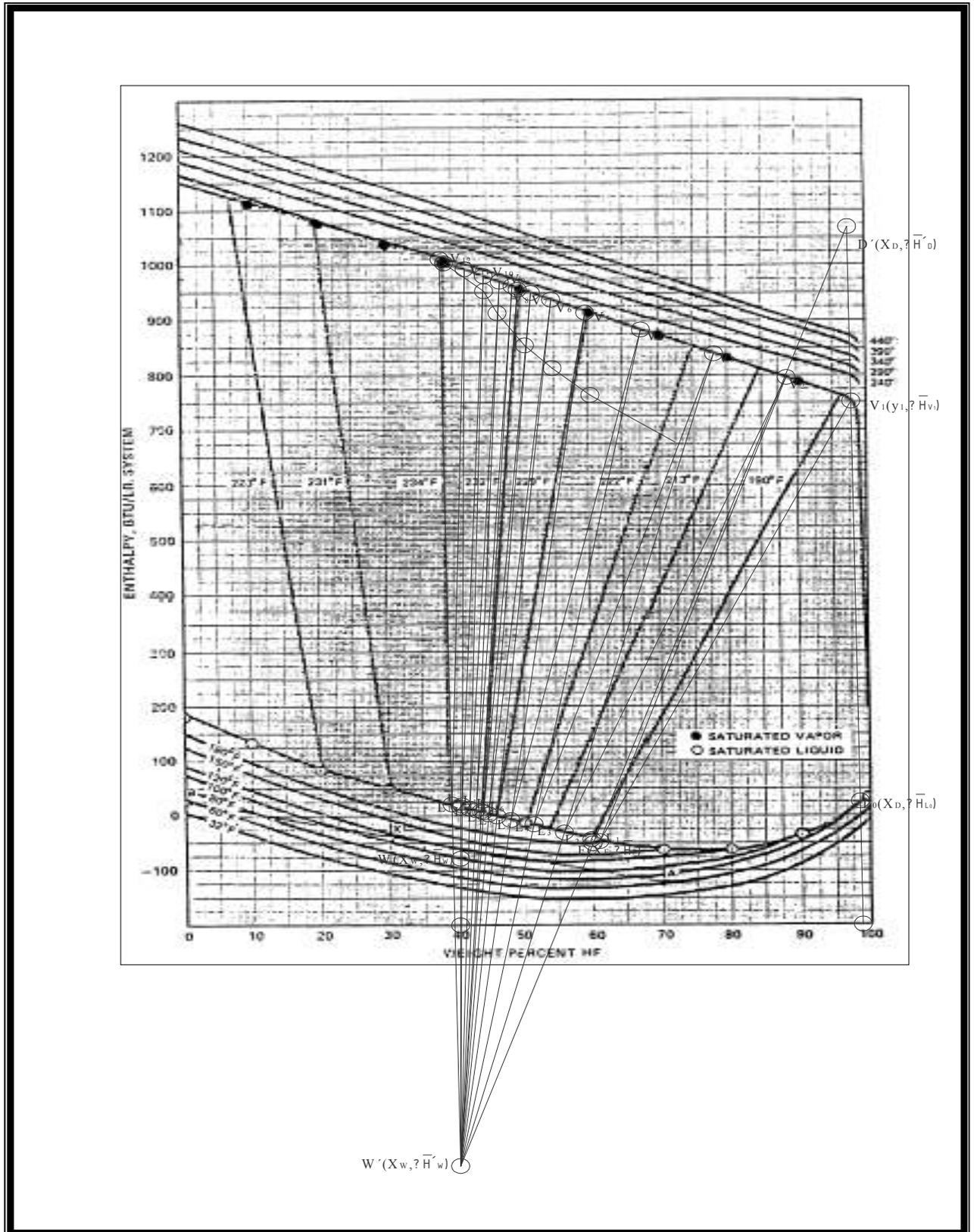


Figura 3.2: Operaciones con el diagrama entalpía-composición.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

---

Tabla 3.3: Composiciones del vapor en el interior de la columna.

Etapas	$y_{HF}$	$y_{H_2O}$
1	0,98	0,02
2	0,87	0,13
3	0,76	0,24
4	0,65	0,35
5	0,57	0,43
6	0,52	0,48
7	0,49	0,51
8	0,47	0,53
9	0,46	0,54
10	0,44	0,56
11	0,42	0,58
12	0,39	0,61

Tabla 3.4: composiciones del líquido en el interior de la columna.

Etapas	$x_{HF}$	$x_{H_2O}$
1	0,58	0,42
2	0,53	0,47
3	0,49	0,51
4	0,45	0,55
5	0,43	0,57
6	0,42	0,58
7	0,41	0,59
8	0,40	0,60
9	0,40	0,60
10	0,39	0,61
11	0,38	0,62
12	0,36	0,64

En la siguiente tabla se han incluido las temperaturas de dichas corrientes, obtenidas mediante interpolación y extrapolación, mediante el mismo diagrama entalpía-composición, ya que en él también aparecen isotermas.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**Tabla 3.5: Temperaturas en cada una de las etapas ideales.**

Etapas	Temperatura (°c)
1	84,13
2	96,17
3	103,72
4	107,43
5	109,44
6	110,31
7	110,82
8	111,11
9	111,23
10	111,43
11	111,67
12	112,00

Conocidas las composiciones de vapor y de líquido de las diferentes corrientes, se pueden calcular los caudales molares aplicando un balance de materia a cada plato.

Para la etapa  $n = 1$ , al conocerse los valores de  $L_0$  y  $V_1$ , el balance de materia queda como sigue:

$$L_0 + V_2 = L_1 + V_1 \Rightarrow L_1 = 0,47 \text{ kmol/h.}$$

$$L_0 \cdot x_0 + V_2 \cdot y_2 = L_1 \cdot x_1 + V_1 \cdot y_1 \Rightarrow V_2 = 1,37 \text{ kmol/h.}$$

Para la etapa  $n = 2$ , que no es otra si no la del plato de alimentación tenemos el siguiente balance.

$$L_1 + V_3 + F = L_2 + V_2 \Rightarrow L_2 = 3,1 \text{ kmol/h.}$$

$$L_1 \cdot x_1 + V_3 \cdot y_3 + F \cdot x_F = L_2 \cdot x_2 + V_2 \cdot y_2 \Rightarrow V_3 = 1,22 \text{ kmol/h.}$$

Para el balance correspondiente a  $n = 3$ , se seguirá los siguientes balances:

$$L_2 + V_4 = V_3 + L_3 \Rightarrow L_3 = 3,07 \text{ kmol/h.}$$

$$L_2 \cdot x_2 + V_4 \cdot y_4 = V_3 \cdot y_3 + L_3 \cdot x_3 \Rightarrow V_4 = 1,20 \text{ kmol/h.}$$

Prosiguiendo el cálculo de manera similar para los platos restantes que constituyen la columna se obtiene los valores que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 3.6: valores de caudal molar de las corrientes de líquido y de vapor.**

<b>Etapa</b>	<b>Caudal líquido (kmol/h)</b>	<b>Caudal vapor (kmol/h)</b>
1	9,27	1,37
2	82,75	1,40
3	91,02	2,46
4	99,37	2,91
5	111,1	3,37
6	122,26	4,01
7	130,29	4,61
8	143,87	5,04
9	163,68	5,76
10	207,25	6,81
11	349,50	9,15
12	445,62	16,75

### **3.2 DISEÑO HIDRÁULICO DE LA COLUMNA.**

Por lo general las corrientes que llevan a elevadas eficiencias de platos también conducen finalmente a dificultades en la operación.

Los platos están sujetos a inundaciones, debido a un arrastre excesivo del líquido en el vapor por espumado o a la elevación del líquido en los vertederos.

La inundación por arrastre excesivo se produce debido a una velocidad elevada del vapor. Cuando la velocidad del vapor es relativamente elevada, se dispersa totalmente en el líquido, el cual a su vez es agitado hasta formar espuma y cuando el vapor se desprende de la espuma, pequeñas gotas de líquido son arrastradas por el vapor al plato superior.

La inundación de los vertederos se produce debido a que el caudal de vapor permanece constante mientras que el líquido aumenta hasta el punto de superar la capacidad de los vertederos e inundar la columna.

En resumen, una profundidad elevada del líquido en los platos proporciona eficiencias de platos elevadas mediante tiempos largos de contacto, pero también causa una caída de presión elevada por plato. Las velocidades elevadas del gas, dentro de límites razonables, proporcionan buen contacto vapor-líquido mediante dispersión

excelente, pero ocasionan excesiva entrada del líquido al gas y una caída alta de presión.

Otra de las condiciones indeseables que pueden ocurrir, es que, el gas ascendente a través de los orificios del plato puede empujar el líquido hacia fuera, teniendo lugar un contacto deficiente entre el gas y el líquido. Si el flujo del gas es muy bajo, parte del líquido caerá a través de los orificios del plato (lloriqueo) por lo que no se obtendrá el beneficio del flujo completo sobre los platos; además a flujo lento del gas, el líquido no alcanza las tuberías descendentes.

Todos los tipos de platos están sujetos a algunas de estas dificultades. Los diferentes arreglos, dimensiones y condiciones de operación que se escogen para el diseño son aquellos que, establecen un término medio adecuado.

El procedimiento general de diseño involucra una aplicación relativamente empírica de esos factores, seguida por un cálculo de verificación para asegurar que sean satisfactorias las caídas de presión así como la capacidad de la torre para manejar cantidades de flujo mayores o menores que las previstas.

Se escoge un diámetro de la torre que se adapte al flujo, se seleccionan los detalles del arreglo de los platos, se calcula la caída de presión del gas y los límites para la inundación, y se establecen seguridades en contra del excesivo lloriqueo y del exagerado arrastre del líquido en el gas.

Se realiza de manera detallada los cálculos para el plato número 1. Para el resto de los platos de la columna, el cálculo se realiza de la misma manera.

### **3.2.1 Vapor en el plato.**

#### **- Peso molecular promedio del vapor.**

Para determinar el peso molecular promedio se ha de seguir la siguiente expresión:

$$\overline{Pm}_V = \sum_{i=1}^n y_i \cdot P_{m_i}$$

Donde:

$\overline{Pm}_V$  = Peso molecular promedio del vapor, kg/kmol.

$y_i$  = Fracción molar de vapor para cada uno de los componentes.

$P_{m_i}$  = Peso molecular de cada uno de los componentes, kg/kmol.

$$n = 1 \Rightarrow \overline{P_{m_v}} = 0,98 \cdot 20 + 0,02 \cdot 18 = 19,96 \text{ kg/kmol.}$$

- **Caudales másicos.**

El cálculo de los caudales másicos de las distintas corrientes se efectúa multiplicando los caudales molares por su peso molecular.

$$V' = V \cdot \overline{P_{m_v}}$$

Siendo:

$V'$  = caudal másico, kg/h.

$V$  = caudal molar, kmol/h.

$\overline{P_{m_v}}$  = Peso molecular promedio del vapor, kg/kmol.

$$n = 1 \Rightarrow V' = 9,27 \cdot 19,96 = 27,31 \text{ kg/h.}$$

- **Caudales volumétricos.**

El caudal volumétrico se determina dividiendo el caudal másico de cada corriente por su correspondiente densidad.

$$Q_V = V' \cdot \frac{\overline{P_{m_v}}}{\rho_V}$$

Siendo:

$Q_V$  = Caudal volumétrico, m<sup>3</sup>/h.

$V$  = Caudal molar, kmol/h.

$\overline{P_{m_v}}$  = Peso molecular promedio del vapor, kg/kmol.

$\rho_V$  = Densidad del vapor, kg/m<sup>3</sup>.

$$Q_V = 9,27 \cdot \frac{19,96}{6,88} = 3,97 \frac{m^3}{h}$$

En la siguiente tabla aparecen recogidos el peso molecular promedio del vapor, la densidad del vapor (que ya había sido previamente calculada en el capítulo 1) y los caudales másicos y volumétricos de las 12 etapas ideales.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

Tabla 3.7: Peso molecular promedio, densidad y caudal másico y volumétrico del vapor.

Etapa	Peso molecular promedio (kg/kmol)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Caudal másico (kg/h)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)
1	19,96	6,88	27,31	3,97
2	19,75	6,97	27,57	3,95
3	19,53	9,02	47,99	5,32
4	19,31	11,56	56,25	4,87
5	19,15	14,73	64,61	4,39
6	19,05	17,58	76,33	4,34
7	18,98	20,40	87,50	4,29
8	18,95	22,93	95,52	4,17
9	18,93	23,18	109,10	4,71
10	18,89	24,74	128,62	5,20
11	18,84	27,30	172,49	6,32
12	18,79	31,12	314,73	10,11

### 3.2.2 Líquido en el plato.

#### - **Peso molecular promedio del líquido.**

Para determinar el peso molecular promedio se ha de seguir la siguiente expresión:

$$\overline{Pm}_L = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_{m_i}$$

Donde:

$\overline{Pm}_L$  = Peso molecular promedio del líquido, kg/kmol.

$x_i$  = Fracción molar de líquido para cada uno de los componentes.

$P_m$  = Peso molecular de cada uno de los componentes, kg/kmol.

$$n = 1 \Rightarrow \overline{Pm}_L = 0,58 \cdot 20 + 0,42 \cdot 18 = 19,17 \text{ kg/kmol.}$$

#### - **Caudales másicos.**

El cálculo de los caudales másicos de las distintas corrientes se efectúa multiplicando los caudales molares por su peso molecular.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$$L' = L \cdot \overline{P_{mL}}$$

Siendo:

$L'$  = Caudal másico, kg/h.

$L$  = Caudal molar, kmol/h.

$\overline{P_{mL}}$  = Peso molecular promedio del líquido, kg/kmol.

$$n = 1 \Rightarrow L' = 0,48 \cdot 19,17 = 9,27 \text{ kg/h.}$$

- **Caudales volumétricos.**

El caudal volumétrico se determina dividiendo el caudal másico de cada corriente por su correspondiente densidad.

$$Q_L = L \cdot \frac{\overline{P_{mL}}}{\rho_L}$$

Siendo:

$Q_L$  = Caudal volumétrico, m<sup>3</sup>/h.

$L$  = Caudal molar, kmol/kg.

$\overline{P_{mL}}$  = Peso molecular promedio del líquido, kg/kmol.

$\rho_L$  = Densidad del líquido, kg/m<sup>3</sup>.

$$Q_L = 0,48 \cdot \frac{19,17}{2385} = 0,004 \frac{m^3}{h}$$

En la siguiente tabla aparecen recogidos el peso molecular promedio del líquido, la densidad del líquido (que ya había sido previamente calculada en el capítulo 1) y los caudales másicos y volumétricos de las 12 etapas ideales.

**Tabla 3.8: Peso molecular promedio, densidad y caudal másico y volumétrico del líquido.**

Etapa	Peso molecular promedio (kg/kmol)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Caudal másico (kg/h)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)
1	19,17	2385,00	9,27	0,004
2	19,06	2431,07	82,76	0,034
3	18,97	2492,95	91,02	0,037
4	18,90	2558,45	99,37	0,039
5	18,86	2598,13	111,10	0,043
6	18,83	2628,93	122,26	0,047
7	18,81	2645,49	130,29	0,049
8	18,81	2646,60	143,87	0,054
9	18,80	2665,49	163,38	0,061
10	18,78	2688,65	207,25	0,077
11	18,75	2716,37	349,25	0,129
12	18,73	2750,66	445,62	0,162

### 3.2.3 Perforaciones y área activa.

Como se ha citado en el capítulo 3, de la memoria descriptiva los platos seleccionados son del tipo, platos perforados.

Se supone un diámetro de perforaciones de  $d_0 = 16,5$  mm, sobre una distribución en forma de triángulo equilátero con distancias de 57,75 mm entre los centros de los orificios (pitch,  $P'$ ). Para una consideración de este tipo:

$$\frac{A_0}{A_a} = 0,907 \cdot \left(\frac{d_0}{P'}\right)^2 \Rightarrow \frac{A_0}{A_a} = 0,074$$

Siendo:

$A_0$  = Área del orificio.

$A_a$  = Área activa.

Según la tabla 1.3 del anexo 1, con  $d_0 = 16,5$  mm, tenemos que

$$\frac{e}{d_0} = 0,275, \text{ luego el espesor es de } 4,5 \text{ mm.}$$

### 3.2.4 Velocidad de inundación, 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 vapor y del líquido dentro de la región de operación satisfactoria.

Por tanto, el primer paso en el diseño de los platos perforados será determinar la velocidad de inundación de la columna.

La velocidad de inundación se determina por la expresión:

$$V_F = C_F \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}}$$

Siendo:

$V_F$  = Velocidad de inundación, m/s.

$C_F$  = Coeficiente de inundación.

$\rho_L$  = Densidad del líquido, kg/m<sup>3</sup>.

$\rho_V$  = Densidad del vapor, kg/m<sup>3</sup>.

La velocidad de inundación es función de una constante  $C_F$ , constante de inundación, la cual se determina mediante la siguiente correlación empírica, en la que intervienen una serie de parámetros que habrá que calcular.

El coeficiente de inundación viene dado por:

$$C_F = \left[ \alpha \cdot \log \frac{1}{\left(\frac{L'}{V'}\right) \cdot \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}} + \beta \right] \cdot \left( \frac{\sigma}{0,02} \right)^{1/5}$$

Donde:

$\alpha$  y  $\beta$  = constantes.

$L'$  = Caudal másico del líquido, kg/h.

$V'$  = Caudal másico del vapor, kg/h.

$\sigma$  = Tensión superficial del líquido, N/m.

$\frac{L'}{V'} \cdot \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}$  = Parámetro adimensional de flujo.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  aparecen tabuladas y son función del espaciado entre platos,  $t$ , que a su vez es función del diámetro de la torre,  $T$ .

El modo de operación se describe a continuación:

- Se supone un diámetro.
- Se ve el espaciado de platos correspondiente (tabulados).
- Se calculan las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  y la velocidad de inundación.
- Por último se determina el área total y el diámetro.

Si éste coincide con el supuesto inicialmente el cálculo es correcto. De lo contrario se repiten los cálculos hasta que coincidan ambos valores.

Inicialmente se partió de un diámetro de la torre,  $T$ , de 0,5 m para la zona de rectificación y de 0,9 m para la zona de agotamiento. Según la tabla 1.2, recogida en el anexo 1 se tiene un espaciado de platos, para ambas zonas,  $t$ , de 0,50 mm. En estas condiciones, los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  son:

$$\alpha = 0,043 \quad \beta = 0,026$$

La tensión superficial de las corrientes líquidas se calculó en capítulo 1, apartado 1.2.

A continuación, para cada plato se determina la velocidad de inundación. Se toma un valor del 80% de  $U_F$ , con el fin de tener en cuenta la posibilidad de que el líquido que forme espuma. De esta forma se asegura que la columna no se inunda.

$$U = 0,8 \cdot U_F$$

Donde  $U$  es la velocidad del vapor en m/s.

Seguidamente se calcula el área neta y el área total.

$$\boxed{A_n = \frac{Q_V}{U}} \quad \boxed{A_T = A_n + 2 \cdot A_V}$$

Donde:

$A_n$  = Área neta de la sección transversal de la columna para el flujo del vapor, m<sup>2</sup>.

$Q_V$  = Caudal volumétrico, m<sup>3</sup>/h.

$U$  = Velocidad del vapor, m/s.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$A_T$  = Área total de la sección transversal de la columna, m<sup>2</sup>.

$A_V$  = Área del vertedero, m<sup>2</sup>.

Para derramaderos rectangulares rectos y platos de flujo transversal, la longitud típica,  $W$ , se define como un 70% del valor del diámetro de la torre; es decir;  $0,7T$ . Luego según el valor de la tabla 1.2 (anexo 1), se determina la relación existente entre el área del vertedero y el área total:

$$\frac{A_V}{A_T} = 0,088$$

Resolviendo el sistema formado por esta expresión y la del área total; y conocida el área neta, obtenemos el área total del plato y, mediante la siguiente expresión, su diámetro;

$$T = \left[ \frac{4 \cdot A_T}{\pi} \right]^{0,5}$$

Una vez calculado el diámetro del plato, se comprueba si coincide con el valor supuesto inicialmente. Si es así, se prosigue el diseño. De no ser así, se supone un nuevo valor para el diámetro y se realizan de nuevo todos los cálculos hasta que ambos valores coincidan.

A continuación, en la tabla 3.9, se muestran los resultados obtenidos, para la suposición inicial de un diámetro de un metro.

Habrà que diferenciar dos zonas en este sentido, al tratarse de una torre con cambio de diámetro de la zona de rectificación a la zona de agotamiento.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 3.9: Diámetro de los platos.**

Etapa	$\frac{L'}{V'} \cdot \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}$	$C_F$	$U_F$ (m/s)	$U$ (m/s)	$A_n$ (m <sup>2</sup> )	$A_T$ (m <sup>2</sup> )	$T$ (m)
1	0,018	0,100	1,859	1,487	2,668	2,926	1,930
2	0,161	0,186	3,467	2,774	1,426	1,563	1,411
3	0,114	0,207	3,442	2,753	1,932	2,119	1,643
4	0,119	0,207	3,073	2,458	1,980	2,171	1,662
5	0,129	0,203	2,689	2,151	2,039	2,236	1,687
6	0,131	0,203	2,476	1,981	2,192	2,403	1,749
7	0,131	0,204	2,310	1,848	2,320	2,544	1,800
8	0,140	0,200	2,135	1,708	2,439	2,674	1,845
9	0,140	0,200	2,139	1,711	2,750	3,016	1,960
10	0,155	0,195	2,023	1,618	3,212	3,522	2,118
11	0,203	0,179	1,781	1,425	4,435	4,863	2,488
12	0,151	0,198	1,852	1,481	6,827	7,485	3,087

A la vista de los resultados obtenidos, es necesario volver a calcular todo, pero ahora para un diámetro comprendido entre 1-3 metros; para el cual según la tabla 1.2 (recogida en el anexo 1) se tiene un espaciamiento de platos, para ambas zonas,  $t$ , de 0,60 mm, con lo que se obtiene:

**Tabla 3.10: Constantes para calcular  $C_f$ .**

Zona	$\alpha$	$\beta$
Rectificación	0,049	0,029
Agotamiento	0,049	0,029

Estos cálculos se recogen en la tabla 3.11.

Con este diámetro se calcula el área total corregida:

$$A_T = \pi \cdot \frac{T^2}{4}$$

Así se obtienen los siguientes valores:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Sección Rectificación

$$A_T = \pi \cdot \frac{T^2}{4} = \pi \cdot \frac{(1,95)^2}{4} = 2,986m^2$$

Sección Agotamiento

$$A_T = \pi \cdot \frac{T^2}{4} = \pi \cdot \frac{(2,95)^2}{4} = 6,835m^2$$

El área de vertedero será de:

$$A_V = 0,088 \cdot A_T$$

Así se obtiene que:

Sección Rectificación

$$A_V = 0,088 \cdot A_T = 0,088 \cdot 2,986 = 0,263m^2$$

Sección Agotamiento

$$A_V = 0,088 \cdot A_T = 0,088 \cdot 6,835 = 0,601m^2$$

Longitud del vertedero:

Sección Rectificación

$$W = 0,7 \cdot T = 0,7 \cdot 1,95 = 1,365m$$

Sección Agotamiento

$$W = 0,7 \cdot T = 0,7 \cdot 2,95 = 2,065m$$

Área activa: su relación con el área total aparece recogida en la tabla 1.3 (anexo 1).

Sección Rectificación

$$A_a = 0,65 \cdot A_T = 0,65 \cdot 2,986 = 1,941m^2$$

Sección Agotamiento

$$A_a = 0,78 \cdot A_T = 0,78 \cdot 6,835 = 5,331m^2$$

Área del plato perforado:

Sección Rectificación

$$A_0 = 0,074 \cdot A_a = 0,074 \cdot 1,941 = 0,144m^2$$

Sección Agotamiento

$$A_0 = 0,074 \cdot A_a = 0,074 \cdot 5,331 = 0,395m^2$$

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 3.11: Valores de diámetros reales.**

<b>Etapa</b>	$\frac{L'}{V'} \cdot \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}$	$C_F$	$U_F$ (m/s)	$U$ (m/s)	$A_n$ (m <sup>2</sup> )	$A_T$ (m <sup>2</sup> )	$T$ (m)
1	0.018	0,100	1,859	1,487	2,668	2,926	1,930
2	0.161	0,210	3,916	3,133	1,262	1,384	1,327
3	0.114	0,231	3,828	3,063	1,737	1,905	1,557
4	0.119	0,230	3,414	2,731	1,782	1,954	1,577
5	0.129	0,226	2,998	2,398	1,829	2,006	1,598
6	0.131	0,228	2,774	2,220	1,956	2,145	1,653
7	0,131	0,229	2,597	2,077	2,064	2,263	1,698
8	0,140	0,225	2,408	1,927	2,162	2,371	1,737
9	0,140	0,226	2,412	1,929	2,439	2,675	1,845
10	0,155	0,219	2,273	1,818	2,859	3,135	1,998
11	0,203	0,201	1,995	1,596	3,959	4,341	2,351
12	0,151	0,222	2,076	1,661	6,090	6,678	2,916

Se observa para ambas secciones que los mayores diámetros quedan dentro del rango escogido; luego es posible considerar correctos los valores calculados para ambas (1,93 m) para la de rectificación que se redondea hasta 1,95 m y (2,916) para la de agotamiento que redondeamos hasta 2,95 m.

### 3.2.5 Pérdidas de carga.

La pérdida de carga total presenta tres contribuciones:

$$h_T = h_w + h_{\text{liquido}} + h_{\text{vapor}}$$

Donde:

$h_w$  = Altura del vertedero, mm.

$h_{\text{liquido}}$  = Caída de presión para el líquido, mm.

$h_{\text{vapor}}$  = Caída de presión para el vapor, mm.

Para la determinación de la pérdida de carga total, es necesario calcular primero la altura del vertedero, la caída de presión para el líquido, así como la caída de presión para vapor.

Un diseño seguro requiere que el nivel de líquido claro equivalente no sea mayor de un medio del espaciamiento de los platos. Luego el requerimiento es:

$$h_W + h_{\text{líquido}} + h_{\text{vapor}} \leq \frac{t}{2}$$

Donde:

$t$  = Espaciamiento entre platos, mm.

### 3.2.5.1 Altura del vertedero.

La altura del vertedero se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$h_W = \frac{t}{10} \Rightarrow h_W = 60\text{mm}$$

Donde:

$t$  = Espaciamiento entre platos, mm.

### 3.2.5.2 Caída de presión para el líquido.

La caída de presión para el líquido será la suma de las pérdidas de presión que resulta en la entrada del líquido y la cresta del líquido sobre el derramadero.

$$h_{\text{líquido}} = h_E + h_C$$

Donde:

$h_E$  = Pérdida de presión a la entrada del líquido, mm.

$h_C$  = Cresta del líquido sobre el derramadero, mm.

#### Pérdidas de presión a la entrada del líquido.

La pérdida de presión a la entrada del líquido se calcula mediante la expresión:

$$h_E = \frac{3}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_L}{A_{da}} \right)^2$$

Habría que hacer de nuevo una distinción entre ambas secciones para llevar a cabo este cálculo, así tenemos que:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

---

**Tabla 3.12: valores de caída de presión a la entrada del líquido.**

Sección	$Q_L (m^3/s)$	$A_{da} (m^2)$	$h_E (mm)$
Rectificación	$1,08 \cdot 10^{-6}$	0,048	$7,82 \cdot 10^{-8}$
Agotamiento	$4,5 \cdot 10^{-5}$	0,072	$5,93 \cdot 10^{-5}$

Donde:

$Q_L$  = Caudal volumétrico del líquido,  $(m^3/s)$ .

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .

$A_{da}$  = La menor de dos áreas, la de la sección transversal del vertedero o el área libre entre el vertedero y el plato.

Cálculo de  $A_{da}$ :

$A_{da}$ , se evalúa a través del área del vertedero,  $A_V$  y del área libre entre el vertedero y el plato,  $A_{libre}$ :

$$A_{libre} = (h_W - 0,025) \cdot W$$

**Tabla 3.12: Valores de área del vertedero, libre y la escogida para el cálculo.**

Sección	$A_V (m^2)$	$A_{libre} (m^2)$	$A_{da} (m^2)$
Rectificación	0,262	0,047	0,047
Agotamiento	0,601	0,072	0,072

**Cresta del líquido sobre el derramadero.**

Para calcular la cresta del líquido sobre el derramadero se hace uso de la siguiente ecuación:

$$h_C = 0,666 \cdot \left( \frac{Q_L^2}{W} \right)^{2/3} \cdot \left( \frac{W_{ef}}{W} \right)^2$$

Donde:

$Q_L$  = Caudal volumétrico del líquido,  $(m^3/s)$ .

$W_{ef}$  = Longitud efectiva del derramadero, m.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

$$\left(\frac{W_{ef}}{W}\right)^2 = \left(\frac{T}{W}\right) - \left[\left(\frac{T}{W}\right)^2 - 1\right]^{0.5} + \left(\frac{2 \cdot h_C}{T}\right) \cdot \left(\frac{T}{W}\right)^2$$

Para la determinación de  $h_C$ , se supone un valor que se sustituye en la expresión de  $\left(\frac{W_{ef}}{W}\right)$ , obteniéndose así un valor de  $h_C$  al sustituir en la primera fórmula. De esta forma si coinciden el valor supuesto y el nuevo valor calculado se habrá llegado al final, en caso de que no coincidan se vuelve a suponer otro valor y se prosigue con el cálculo hasta que coincidan los valores.

Se puede observar en la siguiente tabla los valores supuestos y los calculados para cada sección:

**Tabla 3.13: Valores de caída de presión a la entrada, cresta del líquido y caída de presión del líquido.**

Sección	$h_C$ supuesto (mm)	$\left(\frac{W_{ef}}{W}\right)$	$h_C$ (mm)	$h_{líquido}$ (mm)
<b>Rectificación</b>	$2,33 \cdot 10^{-9}$	$6,23 \cdot 10^{-1}$	$2,33 \cdot 10^{-9}$	$2,40 \cdot 10^{-6}$
<b>Agotamiento</b>	$2,55 \cdot 10^{-7}$	$6,23 \cdot 10^{-1}$	$2,55 \cdot 10^{-7}$	$3,14 \cdot 10^{-4}$

### 3.2.5.3 Caída de presión para el vapor.

La caída de presión para el vapor es la suman de las pérdidas de presión que resultan del flujo del vapor a través del plato seco y de los efectos causados por la presencia del líquido:

$$h_{vapor} = h_D + h_L + h_R$$

Donde:

$h_L$  = Caída de presión resultante de la profundidad del líquido en el plato, mm.

$h_D$  = Caída de presión en el plato seco, mm.

$h_R$  = Caída de presión del vapor residual, mm.

**Cabeza hidráulica.**

La estimación de la cabeza hidráulica se lleva a cabo mediante la expresión:

$$h_L = 6,10 \cdot 10^{-3} + 0,725 \cdot h_W - 0,238 \cdot h_W \cdot U_a \cdot \rho_V^{0,5} + 1,225 \cdot \frac{Q_L}{z}$$

$$z = \frac{Z + T}{2}$$

$$U_a = \frac{Q_L}{A_a}$$

Donde:

$z$  = Ancho del flujo promedio, m.

$U_a$  = Velocidad del líquido a través del área activa, m/s.

$\rho_V$  = Densidad del vapor, kg/m<sup>3</sup>.

$Q_L$  = Caudal del líquido, m<sup>3</sup>/s.

Se obtiene así lo siguiente:

**Tabla 3.14: Valores de cabeza hidráulica.**

Sección	$z$	$U_a$	$h_L$ (mm)
Rectificación	1,66	$5,56 \cdot 10^{-7}$	49,60
agotamiento	2,51	$8,44 \cdot 10^{-6}$	49,60

**Caída de presión del gas residual.**

La caída de presión del gas residual se determina mediante la expresión:

$$h_R = \frac{6 \cdot \sigma_L}{\rho_L \cdot d_0} \cdot \left( \frac{g_c}{g} \right)$$

**Tabla 3.15: Caída de presión del gas residual.**

Sección	$h_R$ (mm)
Rectificación	23,08
agotamiento	25,91

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Donde:

- $\sigma_L$  = Tensión superficial, N/m.  
 $\rho_L$  = Densidad del líquido, kg/m<sup>3</sup>.  
 $g_c$  = Factor de conversión, 1.  
 $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .

**Caída de presión en seco.**

La caída de presión en seco se calcula por medio de la ecuación:

$$\frac{2 \cdot h_D \cdot g \cdot \rho_L}{U_0^2 \cdot \rho_V} = C_0 \cdot \left[ 0,4 \cdot \left( 1,25 - \frac{A_0}{A_n} \right) + \frac{4 \cdot e \cdot f}{d_0} + \left( 1 - \frac{A_0}{A_n} \right)^2 \right]$$

$$C_0 = 1,09 \cdot \left( \frac{d_0}{e} \right)^{1/4}$$

$$U_0 = \frac{Q_V}{A_0}$$

$$Re_0 = \frac{d_0 \cdot U_0 \cdot \rho_V}{\mu_V}$$

Donde:

- $U_0$  = Velocidad del vapor a través de los orificios, m/s.  
 $Re_0$  = Reynolds para el vapor al atravesar los poros.  
 $\rho_L$  = Densidad del líquido, kg/m<sup>3</sup>.  
 $\rho_V$  = Densidad del vapor, kg/m<sup>3</sup>.  
 $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .  
 $\frac{A_0}{A_n}$  = Área de perforación/ área neta.

A continuación se puede ver en la tabla los resultados obtenidos:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 3.16: Parámetros de cálculo para  $h_D$  y valor de  $h_D$ .**

Sección	$C_0$	$U_0$	$f$	$A_0/A_n$	$h_D$ (mm)
<b>Rectificación</b>	0,79	0,24	0,0068	0,024	$9,74 \cdot 10^{-3}$
<b>Agotamiento</b>	0,79	0,01	0,00685	0,065	$5,96 \cdot 10^{-5}$

A partir de la figura 1.1, del anexo 1, para tubo liso, resulta un coeficiente de fricción de Fanning  $f = 0,0068$  para la sección de rectificación y para la de agotamiento.

La caída de presión para el vapor resulta de:

$$h_{vapor} = h_L + h_R + h_D$$

**Tabla 3.17: Resumen valores de caídas de presión.**

Sección	$h_L$ (mm)	$h_D$ (mm)	$h_R$ (mm)	$h_{vapor}$ (mm)
<b>Rectificación</b>	49,60	$9,74 \cdot 10^{-3}$	23,08	72,69
<b>Agotamiento</b>	49,60	$5,96 \cdot 10^{-5}$	25,91	75,51

Por tanto la pérdida de carga total resulta ser:

$$h_T = h_W + h_{liquido} + h_{vapor}$$

**Tabla 3.18: Resumen de pérdidas de carga.**

Sección	$h_W$ (mm)	$h_{liquido}$ (mm)	$h_{vapor}$ (mm)	$h_T$ (mm)
<b>Rectificación</b>	60	$2,40 \cdot 10^{-6}$	72,69	132,69
<b>Agotamiento</b>	60	$3,14 \cdot 10^{-4}$	75,51	135,52

#### 3.2.5.4 Verificación sobre la inundación.

Para que no se produzca inundación, se debe cumplir  $h_T \leq \frac{t}{2}$ .

Según el apartado anterior, la pérdida de carga total resulta ser de 132,69 mm y 135,52 mm, valores que quedan por debajo de  $\frac{t}{2} = 300$  mm. Por tanto, la  $t$  escogida es satisfactoria.

### 3.2.5.5 Profundidad del líquido.

La profundidad del líquido se calcula como la suma de la altura del derramadero más la parte que queda sobre el derramadero calculada como líquido claro:

$$\text{Profundidad del líquido} = h_W + h_C$$

Tabla 3.19: Resultados profundidad del líquido.

Sección	Profundidad del líquido (mm)
Rectificación	60
Agotamiento	60

### 3.2.5.6 Retroceso en el vertedero.

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 vapor en el plato superior:

$$\text{Retroceso en el vertedero} = h_{\text{vapor}} + h_E$$

Tabla 3.20: Valores de retroceso en el vertedero.

Sección	Retroceso (mm)
Rectificación	72,69
Agotamiento	75,51

### 3.2.5.7 Arrastre.

El grado de arrastre se define como la fracción de líquido que entra en un plato y es arrastrado hacia el plato superior.

En el anexo 1 aparece recogida la figura 1.5, que ofrece los datos de arrastre para platos perforados.

Para evaluar el arrastre se necesita calcular:  $\frac{V}{V_F}$  y  $\frac{L'}{V'} \cdot \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}$

Donde:

$V$  = Velocidad del líquido, m/s.

$V_F$  = Velocidad del líquido para que no se formen espumas, m/s.

$L'$  = Caudal másico de líquido, kg/s.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$V'$  = Caudal másico de vapor, kg/s.  
 $\rho_V$  = Densidad del vapor, kg/m<sup>3</sup>.  
 $\rho_L$  = Densidad del líquido, kg/m<sup>3</sup>.

Por la figura 1.2 (anexo 1), resulta un arrastre fraccionario como el que se puede ver en la siguiente tabla:

**Tabla 3.21: Valor de fracción de arrastre.**

Sección	V/V <sub>F</sub>	(L'/V') · √(ρ <sub>V</sub> /ρ <sub>L</sub> )	E
<b>Rectificación</b>	0,8	0,018	0.1
<b>Agotamiento</b>	0,8	0,151	0,02

Se admite una fracción igual o inferior a 0,1, luego las condiciones de operación son estables desde el punto de vista de este fenómeno.

### 3.2.5.8 Lloriqueo: velocidad $U_{OW}$ .

Cuando la velocidad del vapor 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 con platos de flujo transversal, dicho líquido no fluye por toda la longitud del plato inferior. Si no se alcanza la velocidad mínima del vapor a través de los orificios,  $U_{OW}$ , es probable un excesivo lloriqueo.

Esta velocidad se calcula mediante la expresión:

$$\frac{U_{OW} \cdot \mu_G}{\sigma \cdot g_c} = 0,0229 \cdot \left( \frac{\mu_G^2}{\sigma \cdot g_c \cdot d_0} \cdot \frac{\rho_L}{\rho_V} \right)^{0,379} \cdot \left( \frac{e}{d_0} \right)^{0,239} \cdot \left( \frac{2 \cdot A_a \cdot d_0}{\sqrt{3} \cdot P^3} \right)^{\frac{2,8}{(Z/d_0)^{0,724}}}$$

Donde:

$\mu_G$  = Viscosidad del vapor N·s/m<sup>2</sup>.  
 $\sigma_L$  = Tensión superficial, N/m.  
 $\rho_V$  = Densidad del vapor, kg/m<sup>3</sup>.  
 $\rho_L$  = Densidad del líquido, kg/m<sup>3</sup>.  
 $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .  
 $A_a$  = Área activa, m<sup>2</sup>.  
 $d_0$  = Diámetro de orificio, m.  
 $e$  = Espesor, m.  
 $P'$  = Distancia entre centro de orificios, m.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Así se obtiene en la siguiente tabla, que para ambas secciones:

**Tabla 3.22: Velocidad mínima del vapor a través de los orificios.**

Sección	$U_{OW}$ (m/s)
Rectificación	$10^{-1}$
Agotamiento	$3 \cdot 10^{-2}$

El plato no presenta lloriqueo excesivo hasta que  $U_{OW}$  no se reduzca cerca de este valor.

Cálculo de Z:

Para  $\frac{W}{T} = 0,7$  según la tabla 1.2, del anexo 1, la distancia hasta el centro de la torre:  $0,3562 \cdot T$ ; por tanto:

**Tabla 3.23: Valores de distancia desde el centro de la torre**

Sección	Z (m)
Rectificación	0,69
Agotamiento	1,05

### **3.2.6 Eficacia del plato.**

En la figura 1.3, recogida en el anexo 1, se muestra la gráfica de O'Connell para la eficacia global de los platos de las torres de destilación en función de la volatilidad relativa y la viscosidad del líquido del líquido de alimentación, calculados ambos parámetros a la temperatura promedio de la torre.

De acuerdo con este cálculo, la temperatura promedio de la torre resulta ser  $106.62^{\circ}\text{C}$ .

La viscosidad del líquido se calcula tal y como se comentó en el capítulo 1 en el apartado correspondiente a las propiedades físicas, resultando un valor de  $0,109$  cp.

La volatilidad relativa se determina mediante la expresión:

$$y = \frac{\alpha \cdot x}{1 + ((\alpha + 1) \cdot x)}$$

Donde los valores de  $x$  e  $y$  se han obtenido por interpolación. Así para una temperatura de  $106,62^{\circ}\text{C}$ ,  $x = 0,5$  e  $y = 0,91$ , obteniéndose, por tanto, una volatilidad relativa de 10,72

A continuación, y haciendo uso de la gráfica 1.3 se determina la eficacia global del plato,  $E_0$ , resultando ser aproximadamente igual a 0,49 que se puede aproximar a 0,5.

### 3.2.7 Número de platos.

El número de platos reales viene dado por el cociente entre el número de platos ideales y la eficacia global:

$$N^{\circ} \text{ platos reales requeridos} = n^{\circ} \text{ platos ideales requeridos} / \text{eficacia global}$$

Aplicando esta expresión resultan 24 platos reales. Por tanto, tenemos 24 platos más el calderín = 25 etapas de equilibrio.

La altura de la torre resulta ser:

$$H = n^{\circ} \text{ platos} \cdot \frac{0,6}{1 \text{ plato}} + n^{\circ} \text{ platos} \cdot \frac{0,0045}{1 \text{ plato}} + R_{\text{fondo superior}} + R_{\text{fondo inferior}}$$

En dicho cálculo se ha tenido en cuenta la distancia que existe entre el 1º plato y el fondo superior, así como la distancia entre el último plato y el fondo inferior.

Tabla 3.24: Resumen de cada uno de los términos y valor final de altura de la torre

1º término (m)	2º término (m)	3º término (m)	4º término (m)	H (m)
14,23	0,11	0,98	1,48	16,80

### 3.3 DISEÑO MECÁNICO DE LA COLUMNA.

En este apartado se llevan a cabo los cálculos correspondientes al diseño de construcción de la columna: espesor mínimo de la envolvente de la columna y espesor del fondo toriesférico tipo “Korbbongen”.

### 3.3.1 Cálculo del espesor mínimo de la envolvente.

El cálculo se habrá de hacer considerando la existencia de dos secciones con diferentes diámetros como se ha ido haciendo a lo largo de la memoria hasta ahora.

Datos y dimensiones del recipiente:

Tabla 3.25: Datos y dimensiones de la envolvente.

Sección	D (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	T (°c)	C (mm)	E	S (kg/cm <sup>2</sup> )
Rectificación	1,95	7,65	150	0,74	1	1617
Agotamiento	2.95	14,48	150	0,74	1	1617

Donde:

D = Diámetro interno de cada una de las secciones, m.

P = Presión de diseño de cada una de las secciones, kg/cm<sup>2</sup>.

T = Temperatura de diseño de cada una de las secciones, °c.

C = Corrosión admisible, mm.

E = Eficiencia de la soldadura.

S = Tensión admisible a la temperatura de diseño, kg/cm<sup>2</sup>.

#### 1. Por especificación.

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + C$$

Donde:

t = espesor de la envolvente para cada una de las secciones, mm.

#### 2. Por tensión circunferencial.

a. En función del diámetro interior:

$$t = \frac{P \cdot (D + 2 \cdot C)}{2 \cdot S \cdot E - 1,2 \cdot P} + C$$

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

b. En función del diámetro exterior:

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot E + 0,8 \cdot P} + C$$

Donde:

$$D_0 = D + 2 \cdot t$$

Donde:

$D_0$  = Diámetro externo de la envolvente, mm.

Se elige el mayor espesor calculado y se normaliza, adoptándose un espesor total de mm para ambas secciones, gobernado por tensión circunferencial, como se puede comprobar en la siguiente tabla:

**Tabla 3.26: Resumen de espesores y diámetros externos calculados.**

Sección	$t_{\text{especificación}}$ (mm)	$t$ tensión circunferencial, con diámetro interno, (mm)	$t$ por tensión circunferencial, con diámetro externo, (mm)	$D_0$ (mm)	$t$ tomada (mm)
Rectificación	5,39	5,53	5,53	1961,00	5,53
Agotamiento	6,39	14,19	14,19	2978,00	14,19

### 3.3.2 Cálculo del espesor de fondo toriesférico tipo “Korbongen”.

Para este cálculo es necesario conocer el diámetro exterior  $D_0$ :

$$D_0 = D + 2 \cdot t$$

1. Por especificación.

$$t_f = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + C$$

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

2. Por tensión circunferencial.

a. Conociendo los radios interiores

$$t_f = \frac{1,32 \cdot P \cdot (L + C)}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C$$

Donde:

L: Radio interno corona, mm.

b. Conociendo los radios exteriores

$$t_f = \frac{1,32 \cdot P \cdot L_0}{2 \cdot S \cdot E + 1,12 \cdot P} + C$$

Donde:

$L_0$  :Radio exterior corona, mm.

$$L_0 = L + t$$

**Tabla 3.27: Resumen de espesores y radios externos calculados.**

Sección	$t_f$ por especificación (mm)	$t_f$ por tensión circunferencial, con diámetro interno, (mm)	$t_f$ por tensión circunferencial, con diámetro externo, (mm)	$L_0$ (mm)	$t_f$ tomada (mm)
<b>Rectificación</b>	5,40	5,80	5,80	1574	5,80
<b>Agotamiento</b>	6,42	15,00	15,00	2397	15,00

Al igual que antes, se redondea hasta alcanzar un espesor comercial de 10 mm para la sección de rectificación y de 20 mm para la de agotamiento, teniendo en cuenta el espesor para ambos fondos, gobernados por la tensión circunferencial.

a modo resumen, a continuación se exponen las principales características técnicas correspondientes al fondo “Korbbomgen”.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**Características Técnicas:**

$$R = 0,8 \cdot D_0, \text{ mm.}$$

$$r = 0,154 \cdot D_0, \text{ mm.}$$

$$H = 0,26 \cdot D_0, \text{ mm.}$$

$$h = 3,5 \cdot t_f, \text{ mm.}$$

$$D_d = 1,174 \cdot D_0 + 1,7 \cdot h, \text{ mm}$$

$$V = 0,13 \cdot D^3, \text{ m}^3.$$

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot D_d^2 \cdot 8 \cdot t_f, \text{ kg por mm de espesor.}$$

Donde:

$D_d$  = Diámetro del disco, mm.

$V$  = Capacidad (sin h y considerando  $D_0 = D$ )

Se puede ver los resultados de dichos cálculos en la siguiente tabla:

**Tabla 3.28: Resumen de las características técnicas calculadas**

Sección	$R(mm)$	$r(mm)$	$H(mm)$	$h(mm)$	$D_d(mm)$	$V(m^3)$	$P(kg/mm)$
<b>Rectificación</b>	1569	302	509,9	19,36	2335	0,96	198890066
<b>Agotamiento</b>	2383	459	774	50,00	3581	3,34	120875168

**3.3.3 Espesor del aislante.**

En la tabla, recogida en el anexo 1, se muestran los espesores recomendados de placas RF-4000 (aislamiento de fibra de vidrio). Este producto cumple con la norma nacional:

- NOMC-230-85 tipo A Clase I.
- ASTM C-533-70, de carácter internacional.

Se observa que de 82 a 112 °c el espesor del aislante recomendado es de 3,8 mm (0,15 pulgadas).

## CAPÍTULO 4

### CAMBIADORES DE CALOR

#### 4.1 DISEÑO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR.

##### 4.1.1 Cambiadore de calor de carcasa y tubo.

En el diseño de este tipo de cambiadores de calor se tendrá en cuenta los estándares establecidos por la normativa TEMA.

El diseño de estos cambiadores se basa en la obtención de la superficie total de intercambio que ofrece el equipo. Se elegirán las características de los tubos empleados y de las carcasas dependiendo de la función que desempeñe el equipo.

##### - **Área de la superficie de transferencia de calor.**

El área de transmisión de calor se obtiene en función del calor a transferir, el coeficiente global de transmisión de calor y la diferencia de temperatura entre los dos fluidos; a través de la expresión:

$$A = \frac{q}{U \cdot \Delta T_{ml}}$$

Donde:

$A$  = Área de intercambio, m<sup>2</sup>.

$q$  = Calor transferido, kcal/h.

$U$  = Coeficiente global de transmisión de calor, kcal/(m<sup>2</sup>·h·°c).

$\Delta T_{ml}$  = Variación de temperatura media logarítmica, °c.

##### - **Calor intercambiado.**

Para cualquiera que sea el tipo de aparato usado, si solo se tiene en consideración las condiciones de entrada y de salida de los dos fluidos se puede establecer un balance térmico global del aparato escribiendo que la cantidad de calor,  $q$ , perdida por el flujo caliente es igual a la que toma el fluido frío, si se desprecian las pérdidas térmicas:

$$q = m_c \cdot C_{p_c} \cdot (T_{C1} - T_{C2}) = m_F \cdot C_{p_F} \cdot (T_{F1} - T_{F2})$$

El subíndice C se reserva para el fluido caliente y el F para el fluido frío, mientras que los índices 1 y 2 corresponden, respectivamente, a las condiciones de entrada y salida; m, representa los caudales másicos horarios de los fluidos y T sus temperaturas.

**- Coeficiente global de transferencia de calor.**

En el coeficiente global de transmisión de calor se incluyen todas las resistencias a la transferencia de calor que se presentan a lo largo del proceso.

Existen una serie de correlaciones empíricas basadas en datos experimentales que permiten el cálculo de dichas resistencias. Sin embargo, estas expresiones presentan una desviación del 20% con respecto a los datos experimentales, pudiendo llegar este valor al 100% en condensaciones y evaporaciones de fluidos. Dada la imprecisión que conlleva el uso de estas correlaciones, se prefiere utilizar el empleo de los coeficientes globales basados en la experiencia o la utilización de factores de seguridad importantes en forma de elevados coeficientes de ensuciamiento. Dichos coeficientes incluyen las resistencias a la transmisión de calor provocadas por el fenómeno de ensuciamiento.

**- Diferencia media de temperatura.**

La evolución de temperatura en cada fluido a partir de las temperaturas de entrada  $T_{C1}$  y  $T_{F1}$  condiciona, directamente, el valor medio. La diferencia media de temperatura es función de la naturaleza y los caudales respectivos de los dos fluidos, así como del sentido de movimiento relativo de ambos, que en esta planta circulan a corrientes paralelas o equicorriente.

El estudio de la diferencia media de temperatura se efectuará suponiendo que el coeficiente global de la transmisión U es constante en todos los puntos, así como los calores específicos de los fluidos y que no hay, ni pérdidas, ni cambios de fases, durante la transmisión.

La diferencia de temperaturas representativa del intercambio global (U = cte) en un cambiador equicorriente es la diferencia de temperaturas logarítmica media:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Siendo:

$\Delta T_1$  = Variación de temperatura, entre las temperaturas de ambas corrientes a la entrada, °c.

$\Delta T_2$  = Variación de temperatura, entre las temperaturas de ambas corrientes a la salida, °c.

Donde los subíndices 1 y 2 corresponden a las condiciones de entrada y salida respectivamente.

El valor apropiado de este incremento de temperatura se obtiene al aplicar un factor de corrección F, al valor  $\Delta T_{ml}$  que se calcularía bajo la suposición de condiciones de contraflujo.

Se han desarrollado expresiones algebraicas para el factor de corrección F para varias configuraciones de intercambiador de calor de tubos y coraza y de flujo cruzado, representándose los resultados de forma gráfica.

En la figura 2.2 del anexo 2, se muestra el factor de corrección F para cambiadores de calor que poseen un paso por el lado de la carcasa y dos pasos por el lado de los tubos, se llaman aparatos 1-2.

El término F, mide la eficacia del aparato y es función de los parámetros E y R, presentándose a continuación sus respectivas expresiones:

$$E = \frac{\Delta T_{tubos}}{\Delta T_{m\acute{a}xima}}$$

$$R = \frac{\Delta T_{carcasa}}{\Delta T_{tubos}}$$

Donde:

$\Delta T_{tubos}$  = Variación de temperaturas, entre la temperatura a la salida y la temperatura a la entrada para la corriente que circula por el interior del tubo.

$\Delta T_{m\acute{a}xima}$  = Variación de temperaturas, entre las temperaturas de ambas corrientes a la entrada.

$\Delta T_{carcasa}$  = Variación de temperaturas, entre las temperaturas a la entrada y a la salida para la corriente que circula por el interior de la carcasa.

El valor de F no debe estar por debajo de 0,75-0,8: si fuera así la operación del cambiador no resultaría viable.

- **Número de tubos.**

Una vez calculada el área de transmisión de calor, lo siguiente en el diseño de los cambiadores de calor es determinar el número de tubos necesarios para proporcionar el área de transferencia calculada anteriormente.

Para ello se especificarán las características de los tubos.

Para los cambiadores se han escogido tubos de  $\frac{3}{4}$  pulgadas de diámetro, un espesor de 16 BMG y una longitud de 20 ft con una disposición cuadrada y con un pitch de 1 in.

En los estándares TEMA. se encuentran establecidas dichas características, las cuales aparecen recogidas en el anexo 2, en las tablas 2.3 y sucesivas.

A continuación, y considerando las longitudes de los tubos se determinará el área externa de cada uno de ellos; y con el área de transmisión de calor se determina el número de tubos:

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{A}{A_{\text{exterior}}}$$

Siendo:

$A =$  Área de intercambio de calor,  $m^2$ .

$A_{\text{exterior}} =$  Área externa del intercambiador,  $m^2$ .

- **Características de la carcasa.**

El diseño de todos los cambiadores de calor de esta planta es el mismo, sin embargo, en cada uno presenta un tipo de carcasa específica, en función de la aplicación que tengan (intercambiador, condensador y rehervidor). Se han seleccionado según la designación TEMA.

Para los intercambiadores se han seleccionado carcasas de un paso del tipo E. Estas carcasas presentan una tobera de entrada y otra de salida.

Para el rehervidor se ha empleado una carcasa del tipo J que cuenta con una entrada y dos salidas. El líquido de fondo de la columna se introduce por la tobera de entrada y es vaporizado parcialmente gracias al calor cedido por la corriente de aceite térmico que circula por los tubos. El vapor que se va generando abandona el rehervidor por la salida superior, mientras que el líquido que va a constituir la corriente de

colas de la columna abandona el rehervidor por la salida inferior del equipo.

- **Diámetro de la carcasa.**

Una vez calculado el número de tubos, se obtiene el diámetro interior de carcasa del equipo, según estándares TEMA.

- **Espesor de la carcasa.**

El espesor mínimo de la carcasa estará de acuerdo con los valores designados por los estándares TEMA en su clase R.

- **Número de placas deflectoras.**

El número de placas deflectoras se calcula en función de la distancia entre ellas y de la longitud de los tubos. El espaciamiento entre deflectoras, está comprendida entre  $\frac{D_C}{5}$  y  $D_C$ ; siendo  $D_C$  el diámetro interno de la carcasa.

#### **4.2 DISEÑO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS DE LA PLANTA.**

En este apartado se exponen los cálculos necesarios para el diseño de los cuatro cambiadores de calor de carcasa y tubos existentes en la planta.

##### **4.2.1 Precalentador de carga, E-1.**

- **Calor intercambiado.**

En el precalentador de carga, E-1, el fluido calefactor, el aceite térmico, entra a una temperatura de 300 °c y sale a 250 °c; su calor específico varía a lo largo del intercambiador de 0,709 a 0,664 kcal/kg°c, por tanto, se tomará el valor medio correspondiente, 0,687 kcal/kg°c.

El fluido frío, mezcla de ácido fluorhídrico y agua, entra a una temperatura de 25 °c y sale a 82,22 °c; su calor específico varía a lo largo del intercambiador de 770,86 kcal/kg°K a 849,41 kcal/kg°K, tomándose como dato para el cálculo del calor intercambiado una media de dichos datos, que resulta ser de 810,08 kcal/kg°K. El caudal másico de esta corriente de alimentación es de 53,05 kg/h.

Por lo tanto el balance térmico al precalentador de carga es:

$$q_c = m_C \cdot 0,687 \cdot (300 - 250) = 53,05 \cdot 810,08 \cdot (355,37 - 298,15)$$

$$q_c = 2459577,80 \text{ kcal/h.}$$

$$m_C = 71598,05 \text{ kg/h.}$$

Los valores de los calores específicos se calculan según se explicó en el capítulo 1 de los cálculos, en el apartado correspondiente a las propiedades físicas.

- **coeficiente global de transferencia de calor.**

En la tabla 2.2, del anexo 2, se muestran valores experimentales de los coeficientes globales de transmisión de calor.

La corriente de alimentación de ácido, presenta una viscosidad que varía de 0,20 cp a la entrada a 0,42 cp a la salida; tomando el valor medio, 0,31 cp y según la tabla 2.2 se puede encuadrar en el grupo de hidrocarburos ligeros. La viscosidad de la corriente de aceite térmico, varía a lo largo del intercambiador de 0,73 a 0,24 cp, por tanto, es posible considerar que también pertenece al grupo de hidrocarburos ligeros.

Luego el coeficiente global de transmisión de calor presenta un valor comprendido entre 200-370 kcal/hm<sup>2</sup>°c. Se toma un valor medio de 285 kcal/hm<sup>2</sup>°c.

La viscosidad se ha calculado por la expresión que viene recogida en el capítulo 1 en el apartado de propiedades físicas.

- **Diferencia media logarítmica de temperatura.**

En el precalentador de carga, la corriente de ácido circula por la carcasa y presenta una temperatura de entrada de 25 °c y una temperatura de salida de 82 °c; la corriente de aceite térmico circula por el lado de los tubos con una temperatura de entrada de 300 °c y una temperatura de salida de 250 °c.

Considerando los valores de temperatura y una circulación de corrientes paralelas, la diferencia media logarítmica de temperatura para el precalentador de carga es de:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_E - \Delta T_S}{\ln\left(\frac{\Delta T_E}{\Delta T_S}\right)} = \frac{(300 - 25) - (250 - 82)}{\ln\left(\frac{300 - 25}{250 - 82}\right)} = 217 \text{ °c.}$$

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Esta diferencia media logarítmica de temperatura se corrige mediante el factor F, que es función de E y R.

En el precalentador de carga, E presenta un valor de 0,18 y R de 1,14, resultando un valor de F de 0,99 (figura 2.2 del anexo 2).

Luego el valor de la diferencia media logarítmica de temperatura corregida es de:

$$\Delta T_{ml\text{corregida}} = \Delta T_{ml} \cdot F = 217,00 \cdot 0,99 = 214,82 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

- **Área de la superficie de transferencia de calor.**

El área superficial total para transferencia de calor en el precalentador viene dada por la expresión:

$$A = \frac{q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = 40,17 \text{ m}^2.$$

- **Número de tubos.**

En la tabla 2.3 (anexo 2), aparecen recogidas las características de los distintos tubos empleados en el diseño de este tipo de intercambiadores.

Según dicha tabla, para los tubos de  $\frac{3}{4}$  " de diámetro exterior, y de 16 BMG, la superficie externa presenta un valor de 0,0598 m<sup>2</sup> por unidad de longitud de los tubos, expresada en metros.

En los cambiadores de calor seleccionados se emplean tubos de 20 ft (6,096 m) de longitud cuya área exterior alcanza un valor de:

$$A_{\text{exterior}} = 0,0598 \cdot 6,096 = 0,3645 \text{ m}^2.$$

Luego, el número de tubos necesarios para el diseño del precalentador de carga es:

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{A}{A_{\text{exterior}}} = 110,20$$

A continuación se selecciona un número estándar de tubos; para ello se hace uso de la tabla 2.4 (anexo 2). Para tubos de  $\frac{3}{4}$  ", y P = 1", y dos pasos por el lado de los tubos y una disposición cuadrada resulta un número estándar de tubos.

- **Espesor de los tubos.**

Tanto para el precalentador de carga como para los restantes intercambiadores de carcasa y tubos se ha seleccionado un espesor de 16 BWG, por recomendaciones del fabricante dadas las condiciones de presión y temperatura de diseño.

- **Características de la carcasa.**

La carcasa del precalentador de carga es de tipo E, adecuada para calentar o enfriar dos fluidos.

Su diámetro interior aparece recogido en la tabla 2.4 (anexo 2), siendo de 15 ¼ in (38,37 cm).

Su espesor estará de acuerdo con los valores definidos por los estándares TEMA. clase R.

- **Número de deflectores.**

El espaciamiento entre deflectores, está comprendida entre  $\frac{D_C}{5}$  y  $D_C$ .

Suponiendo el espaciamiento máximo al diámetro interior de la carcasa  $D_C$ , 15 ¼ in (38,37 cm), y teniendo en cuenta que la longitud de los tubos es de 20 ft (6,096 m), serán necesarios 16 deflectores como mínimo para sustentar el haz de tubos.

**3.1.2 Rehervidor de la columna, E-3.**

- **Calor intercambiado.**

En el rehervidor, E-3, el fluido calefactor, el aceite térmico, entra a una temperatura de 300°C y sale a 250°C; su calor específico varía a lo largo del intercambiador de 0,709 a 0,664 kcal/kg°C, por tanto, se tomará el valor medio correspondiente, 0,687 kcal/kg°C.

El fluido frío, mezcla de ácido fluorhídrico y agua, entra a una temperatura de 111,66 °C y sale a 112,00 °C; su calor específico varía a lo largo del intercambiador de 940,34 kcal/kg°K a 940,81 kcal/kg°K, tomándose como dato para el cálculo del calor intercambiado una media de dichos datos, que resulta ser de 940,57 kcal/kg°K. El caudal másico de esta corriente de alimentación es de 53,05 kg/h.

Por lo tanto el balance térmico al precalentador de carga es:

$$q_c = m_C \cdot 0,687 \cdot (300 - 250)$$

$$q_c = 29264,46 \text{ kcal/h.}$$

Establecido mediante el diagrama de Ponchon-Savarit.

$$m_C = 851,88 \text{ kg/h.}$$

Los valores de los calores específicos se calculan según se explicó en el capítulo 1 de los cálculos, en el apartado correspondiente a las propiedades físicas.

- **coeficiente global de transferencia de calor.**

En la tabla 2.1 (anexo 2), se muestran valores experimentales de los coeficientes globales de transmisión de calor.

La corriente de alimentación de ácido, presenta una viscosidad no varía; tomando el valor medio, 0,18 cp y según la tabla 2.1 se puede encuadrar en el grupo de hidrocarburos ligeros. La viscosidad de la corriente de aceite térmico, varía a lo largo del intercambiador de 0,737 a 0,239 cp, por tanto, es posible considerar que también pertenece al grupo de hidrocarburos ligeros.

Luego el coeficiente global de transmisión de calor presenta un valor comprendido entre 200-370 kcal/hm<sup>2</sup>°c. Se toma un valor medio de 285 kcal/hm<sup>2</sup>°c.

La viscosidad se ha calculado por la expresión que viene recogida en el capítulo 1 en el apartado de propiedades físicas.

- **Diferencia media logarítmica de temperatura.**

En el rehervidor, la corriente de ácido circula por los tubos y presenta una temperatura de entrada de 111,66 °c y una temperatura de salida de 112,00 °c; la corriente de aceite térmico circula por el lado de los tubos con una temperatura de entrada de 300,00 °c y una temperatura de salida de 250,00 °c.

Considerando los valores de temperatura y una circulación de corrientes paralelas, la diferencia media logarítmica de temperatura para el rehervidor es de:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_E - \Delta T_S}{\ln\left(\frac{\Delta T_E}{\Delta T_S}\right)} = \frac{(300,00 - 111,66) - (250,00 - 112,00)}{\ln\left(\frac{300,00 - 111,66}{250,00 - 112,00}\right)} = 161,86 \text{ °c.}$$

Esta diferencia media logarítmica de temperatura se corrige mediante el factor F, que es función de E y R.

En el rehervidor, E presenta un valor de 0,260 y R de 0,006, resultando un valor de F de 0,990 como se puede observar en la figura 2.2 (anexo 2).

Luego el valor de la diferencia media logarítmica de temperatura corregida es de:

$$\Delta T_{ml\text{corregida}} = \Delta T_{ml} \cdot F = 161,860 \cdot 0,99 = 161,86 \text{ }^\circ\text{C}.$$

- **Área de la superficie de transferencia de calor.**

El área superficial total para transferencia de calor en el rehervidor viene dada por la expresión:

$$A = \frac{q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = 0,63 \text{ m}^2.$$

- **Número de tubos.**

En la tabla 2.3 (anexo) aparecen recogidas las características de los distintos tubos empleados en el diseño de este tipo de intercambiadores.

Según dicha tabla, para los tubos de  $\frac{3}{4}$  in de diámetro exterior, y de 16 BMG, la superficie externa presenta un valor de 0,0598 m<sup>2</sup> por unidad de longitud de los tubos, expresada en metros.

En los cambiadores de calor seleccionados se emplean tubos de 20 ft (6,096 m) de longitud cuya área exterior alcanza un valor de:

$$A_{\text{exterior}} = 0,0598 \cdot 6,096 = 0,3645 \text{ m}^2.$$

Luego, el número de tubos necesarios para el diseño del rehervidor es:

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{A}{A_{\text{exterior}}} = 17$$

A continuación se selecciona un número estándar de tubos; para ello se hace uso de la tabla 2.4 (anexo 2). Para tubos de  $\frac{3}{4}$  in, y P = 1 in, y dos pasos por el lado de los tubos y una disposición cuadrada resulta un número estándar de 26 tubos.

- **Espesor de los tubos.**

Se ha seleccionado un espesor de 16 BWG, por recomendaciones del fabricante dadas las condiciones de presión y temperatura de diseño.

- **Características de la carcasa.**

La carcasa del rehervidor es de tipo J. Su diámetro interior aparece recogido en la tabla 2.4 (anexo 2), siendo de 8 in (20,32cm).

Su espesor estará de acuerdo con los valores definidos por los estándares TEMA. clase R.

- **Número de deflectores.**

El espaciamiento entre deflectores, está comprendida entre  $D_C/5$  y  $D_C$ . Suponiendo el espaciamiento máximo al diámetro interior de la carcasa  $D_C$ , 8 in (20,32 cm), y teniendo en cuenta que la longitud de los tubos es de 20 ft (6,096 m), serán necesarios 30 deflectores como mínimo para sustentar el haz de tubos.

### 3.1.3 Condensador de la columna, E-2.

- **Calor intercambiado.**

En el condensador, E-2, el fluido refrigerante, el agua, entra a una temperatura de 15 °c y sale a 19 °c; su calor específico varía a lo largo del intercambiador de 904,41 a 903,22 kcal/kg°k, por tanto, se tomará el valor medio correspondiente, 903,81 kcal/kg°k.

El fluido caliente, mezcla de ácido fluorhídrico y agua, entra a una temperatura de 84,13 °c y sale a 21 °c; su calor específico varía a lo largo del intercambiador de 760,39 kcal/kg°k a 621,95 kcal/kg°k, tomándose como dato para el cálculo del calor intercambiado una media de dichos datos, que resulta de 691,17 kcal/kg°k. El caudal másico de esta corriente de alimentación es de 9,01 kg/h. El calor retirado por el condensador se tiene mediante el uso del diagrama del "Ponchon-Savarit" dando un valor de  $q_c = 1581,84$  kcal/h.

Por lo tanto el balance térmico al condensador es:

$$q_c = 1581,84 = m_F \cdot 903,81 \cdot (292,15 - 288,15)$$
$$m_F = 0,44 \text{ kg/h.}$$

Los valores de los calores específicos se calculan según se explicó en el capítulo 1 de los cálculos, en el apartado correspondiente a las propiedades físicas.

- **coeficiente global de transferencia de calor.**

En la tabla 2.1 (anexo 2), se muestran valores experimentales de los coeficientes globales de transmisión de calor.

La corriente de alimentación de ácido, presenta una viscosidad que varía de 0,11 cp a la entrada a 0,21 cp a la salida; tomando el valor medio, 0,16 cp y según la tabla 2.1, se puede encuadrar en el grupo de hidrocarburos ligeros. La viscosidad de la corriente de agua, varía a lo largo del intercambiador de 0,91 a 0,85 cp, por tanto, es posible considerar que pertenece al grupo de hidrocarburos medios.

Luego haciendo una media de la viscosidad media de ambos fluidos se obtiene una viscosidad de 0,52 cp, por lo que se considera que pertenece al grupo de hidrocarburos medios tomando como coeficiente global de transmisión de calor un valor comprendido entre 100 - 300 kcal/hm<sup>2</sup>°c. Se toma un valor medio de 200 kcal/hm<sup>2</sup>°c.

La viscosidad se ha calculado por la expresión que viene recogida en el capítulo 1 en el apartado de propiedades físicas.

- **Diferencia media logarítmica de temperatura.**

En el condensador, la corriente de ácido circula por el interior de los tubos y presenta una temperatura de entrada de 84,13 °c y una temperatura de salida de 21 °c; la corriente de agua de refrigeración circula por el lado de la carcasa con una temperatura de entrada de 15 °c y una temperatura de salida de 19 °c.

Considerando los valores de temperatura y una circulación de corrientes paralelas, la diferencia media logarítmica de temperatura para el condensador es de:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_E - \Delta T_S}{\ln\left(\frac{\Delta T_E}{\Delta T_S}\right)} = \frac{(84,13 - 15) - (21 - 19)}{\ln\left(\frac{84,13 - 15}{21 - 19}\right)} = 18,95 \text{ °c.}$$

Esta diferencia media logarítmica de temperatura se corrige mediante el factor F, que es función de E y R.

En el condensador, E presenta un valor de 0,058 y R de 15,783, resultando un valor de F de 0,99.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Luego el valor de la diferencia media logarítmica de temperatura corregida es de:

$$\Delta T_{ml\text{corregida}} = \Delta T_{ml} \cdot F = 18,95 \cdot 0,99 = 18,94 \text{ }^\circ\text{C}.$$

- **Área de la superficie de transferencia de calor.**

El área superficial total para transferencia de calor en el condensador viene dada por la expresión:

$$A = \frac{q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = 103,69 \text{ m}^2.$$

- **Número de tubos.**

En la tabla 2.3 (anexo 2) aparecen recogidas las características de los distintos tubos empleados en el diseño de este tipo de intercambiadores.

Según dicha tabla, para los tubos de  $\frac{3}{4}$  in de diámetro exterior, y de 16 BMG, la superficie externa presenta un valor de  $0,0598 \text{ m}^2$  por unidad de longitud de los tubos, expresada en metros.

En los cambiadores de calor seleccionados se emplean tubos de 20 ft (6,096 m) de longitud cuya área exterior alcanza un valor de:

$$A_{\text{exterior}} = 0,0598 \cdot 6,096 = 0,3645 \text{ m}^2.$$

Luego, el número de tubos necesarios para el diseño del condensador es:

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{A}{A_{\text{exterior}}} = 284$$

A continuación se selecciona un número estándar de tubos; para ello se hace uso de la tabla 2.4 (anexo 2). Para tubos de  $\frac{3}{4}$  in, y P = 1in, y dos pasos por el lado de los tubos y una disposición cuadrada resulta un número estándar de 324 tubos.

- **Espesor de los tubos.**

Se ha seleccionado un espesor de 16 BWG, por recomendaciones del fabricante dadas las condiciones de presión y temperatura de diseño.

- **Características de la carcasa.**

La carcasa del condensador es de tipo J. Su diámetro interior aparece recogido en la tabla 2.4 (anexo 2), siendo de 23 ¼ in (59,05 cm).

Su espesor estará de acuerdo con los valores definidos por los estándares TEMA. clase R.

- **Número de deflectores.**

Para un diámetro interior de la carcasa de 23 ¼ in (59,05 cm) y una longitud de 20 ft (6,096 m) se necesitan 11 deflectores (suponiendo el espaciamiento máximo al diámetro interior de la carcasa).

**3.1.4 Enfriador de salida de fondo, E-4.**

- **Calor intercambiado.**

En el enfriador de salida de cola, E-4, el fluido frío, el agua de refrigeración, entra a una temperatura de 288,15 °k y sale a 292,15 °k; su calor específico varía a lo largo del intercambiador de 960,21 a 958,95 kcal/kg°k, por tanto, se tomará el valor medio correspondiente, 959,58 kcal/kg°k.

El fluido caliente, mezcla de ácido fluorhídrico y agua, entra a una temperatura de 385,14 °k y sale a 310,15 °k; su calor específico varía a lo largo del intercambiador de 940,81 kcal/kg°k a 857,85 kcal/kg°k, tomándose como dato para el cálculo del calor intercambiado una media de dichos datos, que resulta ser de 899,93 kcal/kg°k. El caudal másico de esta corriente es de 34,76 kg/h.

Por lo tanto el balance térmico en el enfriador es:

$$q_c = 34,76 \cdot 899,93 \cdot (385,14 - 310,15) = 2344598,82 \text{ kcal/h.}$$

$$q_c = q_F = 2344598,82 = m_F \cdot 959,58 \cdot (292,15 - 288,15);$$

$$m_F = 610,84 \text{ kg/h.}$$

El cálculo de los calores específicos está descrito en el capítulo 1.

- **coeficiente global de transferencia de calor.**

En la tabla 2.1 (anexo 2), se muestran valores experimentales de los coeficientes globales de transmisión de calor.

La corriente de alimentación de ácido, presenta una viscosidad que varía de 0,18 cp a la entrada a 0,44 cp a la salida; tomando el valor medio, 0,31 y según la tabla 2.2 se puede encuadrar en el grupo de hidrocarburos ligeros. La viscosidad de la corriente de agua, varía a lo largo del intercambiador de 0,91 a 0,85 cp, por tanto, presentando un valor medio de 0,88 por lo que pertenece al grupo de hidrocarburos medios.

Al obtenerse estas viscosidades medias se recurre a volver a calcular una nueva media de estas últimas viscosidades, obteniéndose un valor de 0,59 cp. por tanto se adoptan a ambos fluidos como hidrocarburos medios, cuyo coeficiente global de transmisión de calor presenta un valor comprendido entre 100 – 300 kcal/hm<sup>2</sup>°c. Tomándose un valor medio de 200 kcal/hm<sup>2</sup>°c.

La viscosidad se ha calculado por la expresión que viene recogida en el capítulo 1 en el apartado de propiedades físicas.

- **Diferencia media logarítmica de temperatura.**

En el enfriador E-4, la corriente de ácido circula por los tubos y presenta una temperatura de entrada de 112 °c y una temperatura de salida de 37 °c; la corriente de agua circula por el lado de los tubos con una temperatura de entrada de 15 °c y una temperatura de salida de 19 °c.

Considerando los valores de temperatura y una circulación de corrientes paralelas, la diferencia media logarítmica de temperatura para al enfriador es de:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_E - \Delta T_S}{\ln\left(\frac{\Delta T_E}{\Delta T_S}\right)} = \frac{(112 - 15) - (37 - 19)}{\ln\left(\frac{112 - 15}{37 - 19}\right)} = 46,90 \text{ °c.}$$

Esta diferencia media logarítmica de temperatura se corrige mediante el factor F, que es función de E y R.

E presenta un valor de 0,053 y R de 18,74, resultando un valor de F de 0,8 como se puede ver en la figura 2.2 (anexo 2).

Luego el valor de la diferencia media logarítmica de temperatura corregida es de:

$$\Delta T_{ml\text{corregida}} = \Delta T_{ml} \cdot F = 46,90 \cdot 0,8 = 37,52 \text{ °c.}$$

- **Área de la superficie de transferencia de calor.**

El área superficial total para transferencia de calor en el precalentador viene dada por la expresión:

$$A = \frac{q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = 312,44 \text{ m}^2.$$

- **Número de tubos.**

En la tabla 2.3 (anexo 2) aparecen recogidas las características de los distintos tubos empleados en el diseño de este tipo de intercambiadores.

Según dicha tabla, para los tubos de  $\frac{3}{4}$  in de diámetro exterior, y de 16 BMG, la superficie externa presenta un valor de  $0,0598 \text{ m}^2$  por unidad de longitud de los tubos, expresada en metros.

En este cambiador de calor se emplean tubos de 20 ft (6,096 m) de longitud cuya área exterior alcanza un valor de:

$$A_{\text{exterior}} = 0,0598 \cdot 6,096 = 0,3645 \text{ m}^2.$$

Luego, el número de tubos necesarios para el diseño del precalentador de carga es:

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{A}{A_{\text{exterior}}} = 857$$

A continuación se selecciona un número estándar de tubos; para ello se hace uso de la tabla 2.4 (anexo 2). Para tubos de  $\frac{3}{4}$  in, y P = 1in, y dos pasos por el lado de los tubos y una disposición cuadrada resulta un número estándar de 914 tubos.

- **Espesor de los tubos.**

Se ha seleccionado un espesor de 16 BWG, por recomendaciones del fabricante dadas las condiciones de presión y temperatura de diseño.

- **Características de la carcasa.**

La carcasa del enfriador de carga es de tipo E, adecuada para calentar o enfriar dos fluidos. Su diámetro interior aparece recogido en la tabla 2.5 (anexo 2), siendo de 37 in (94 cm).

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Su espesor estará de acuerdo con los valores definidos por los estándares TEMA. clase R.

- **Número de deflectores.**

Suponiendo el espaciamiento máximo al diámetro interior de la carcasa mencionado en el apartado anterior así como una longitud de los tubos de 20 ft (6,096 m), serán necesarios 7 deflectores como mínimo para sustentar el haz de tubos.

## **CAPÍTULO 5**

### **TRANSPORTE E IMPULSIÓN DE FLUIDOS: TUBERÍAS Y BOMBAS**

#### **5.1 TRANSPORTE DE FLUIDOS: TUBERÍAS.**

##### **5.1.1 Determinación del diámetro de tuberías.**

El cálculo de las tuberías dispuestas en la presente planta en función del caudal que circula por ellos y de la información que se muestra en la tabla 3.1 (anexo 3). En dicha tabla figuran los valores medios de velocidad recomendados para distintos fluidos.

El cálculo del diámetro de las tuberías se realiza de forma conjunta dada la similitud existente.

De acuerdo con lo expuesto, el diámetro de la tubería puede conocerse a través de la expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$

Siendo:

$D$  = Diámetro tubería, m.

$Q$  = Caudal, kg/m<sup>3</sup>.

$V$  = Velocidad recomendada, m/s.

Una vez calculados, tomamos los valores estandarizados más próximos a los obtenidos.

A continuación, se incluye una tabla con la lista de líneas de la columna de rectificación.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 4.1: Lista de líneas.**

Número de línea	Fase	Recorrido	
		De	A
1	L	T-1	P-1
2	L	P-1	E-1
3	L	E-1	V-1
4	V	V-1	E-2
5	L	E-2	T-4
6	L	T-4	T-2
7	L	T-4	P-2
8	L	P-2	V-1
9	L	V-1	E-3
10	L	E-3	E-4
11	V	E-4	T-3
12	L	E-3	V-1

En la tabla se describe el recorrido de cada línea, así como, la fase en la que se encuentra el fluido que circula por ella.

Luego, en función del caudal, de la velocidad promedio recomendada y de las propiedades físicas del fluido a transportar, se determinan los valores de los diámetros óptimos de las tuberías.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**Tabla 4.2: Dimensiones de las tuberías.**

Número de línea	Caudal (kg/h)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Diámetro óptimo (in)	Diámetro nominal (in)	Diámetro exterior (in)
1	53,05	2809,03	0,14	¼	0,54
2	53,05	2809,03	0,15	¼	0,54
3	53,05	2421,70	0,16	¼	0,54
4	27,31	7,42	6,35	8	8,625
5	27,31	1865,00	0,14	2 ½	2,875
6	18,26	1865,00	0,10	2 ½	2,875
7	9,01	1865,00	0,07	2 ½	2,875
8	9,01	2753,00	0,07	2 ½	2,875
9	65,58	2753,00	0,17	1/8	0,405
10	34,76	2751,00	0,12	1/8	0,405
11	34,76	3244,00	0,11	1/8	0,405
12	30,81	31,51	3,27	3	3,5

Las densidades de las distintas líneas que conducen los fluidos se han determinado según se indicó en el capítulo 1 de cálculos justificativos, dedicado al cálculo de las propiedades físicas.

### **5.1.2 Determinación del espesor.**

Para el cálculo del espesor se aplica la ecuación de Barlow:

$$e = M \cdot \left( \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot \sigma} + C \right)$$

Donde:

- $e$  = Espesor tubería, in.
- $P$  = Presión interna de diseño, psig.
- $M$  = Tolerancia de fabricación.
- $D_0$  = Diámetro exterior, in.
- $\sigma$  = Tensión admisible, lb/in<sup>2</sup>.
- $C$  = Espesor para la corrosión, 0,125.

Se ha realizado el cálculo para los distintos tipos de tuberías seleccionadas, teniendo en cuenta en cada caso las condiciones más severas de presión y temperatura a las que se encuentra sometida la tubería.

Los valores máximos de esfuerzo permitido son función de la temperatura del metal para el material seleccionado. Debido a que se han seleccionado varios materiales para las distintas zonas en función de la temperatura, presión y el grado de corrosividad (que está en función de la concentración de ácido) se tendrán diferentes tensiones. Dichas tensiones se pueden ver en la siguiente tabla en base al tipo de material seleccionado:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

Tabla 4.3: Tensiones admisibles para los materiales seleccionados.

Material					
Acero al carbono SA-106		Hastelloy C-276		Aleación Cu-Ni (70%-30%) SB-466	
Temperatura (°F)	Tensión admisible (lb/in <sup>2</sup> )	Temperatura (°F)	Tensión admisible (lb/in <sup>2</sup> )	Temperatura (°F)	Tensión admisible (lb/in <sup>2</sup> )
100	13700	100	27300	100	12000
200	13700	200	24900	200	11300
300	13700	300	23000	300	10800
400	13700	400	21300	400	10300
500	13700	500	19900	500	9900
600	13700	600	18700	600	9600
700	12500	700	18200	700	9400
800	9300	800	17800	800	-----
900	6500	900	17400	900	-----

Aplicando la expresión de Barlow, y teniendo en cuenta las condiciones a las que operan las distintas tuberías, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 4.4: Dimensiones tuberías y materiales en cada línea.

Nº línea	Material	D <sub>nominal</sub> (in)	D <sub>exterior</sub> (in)	T <sup>a</sup> <sub>diseño</sub> (°c)	P <sub>diseño</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor (in)	D <sub>interno</sub> (in)
1	Hastelloy	¼	0,60	25	11,31	0,065	0,54
2	Hastelloy	¼	0,60	25	11,31	0,065	0,54
3	Hastelloy	¼	0,60	82,22	67,02	0,065	0,54
4	A.carbono	8	8,94	84,13	80,41	0,322	8,62
5	A.carbono	2 ½	3,08	21	15,64	0,203	2,87
6	A.carbono	2 ½	3,08	21	15,64	0,203	2,87
7	A.carbono	2 ½	3,08	21	15,64	0,203	2,87
8	A.carbono	2 ½	3,08	21	15,64	0,203	2,87
9	A.Cu/Ni	1/8	0,50	111,66	162,21	0,1	0,40
10	A.Cu/Ni	1/8	0,50	112	163,36	0,1	0,40
11	A.Cu/Ni	1/8	0,50	37	22,64	0,1	0,40
12	A.Cu/Ni	3	3,66	112	180,57	0,165	3,5

A partir de los datos de las tuberías comerciales resulta un número de cédula de 10, 40, extrafuerte y regular para tuberías de ¼, ½, 2 ½, 3, 8 in de diámetro nominal como se puede ver en la tabla 3,3, tabla 3,4 y tabla 3,5 del anexo 3.

A continuación, se vuelven a calcular las velocidades a las que circula por las distintas líneas, en función del diámetro interior. Para ello se aplica la expresión:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.5: Velocidades en tuberías.**

Número de línea	Diámetro interior (in)	Velocidad (m/s)
1	0,54	$2,83 \cdot 10^{-2}$
2	0,54	$2,83 \cdot 10^{-2}$
3	0,54	$3,28 \cdot 10^{-2}$
4	8,62	$2,52 \cdot 10^{-2}$
5	2,87	$8,48 \cdot 10^{-4}$
6	2,87	$5,68 \cdot 10^{-4}$
7	2,87	$2,80 \cdot 10^{-4}$
8	2,87	$2,80 \cdot 10^{-4}$
9	0,40	$5,12 \cdot 10^{-2}$
10	0,40	$2,72 \cdot 10^{-2}$
11	0,40	$2,30 \cdot 10^{-2}$
12	3,5	$3,99 \cdot 10^{-2}$

### **5.1.3 Aislamiento.**

En función del diámetro de la tubería y de la temperatura del fluido, se obtiene el espesor de aislamiento.

En la tabla 3.2, del anexo 3, se indican los valores de espesores de aislamiento óptimo de lana de vidrio, marca "Isover".

Por tanto, los espesores a utilizar en las distintas líneas se recogen en la siguiente tabla:

**Tabla 4.6: Espesores de aislamiento obtenidos.**

Número de línea	Diámetro interior (in)	Espesor de aislamiento (mm)
1	0,54	30
2	0,54	30
3	0,54	30
4	8,62	50
5	2,87	40
6	2,87	40
7	2,87	40
8	2,87	40
9	0,40	30
10	0,40	30
11	0,40	30
12	3,5	50

## **5.2 EQUIPOS PARA LA IMPULSIÓN DE FLUIDOS: BOMBAS.**

### **5.2.1 Selección de las bombas.**

La elección de la bomba se realiza en función del caudal que debe impulsar, de la altura útil y de la altura neta de succión positiva (NPSH).

La altura útil es una medida de la potencia que ha de suministrar la bomba, mientras que la altura neta de succión positiva representa la altura que necesita la bomba para realizar la aspiración del fluido. Estos dos últimos términos se calculan aplicando la ecuación de Bernouilli.

Para el cálculo de la altura útil se aplicará Bernouilli entre dos puntos que comprenden la bomba, mientras que en la altura neta de succión positiva se aplica entre el punto desde el que se produce la aspiración y la entrada a la bomba.

Una vez calculados dichos parámetros, se selecciona la bomba con ayuda del material suministrado por los fabricantes.

### **5.2.2 Altura útil o efectiva de una bomba.**

Se describirá, de manera detallada, dicho cálculo para la bomba P-1; siendo el cálculo de la bomba P-2 exactamente igual, por lo que sólo se incluirán, de ella los resultados en su cálculo.

Se comenzará aplicando la ecuación de Bernouilli entre dos puntos ubicados, el primero en la parte superior del tanque de alimentación, A;

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

y el segundo, situado a la entrada de la columna, Z. Entre ambos puntos se encuentra el precalentador de carga E-1, de acuerdo con esto, la ecuación de Bernouilli toma la forma que se muestra a continuación:

$$\frac{P_A}{\rho \cdot g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2 \cdot g} - H_{r-ext} + H_{UTIL} = \frac{P_Z}{\rho \cdot g} + Z_Z + \frac{V_Z^2}{2 \cdot g}$$

Siendo:

$H_{r-ext}$  = Pérdidas exteriores a la bomba, m.

$H_{UTIL}$  = Altura útil, m.

$P_A$  = Presión a la entrada a la bomba, Pa.

$P_Z$  = Presión a la salida de la bomba, Pa.

$Z_A$  = Altura a la aspiración, m.

$Z_Z$  = Altura tras la impulsión, m.

$V_A$  = Velocidad antes de la aspiración, m/s.

$V_Z$  = Velocidad de salida de la bomba, m/s.

$\rho_A$  = Densidad del líquido a la entrada, kg/m<sup>3</sup>.

$\rho_Z$  = Densidad del líquido tras superar la altura requerida, kg/m<sup>3</sup>.

$g$  = Constante de la gravedad, 9,8 m/s<sup>2</sup>.

Por otra parte; las pérdidas exteriores a la bomba se pueden calcular por medio de:

$$H_{r-ext} = H_{ra} + H_{ri} + \frac{V_t^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

$H_{ra}$  = Pérdida de presión en la aspiración, m.

$H_{ri}$  = Pérdidas en la impulsión, m.

$V_t$  = Velocidad final en la tubería de impulsión, m/s.

La presión en toda la instalación será variable en función del punto al que se refiera cada caso. Se tomará como altura cero la cota de las bombas y las tuberías.

### Pérdidas primarias y secundarias.

Las pérdidas de carga primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería y de las partículas del fluido entre sí. Tienen lugar en los tramos rectos de tuberías de diversos diámetros, variando la velocidad media al variar el diámetro de la tubería.

Para el cálculo general de las pérdidas primarias se aplica la ecuación de Darcy – Weisbach.

$$H_{rp} = \lambda \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

Donde:

$H_{rp}$  = Pérdida de carga primaria, m.

$\lambda$  = Coeficiente adimensional de pérdida de carga primaria.

$L$  = Longitud de la tubería.

$D$  = Diámetro de la tubería.

$V$  = Velocidad media del fluido.

El coeficiente adimensional de pérdida de carga es función de dos variables adimensionales: el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

De manera resumida el procedimiento de para calcular las pérdidas de cargas primarias es el siguiente: se calcula la rugosidad relativa  $k/D$ ; se calcula el número de Reynolds; se toma el valor  $\lambda$  en el diagrama de Moody y, finalmente, este valor se lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach y se calcula  $H_{rp}$ .

Las pérdidas de carga secundarias son las pérdidas originadas al paso del fluido tras su impulsión a través de las tuberías así como los diferentes accesorios (codos, válvulas, etc). La ecuación fundamental de las pérdidas secundarias es:

$$H_{rs} = \zeta \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

$H_{rs}$  = Pérdida de carga secundaria, m.

$\zeta$  = Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria.

$V$  = Velocidad media del fluido en la tubería, m/s.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

El coeficiente  $\zeta$  dependerá del tipo de accesorio (codos, válvulas, etc...) del número de Reynolds, de la rugosidad y de la configuración de la corriente antes del accesorio.

- **Bomba de carga, P-1.**

Para la bomba P-1 se tienen los siguientes datos:

$$\begin{array}{ll} P_A = 77928,67 \text{ Pa.} & P_Z = 461949,58 \text{ Pa.} \\ \rho_A = 2809,43 \text{ kg/m}^3. & \rho_Z = 2421,70 \text{ kg/m}^3. \\ Z_A = 0,00 \text{ m.} & Z_Z = 15 \text{ m.} \\ V_A = 0,02 \text{ m/s.} & V_Z = 0,03 \text{ m/s.} \end{array}$$

- Pérdidas en la aspiración,  $H_{ra}$ .

Lo primero será obtener la rugosidad relativa para los materiales comerciales. Para ello se hace uso de la tabla 3.6 situada en el anexo 3.

Después se calcula el número de Reynolds mediante la expresión:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

Siendo:

$$\begin{array}{l} \text{Re} = \text{Número de Reynolds.} \\ \rho = \text{Densidad del fluido, kg/m}^3. \\ V = \text{Velocidad del fluido, m/s.} \\ D = \text{Diámetro de tubería, m.} \\ \mu = \text{Viscosidad, Pa}\cdot\text{s.} \end{array}$$

La viscosidad se calcula mediante la expresión que aparece en los cálculos justificativos en el apartado de las propiedades físicas. Mientras que los datos de densidad, velocidad y diámetro interior aparecen recogidos en el capítulo anterior.

Mediante la gráfica de Moody (figura 3.1, del anexo 3) se determina el coeficiente de fricción de Darcy. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

---

Tabla 4.7: Viscosidad, Reynolds, diámetro interior y coeficiente de rozamiento.

Número de línea	Viscosidad $\mu(c.P)$	Nº de Reynolds Re	Diámetro interior D (in)	Coefficiente de rozamiento
1	1,54	792,00	0,54	0,08
2	1,54	792,00	0,54	0,08
3	1,23	994,00	0,54	0,06

A partir de los resultados obtenidos, la pérdida de carga en la aspiración para la bomba P-1 se calcula aplicando la ecuación de Darcy-Weisbach teniendo en cuenta los accesorios:

Longitud de la tubería = 40m.

Diámetro de tubería = 0,015m.

Codos =  $\zeta = 7 \cdot 0,75 = 5,25$

Salida del depósito =  $\zeta = 0,5$

Entrada/salida bomba =  $\zeta = 0,78$

Al obtenerse un Reynolds de  $7,92 \cdot 10^2$  se observa en la gráfica de Moody que pertenece a un régimen laminar, por lo que el valor del coeficiente de rozamiento se determina mediante la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{7,92 \cdot 10^2} = 0,08$$

$$H_{ra} = \Sigma H_{rp} + \Sigma H_{rs} = \left( 7 \cdot 0,75 + 0,5 + 0,78 + 0,08 \cdot \frac{40}{0,015} \right) \frac{(2,83 \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 9,8} = 0,009m$$

La pérdida de carga en la impulsión se calcula de la misma manera, teniendo en cuenta los siguientes datos:

Longitud de tubería = 16 m.

Diámetro de tubería = 0,015 m.

Codos =  $\zeta = 2 \cdot 0,75 = 1,5$ .

Válvula =  $\zeta = 1,85$ .

Entrada recipiente V-1 = 0,56

En este tramo aparece el cambiador de calor E-1, para los cambiadores de carcasa y tubos que operan en este rango de presión (77928,67Pa), se considera que la pérdida de carga experimentada por el líquido es la mitad de dicho valor, es decir, 38964,34Pa. Este valor se expresa en metros mediante la siguiente expresión:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$$h = \frac{P}{\rho \cdot g}$$

Siendo:

$\rho$  = Densidad del fluido, kg/m<sup>3</sup>.

$P$  = Presión del fluido, Pa.

$g$  = Constante de la gravedad, 9,8 m/s<sup>2</sup>.

Luego para un fluido que presenta una densidad de 2809,43 kg/m<sup>3</sup>, se obtiene una pérdida de carga de 1,42 m.

$$H_{ri} = \Sigma H_{rp} + \Sigma H_{rs}$$

$$H_{ri} = \left( 0,08 \cdot \frac{16}{0,015} + 0,75 \right) \cdot \frac{(2,83 \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 9,8} + \left( 0,06 \cdot \frac{16}{0,015} + 0,75 + 1,85 + 0,56 \right) \cdot \frac{(3,28 \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 9,8} + 1,42 = 1,42m$$

Finalmente, se obtiene la altura útil:

$$H_{\text{útil}} = \frac{P_Z}{\rho \cdot g} - \frac{P_A}{\rho \cdot g} + Z_Z - Z_A + H_{ra} + H_{ri} + \frac{V_t^2}{2 \cdot g}$$

$$H_{\text{útil}} = \frac{461949,48}{2421,70 \cdot 9,8} - \frac{77928,67}{2809,43 \cdot 9,8} + 15 - 0 + 0,009 + 1,42 + \frac{(3,28 \cdot 10^{-2})^2 - (2,83 \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 9,8} = 31,63m.$$

A continuación se calcula la altura de aspiración disponible de la instalación mediante la siguiente expresión:

$$NPSH = \frac{P_A - P_S}{\rho \cdot g} - H_S - H_{ra-E}$$

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Donde:

$$H_S = Z_E - Z_A = \text{Altura disponible.}$$

$$P_S = \text{Presión de vapor del fluido, Pa.}$$

Las pérdidas de carga de este tramo son debidas a la tubería, a los dos codos, salida del depósito y la entrada a la bomba. Así, para:

$$P_A = 77928,67 \text{ Pa.}$$

$$P_S = 70767,01 \text{ Pa.}$$

$$Z_A = 8,22 \text{ m.}$$

$$Z_E = 0 \text{ m.}$$

$$\rho = 2809,43 \text{ kg/m}^3.$$

Resulta una altura neta de succión positiva de 8,47 m. Luego, la bomba seleccionada debe presentar una NPSH inferior a este valor.

Finalmente, se selecciona la bomba con ayuda de las curvas suministradas por los fabricantes y recogidas en el anexo 3.

De acuerdo con lo expuesto, se ha seleccionado una bomba, RN 32.-160 a 2900 r.p.m, tenemos que para una altura útil de 31,63 m y un caudal de 0,022 m<sup>3</sup>/h, se necesita una bomba de diámetro 160 de rodete y que trabaja a un rendimiento de 35%.

Presenta un NPSH de 3 m aproximadamente y absorbe una potencia de 2 kw.

- **Bomba de cabeza y de reflujo, P-2.**

Para la bomba de cabeza y reflujo se procede de manera análoga, al caso anteriormente expuesto por la bomba P-1.

La capacidad de esta bomba se determina de manera análoga a la bomba de carga. Se realizará una descripción de ella y se indicarán los accesorios que atraviesa el fluido impulsado por ella.

Se aplicará Bernouilli entre un punto situado en el nivel superior del líquido del botellón de reflujo, A, y el situado a la entrada del reflujo a la columna, Z. La longitud de la línea de aspiración es de 110 m y la de impulsión de 150 m.

Los accesorios que presenta este tramo son la salida del depósito de reflujo, entrada/salida bomba, 3 codos, y la entrada a la columna del reflujo.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

De manera análoga a como se hizo en la bomba de carga, resulta una altura útil de 40,01 m; y para una presión de vapor de 104625,93 Pa se obtiene una NPSH de 17,1 m.

Según la curva correspondiente a esta bomba, RN 32-200B a 2900 r.p.m, para una altura útil de 40,00 m y un caudal de 0.01 m<sup>3</sup>/h, se necesita una bomba de diámetro de 200 de rodete que trabaja a un rendimiento de 45 %.

Absorbe una potencia de 5,5 kw y presenta una NPSH de 8,00 m aproximadamente.

## **CAPÍTULO 6**

### **DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO**

#### **6.1 TANQUES DE ALMACENAMIENTO.**

La selección del tipo de recipiente y su presión de trabajo, dependerá de la presión de vapor del producto a la temperatura de almacenamiento. De manera que se garantice que el producto se encuentre en fase líquida y evitar así posibles mermas (pérdidas por evaporación) y optimizando de esta manera el volumen del mismo. Esto se logra si la presión de almacenamiento es mayor que la presión de vapor verdadera correspondiente a la temperatura de almacenamiento del producto, o que la temperatura sea menor a la temperatura de saturación correspondiente a la presión de almacenamiento del producto.

La primera consideración a tener en cuenta en el almacenamiento de materias primas y productos, es saber el tipo de producto a almacenar; en función de esto se elegirá el tipo de tanque.

En este apartado también se incluirá la capacidad de los tanques así como la disposición y separación de los mismos.

##### **6.1.1 Clasificación de productos.**

Según la ficha de seguridad técnica, la cual proporciona información relativa a tipos de peligros y riesgos asociados al uso del ácido fluorhídrico, se ha utilizado el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos a tenor de lo citado en el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas.

Entre los riesgos de mayor índole son destacables en el ácido fluorhídrico, su elevada toxicidad así como su corrosividad.

El Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos clasifica los productos a almacenar como sigue en la siguiente tabla:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**Tabla 6.1: Clasificación de productos a almacenar.**

Productos	Capacidad en kg
Sólidos tóxicos	
Clase T <sup>+</sup>	50 ≤ Q < 250
Clase T	250 ≤ Q < 1.250
Clase X <sub>n</sub>	1.000 ≤ Q < 5.000
Comburentes	500 ≤ Q < 2.500
Sólidos corrosivos:	
Clase a	200 ≤ Q < 1.000
Clase b	400 ≤ Q < 2.000
Clase c	1.000 ≤ Q < 5.000
Irritantes	1.000 ≤ Q < 5.000
Carcinogénicos	1.000 ≤ Q < 5.000
Sensibilizantes	1.000 ≤ Q < 5.000
Mutagénicos	1.000 ≤ Q < 5.000
Tóxicos para la reproducción	1.000 ≤ Q < 5.000
Peligrosos para el medio ambiente	1.000 ≤ Q < 5.000

Donde:

T<sup>+</sup> = Productos muy tóxicos.

T = Producto tóxico.

X<sub>n</sub> = Producto nocivo.

Por lo que ya se ha visto en el documento de la Memoria Descriptiva, en el capítulo 7, apartado 7.4, el producto que trata esta instalación está clasificado como corrosivo y muy tóxico.

### **6.1.2 Tipos de almacenamiento.**

En la instrucción Técnica Complementaria MIE-APQ-7, relativa al almacenamiento de productos tóxicos (dado que es más tóxico que corrosivo se ha utilizado la MIE-APQ-7 y no la MIE-APQ-6 asociada a productos corrosivos), los recipientes para almacenamiento de líquidos tóxicos podrán ser de los tipos siguientes:

1. Tanques atmosféricos.
2. Tanques a baja presión.
3. Recipientes a presión.

Los recipientes a presión podrán utilizarse como tanques a baja presión y ambos como tanques atmosféricos.

Dadas las instalaciones existentes para el almacenamiento del ácido fluorhídrico tanto en Petresa como en Cepsa, los tanques de almacenamiento serán del tipo de tanques atmosféricos.

Para las condiciones existentes en el presente Proyecto Final de Carrera, se tiene que:

- La alimentación de la columna se almacena a 25 °c y presenta una presión de vapor de 0,72 kg/cm<sup>2</sup>.
- El destilado que va al tanque de almacenamiento se almacena a 21 °c y su presión de vapor es de 1,06 kg/cm<sup>2</sup>.
- La salida de fondo de la columna se almacena a 37 °c y su presión de vapor es de 0,68 kg/cm<sup>2</sup>.

### **6.1.3 Capacidad de los tanques.**

Para evaluar el volumen de los tanques de almacenamiento se toma como base de cálculo de partida la producción existente en la planta.

De acuerdo con ello:

Caudal de alimentación =  $0,019 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24\text{h}/\text{día} \cdot 30\text{días}/\text{mes} = 13,6 \text{ m}^3$ .  
Caudal de destilado =  $0,01\text{m}^3/\text{h} \cdot 24\text{h} = 7,06\text{m}^3$ .  
Caudal de cola =  $0,01\text{m}^3/\text{h} \cdot 24\text{h} = 7,71\text{m}^3$ .

Con el objetivo de sobredimensionar los tanques se tendrá que:

- el tanque T-1 tendrá por tanto un volumen de 20 m<sup>3</sup>.
- el tanque T-2 presenta un volumen de 30 m<sup>3</sup>.
- el tanque T-3 tiene una capacidad de 30 m<sup>3</sup>.

Para calcular la longitud y el diámetro, se aplica la condición de superficie mínima. Así, se obtendrá el volumen deseado utilizando la mínima cantidad de material posible.

Al igual que en el caso de las bombas, los cálculos para los depósitos son idénticos entre sí, por lo que únicamente se expondrá de forma detallada para el primero de ellos.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Volumen:

$$V = 20m^3 = \pi \cdot R^2 \cdot L \Rightarrow L = \frac{20}{\pi \cdot R^2}$$

Superficie:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot L + 2 \cdot \pi \cdot R^2$$

Para que la superficie se a mínima la derivada de S respecto de H debe ser 0.

Sustituyendo el valor de H despejado del volumen en S, se obtiene:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \frac{20}{\pi \cdot R^2} + 2 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{40}{R} + 2 \cdot \pi \cdot R^2$$

Derivando S respecto de R, se obtiene:

$$S' = -\frac{40}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R$$

A continuación se iguala la derivada de S (S') a cero para que cumpla la condición de mínimo

$$S' = -\frac{40}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R = 0 \Rightarrow \frac{40}{R^2} = 4 \cdot \pi \cdot R \Rightarrow \frac{40}{4 \cdot \pi} = R^3$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{40}{4 \cdot \pi}} = 2,15m.$$

La altura vendrá dada sustituyendo el radio en la fórmula del volumen:

$$V = 20m^3 = \pi \cdot R^2 \cdot L \Rightarrow L = \frac{20}{\pi \cdot R^2} = 1,37m.$$

Finalmente se comprueba cual será el volumen final del tanque.

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot L = \pi \cdot (2,15)^2 \cdot 1,37 = 20m^3.$$

En la siguiente tabla se recogen resultados obtenidos para los 3 tanques:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 6.2: Dimensiones de los tanques.**

Tanques	Volumen (m <sup>3</sup> )	Longitud (m)	Diámetro (m)
1	20	1,37	4,31
2	30	1,57	4,93
3	30	1,57	4,93

**6.1.4 Diseño mecánico.**

**- Datos de diseño.**

Código de diseño y construcción:

- Secciones del código ASME de calderas y recipientes a presión, de aplicación.
- Sección II, Especificaciones del Material.
- Sección VIII División 1, Reglas para la construcción de recipientes a presión.

**Tabla 6.3: Capacidad, Presión de diseño y externa, temperatura de diseño y margen de corrosión.**

Tanque	% pureza ácido	Capacidad (m <sup>3</sup> )	P <sub>diseño</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	P <sub>exterior</sub>	T <sup>a</sup> <sub>diseño</sub> (°C)	Margen corrosión (mm)
1	60	20	2,72	atmosférica	150	0,09
2	98	30	3,06	atmosférica	150	0,07
3	40	30	2,68	atmosférica	150	0,08

**- Especificación de materiales.**

**Tabla 6.4: Especificación materiales.**

Tanque	Envolvente	Bridas	Cuellos de tubuladura	Tortillería
1	ASME II-B	ASME A-516 Gr 60.	ASME A-516 Gr 60	A-193-B7
2	ASME II-A	ASME A-516 Gr 60.	ASME A-516 Gr 60	A-193-B7
3	ASME II-B	ASME A-516 Gr 60.	ASME A-516 Gr 60	A-193-B7

**- Características constructivas y dimensiones.**

Tabla 6.5: Características constructivas y dimensiones.

Tanque	Tipo de recipiente	Tipo fondo	Diámetro interno (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	Cilíndrico horizontal	Klopper	4,31	20
2	Cilíndrico horizontal	Klopper	4,93	30
3	Cilíndrico horizontal	Klopper	4,93	30

**- Categoría del aparato:**

ITC MIE AP 6 Reg. Aparatos a presión.

**- Cálculos justificativos:**

Estos cálculos son los mismos para los 3 depósitos por lo que sólo se realiza de manera detalla para uno de ellos que es el tanque T-1.

Para obtener el espesor adecuado de la pared de la envolvente y de los fondos se realiza el cálculo de la presión interna, donde se estudiarán presiones longitudinales y circunferenciales según el código de diseño ASME sección VIII, División 1.

Por especificación.

$$t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + C = \frac{172,36}{1000} + 2,54 + 0,09 = 2,72in$$

Donde:

$t$  = espesor de la envolvente, in.

$C$  = corrosión admisible, in.

Cálculo del espesor por la tensión longitudinal a presión interna.

$$t = \frac{P \cdot R_i}{(2 \cdot S \cdot E - 0,4 \cdot P)} = \frac{38,72 \cdot 84,82}{(2 \cdot 21300 \cdot 1 - 0,4 \cdot 38,72)} = 0,08in$$

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Donde:

$P$  = presión de diseño, 38,72 psi.

$R_i$  = radio interno, 84,82 in.

$S$  = tensión admisible a temperatura de diseño, 21300 psi.

$E$  = eficacia de la soldadura, 1.

Cálculo del espesor por tensión circunferencial a la presión interna.

$$t = \frac{P \cdot R_i}{(2 \cdot S \cdot E - 0,6 \cdot P)} = \frac{38,72 \cdot 84,82}{(2 \cdot 21300 \cdot 1 - 0,6 \cdot 38,72)} = 0,08in$$

Donde:

$P$  = presión de diseño, 38,72 psi.

$R_i$  = radio interno, 84,82 in.

$S$  = tensión admisible a temperatura de diseño, 21300 psi.

$E$  = eficacia de la soldadura, 1.

Cálculo del espesor de los fondos toriesféricos (tipo Koppler).

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{(2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P)} = \frac{38,72 \cdot 54 \cdot 0,95}{(2 \cdot 21300 \cdot 1 - 0,2 \cdot 38,72)} = 0,05in$$

Donde:

$P$  = presión de diseño, 38,72 psi.

$R_i$  = radio interno, 84,82 in.

$S$  = tensión admisible a temperatura de diseño, 21300 psi.

$E$  = eficacia de la soldadura, 1.

$$M = 0,25 \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{L}{R_i}} \right) = 0,25 \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{54}{84,82}} \right) = 0,95 .$$

**Tabla6.6: Valores de módulo de elasticidad y del factor M.**

Tanque	L (in)	$R_i$ (in)	M	Material	E (psi)
T-1	54,00	84,82	0,95	Hastelloy	41000
T-2	61,81	97,09	0,95	A.carbono	40000
T-3	61,81	97,09	0,95	Aleación Cu/Ni 70/30	18000

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

---

Como espesor final para el tanque se adoptará el de mayor valor entre los calculados hasta ahora.

A continuación se muestra una tabla resumen con los valores obtenidos para los 3 depósitos.

**Tabla 6.7: Resumen de valores obtenidos para los 3 depósitos.**

Tanque	t especificación (in)	t longitudinal (in)	t circunferencial (in)	t fondos (in)	$R_i$ (in)	$R_0$ (in)	t final (in)
T-1	2,72	0,08	0,08	0,05	84,82	87,54	2,72
T-2	2,74	0,12	0,12	0,07	97,09	99,84	2,74
T-3	2,74	0,18	0,18	0,11	97,09	99,84	2,74

Por último y no menos importante se ha de considerar la fracción de volumen de llenado en dichos depósitos mediante el uso de datos como la longitud y el diámetro que se ha obtenido para cada uno de ellos, así como con el uso de la tabla 4.2, que se encuentra en el anexo a los cálculos justificativos. En la siguiente tabla se puede observar los volúmenes de llenado para dichos tanques.

**Tabla 6.8: Volúmenes de llenado.**

Tanque	L (m)	D(m)	L/D	V (m <sup>3</sup> )
T-1	1,37	4,31	0,32	5,52
T-2	1,57	4,93	0,32	8,27
T-3	1,57	4,93	0,32	8,27

#### 6.1.5 Cubeto de retención.

Los tanques de superficie para el almacenamiento del ácido sea cual sea su concentración se disponen en un cubeto de retención. Para ello se destacan algunas normas necesarias para su diseño:

1. Los recipientes fijos para almacenamiento de líquidos tóxicos exteriores o dentro de edificios deberán disponer de un cubeto de retención, que podrá ser común a varios recipientes.

No obstante, no deberán estar en el mismo cubeto recipientes con productos que presenten peligrosidad por reactividad mutua o que puedan reducir por debajo de los mínimos las exigencias mecánicas de diseño del resto de las instalaciones.

2. Tampoco se almacenarán en el mismo cubeto gases a presión ni gases licuados junto con líquidos tóxicos.

3. La distancia mínima horizontal entre la pared mojada del recipiente y el borde interior de la coronación del cubeto será igual o superior a 1,5 m, para recipientes atmosféricos.

En el caso de almacenamiento a presión, se justificará mediante cálculo en el proyecto la distancia mínima que resulte a causa de una fuga en el recipiente, con un mínimo de 1,5 m.

4. Cuando el recipiente tenga doble pared, la exterior será considerada como cubeto si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) Misma presión de diseño y material adecuado para el producto.
- b) Sistema de detección de fugas con alarma.
- c) Tubuladuras del recipiente interior sólo en la parte superior y con dispositivo automático de cierre.
- d) Losa con bordillo, de 10 cm de altura mínima, para recogida de derrames de las tuberías, con pendiente hacia la red de drenajes.

5. Capacidad del cubeto –La capacidad útil del cubeto será, como mínimo, igual a la mayor de entre las siguientes:

La capacidad del recipiente mayor, considerando que no existe éste pero sí todos los demás.

El 10% de la capacidad global de los recipientes en él contenidos, considerando que no existe ningún recipiente en su interior.

A continuación se muestra una tabla donde se pueden ver las dimensiones de los cubetos para cada uno de los depósitos:

**Tabla 6.9: dimensiones de los cubetos.**

<b>Tanque</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Ancho(m)</b>	<b>Profundidad (m)</b>
<b>T-1</b>	5,5	5	1
<b>T-2</b>	6,0	5	1,20
<b>T-3</b>	6,0	5	1,20

#### **6.1.6 Disposición y separación entre tanques.**

Con relación a recipientes a presión de cualquier producto, los recipientes de líquidos tóxicos estarán en distinto cubeto y nunca alineados con el eje de recipientes cilíndricos horizontales que estén a menos de 50 m, salvo que exista un muro que los proteja contra el impacto en caso de estallido.

La separación entre dos recipientes contiguos debe ser la suficiente para garantizar un buen acceso a los mismos, con un mínimo de 1 metro.

En la siguiente tabla se puede observar la distancia existente entre dichos tanques:

**Tabla 6.10: distancias entre tanques.**

Tanque	Distancia (m)
T-1	50
T-2	50
T-3	50

## **6.2 RECIPIENTE ACUMULADOR DE REFLUJO.**

### **6.2.1 Calculo de las dimensiones del recipiente.**

Para el cálculo de las dimensiones del acumulador de reflujo se fijará una fracción de volumen retenido en el recipiente, así como un tiempo de retención de 5 minutos durante los cuales no se impulsará líquido hacia la columna V-1 como reflujo o hacia el tanque T-2.

Como consecuencia de las suposiciones adoptadas para el cálculo, se tendrá:

$$\text{Volumen retenido en el recipiente acumulador} = \frac{0,014 \cdot 5}{60} = 0,0012m^3.$$

Considerando que dicho volumen corresponde a una fracción de llenado del depósito del 50%, se puede observar en la tabla 4.3 del anexo 4, que la relación H/D es de 0,5.

Por tanto, teniendo en cuenta la expresión de "Doolittle", se tendrá que:

$$V = 0,215 \cdot H^2 \cdot (3 \cdot R - H) \Rightarrow 0,0012 = 0,215 \cdot H^2 \cdot (3 \cdot R - H);$$

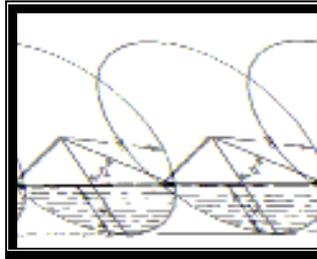
$$\frac{H}{D} = \frac{2 \cdot H}{R} = 0,5 \Rightarrow R = \frac{2 \cdot H}{0,5} = 4 \cdot H;$$

Sustituyendo en la primera expresión se obtendrá:

$$V = 0,0012 = 0,2150 \cdot H^2 \cdot (12H - H) = 2,3650 \cdot H^3 \Rightarrow H = \sqrt[3]{\frac{0,0012}{2,3650}} = 0,0802m$$

Por tanto:

$$D = \frac{0,0802}{0,5000} = 0,1604m$$



**Figura 6.1: Recipiente**

Ahora se procede al cálculo de la longitud mediante la expresión siguiente:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot L \Rightarrow 0,0012 = \pi \cdot (0,0802)^2 \cdot L \Rightarrow L = \frac{0,0012}{\pi \cdot (0,0802)^2} = 0,0603m .$$

En esta planta el botellón de reflujo juega simplemente el papel de acumulador puesto que su alimentación es homogénea, así regula la alimentación a la columna V-1 y al tanque T-2.

## **6.2.2 Diseño mecánico del recipiente.**

### **6.2.2.1 Cálculo del espesor mínimo de la envolvente.**

#### Datos y dimensiones del recipiente.

- $D_i$  = Diámetro interior, 0,16 m (6,31in).
- $P$  = Presión de diseño, 3,00 kg/cm<sup>2</sup> (42,68 psi).
- $T$  = Temperatura de diseño, 120 °c.
- $C$  = Corrosión admisible, 0,07 mm (0,0027in).
- $E$  = Eficiencia de soldadura, 1.
- $S$  = Tensión admisible, 243.286,33 kg/cm<sup>2</sup> (17100 psi).

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

1. Por especificación.

$$t = \frac{D_i + 2540 + 1000 \cdot C}{998} = \frac{6,3153 + 2540 + 1000 \cdot 0,0027}{998} = 2,5541 \text{ in}$$

Donde:

$t$  = espesor de la envolvente, in.  
 $C$  = corrosión admisible, in.

2. Por tensión circunferencial.

$$t = \frac{P \cdot R_i}{2 \cdot S \cdot E - 0,4 \cdot P} + C = \frac{42,6818 \cdot (6,3153/2)}{2 \cdot 17.100 \cdot 1 - 0,4 \cdot 42,6818} + 0,0027 = 0,0066 \text{ in} .$$

Donde:

$t$  = espesor de la envolvente, in.  
 $C$  = corrosión admisible, in.

3. Por tensión longitudinal.

$$t = \frac{P \cdot R_i}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C = \frac{42,6818 \cdot (6,3153/2)}{17.100 \cdot 1 - 0,6 \cdot 42,6818} + 0,0027 = 0,0078 \text{ in} .$$

Donde:

$t$  = espesor de la envolvente, in.  
 $C$  = corrosión admisible, in.

Se elige el mayor espesor calculado y se normaliza.

Se adopta un espesor total de 2,5541 in gobernado por tensión circunferencial.

**6.2.2.2 Cálculo del espesor de fondo toriesférico tipo “Klopper”.**

Datos y dimensiones del recipiente.

$D_i$  = Diámetro interior, 0,16 m (6,31 in).  
 $P$  = Presión de diseño, 3,00 kg/cm<sup>2</sup> (42,68 psi).  
 $T$  = Temperatura de diseño, 120 °c.  
 $C$  = Corrosión admisible, 0,07 mm (0,0027 in).

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

$E$  = Eficiencia de soldadura, 1.

$S$  = Tensión admisible, 243.286,33 kg/cm<sup>2</sup> (17100 psi).

$L_i$  = Longitud, 0,06 m (2,37 in).

1. Por especificación.

$$t_f = \frac{D_i + 2540 + 1000 \cdot C}{998} = \frac{6,3153 + 2540 + 1000 \cdot 0,0027}{998} = 2,5541 \text{ in.}$$

Donde:

$t_f$  = espesor de la envolvente, in.

$C$  = corrosión admisible, in.

2. Por tensión circunferencial.

$$M = 0,25 \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{L}{R_i}} \right) = 0,25 \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{2,3770}{3,1576}} \right) = 0,9669.$$

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{(2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P)} = \frac{42,6818 \cdot 2,3770 \cdot 0,9669}{(2 \cdot 17100 \cdot 1 - 0,2 \cdot 42,6818)} = 0,0056 \text{ in.}$$

Donde:

$t_f$  = espesor de la envolvente, in.

Características Técnicas.

$$R = D_0 = 225,28 \text{ mm.}$$

$$r = \frac{D_0}{10} = \frac{225,80}{10} = 22,58 \text{ mm.}$$

$$H = 0,2 \cdot D_0 = 0,20 \cdot 225,28 = 45,05 \text{ mm.}$$

$$h = 3,5 \cdot D_0 = 3,50 \cdot 225,28 = 788,49 \text{ mm.}$$

Diámetro del disco,

$$D_d = 1,12 \cdot D_0 + 1,70 \cdot h = 1,12 \cdot 225,28 + 1,70 \cdot 788,49 = 1592,76 \text{ mm.}$$

$$\text{Capacidad} = V = 0,1 \cdot D^3 = 0,1000 \cdot (0,1600)^3 = 0,0004 \text{ m}^3. \quad \text{Sin considerar}$$

$$D_0 = D_i.$$

**6.2.2.3 Espesor del aislante.**

En la tabla 4.3, recogida en el anexo 4, se muestran los espesores recomendados de placas de fibra de vidrio RF-4000.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

En dicha tabla se observa que de 0 a 65 °c el espesor del aislante recomendado es de 25mm (0,98 in).

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**ANEXOS**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**ANEXO 1:**  
**TABLAS Y FIGURAS PARA EL DISEÑO**  
**DE LA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**Tabla 1.1: Espesores recomendados de placas RF-4000**

TEMPERATURAS DE OPERACIÓN				ESPESORES RECOMENDABLES		TEMPERATURA APROXIMADA DE SUPERFICIE			
						RF-4125		RF-4200	
°c		°F		Cm	In	°c		°F	
DE	HASTA	DE	HASTA			°c	°F	°c	°F
0	65	49	149	2,5	1	31	87	30	86
66	93	150	200	2,5	1	36	97	36	97
94	149	201	300	3,8	1 ½	42	107	42	107
15	204	301	400	6,4	2 ½	46	115	46	115
20	232	401	450	7,6	3	46	115	47	116

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 1.2: Condiciones y dimensiones generales recomendadas para las torres de platos.**

Diámetro de la torre		Aa/At
m	ft	
1	3	0,65
1,25	4	0,70
2	6	0,74
2,5	8	0,76
3	10	0,78

Longitud del derramadero W	Distancia desde el centro de la torre x	Porcentaje del área utilizado %
0,55T	0,42T	3,88
0,60T	0,40T	5,26
0,65T	0,25T	6,89
0,70T	0,36T	8,80
0,75T	0,33T	11,25
0,80T	0,20T	14,15

Diámetro de la torre, T m	Espaciamento entre platos, t m
Menos de 1	0,50
1-3	0,60
3-4	0,75
4-8	0,90

Diámetro de orificio		Espesor del plato/ diámetro de orificio	
mm	in	Acero inoxidable	Acero al carbono
3,0	1/8	0,65	
4,5	3/16	0,43	
6,0	1/4	0,32	
9,0	3/8	0,22	0,5
12,0	1/2	0,16	0,38
15,0	5/8	0,17	0,3
18,0	3/4	0,11	0,25

- Si  $A_0/A_a \geq 0,1$

$$\alpha = 0,0744 \cdot t + 0,01173$$

$$\beta = 0,0304 \cdot t + 0,015$$

- Si  $A_0/A_a < 0,1$  multiplicar  $\alpha$  y  $\beta$  por  $5 \cdot A_0/A_a + 0,5$

Además, si PF presenta un valor inferior a 0,1, en la expresión de C<sub>F</sub> se utilizará el valor de C<sub>F</sub> = 0,1

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 1.3: Dimensiones recomendadas para torres de platos perforados.**

<b>1. Constantes de inundación Cf [eqs. (6.29) and (6.30)]<math>d_0 &lt; 6\text{mm}</math> ( <math>\frac{1}{4}</math> in)</b>					
Rango de $\frac{A_0}{A_a}$	Rango de $\frac{L'}{V'} \left( \frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0,5}$	Unidades de t	Unidades de o	Unidades de $V_F$	$\alpha, \beta$
>0,1	0,01-0,1 utilizar valores en 0,1				
	0,1-1	m	N/m	m/s	$\alpha = 0,0744t + 0,01173$ $\beta = 0,0304t + 0,015$
		En	Dinas/cm x $10^{-3}$	Ft/s	$\alpha = 0,0062t + 0,0385$ $\beta = 0,00253t + 0,050$
<0,1		multiplicar $\alpha$ y $\beta$ por $5 A_0/A_a + 0,5$			

<b>2. Diámetro del orificio, espesor de plato</b>			
Diámetro orificio		Espesor del plato /diam. orif.	
mm	In	Acero inoxidable	Acero al carbón
3,0	1/8	0,65	-----
4,5	3/16	0,43	-----
6,0	1/4	0,32	-----
9,0	3/8	0,22	0,5
12,0	1/2	0,16	0,38
15,0	5/8	0,17	0,3
18,0	3/4	0,11	0,25

<b>3. Profundidad del líquido</b>	
50 mm (2in) mínimo	100 mm (4in) máximo

<b>4. Área activa típica</b>		
Diámetro de la torre		$A_a/A_t$
m	ft	
1	9	0,65
1,25	4	0,70
2	6	0,74
2,5	8	0,76
3	10	0,78

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

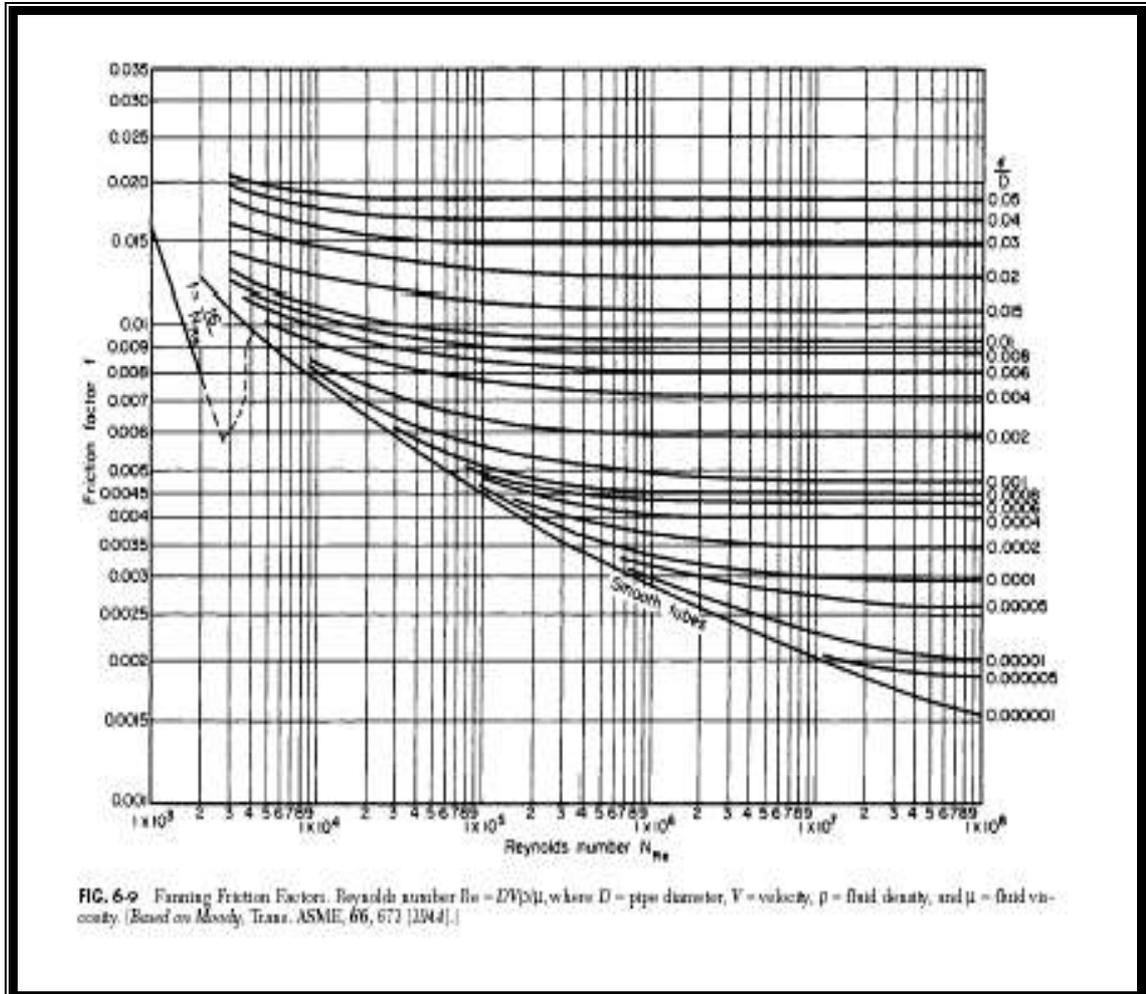


Figura 1.1: Coeficiente de fricción de Fanning

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

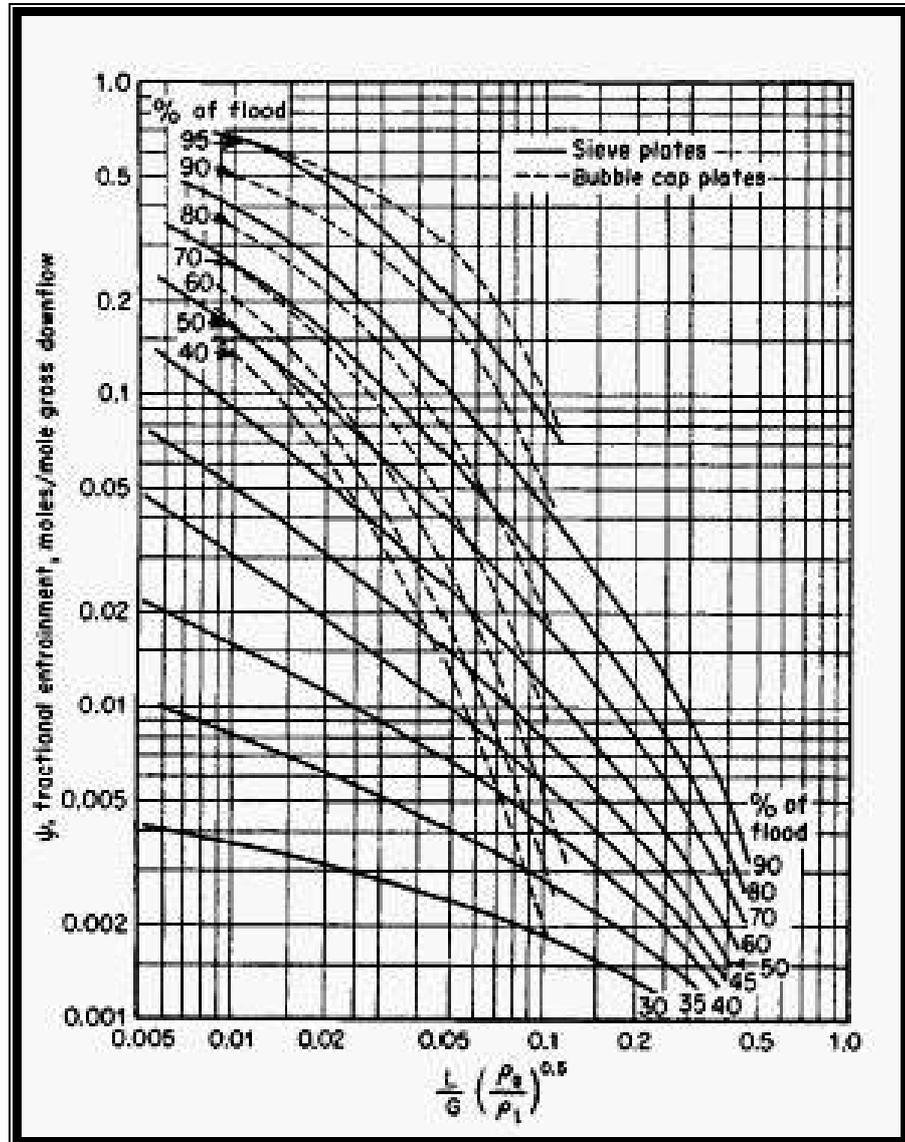


Figura 1.2: Arrastre, platos perforados

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

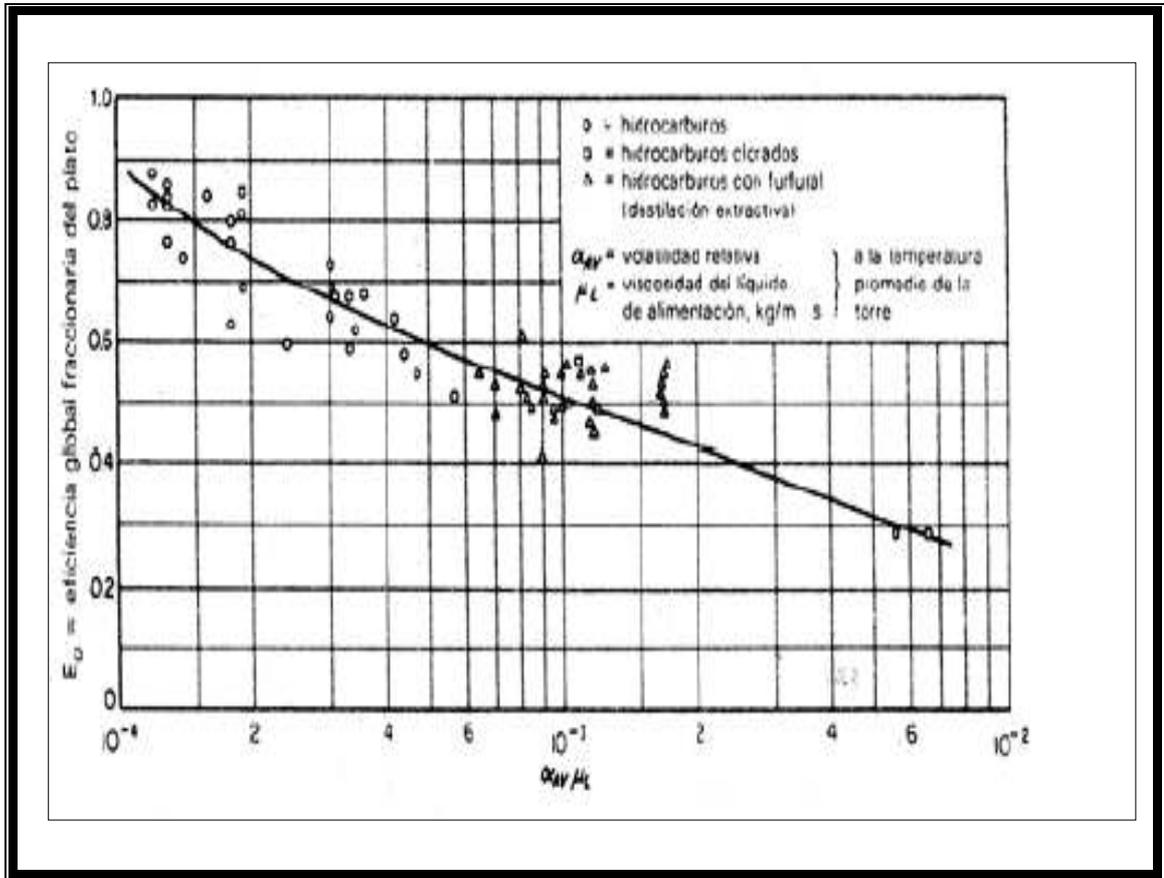


Figura 1.3: Eficacia global de los platos de las torres de destilación

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**ANEXO 2:**  
**TABLAS Y FIGURAS PARA LOS CAMBIADORES DE CALOR**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

	FRONT END STATIONARY HEAD TYPES		SHELL TYPES		REAR END HEAD TYPES
<b>A</b>	 CHANNEL AND REMOVABLE COVER	<b>E</b>	 ONE PASS SHELL	<b>L</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
<b>B</b>	 BONNET (INTEGRAL COVER)	<b>F</b>	 TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	<b>M</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
<b>C</b>	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE- SHEET AND REMOVABLE COVER	<b>G</b>	 SPLIT FLOW	<b>N</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
<b>N</b>	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE- SHEET AND REMOVABLE COVER	<b>H</b>	 DOUBLE SPLIT FLOW	<b>P</b>	 OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
<b>D</b>	 SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	<b>J</b>	 DIVIDED FLOW	<b>S</b>	 FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
		<b>K</b>	 KETTLE TYPE REBOILER	<b>T</b>	 PULL THROUGH FLOATING HEAD
		<b>X</b>	 CROSS FLOW	<b>U</b>	 U-TUBE BUNDLE
				<b>W</b>	 EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

Figura 2.1: Designación tipo TEMA, para cambiadores de calor de carcasa y tubos

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 2.1: Valores medios del coeficiente de transmisión sucio  $U_s$  en función de la naturaleza de los fluidos en circulación.**

Intercambiadores		$U_s$	
Fluido caliente	Fluido frío	kcal/h·m <sup>2</sup> ·°C	BTU/hr.ft <sup>2</sup> ·°F
Agua	Agua	1.250-2.500	250-500
Soluciones acuosas	Soluciones acuosas	1.250-2.500	250-500
Hidrocarburos ligeros <sup>1</sup>	Hidrocarburos ligeros	200-370	40-75
Hidrocarburos medios	Hidrocarburos medios	100-300	20-60
Hidrocarburos pesados	Hidrocarburos pesados	50-200	10-40
Hidrocarburos pesados	Hidrocarburos ligeros	150-300	30-60
Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos pesados	50-200	10-40
<b>Refrigerantes</b>			
Agua, metanol, amoniaco y soluciones acuosas.	Agua	1.250-2.500	250-500
	Agua	370-730	75-150
Hidrocarburos ligeros	Agua	250-610	50-125
Hidrocarburos medios	Agua	25-730	5-75
Hidrocarburos pesados	Agua	10-250	2-50
Gas	Salmuera	500-1.000	100-200
Agua	Salmuera	200-500	40-100
Hidrocarburos ligeros			
<b>Recalentadores</b>			
Vapor de agua	Agua, metanol, amoniaco	1.000-3.400	200-700
Vapor de agua	Solución acuosa $\mu < 2cPo$	1.000-3.400	200-700
	Solución acuosa $\mu > 2cPo$	500-2.500	100-500
Vapor de agua	Hidrocarburos ligeros	500-1.000	100-200
Vapor de agua	Hidrocarburos ligeros	250-500	50-100
Vapor de agua	Hidrocarburos medios	30-300	6-60
Vapor de agua	Hidrocarburos pesados	25-250	5-50
Dowtherm	Gas	20-200	4-40
Dowtherm	Gas	30-300	6-60
	Hidrocarburos pesados		

1- Hidrocarburos ligeros:  $\mu < 0,5$  cPo (junto un: benceno, tolueno, acetona, etanol, MEK).

Hidrocarburos medios:  $0,5 < \mu < 1$  cPo (queroseno, gasoil caliente, aceite de absorción, crudos ligeros).

Hidrocarburos pesados:  $\mu > 1$  cPo (gasoil frío, aceites, fueloil, crudo reducido, asfalto).

Coeficientes de transmisión sucios  $U_s$ <sup>1</sup>.

Estos valores de  $U_s$  comprenden una resistencia global de ensuciamiento  $R_s = 0,0006$  h·m<sup>2</sup>·°C/kcal = 0,003 hr.ft<sup>2</sup> °F/BTU y corresponden a  $0,35$  kg/cm<sup>2</sup> <  $\Delta P$  <  $0,7$  kg/cm<sup>2</sup>.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

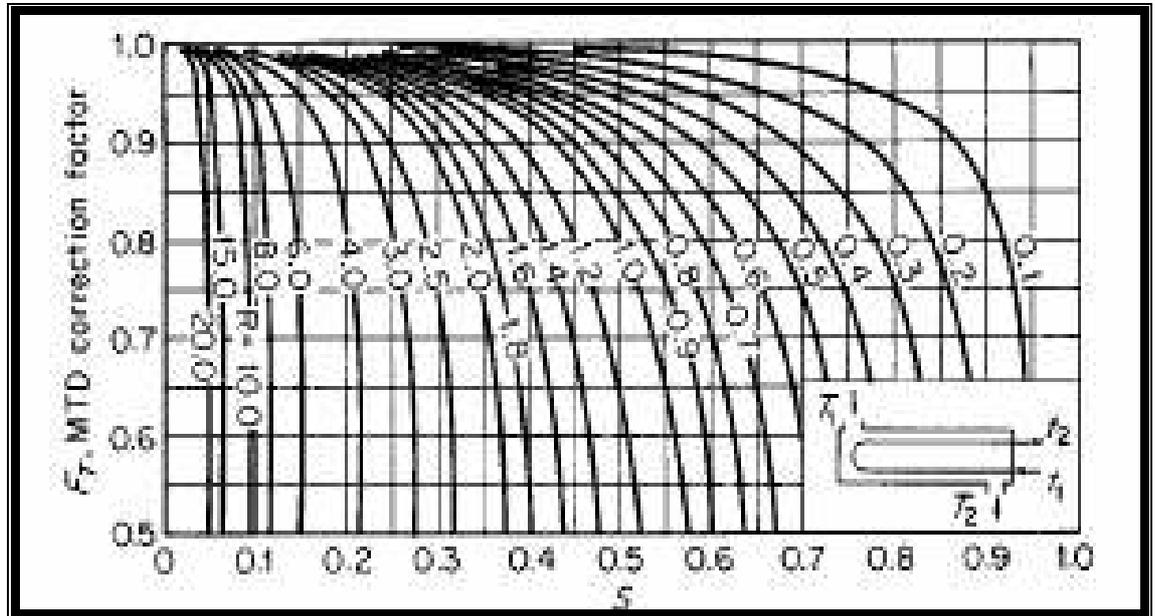


Figura 2.2: Factor de corrección de la diferencia media logarítmica de temperatura para cambiadores con un paso por el lado de la carcasa, dos pasos (o más) por el lado de los tubos.

Tabla 2.2: Valores de los espaciamentos entre tubos para configuraciones habituales.

Tube O.D. $D_o$ , in.	Tube pitch $p'$ , in.	Layout	$\rho_p$ , in.	$\rho_r$ , in.
0.625	0.812		0.704	0.406
0.750	0.938		0.814	0.469
0.750	1		1.000	1.000
0.750	1		0.707	0.707
0.750	1		0.866	0.500
1.000	1.250		1.250	1.250
1.000	1.250		0.884	0.884
1.000	1.250		1.082	0.625

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

Tabla 2.3: Características de los tubos de los intercambiadores según estándares TEMA

Diámetro exterior (in y mm)	BWG	Espesor (mm)	Diámetro interior (cm)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Superficie (m <sup>2</sup> /m)		Peso (kg/cm)
					exterior	interior	
½ in (12,7 mm)	14	2,10	0,848	0,565	0,0399	0,0266	0,600
	16	1,65	0,940	0,694		0,0295	0,490
	18	1,24	1,021	0,819		0,0321	0,384
¾ in (19,05 mm)	10	3,40	1,224	1,177	0,0598	0,0384	1,436
	12	2,77	1,351	1,434		0,0424	1,216
	14	2,10	1,483	1,727		0,0466	0,963
	16	1,65	1,575	1,948		0,0495	0,774
1 in (25,4 mm)	18	1,24	1,656	2,154	0,0798	0,0520	0,597
	10	3,40	1,859	2,714		0,0584	2,024
	12	2,77	1,986	3,098		0,0624	1,696
	14	2,10	2,118	3,523		0,0665	1,324
1 ¼ in (31,75 mm)	16	1,65	2,210	3,836	0,0997	0,0694	1,057
	18	1,24	2,291	4,122		0,0720	0,811
	10	3,40	2,494	4,885		0,0783	2,604
	12	2,77	2,616	5,375		0,0822	2,158
1 ½ in (38,1 mm)	14	2,10	2,743	5,909	0,1197	0,0862	1,682
	16	1,65	2,845	6,357		0,0894	1,340
	18	1,24	2,921	6,701		0,0918	1,024
	10	3,40	3,124	7,665		0,0981	3,185
1 ½ in (38,1 mm)	12	2,77	3,251	8,300	0,1197	0,1021	2,634
	14	2,10	3,378	8,962		0,1061	2,039
	16	1,65	3,480	9,512		0,1053	1,622
	18	1,24	3,556	9,931		0,1171	1,237

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**Tabla 2.4: Disposición de los tubos en cuadro según estándares TEMA**

Dc carcasa		Tubos:3/4" P= 1"				Tubos:1" P= 1 1/4"				Tubos:1 1/4" P= 1 9/16"			
		Nº pasos:n <sub>t</sub>				Nº pasos:n <sub>t</sub>				Nº pasos:n <sub>t</sub>			
(in)	(cm)	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
8	20,3	26	20	20		16	14						
10	25,4	52	40	36		32	26	24		12	10		
12	30,5	76	68	68	60	45	40	38	36	24	22	16	16
13 1/4	33,7	90	82	76	70	56	52	48	44	30	30	22	22
15 1/4	38,7	124	116	108	108	76	68	68	64	40	37	35	31
17 1/4	43,9	166	158	150	142	112	96	90	82	53	51	48	44
19 1/4	49,9	220	204	192	188	132	128	122	116	73	71	64	56
21 1/4	54,0	270	246	240	234	166	158	152	148	90	86	82	78
23 1/4	59,1	324	308	302	292	208	192	184	184	112	106	102	96
25	63,5	394	370	356	346	252	238	226	222	135	127	123	115
27	68,6	460	432	420	408	288	278	268	260	160	151	146	140
29	73,7	526	480	468	456	326	300	294	286	188	178	174	166
31	78,8	640	600	580	560	398	380	368	358	220	209	202	193
33	83,8	718	688	676	648	460	432	420	414	252	244	238	226
35	88,9	824	780	766	748	518	488	484	472	287	275	268	258
37	94,0	914	886	866	838	574	562	544	532	322	311	304	293
39	99,0	1024	982	968	948	644	624	612	600	362	348	342	336

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**ANEXO 3: TABLAS Y FIGURAS PARA EL TRANSPORTE E  
IMPULSIÓN DE FLUIDOS: TUBERÍAS Y BOMBAS**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

---

Tabla 3.1: velocidades recomendadas para algunos fluidos

Fluidos	Velocidad (m/s)
Agua en general	1 a 3
Agua caliente	2 a 3
Agua para turbinas	2 a 7
Fluidos viscosos	1 a 2
Gases a baja presión	3 a 10
Gases a alta presión	5 a 15
Aire comprimido	3 a 10
Vapor saturado	10 a 25
Vapor sobrecalentado	30 a 60

Tabla 3.2: Espesores de aislamiento.

Temperatura °C	100	150	200	250	300
Diámetro tubería (in)	Espesores de aislamiento (mm)				
≤ 1	30	30	40	40	50
1 ½	30	30	40	50	60
2	30	40	40	50	60
2 ½	40	40	50	60	70
3	40	50	50	60	70
4	40	50	60	70	80
6	50	60	70	80	90
8	50	60	70	80	90
10	60	70	80	90	90
12	60	70	80	90	110
14	60	70	90	100	110
16	60	70	90	100	120
18	60	80	90	100	120
20	70	80	90	110	120
22	70	80	100	110	130
24	70	80	100	110	130

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 3.3: Dimensiones tuberías de Hastelloy c**

TABLE X2.1 PIPE SCHEDULES <sup>4</sup>				
Nominal Pipe Size, in.	Outside Diameter	Nominal Wall Thickness		
		Schedule No. 10	Schedule No. 40	Schedule No. 80
Inches				
1/4	0.540	0.065	0.088	...
3/8	0.675	0.065	0.091	0.126
1/2	0.840	0.083	0.109	0.147
3/4	1.050	0.083	0.113	0.154
1	1.315	0.109	0.133	0.179
1 1/4	1.660	0.109	0.140	0.191
1 1/2	1.900	0.109	0.145	0.200
2	2.375	0.109	0.154	0.218
2 1/2	2.875	0.120	0.203	0.276
3	3.500	0.120	0.216	0.300
Millimeters				
1/4	13.72	1.65	2.24	...
3/8	17.14	1.65	2.31	3.20
1/2	21.34	2.11	2.77	3.73
3/4	26.67	2.11	2.87	3.91
1	33.40	2.77	3.38	4.55
1 1/4	42.16	2.77	3.56	4.85
1 1/2	48.26	2.77	3.68	5.08
2	60.32	2.77	3.91	5.54
2 1/2	73.02	3.05	5.16	7.04
3	88.90	3.05	5.49	7.62

<sup>4</sup> The pipe schedules shown conform with standards adopted by the American National Standards Institute.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

Tabla 3.4: Dimensiones tuberías Acero al carbono

NPS Designator	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Schedule Number	Distance, in inches, Between Plates "H" by Equation: $H = -\frac{(1 + e)t}{E + t/D}$	
				Grade A	Grades B & C
2½	2.875	0.203	40	1.456	1.545
		0.276	80	1.694	1.779
		0.375	160	1.925	2.002
3	3.500	0.216	40	1.646	1.755
		0.300	80	1.955	2.062
		0.438	160	2.306	2.398
3½	4.000	0.226	40	1.788	1.912
		0.318	80	2.153	2.276
4	4.500	0.237	40	1.929	2.067
		0.337	80	2.350	2.489
		0.438	120	2.687	2.818
		0.531	160	2.896	3.022
5	5.563	0.258	40	2.205	2.372
		0.375	80	2.747	2.920
		0.500	120	3.179	3.346
		0.625	160	3.509	3.667
6	6.625	0.280	40	2.473	2.669
		0.432	80	3.213	3.419
		0.562	120	3.682	3.884
		0.719	160	4.116	4.307
8	8.625	0.250	20	2.477	2.702
		0.277	30	2.668	2.902
		0.322	40	2.964	3.210
		0.406	60	3.451	3.711
		0.500	80	3.914	4.181
		0.593	100	4.305	4.573
		0.719	120	4.750	5.013
		0.812	140	5.036	5.293
		0.906	160	5.288	5.538
10	10.750	0.250	20	2.615	2.868
		0.307	30	3.054	3.333
		0.365	40	3.459	3.757
		0.500	60	4.268	4.592
		0.593	80	4.738	5.070
		0.719	100	5.320	5.621
		0.843	120	5.747	6.077
		1.000	140	6.242	6.564
		1.125	160	6.580	6.892
12	12.750	0.250	20	2.711	2.985
		0.330	30	3.366	3.683
		0.406	40	3.921	4.266
		0.562	60	4.892	5.271
		0.687	80	5.542	5.934
		0.843	100	6.231	6.627
		1.000	120	6.817	7.209
		1.125	140	7.222	7.607
		1.312	160	7.747	8.119

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

Tabla 3.5: Dimensiones tuberías aleación Cu/Ni 70/30

SPS, in.	Outside Diameter, in.	Wall Thicknesses										
		Specials					Regular, in.					Extra Strong, in.
		in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	
1/8	0.405	0.056	...	...	...	0.062	...	...	...	0.100		
1/4	0.540	0.065	0.072	...	...	0.082	...	...	...	0.123		
3/8	0.675	0.065	0.072	0.095	...	0.090	0.148	...	...	0.127		
1/2	0.840	0.065	0.072	0.120	...	0.107	0.203	...	...	0.149		
3/4	1.050	0.065	0.083	0.148	...	0.114	0.238	...	...	0.157		
1	1.315	0.065	0.095	0.203	...	0.126	0.340	...	...	0.182		
1 1/4	1.660	0.072	0.095	0.120	0.380	0.146	0.220	0.380	...	0.194		
1 1/2	1.900	0.072	0.109	0.134	0.425	0.150	0.250	0.425	...	0.203		
2	2.375	0.083	0.120	0.165	0.520	0.156	0.340	0.520	...	0.221		
2 1/2	2.875	0.083	0.134	0.203	...	0.187	0.380	...	...	0.280		
3	3.500	0.095	0.165	0.250	...	0.219	0.458	...	...	0.304		
3 1/2	4.000	0.095	0.180	0.284	...	0.250	...	...	...	0.321		
4	4.500	0.109	0.203	0.340	...	0.250	...	...	...	0.341		
5	5.562	0.125	0.220	0.425	...	0.250	...	...	...	0.375		
6	6.625	0.134	0.259	0.457	...	0.250	...	...	...	0.437		

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

Tabla 3.6: Rugosidad relativa de los materiales de las tuberías y factor de fricción para flujo en régimen de turbulencia total.

Material	Surface roughness $\epsilon$ , mm
Drawn tubing (brass, lead, glass, and the like)	0.00152
Commercial steel or wrought iron	0.0457
Asphalted cast iron	0.122
Galvanized iron	0.152
Cast iron	0.259
Wood stove	0.183-0.914
Concrete	0.305-3.05
Riveted steel	0.914-9.14

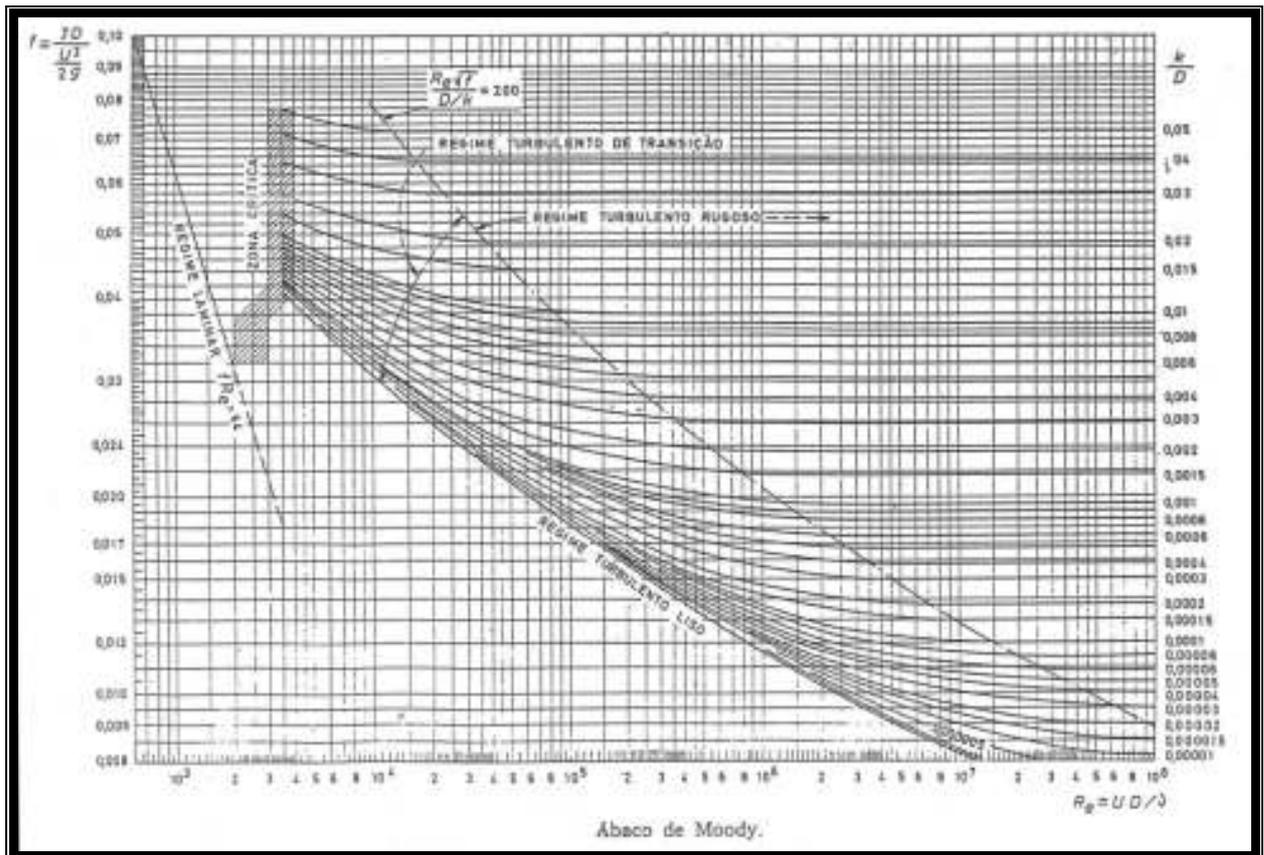


Figura 3.1: Diagrama de Moody para hallar el coeficiente de pérdidas de carga de tuberías.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

Tabla 3.7: Pérdidas adicionales por fricción para flujo turbulento a través de irregularidades y válvulas

Type of fitting or valve	Additional friction loss, equivalent no. of velocity heads, $K$
45° ell, standard <sup>a,c,d,e</sup>	0.35
45° ell, long radius <sup>a</sup>	0.2
90° ell, standard <sup>a,c,d,e</sup>	0.75
Long radius <sup>a,c,d,e</sup>	0.45
Square or miter <sup>a</sup>	1.3
180° bend, close return <sup>a,c</sup>	1.5
Tee, standard, along run, branch blanked off <sup>a</sup>	0.4
Used as ell, entering run <sup>a</sup>	1.0
Used as ell, entering branch <sup>a,c</sup>	1.0
Branching flow <sup>a,b</sup>	1 <sup>f</sup>
Coupling <sup>a,c</sup>	0.04
Union <sup>a</sup>	0.04
Gate valve, <sup>a,c,m</sup> open	0.17
$\frac{1}{4}$ open <sup>a</sup>	0.9
$\frac{1}{2}$ open <sup>a</sup>	4.3
$\frac{3}{4}$ open <sup>a</sup>	24.0
Diaphragm valve, <sup>a</sup> open	2.3
$\frac{1}{4}$ open <sup>a</sup>	2.6
$\frac{1}{2}$ open <sup>a</sup>	4.3
$\frac{3}{4}$ open <sup>a</sup>	21.0
Globe valve, <sup>a,m</sup>	
Bevel seat, open	6.0
$\frac{1}{4}$ open <sup>a</sup>	9.3
Composition seat, open	6.0
$\frac{1}{4}$ open <sup>a</sup>	8.5
Flug disk, open	9.0
$\frac{1}{4}$ open <sup>a</sup>	13.0
$\frac{1}{2}$ open <sup>a</sup>	36.0
$\frac{3}{4}$ open <sup>a</sup>	113.0
Angle valve, <sup>a</sup> open	2.0
T or blowoff valve, <sup>a,m</sup> open	3.0
Plug cock <sup>b</sup>	
$\theta = 3^\circ$	0.06
$\theta = 10^\circ$	0.29
$\theta = 20^\circ$	1.16
$\theta = 40^\circ$	17.3
$\theta = 60^\circ$	206.0
Butterfly valve <sup>b</sup>	
$\theta = 3^\circ$	0.24
$\theta = 10^\circ$	0.82
$\theta = 20^\circ$	1.34
$\theta = 40^\circ$	10.8
$\theta = 60^\circ$	113.0
Check valve, <sup>a,m</sup> swing	2.0 <sup>g</sup>
Disk	100 <sup>g</sup>
Ball	700 <sup>g</sup>
Foot valve <sup>f</sup>	13.0
Water meter, <sup>h</sup> disk	7.0 <sup>g</sup>
Ball	13.0 <sup>g</sup>
Rotary (star-shaped disk)	100 <sup>g</sup>
Turbine wheel	6.0 <sup>g</sup>

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

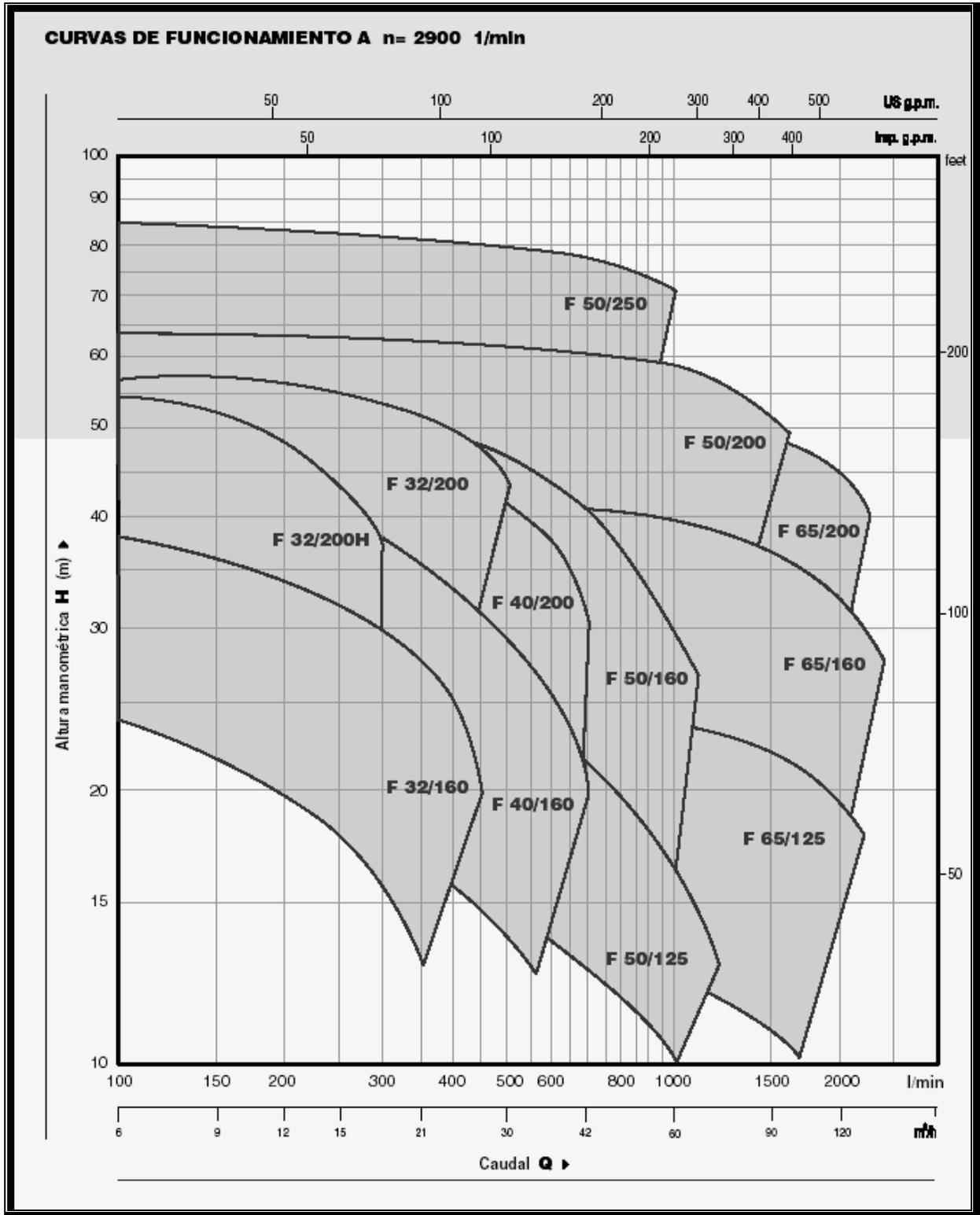


Figura 3.2: Carta de selección de bombas

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

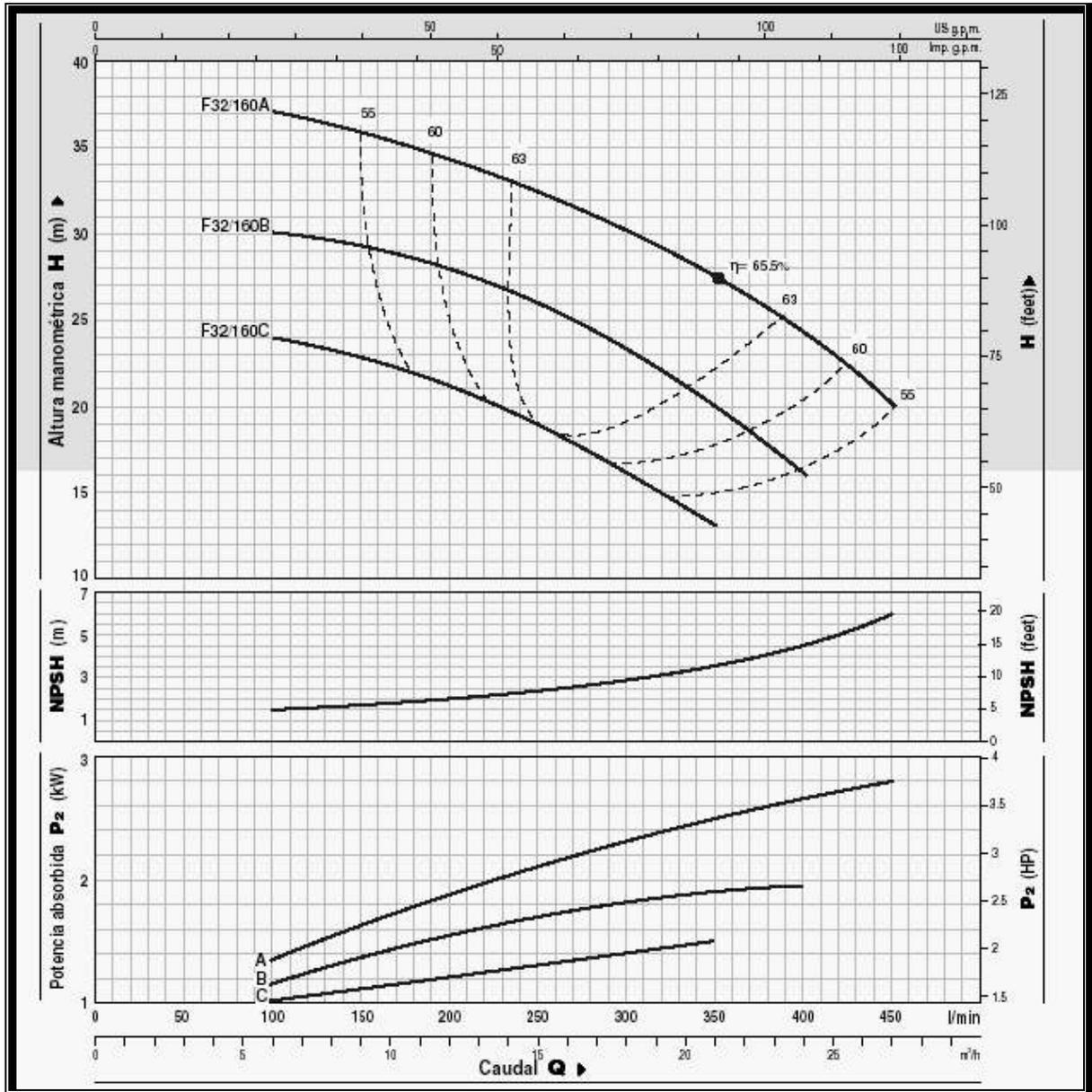


Figura 3.3: Diagramas de propiedades de la bomba 32/160

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

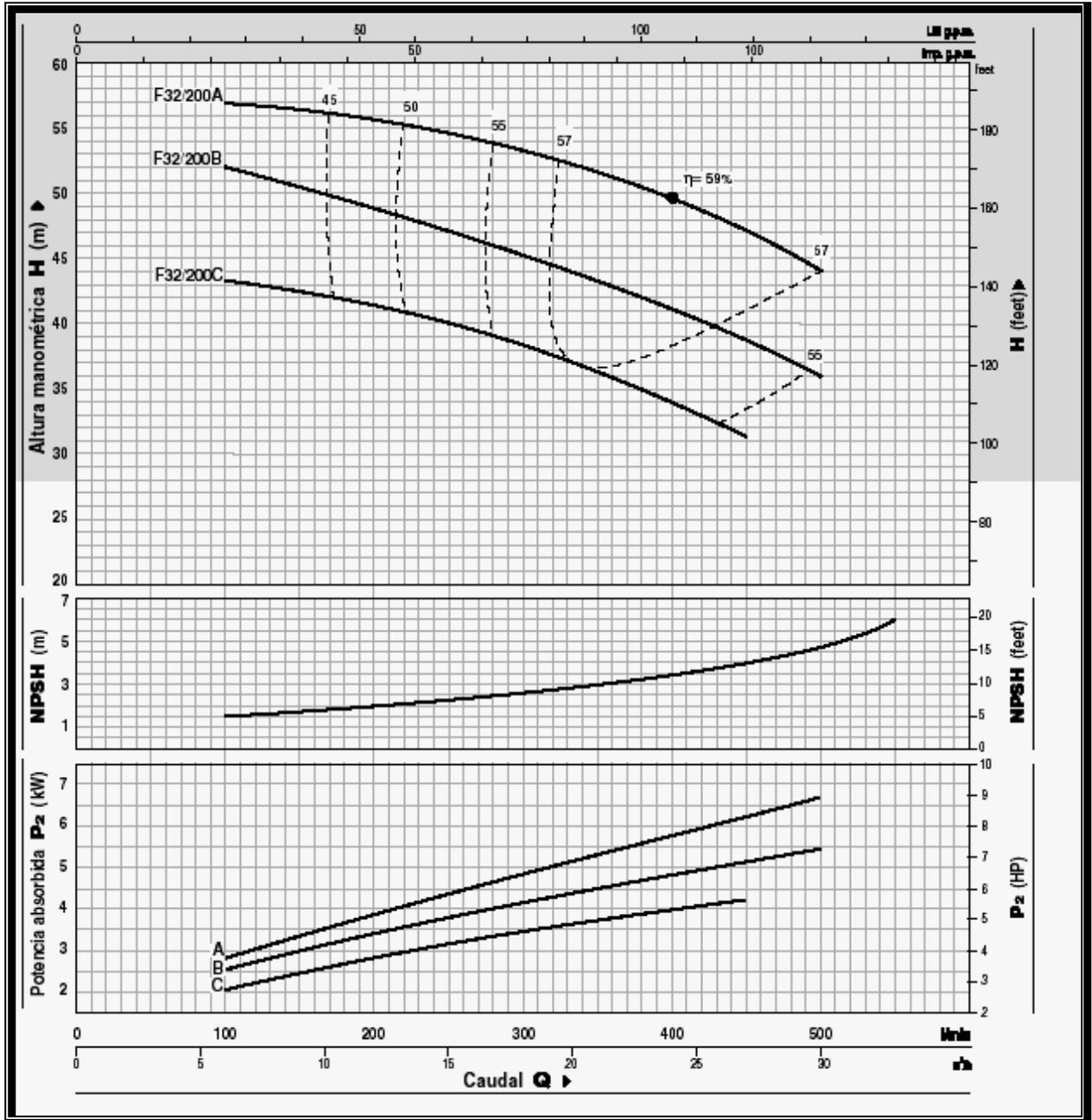


Figura 3.4: Diagramas propiedades de la bomba 32/200

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**ANEXO 4:**

**TABLAS Y FIGURAS DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 4.1: Distancias entre paredes de tanques.**

Tanque	% pureza	Diámetro	Distancia
T-1	60	1,37	1,50
T-2	98	1,57	1,50
T-3	40	1,57	1,50

**Tabla 4.2: Fracción de volumen lleno en el depósito**

H/D	Fraction of volume						
0.01	0.00169	0.26	0.20660	0.51	0.51273	0.76	0.81545
.02	.00477	.27	.21784	.52	.52546	.77	.82625
.03	.00874	.28	.22921	.53	.53818	.78	.83688
.04	.01342	.29	.24070	.54	.55088	.79	.84734
.05	.01869	.30	.25231	.55	.56356	.80	.85762
.06	.02450	.31	.26348	.56	.57621	.81	.86771
.07	.03077	.32	.27587	.57	.58884	.82	.87760
.08	.03748	.33	.28779	.58	.60142	.83	.88727
.09	.04458	.34	.29981	.59	.61397	.84	.89673
.10	.05204	.35	.31192	.60	.62647	.85	.90594
.11	.05985	.36	.32410	.61	.63892	.86	.91491
.12	.06797	.37	.33636	.62	.65131	.87	.92361
.13	.07639	.38	.34869	.63	.66364	.88	.93203
.14	.08509	.39	.36108	.64	.67590	.89	.94015
.15	.09406	.40	.37353	.65	.68808	.90	.94796
.16	.10327	.41	.38603	.66	.70019	.91	.95542
.17	.11273	.42	.39858	.67	.71221	.92	.96252
.18	.12240	.43	.41116	.68	.72413	.93	.96923
.19	.13229	.44	.42379	.69	.73602	.94	.97550
.20	.14238	.45	.43644	.70	.74789	.95	.98131
.21	.15266	.46	.44912	.71	.75970	.96	.98658
.22	.16312	.47	.46182	.72	.77070	.97	.99126
.23	.17375	.48	.47454	.73	.78216	.98	.99523
.24	.18455	.49	.48727	.74	.79340	.99	.99831
.25	.19550	.50	.50000	.75	.80450	1.00	1.00000

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 4.3: Espesores recomendados de placas RF-4000**

TEMPERATURAS DE OPERACIÓN				ESPEORES RECOMENDABLES		TEMPERATURA APROXIMADA DE SUPERFICIE			
						RF-4125		RF-4200	
°C		°F		Cm	In	°C	°F	°C	°F
DE	HASTA	DE	HASTA						
0	65	49	149	2,5	1	31	87	30	86
66	93	150	200	2,5	1	36	97	36	97
94	149	201	300	3,8	1 ½	42	107	42	107
15	204	301	400	6,4	2 ½	46	115	46	115
20	232	401	450	7,6	3	46	115	47	116

**Tabla 4.4: Eficiencia de la soldadura.**

No	Type of joint	Type of seam	Examination	Factor, E <sub>j</sub>	
1	Butt joint, continuous		Straight	As required by listed specifications	0.80
2	Electric resistance weld		Straight or spiral	As required by listed specifications	0.85
3	Electric fusion weld				
4	a Single butt weld (with or without filler metal)		Straight or spiral	As required by listed specifications or this code	0.80
		Additionally spot-radiographed per ANSI B31.3, par. 336.6.1		0.90	
		Additionally 100 percent radiographed per ANSI B31.3, par. 336.4.5		1.00	
b Double butt weld (with or without filler metal)		Straight or spiral (except as provided in 4b)	As required by listed specification or this code	0.85	
	Additionally spot-radiographed per ANSI B31.3, par. 336.6.1		0.90		
	Additionally 100 percent radiographed per ANSI B31.3, par. 336.4.5		1.00		
4	Per specific specifications				
a	ASTM A211	As permitted in specifications	Spiral	As required by specifications	0.75
b	Double submerged arc-welded pipe per API 5L or 5LX		Straight with one or two seams	As required by specifications, additionally examined by radiography for lengths of 300 mm (8 in) at each end	0.95

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 4.5: Esfuerzos permisibles en tensión para materiales**

**TABLE 10-49 Allowable Stresses in Tension for Materials (4, 13, 28)\***  
 Specifications are ASTM unless otherwise indicated. Numbers in parentheses refer to notes at end of table.

Material	Specification	P no. (23)	Grade	Class	Factor, E	Minimum tensile strength, kip/in <sup>2</sup>	Minimum yield strength, kip/in <sup>2</sup>	Notes	Minimum tempera- ture (18)	Minimum tempera- ture to 100								
											200	500	400	500	600			
<b>Iron</b>																		
Centrifugally cast pipe																		
	FS.WW-F42Lc							8, 10, 17	-20	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0				
	AWWA C106							8, 10, 17	-20	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0				
	AWWA C109							8, 10, 17	-20	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0				
<b>Carbon steel</b>																		
Seamless pipe and tubing																		
	A53	1	A	Type S		45.0	30.0	1, 2	-20	16.0	16.0	16.0	16.0	14.8				
	A53	1	B	Type S		60.0	35.0	1, 2	-20	20.0	20.0	20.0	20.0	18.9				
	A106	1	A			45.0	30.0	2	-20	16.0	16.0	16.0	16.0	14.8				
	A106	1	B			60.0	35.0	2	-20	20.0	20.0	20.0	20.0	18.9				
	A106	1	C			70.0	40.0	2	-20	23.3	23.3	23.3	22.9	21.6				
	A120	1						21	-20	11.4								
	A333	1	1			55.0	30.0	1, 2	-50	18.3	18.3	17.7	17.2	16.2				
	A333	1	6			60.0	35.0	2	-50	20.0	20.0	20.0	20.0	18.9				
	API 5L	1	A			45.0	30.0	1, 2	-20	16.0	16.0	16.0	16.0	14.8				
	API 5L	1	B			60.0	35.0	1, 2	-20	20.0	20.0	20.0	20.0	18.9				
	API 5LX	SP2	X42			60.0	42.0	37, 38	-20	20.0	20.0	20.0	20.0					
	API 5LX	SP3	X46			63.0	46.0	37, 38	-20	21.0	21.0	21.0	21.0					
	API 5LX	SP3	X52			66.0	52.0	37, 38	-20	22.0	22.0	22.0	22.0					
	API 5LX	SP3	X52			72.0	52.0	37, 38	-20	24.0	24.0	24.0	24.0					
<b>Electric-resistance-welded pipe</b>																		
	A53	1	A	Type E	0.85	45.0	30.0	1, 2	-20	13.6	13.6	13.6	13.6	12.6				
	A53	1	B	Type E	0.85	60.0	35.0	1, 2	-20	17.0	17.0	17.0	16.1	14.7				
	A120	1			0.85			21	-20	10.2								
	A135	1	A		0.85	45.0	30.0	1, 2	-20	13.6	13.6	13.6	13.6	12.6				
	A135	1	B		0.85	60.0	35.0	1, 2	-20	17.0	17.0	17.0	16.1	14.7				
	A333	1	1		0.85	55.0	30.0	1, 2	-50	15.6	15.6	15.0	14.6	13.8				
	A333	1	6		0.85	60.0	35.0	2	-50	17.0	17.0	17.0	16.1	14.7				
	A587	1			0.85	45.0	30.0	1, 2	-20	13.6	13.6	13.6	13.6	12.6				
	API 5L	1	A25	1 and II	0.85	45.0	25.0	1, 2	-20	12.8	12.8	12.5	11.8					
	API 5L	1	A		0.85	45.0	30.0	1, 2	-20	13.6	13.6	13.6	13.6	12.6				
	API 5L	1	B		0.85	60.0	35.0	1, 2	-20	17.0	17.0	17.0	16.1	14.7				
	API 5L	SP2	X42		0.85	60.0	42.0	37, 38	-20	17.0	17.0	17.0	17.0					
	API 5LX	SP3	X46		0.85	63.0	46.0	37, 38	-20	17.9	17.9	17.9	17.9					
	API 5LX	SP3	X52		0.85	66.0	52.0	37, 38	-20	18.7	18.7	18.7	18.7					
	API 5LX	SP3	X52		0.85	72.0	52.0	37, 38	-20	20.4	20.4	20.4	20.4					
<b>Electric-fusion-welded pipe (straight seam)</b>																		
	A570 GRA	A134	1		0.74	45.0	25.0	5, 21	-20	11.1	10.5	10.0						
	A570 GB B	A134	1		0.74	49.0	30.0	5, 21	-20	12.1	11.4	10.9						
	A570 GB C	A134	1		0.74	52.0	33.0	5, 21	-20	12.8	12.1	11.6						
	A570 GB D	A134	1		0.74	55.0	40.0	5, 21	-20	13.6	12.8	12.2						
	A570 GB E	A134	1		0.74	58.0	42.0	5, 21	-20	14.3	13.5	12.9						
<b>Low- and intermediate-alloy steel</b>																		
Seamless pipe																		
	3 1/2 Ni	A333	9B	3		65.0	35.0		-150	21.7	19.6	19.6	18.7	17.8				
	3/4 Cr, 3/4 Ni, Cu, Al	A333	4	4		60.0	35.0		-150	20.0	19.1	18.2	17.3	16.4				
	2 1/4 Ni	A333	9A	7		65.0	35.0		-100	21.7	19.6	19.6	18.7	17.6				
	9 Ni	A333	11A-SC1	8		100.0	75.0		-320	31.7	31.7							
	C, 1/2 Mo	A335	3	P1		55.0	30.0	49	-20	18.3	18.3	17.5	16.9	16.3				
	5 Cr, 1/2 Mo	A335	5	P5		60.0	30.0	5	-20	20.0	18.1	17.4	17.2	17.1				
	1 1/2 Cr, 1/2 Mo	A335	4	P11		60.0	30.0		-20	20.0	18.7	18.0	17.5	17.2				
	2 1/4 Cr, 1 Mo	A335	5	P22		60.0	30.0		-20	20.0	18.5	18.0	17.9	17.9				
<b>Stainless steel</b>																		
Seamless pipe and tubing																		
	18Cr, 8Ni pipe	A312	8	TP304		75.0	30.0	7, 14, 16, 20	-425	20.0	20.0	20.0	18.7	17.5				
	18Cr, 8Ni pipe	A312	8	TP304H		75.0	30.0	16	-325	20.0	20.0	20.0	18.7	17.5				
	18Cr, 8Ni pipe	A312	8	TP304L		70.0	25.0		-425	16.7	16.7	16.7	15.8	14.8				
	25Cr, 20Ni pipe	A312	8	TP310		75.0	30.0	19, 24, 32	-325	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0				
	25Cr, 20Ni pipe	A312	8	TP310		75.0	30.0	6, 19, 24, 32	-325	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0				
	16Cr, 12Ni, 2Mo pipe	A312	8	TP316		75.0	30.0	14, 16	-325	20.0	20.0	20.0	19.3	17.9				
	16Cr, 12Ni, 2Mo pipe	A312	8	TP316H		75.0	30.0	16	-325	20.0	20.0	20.0	19.3	17.9				
	16Cr, 12Ni, 2Mo pipe	A312	8	TP316L		70.0	25.0		-325	16.7	16.7	16.7	15.5	14.4				
	18Cr, 10Ni, 10Ni, 10Ni, 10Ni, 10Ni, 10Ni pipe	A312	8	TP347		75.0	30.0	7, 14	-425	20.0	20.0	20.0	20.0	19.3				
	18Cr, 10Ni, 10Ni, 10Ni, 10Ni, 10Ni, 10Ni pipe	A312	8	TP347H		75.0	30.0		-325	20.0	20.0	20.0	20.0	19.3				
<b>Centrifugally cast pipe</b>																		
	18Cr, 8Ni	A451	8	CPFS	0.90	70.0	30.0	14, 15, 16	-425	18.0	18.0	17.8	15.9	14.8				
	18Cr, 10Ni, 2Mo	A451	8	CPFSM	0.90	70.0	30.0	14, 15, 16	-425	18.0	18.0	18.0	17.5	16.3				
	18Cr, 10Ni, 2Mo	A451	8	CPFS8C	0.90	70.0	30.0	7, 14, 15	-325	18.0	18.0	18.0	17.4	16.5				
	18Cr, 13Ni, 2Mo, 1Mo, 1Mo	A451	8	CPFI10MC	0.90	70.0	30.0	7, 11, 14, 15	-325	18.0								
	23Cr, 13Ni	A451	8	CPHS	0.90	65.0	28.0	11, 14, 15, 19	-325	16.8	16.8	16.8	16.8	16.2				
	23Cr, 13Ni	A451	8	CPH10 or CPH 20	0.90	70.0	30.0	9, 11, 14, 15, 19, 24	-325	18.0	18.0	18.0	18.0	17.3				
	25Cr, 20Ni	A451	8	CPK20	0.90	65.0	28.0	14, 15, 19, 24	-325	16.8	16.8	16.8	16.8	16.2				
	18Cr, 8Ni	A452	8	TP304H	0.85	75.0	30.0	15, 16	-325	17.0	17.0	17.0	15.9	14.8				
	16Cr, 12Ni, 2Mo	A452	8	TP316H	0.85	75.0	30.0	15, 16	-325	17.0	17.0	17.0	16.4	15.2				
	18Cr, 10Ni, 10Ni	A452	8	TP347H	0.85	75.0	30.0	15	-325	17.0	17.0	17.0	17.0	16.4				



PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 4.6: Esfuerzos permisibles en tensión para materiales (continuación).**

TABLE 10-49 Allowable Stresses in Tension for Materials (4, 13, 28) (Continued)															
Specifications are ASTM unless otherwise indicated. Numbers in parentheses refer to notes at end of table.															
Material	Specification	P no. (23)	Grade	Class	Factor, E	Minimum tensile strength, kip/in <sup>2</sup>	Minimum yield strength, kip/in <sup>2</sup>	Notes	Minimum temperature (18)	Minimum temperature to					
										200	300	400	500	600	
Electric-fusion-welded pipe and tubing															
18Cr, 8Ni pipe	A312	8	TP304		0.85	75.0	30.0	14, 16	-425	17.0	17.0	17.0	15.9	14.8	14.0
18Cr, 8Ni pipe	A312	8	TP304H		0.85	75.0	30.0	16	-325	17.0	17.0	17.0	15.9	14.8	14.0
18Cr, 8Ni pipe	A312	8	TP304L		0.85	70.0	25.0		-425	14.2	14.2	14.2	13.4	12.5	11.9
23Cr, 12Ni pipe	A312	8	TP309		0.85	75.0	30.0	19, 24, 32	-325	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	16.3
25Cr, 20Ni pipe	A312	8	TP310		0.85	75.0	30.0	19, 24, 32	-325	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	16.3
25Cr, 20Ni pipe	A312	8	TP310		0.85	75.0	30.0	6, 19, 24, 32	-325	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	16.3
16Cr, 12Ni, 2Mo pipe	A312	8	TP316		0.85	75.0	30.0	14, 16	-325	17.0	17.0	17.0	16.4	15.2	14.4
16Cr, 12Ni, 2Mo pipe	A312	8	TP316H		0.85	75.0	30.0	16	-325	17.0	17.0	17.0	16.4	15.2	14.4
16Cr, 12Ni, 2Mo pipe	A312	8	TP316L		0.85	70.0	25.0		-325	14.2	14.2	14.2	13.2	12.2	11.5
18Cr, 13Ni, 3Mo pipe	A312	8	TP317		0.85	75.0	30.0	14, 16	-325	17.0	17.0	17.0	16.4	15.2	14.4
18Cr, 10Ni, Ti pipe	A312	8	TP321		0.85	75.0	30.0	7, 14	-325	17.0	17.0	17.0	15.8	14.7	13.9
18Cr, 10Ni, Ti pipe	A312	8	TP321H		0.85	75.0	30.0		-325	17.0	17.0	17.0	15.8	14.7	13.9
18Cr, 10Ni, Cb pipe	A312	8	TP347		0.85	75.0	30.0	7, 14	-425	17.0	17.0	17.0	17.0	16.0	16.4
18Cr, 10Ni, Cb pipe	A312	8	TP347H		0.85	75.0	30.0		-325	17.0	17.0	17.0	17.0	16.0	16.4

Material	Specification	P no. (23), (30)	Temper	Class	Size range, in	Factor, E	Minimum tensile strength, kip/in <sup>2</sup>	Minimum yield strength, kip/in <sup>2</sup>	Notes	Minimum temperature (18)
Copper and copper alloy Seamless pipe and tubing										
Copper pipe	B42	31	Drawn	102, 120, 122	½-2, inclusive		45.0	40.0		9, 27
Copper tubing	B85	31	Annealed	C10200, C12000, C12200			30.0	9.0		9, 29
Copper tubing	B85	31	Drawn	C10200, C12000, C12200			36.0	30.0		9, 27, 29
Cu, Ni 90/10	B466	34	Annealed	C70600			38.0	13.0		9
Cu, Ni 70/30	B466	34	Annealed	C71500			50.0	18.0		9

Material	Specification	P no. (23)	Grade	Class	Size range, in	Factor, E	Minimum tensile strength, kip/in <sup>2</sup>	Minimum yield strength, kip/in <sup>2</sup>	Notes	Minimum temperature (18)	200	300	400	500	600
Nickel and nickel alloy Seamless pipe and tubing															
Nickel	B161	41	200 (N02200)	Annealed	5 OD and under		55.0	15.0		-325	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Nickel	B161	41	200 (N02200)	Annealed	Over 5 OD		55.0	12.0		-325	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Low-C Ni	B161	41	201 (N02201)	Annealed	5 OD and under		30.0	12.0		-325	5.0	7.7	7.5	7.5	7.5
Low-C Ni	B161	41	201 (N02201)	Annealed	Over 5 OD		30.0	10.0		-325	6.7	6.4	6.3	6.2	6.2
Ni, Cu	B165	42	400 (N04400)	Annealed	5 OD and under		70.0	28.0		-325	18.7	16.4	15.4	14.8	14.8
Ni, Cu	B165	42	400 (N04400)	Annealed	Over 5 OD		70.0	25.0		-325	16.7	14.7	13.7	13.2	13.2
Ni, Cr, Fe	B167	43	600 (N05600)	Hot-finished or hot-finished annealed	5 OD and under		80.0	30.0		-325	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Ni, Cr, Fe	B167	43	600 (N05600)	Hot-finished or hot-finished annealed	Over 5 OD		75.0	25.0		-325	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7
Ni, Fe, Cr	B407	45	800 H (N05800)	Cold-drawn solution annealed or hot-finished			65.0	25.0	39	-325	16.7	16.7	16.7	16.7	16.5
Ni, Cr, Mo, Cb Welded pipe	B444	43	625 (N05625)	Annealed			120.0	60.0	42	-325	30.0	30.0	30.0	28.2	27.0
Ni, Mo	B619		B (N10001)	Solution-annealed		0.85	100.0	45.0		-325	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5
Ni, Mo	B619	44	B-2 (N10665)	Solution-annealed		0.85	110.0	51.0		-325	23.4	23.4	23.4	23.4	23.1
Ni, Mo, Cr	B619	44	C-4 (N06455)	Solution-annealed		0.85	100.0	40.0		-325	21.2	21.2	21.2	21.2	20.7
Ni, Mo, Cr	B619	44	C-276 (N10276)	Solution-annealed		0.85	100.0	41.0		-325	23.2	23.2	23.2	22.9	21.6
Ni, Cr, Fe, Mo, Cu	B619	45	C1 (N06907)	Solution-annealed		0.85	90.0	35.0		-325	19.1	19.1	19.1	18.6	17.9
Ni, Cr, Mo, Fe	B619		X (N06902)	Solution-annealed		0.85	100.0	40.0		-325	22.6	20.5	19.8	19.5	18.9
Ni, Fe, Cr, Mo	B619	45	20-MOD (N05320)	Solution annealed		0.85	75.0	28.0		-325	15.9	15.9	15.8	15.2	14.9

Specification	P no.	Grade	Temper	Size range, in	Minimum tensile strength, kip/in <sup>2</sup>	Minimum yield strength, kip/in <sup>2</sup>	Notes	Minimum temperature, (18)	Metal temperature, °F (22)						
									Minimum temperature, to 100	150	200	250	300	350	400
Aluminum alloy Seamless pipe and tubing															
B210	21	1060	0	0.018-0.500	8.5	2.5	26	-452	1.7	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.8
B210	21	3003	0	0.010-0.500	14.0	5.0	26	-452	3.3	3.3	3.3	3.1	2.4	1.8	1.4
B210	23	6061	T4	0.025-0.500	30.0	16.0	12, 26	-452	10.0	10.0	10.0	9.8	9.2	7.9	5.6
B210	23	6061	T4, T6 welded		24.0		35	-452	8.0	8.0	8.0	7.9	7.4	6.1	4.3

10-112

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 4.6: Esfuerzos permisibles en tensión para materiales (continuación).**

Metal temperature, °F (22)																	
650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
13.7	13.6	13.2	12.9	12.7	12.5	12.2	11.7	10.3	8.3	6.5	5.1	4.0	3.1	2.5	2.0	1.5	1.2
13.7	13.6	13.2	12.9	12.7	12.5	12.2	11.7	10.3	8.3	6.5	5.1	4.0	3.1	2.5	2.0	1.5	1.2
11.6	11.4	11.3	11.0	10.9	10.7	8.4	6.6	5.4	4.3	3.4	2.8	2.2	1.8	1.4	0.9	0.8	0.7
16.0	15.6	15.3	14.9	12.4	11.8	10.6	8.9	7.2	5.5	4.2	3.2	2.5	2.0	1.5	1.1	0.8	0.6
16.0	15.6	15.3	14.9	12.4	11.8	10.6	9.3	6.0	4.2	3.1	2.1	1.2	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2
16.0	15.6	15.3	14.9	12.4	11.8	10.6	9.3	8.3	7.2	6.2	5.1	4.0	3.0	2.0	1.4	0.9	0.6
14.2	13.8	13.6	13.5	13.3	13.2	13.1	13.0	12.3	10.5	8.3	6.3	4.6	3.5	2.6	1.9	1.4	1.1
14.2	13.8	13.6	13.5	13.3	13.2	13.1	13.0	12.3	10.5	8.3	6.3	4.6	3.5	2.6	1.9	1.4	1.1
11.2	10.9	10.7	10.5	10.3	10.0	9.8	9.5	9.2	8.7	7.4	5.4	4.0	3.0	2.1	1.6	1.1	0.9
14.2	13.9	13.6	13.5	13.3	13.2	13.1	13.0	12.3	10.5	8.3	6.3	4.6	3.5	2.6	1.9	1.4	1.1
13.6	13.4	13.3	13.1	13.0	13.0	12.9	11.7	8.2	5.5	4.2	3.1	2.2	1.4	0.9	0.6	0.4	0.3
13.6	13.4	13.3	13.1	13.0	13.0	12.9	11.9	9.9	7.7	5.9	4.5	3.5	2.7	2.1	1.6	1.2	0.9
16.1	15.8	15.7	15.5	13.1	12.7	12.3	11.9	10.3	7.7	5.2	3.7	2.8	1.9	1.3	1.0	0.8	0.6
16.1	15.8	15.7	15.6	15.5	15.4	15.4	15.3	14.5	12.1	8.9	6.7	5.0	3.7	2.7	2.1	1.5	1.1

Metal temperature, °F (22)													
Minimum temperature to 100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	
15.0	11.2	11.2	11.2	11.0	10.3	4.2							
6.0	6.0	5.9	5.8	5.0	3.8	2.5	1.5	0.8					
12.0	9.0	8.7	8.3	8.0	5.0	2.5	1.5	0.8					
8.7	8.3	8.1	8.0	7.8	7.7	7.5	7.3	7.2	7.0	6.0			
12.0	11.6	11.3	11.0	10.8	10.6	10.3	10.1	9.9	9.8	9.6	9.5	9.4	

Metal temperature, °F (22)																	
650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
7.5	7.4	7.3	7.2	5.8	4.5	3.7	3.0	2.4	2.0	1.5	1.2						
6.2	6.2	6.1	5.9	5.8	4.5	3.7	3.0	2.4	2.0	1.5	1.2						
14.8	14.8	14.6	14.2														
13.2	13.2	13.0	12.7														
20.0	20.0	20.0	20.0	19.6	16.0	10.6	7.0	4.5	3.0	2.2	2.0						
16.7	16.7	16.7	16.7	16.5	15.9	10.6	7.0	4.5	3.0	2.2	2.0						
16.0	15.7	15.4	15.3	15.1	14.8	14.6	14.4	13.7	13.5	11.2	8.4	6.9	5.4	4.5	3.6	3.0	2.5
26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	21.0	13.2						
25.0	25.5	24.5	23.5														
23.1	23.0	22.9	22.8														
20.5	20.4	20.0	19.5														
21.0	20.4	20.0	19.5	19.2	18.9	18.7	18.5										
17.8	17.8	17.6	17.4	17.2	17.0	16.6	16.1										
17.6	17.3	17.0	16.8	16.7	16.7	16.3	15.8	15.3	14.9	12.3	9.6	8.0	6.5				
14.9	14.9	14.8	14.6														

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 4.6: Esfuerzos permisibles en tensión para materiales (continuación).**

TABLE 10-49 Allowable Stresses in Tension for Materials (4, 13, 28) (Continued)															
Design stresses for bolting materials															
Material	Specifi- cation	Grade	Size range, in	Minimum tensile strength, kip/in <sup>2</sup>	Minimum yield strength, kip/in <sup>2</sup>	Notes	Minimum tempera- ture (15)	Minimum tempera- ture, to 100							
									200	300	400	500	600	650	
Carbon steel	A307	B		60.0		22	-20	13.7							
	A325			105.0			-20	19.3	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	
	A194	1, 2				25	-20		19.3	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3	
	A194	2H				25	-50								
Alloy steel Cr, Mo	A193	B7	2½ and under	125.0	105.0	33	-20	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
	A193	B7M	2½ and under	100.0	80.0		-50	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	
	A193	B16	2½ and under	125.0	105.0		-20	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
	A194	4				25									
A320	L7, L7A, L7B, L7C	2½ and under	125.0	105.0	31	-150	25.0	25.0	25.0	25.0	20.0	20.0	20.0		
Stainless steel 12 Cr	A193	B6	4 and under	110.0	85.0	19, 31	-20	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	
	A193	B8, Cl. 1		75.0	30.0	31, 32, 41	-325	18.8	15.6	14.0	12.9	12.1	11.4	11.2	
	A193	B8M, Cl. 1		75.0	30.0	31, 32, 41	-325	18.8	16.1	14.6	13.3	12.5	11.8	11.5	
	A193	B8, Cl. 2	Up to ¾	125.0	100.0	31, 32, 41	-325	25.0							
			¾ to 1	115.0	80.0	31, 32, 41	-325	20.0							
			Over 1 to 1¼	105.0	65.0	31, 32, 41	-325	16.2							
			Over 1¼ to 1½	100.0	50.0	31, 32, 41	-325	12.5							
	316 strain-hardened	A193	B8M, Cl. 2	Up to ¾	110.0	85.0	31, 32, 41	-325	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
				¾ to 1	100.0	80.0	31, 32, 41	-325	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
				Over 1 to 1¼	95.0	65.0	31, 32, 41	-325	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2
				Over 1¼ to 1½	90.0	50.0	31, 32, 41	-325	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
	14 Cr, 24 Ni	A453	660A/B		130.0	85.0	19, 31	-20	21.3	20.7	20.5	20.4	20.3	20.2	20.2

Material	Specification	Grade	Temper	Size range, in	Minimum strength, kip/in <sup>2</sup>	Minimum yield strength, kip/in <sup>2</sup>	Notes	Minimum temperature (15)
Aluminum and aluminum-base alloy	B211	2024	T4	0.500-4.500	62.0	42.0	34, 35	-325
	B211	6061	T6, T651	0.125-5.000	42.0	35.0	34, 35	-325
Copper and copper-base alloy Cu, Si	B98	C65500, C66100	Soft		52.0	15.0	43	-325
	B98	C65100	Bolt	Over ¼ to 1	75.0	45.0		-325
	B150	C64200		Over ¼ to 1	85.0	45.0		-325
	B150	C63000		¼ to 1	100.0	50.0		-325
B150	C61400		Over ¼ to 1	75.0	35.0		-325	
Nickel and nickel-base alloy Nickel	B160	200 (N02200)	Cold-drawn		65.0	40.0		-325
	B160	201 (N02100)	Annealed hot-finished		50.0	10.0		-325
	B164	400 (N04400)	Hot-finished	All except hexagonal over 2½	90.0	40.0		-325
	B164	400 (N04400)	Cold-drawn stress-relieved		84.0	50.0	36	-325
	B166	600 (N06600)	Annealed		90.0	35.0		-325
	Ni, Cu							

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
 DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
 ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
 DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Tabla 4.6: Esfuerzos permisibles en tensión para materiales (continuación).**

Metal temperature, °F (22)																
700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
25.0	23.6	21.0	17.0	12.5	8.5	4.5										
20.0	20.0	18.5	16.2	12.5	8.5	4.5										
25.0	25.0	25.0	23.5	20.5	16.0	11.0	6.3	2.8								
20.0	20.0	20.0	16.2	12.5	8.5	4.5										
21.2	21.2	19.6	15.6	12.0												
11.0	10.5	10.5	10.3	10.1	9.9	9.7	9.5	8.8	7.7	6.0	4.7	3.7	2.9	2.5	1.8	1.4
11.3	11.0	10.9	10.8	10.7	10.7	10.6	10.5	10.3	9.3	7.4	5.4	4.1	3.0	2.2	1.7	1.2
22.0	22.0	22.0														
20.0	20.0	20.0														
16.2	16.2	16.2														
12.5	12.5	12.5														
20.1	20.0	19.9	19.9	19.9	19.8	19.8										

Metal temperature, °F (22)																	
Minimum temperature, to 100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
10.5	10.5	10.4	4.5														
8.4	8.4	8.4	4.4														
10.0	10.0	10.0															
11.3	11.3	11.3															
21.3	21.3	21.3	20.8	12.6	9.9												
25.0	25.0	25.0	25.0	20.7	12.0	8.5	6.0										
18.8	18.8	18.8	18.4	16.1													
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0												
6.7	6.4	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.0	5.9	5.8	4.8	3.7	3.0	2.4	2.0	1.5	1.2
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.2	18.5	14.5	8.5	4.0						
12.5	12.5	12.5	12.5	12.5													
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.8	19.6	19.4	19.1	18.7	16.0	10.6	7.0	4.5	3.0	2.2	2.0

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**BIBLIOGRAFÍA**

## **BIBLIOGRAFÍA.**

### **Manual del ingeniero químico. Volumen I,II y III.**

Robert H. Perry, Don W.Green.  
Ed. McGraw-Hill 2001.

### **Refino y tratamiento químico. Volumen I y II.**

P. Wuithier.  
Ediciones Cepsa, S.A.

### **Introducción a la termodinámica en la ingeniería química.**

Smith-Van Ness. Cuarta edición (2ª edición en español).  
Ed. McGraw-Hill.

### **Ingeniería química. Operaciones básicas. Tomo II.**

J.M.Coulson y J.F.Richarson.  
Ed. Reverte 1980-1987.

### **Operaciones de transferencia de masa.**

Robert E.Treybal, Amelia García Rodríguez.  
Ed. McGraw-Hill 1980.

### **Chemical Engineering Series: Distillation.**

Matthew Vom Winkle.  
Ed. McGraw-Hill.

### **Problemas de Ingeniería química. Tomo I.**

Ocon/Tojo.  
Ed. Aguilar, 1986.

### **Elementos de ingeniería química.**

Vian Ocon.  
Ed. Aguilar.

### **Curso de ingeniería química.**

Costa López.  
Ed. Reverte, S.A.

### **Equipos de intercambio de calor.**

Cadem (grupo EVE), 1984.

### **Transfrecencia de calor.**

M.Necati Özisik.  
Ed. McGraw-Hill, 1979.

**Fundamentos de transferencia de calor.**

Frank P. Incropera, David P. Dewitt.  
Ed. McGraw-Hill, 1979.

**Manual de recipientes a presión. Diseño y cálculo.**

Eugene F. Megyesy. Prefacio de Paul Buthord; 1989.  
Ed. Limusa.

**Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.**

Claudio Mataix.  
Ediciones del Castillo, 1987.

**Ingeniería química, Volumen 3. Flujo de fluidos.**

E. Costa Novella, 1ª Ed. 1985.  
Ed. Alambra.

**Manuales Técnicos y de instrumentación para conservación de energía. 3. Redes de distribución de fluidos térmicos.**

Centros de estudios de la energía.

**Manual de seguridad industrial en plantas químicas y petroleras. Fundamentos, evaluación de riesgos y diseño.**

J.M. Storh de Gracia.  
Ed. McGraw-Hill.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**PÁGINAS WEB DE CONSULTA**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

- [http://www.grupoag.es/refineriabalboa/documentos/Guia\\_Tecnologica\\_del\\_refino\\_en\\_espana\\_Guia\\_MTDs.pdf](http://www.grupoag.es/refineriabalboa/documentos/Guia_Tecnologica_del_refino_en_espana_Guia_MTDs.pdf)->13/11/2006.
- <http://www.telecable.es/personales/albatros1/quimica/industria/refina04.htm>->13/11/2006
- <http://servicio.cid.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a1n2/ing1.pdf>->13/11/2006
- <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo3/78.pdf>->13/11/2006
- [http://www.tdr.cesca.es/TESIS\\_UC/AVAILABLE/TDR-0810105-135141/1de8.RAGintroduccion.pdf](http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UC/AVAILABLE/TDR-0810105-135141/1de8.RAGintroduccion.pdf)
- [http://www.cepsa.com/DMPetresa/2005/1\\_actividad\\_empresa.htm](http://www.cepsa.com/DMPetresa/2005/1_actividad_empresa.htm)->13/11/2006
- <http://www.uclm.es/profesorado/fcarrillo/TEMASCATALISIS/ACIDOBASE.ppt>->20/11/2006
- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec\\_15.html](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_15.html)->20/11/2006
- <http://www.deten.com.br/>->24/11/2006
- <http://www.quimicauniversal.com/Hemeroteca/>->24/11/2006
- [http://www.chemtech.com.br/templates/chemtech\\_esp/publicacao/publicacao.asp?cod\\_Canal=5&cod\\_Publicacao=76&cod\\_menu=5](http://www.chemtech.com.br/templates/chemtech_esp/publicacao/publicacao.asp?cod_Canal=5&cod_Publicacao=76&cod_menu=5)->24/11/2006
- [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/planesCalidad/gibraltar/informe2/informe2\\_2\\_7.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/planesCalidad/gibraltar/informe2/informe2_2_7.pdf)->24/11/2006
- <http://www.spray-cas.com/apphelp/library/7.htm>->24/11/2006
- <http://www.pemex.com/files/standards/definitivas/nrf-011-pemex-2002.pdf>->24/11/2006
- [http://web.usal.es/~tonidm/TR0607\\_A.pdf](http://web.usal.es/~tonidm/TR0607_A.pdf)->10/03/2007
- <http://www.eurofluor.org/publications/STS%208862.pdf>->13/03/2007
- <http://www.eurofluor.org/index.html?/html/publications.html>->13/03/2007

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

- <http://www.google.com/patents?hl=es&lr=&vid=USPAT2588786&id=C1NHAAAAEBAJ&oi=fnd&dq=processes+for+the+obtaining+of+hydrofluoric+acid+->24/5/2007>
- <http://www.google.com/patents?hl=es&lr=&vid=USPAT3271273&id=p5RfAAAAEBAJ&oi=fnd&dq=processes+for+the+obtaining+of+hydrofluoric+acid+->24/5/2007>
- <http://www.google.com/patents?hl=es&lr=&vid=USPAT4663026&id=f9M6AAAAEBAJ&oi=fnd&dq=to+separate+water+of+hydrofluoric+acid->24/5/2007>
- <http://www.foxboro.com/NR/rdonlyres/CAE9BFDD-A3FC-4E7D-825D-836C3671DD3E/0/HydrofluoricAcid.pdf->14/04/2007>
- <http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/iq/iq95-862/apoyo.html->10/09/2007>
- <http://www.lenntech.com/espanol/Calculadoras/viscosidad%20cinemat%20ica.htm>
- <http://www.convertworld.com/es/energia/kJ.html>
- <http://www.cosmos.com.mx/e/4dv4.htm>
- [http://www.proteccioncivil.org/fise/fise\\_tablanonu17.htm](http://www.proteccioncivil.org/fise/fise_tablanonu17.htm)
- <http://www.matche.com/EquipCost/Exchanger.htm>
- [http://www.titanio.com/es/prod\\_pipes.html#tabella->03/09/2007](http://www.titanio.com/es/prod_pipes.html#tabella->03/09/2007)
- <http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0283.htm>
- <http://www.logismarket.es/construccion-obras-publicas/62416428-cp.html>
- <http://www.tadipol.com/castella/diposits/diposits.htm>
- <http://plantasquimicas.iespana.es/Destilacion/d2.htm>
- <http://www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=11645>
- <http://iq.ua.es/McCabe-V2/index.htm>
- [http://www.mtas.es/Insht/ntp/ntp\\_099.htm](http://www.mtas.es/Insht/ntp/ntp_099.htm)
- [http://www.mtas.es/insht/legislation/OM/itc\\_mie\\_ap6.htm](http://www.mtas.es/insht/legislation/OM/itc_mie_ap6.htm)

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

- <http://www.espimetals.com/metals/cathastelloy.htm>
- <http://www.matche.com/EquipCost/Exchanger.htm>
- <http://www.panreac.com/new/esp/fds/ESP/X133070.htm>
- [http://www.proteccioncivil.org/fise/fise\\_tablanonu17.htm](http://www.proteccioncivil.org/fise/fise_tablanonu17.htm)
- <http://www.mtas.es/insht/legislation/RD/rap.htm>
- <http://www.taco-hvac.com/en/library.html#>

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

**CONSULTA A ESPECIALISTAS**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

- Jose María Aquilar Cantador, Planta FCC/Crudo III (Jefe de alquilación), Petresa.
- Manuel Hernández Fernández, Departamento de Proyectos.
- Antonio López Salido, Planta FCC/ Crudo III.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

**DOCUMENTO N°2**

**PLIEGO DE CONDICIONES**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

**1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES**

## **CAPÍTULO 1**

### **CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE FACULTATIVA**

#### **1.1 DE LA DIRECCIÓN FACULTATIVA**

##### **1.1.1 Dirección facultativa**

La Dirección Facultativa de las obras e instalaciones recaerá en el Ingeniero que suscribe, salvo posterior acuerdo con la Propiedad.

##### **Facultad general de la dirección facultativa**

Además de las facultades particulares que corresponden a la Dirección Facultativa, expresadas en los artículos siguientes, es misión específica suya la dirección y vigilancia en los trabajos que se realicen, con autoridad técnica legal, completa e indiscutible sobre las personas y cosas situadas en obra y en relación con los trabajos que para la ejecución del contrato se lleven a cabo pudiendo incluso pero con causa justificada, recusar en nombre de la Propiedad al Contratista, si considera que el adoptar esta solución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

Con este fin el Contratista se obliga a designar sus representantes de obra, los cuales atenderán en todo las observaciones e indicaciones de la Dirección Facultativa la inspección y vigilancia de todos los trabajos y a proporcionar la información necesaria sobre el cumplimiento de las condiciones de la contrata y del ritmo de realización de los trabajos, tal como esta previsto en el Plan de Obra.

A todos estos efectos el adjudicatario estará obligado a tener en la obra durante la ejecución de los trabajos el personal técnico y los capataces y encargados necesarios que a juicio de la Dirección Facultativa sean necesarios para la debida construcción y vigilancia de las obras e instalaciones.

#### **1.2 OBLIGACIONES Y DERECHOS GENERALES DEL CONTRATISTA**

##### **1.2.1 Representación del contratista**

Desde que se dé principio a las obras, hasta su recepción provisional, el Contratista designará un jefe de obra como representante suyo autorizado que cuidará de que los trabajos sean llevados con diligencia y competencia. Este jefe estará expresamente autorizado por el Contratista para recibir notificaciones escritas o verbales emitidas por la Dirección Facultativa y para asegurar que dichas órdenes se ejecuten. Asimismo, estará expresamente autorizado para firmar y aceptar las mediciones realizadas por la Dirección Facultativa.

Cualquier cambio que el Contratista desee efectuar respecto a sus representantes y personal cualificado y en especial del jefe de obras deberá comunicarse a la Dirección Facultativa no pudiendo producir el relevo hasta la aceptación de la Dirección Facultativa de las personas designadas.

Cuando se falte a lo anterior prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier ramo, que como dependientes de la contrata intervengan en las obras y, en ausencia de todos ellos, las depositadas en la residencia designada como oficial del Contratista en el contrato de adjudicación, aún en ausencia o negativa por parte de los dependientes de la contrata.

### **1.2.2 Presencia del contratista en la obra**

El Contratista, por sí o por medio de sus facultativos representantes o encargados estará en la obra durante la jornada legal del trabajo y acompañará a la Dirección Facultativa en las visitas que haga a la obra. Asimismo, y, por sí y por medio de sus representantes asistirá a las reuniones de obra que se convoquen, no pudiendo justificar por motivo de ausencia ninguna reclamación a las órdenes cruzadas por la Dirección Facultativa en el transcurso de las reuniones.

### **1.2.3 Oficina en la obra**

El Contratista en la obra tendrá una oficina en la que asistirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse planos. En dicha Oficina tendrá siempre el Contratista una copia autorizada de todos los documentos del Proyecto que le hayan sido facilitados por la Dirección Facultativa y el "Libro de Órdenes" a que se refiere el artículo siguiente.

**1.2.4 Trabajos no estipulados expresamente en el pliego de condiciones**

Es obligación de la contrata ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspectos de las obras, aún cuando se halle expresamente estipulado en los Pliegos de Condiciones, siempre que, sin esperarse de su espíritu y recta interpretación, lo dispone la Dirección Facultativa y dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos determinen para cada unidad de obra de tipo de ejecución.

**1.2.5 Insuficiente especificación en la documentación del proyecto**

Si alguna parte de la obra no quedará suficientemente especificada en esta documentación, a juicio de la Contrata o de la Propiedad, no se realizará hasta que la Dirección Facultativa diera las indicaciones precisas y concretas para su ejecución. Este extremo se advertirá a la citada Dirección por escrito, con antelación suficiente para que pueda estudiar el problema y aportar la solución más acertada sin que ello suponga retraso en la marcha de la obra. El tiempo de antelación variará con la importancia del estudio, siendo el mínimo de una semana.

**1.2.6 Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto**

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o dibujos, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al Contratista, estando éste obligado a su vez a devolver, ya los originales, ya las copias, suscribiendo con su firma al enterado, que figurará asimismo en todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba tanto de la Propiedad como la Dirección Técnica.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos crea oportuno hacer el Contratista, habrá de dirigirla, dentro precisamente del plazo de 15 días, a la Dirección Facultativa, la cual dará al Contratista el correspondiente recibo si éste lo solicitase.

**1.2.7 Información del contratista a subcontratas, instaladores y oficios**

El Contratista se verá obligado a suministrar toda la información necesaria precisa a las diferentes subcontratas, instaladoras y oficios, para que su labor se ajuste al Proyecto. En cualquier caso el Contratista será el único responsable de las derivaciones o errores

que se hubieran podido cometer en obra por desconocimiento de las especificaciones aquí detalladas.

**1.2.8 Copias de documentos**

El Contratista tiene derecho a sacar copias, a su costa, de los Planos, Presupuestos, Pliego de Condiciones y demás documentos del Proyecto. La dirección Facultativa, si el Contratista lo solicita, autorizará estas copias con su firma una vez confrontadas. En la obra siempre se encontrará una copia completa del Proyecto visada por el Colegio Oficial de Ingenieros Industriales, copia que no se utilizará como planos de obra sino en contados casos de comprobaciones.

**1.2.9 Reclamaciones contra las órdenes de la Dirección Facultativa**

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes demandadas de la Dirección Facultativa, sólo podrá presentarlas, a través de la misma, ante la Propiedad, si ellas son de orden económico, y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes, contra disposiciones de orden técnico y facultativo de la Dirección Facultativa, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida a la Dirección Facultativa, la cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

**1.2.10 Recusación por el Contratista del personal nombrado por la Dirección Facultativa**

El Contratista no podrá recusar el personal técnico o de cualquier índole, dependiente de la Dirección Facultativa o de la Propiedad, encargado de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la Propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones. Cuando se crea perjudicado con los resultados de éstos, precederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente pero sin que por esta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

**1.2.11 Recusación por la Dirección Facultativa del representante del Contratista**

Cuando este ausente el Contratista, o si éste no fuese práctico en las artes de la Construcción y siempre, por cualquier causa, la dirección Facultativa lo estime necesario, el Contratista tendrá obligación de poner al frente de su personal a un facultativo legalmente autorizado.

Sus funciones serán: vigilar los trabajos y colocación de andamios y demás medios auxiliares, verificar los replanteos y demás operaciones técnicas; así como cumplir las instrucciones de la Dirección Facultativa y firmar el “Libro de Órdenes” con el enterado a las órdenes del citado facultativo.

Será objeto de recusación el facultativo si carece de carné que acredite su cualificación, o si carece de conocimientos de construcción, probados por su experiencia y que le permitan la interpretación de los planos órdenes de forma que pueda cumplir sus funciones.

#### **1.2.12 Del personal del contratista**

##### a) Encargado

El encargado nombrado por el contratista se considerará a las órdenes de la Dirección Facultativa, siempre que ésta o la persona que la sustituya, se lo requiera para el mejor cumplimiento de su misión.

##### b) Recusación de personal

El Contratista viene obligado a separar de la obra, aquel personal que, a juicio de la Dirección Facultativa, no cumpla sus obligaciones de la forma debida.

#### **1.2.13 Libro de órdenes**

La Dirección Técnica tendrá siempre en la Oficina de la Obra y a disposición de la Dirección Facultativa un “Libro de órdenes”, con sus hojas foliadas por duplicado y visado por el Código Oficial de los Ingenieros Industriales.

En el mismo se redactarán todas las órdenes que la Dirección Facultativa crea dar al Contratista para se adopte las medidas de todo género que puedan sufrir los obreros, los viandantes en general, las firmas colindantes ó los inquilinos de las mismas, las que crean necesarias para subsanar ó corregir las posibles deficiencias constructivas que haya observado en las visitas de la obra y en suma, todas las que juzguen indispensable se lleven a cabo de acuerdo y en armonía con los documentos del Proyecto.

Cada orden deberá ser firmada por la Dirección Facultativa y el “Enterado” suscrito por el Contratista o su representante en obra, la copia de cada orden entendida quedará en poder de la Dirección Facultativa. El hecho de que en el citado libro no figuren redactadas

las órdenes que ya preceptivamente tiene la obligación de cumplimentar el Contratista de acuerdo con lo establecido en las normas oficiales, ordenanzas, reglamentos, etc., no supone atenuante alguno para las responsabilidades que sean inherentes al Contratista.

### **1.3 DE LAS OBRAS Y SU EJECUCIÓN**

#### **1.3.1 Calendario de trabajo.**

El Contratista propondrá a la Dirección Facultativa el correspondiente Calendario de Trabajo. Aceptado este Calendario se firmarán por la Contrata y por la Dirección Técnica, quedándose cada parte con una copia.

La contrata se obliga, por este documento a justificar mensualmente el cumplimiento de las ejecuciones programadas.

#### **1.3.2 Reglamento general**

En el plazo fijado por el anterior Calendario de Trabajo, la Contrata procederá al replanteo de las líneas fundamentales y puntos de nivel necesario para definir y delimitar perfectamente en el terreno, la traza del edificio.

El constructor se ceñirá estrictamente a las notas de la alineación y niveles que se especifican en los Documentos Gráficos. Si se encontrara alguna anomalía entre lo especificado en los planos y en el replanteo del terreno, como la existencia de rocas superficiales, etc., se informará inmediatamente a la Dirección Facultativa antes de iniciar las obras, una vez realizadas las modificaciones oportunas, si es que dan lugar, se realizará un Acta de Replanteo que será firmada por el Contratista y la Dirección Facultativa –por triplicado- en la que la Dirección Facultativa hará constar si se puede iniciar la obra. A partir de este momento el Contratista será el único responsable de los errores que pudieran cometerse en dimensiones, alineaciones, cotas de nivel, siendo de su cuenta las operaciones necesarias para su rectificación.

#### **1.3.3 Comienzo de los trabajos**

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta a la Dirección Facultativa del comienzo de los trabajos antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación.

En cualquier caso, serán requisitos previos para la formalización del Acta de Replanteo; la preparación a pie de obra de elementos auxiliares y maquinaria indispensable para el comienzo; la

adjudicación de los trabajos que haya lugar y con el personal suficiente para el inicio de la obra.

La fecha en que se vaya a dar principio a la ejecución deberá ir indicada en el Calendario de Trabajo.

#### **1.3.4 Plazo de ejecución**

Será el que se señale en el Documento privado que se realice entre la Contrata y la Propiedad.

#### **1.3.5 Orden de los trabajos**

En general, la determinación del orden de los trabajos será facultad potestativa de la contrata, salvo aquellos casos en que por cualquier circunstancia de orden técnico o facultativo, estime conveniente su variación la Dirección Facultativa.

Estas órdenes deberán comunicarse, precisamente por escrito, a la contrata y ésta vendrá obligada a su estricto cumplimiento, siendo responsable de cualquier daño o perjuicio que pudiera sobrevenir por su incumplimiento.

#### **1.3.6 Ampliación del proyecto por causas imprevistas de fuerza mayor**

Cuando en obras de reforma o reparación de edificios sea preciso, por motivo imprevisto o por cualquier accidente, ampliar el proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándolos según las instrucciones dadas por la dirección Facultativa, en tanto se formula o se tramita el proyecto reformado.

El Contratista está obligado a realizar con su personal y sus materiales, cuando la Dirección Facultativa de la Obra disponga, para apeos, apuntalamientos, derribos, anticipando de momento este servicio, cuyo aporte le será consignado en el presupuesto adicional o abono directamente, de acuerdo con lo que mutuamente convengan.

#### **1.3.7 Prórrogas por causa de fuerza mayor**

Si por causa de fuerza mayor e independientemente de la voluntad del Contratista y siempre que esta causa sea distinta de las que se especifican como la rescisión en el capítulo "Condiciones generales de índole legal", aquel no pudiese comenzar las obras, o tuviera que suspenderlas en los plazos prefijados se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable de la Dirección Facultativa la causa que impide la

ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

**1.3.8 Responsabilidades de la Dirección Facultativa en el retraso de la obra**

Con Objeto de no interferir la marcha de las obras, y para el cumplimiento del plazo, la contrata solicitará a la dirección Facultativa, los datos que considere puedan retrasar el mismo.

Asimismo antes de ejecutar una unidad de, obra no estipulada en el Proyecto, se someterá, con la antelación suficiente, el precio contradictorio para su aprobación que firmarán en caso de aceptación la Propiedad, la Dirección Facultativa y el Contratista adjudicatario de las obras, previo informe de la repercusión económica de los precios contradictorios.

**1.3.9 Condiciones generales de la ejecución de los trabajos**

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto que haya servido de base a la contrata, a las modificaciones del mismo que, previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue la Dirección Facultativa al Contratista, siempre que éstas encajen dentro de la cifra a que asciendan los presupuestos aprobados.

**1.3.10 Obras ocultas**

De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos e indispensables para que queden perfectamente definidos, estos documentos se extenderán por triplicado, entregándose: uno al propietario, otro a la Dirección Facultativa y el tercero al Contratista, firmado todos ellos por éstos dos últimos. Dichos planos, que deberán ser suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

**1.3.11 Trabajos defectuosos**

El Contratista, como es natural, debe emplear los materiales que cumplan con las condiciones exigidas en “Las Condiciones Generales de Índole Técnica” del Pliego de Condiciones, y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento. Por ello y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos contratados y de

las faltas y defectos que en éstos pueda ocurrir, por su mala ejecución o por la deficiencia de los materiales empleados o de los aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa, ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que la Dirección Técnica o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valoradas en las certificaciones parciales de la obra, que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando la Dirección Facultativa o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados a los aparatos colocados no reúnen las condiciones acordadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado y todo ello a expensas de la contrata. Si ésta no estimase justa la resolución y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá de acuerdo con lo establecido en el Artículo “Materiales y Aparatos Defectuosos” siguiente.

#### **1.3.12 Vicios ocultos**

Si la Dirección Facultativa tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos en la construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crean necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos de demolición y reconstrucción que se ocasionen serán de cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente y, en caso contrario, correrán a cargo del propietario.

#### **1.3.13 De los materiales y aparatos y su procedencia**

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas las clases en los puntos que le parezcan convenientes, siempre que reúnan las condiciones exigidas en el contrato, que estén perfectamente preparados para el objeto a que apliquen y sean, a lo preceptuado en los Pliegos de Condiciones y a las instrucciones de la Dirección Facultativa.

#### **1.3.14 Empleo de los materiales y aparatos**

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos, sin que antes sean examinados y aceptados por la Dirección Facultativa, en los términos que prescriben en los Pliegos

de Condiciones, depositando al efecto el Contratista las muestras y modelos necesarios previamente codificados, para efectuar con ellos las comprobaciones, ensayos o pruebas corregidas en el Pliego de Condiciones vigente en la obra.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc., antes indicados, serán a cargo del Contratista.

#### **1.3.15 Materiales no utilizables**

El Contratista a su costa, transportará y colocará agrupándolos ordenadamente y en el sitio de la obra en el que no pueda causar perjuicios a la marcha de los trabajos se le designen, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra.

Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero, cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones particulares vigentes en la Obra.

Si no hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene la Dirección Facultativa, pero acordando previamente con el Contratista su justa tasación, teniendo en cuenta el valor de dichos materiales y los gastos de su transporte.

#### **1.3.16 Materiales y aparatos defectuosos**

Cuando los materiales y aparatos no fuesen de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, la dirección Facultativa dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos de Condiciones o a falta de éstas, a las órdenes de la Dirección Facultativa.

La Dirección Facultativa, podrá si las circunstancias o el estado de la obra lo aconsejan, permitir el empleo de aquellos materiales defectuosos que mejor le parezcan o aceptar o imponer el empleo de otros de superior calidad a la indicada en el Pliego de Condiciones, si no le fuese posible al Contratista suministrarlos de la requerida en ellos, descontándose en el primer caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado y no teniendo derecho el Contratista a indemnización alguna en el segundo. No obstante lo anteriormente expuesto, cuando la orden sea notarial injusta a juicio del Contratista, éste podrá recurrir ante la Propiedad, de acuerdo con lo estipulado en el Artículo "Reclamaciones contra las órdenes de la Dirección Facultativa" precedente.

### **1.3.17 De los medios auxiliares**

Serán de cuenta y riesgo del Contratista: los andamios, cimbras, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, no cabiendo, por tanto, al propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares. Todos éstos, aunque no se haya estipulado lo contrario en las “Condiciones Particulares de la obra”, quedarán a beneficio del Contratista, sin que éste pueda fundar reclamación alguna de la insuficiencia de dichos medios, cuando éstos estén detallados en el presupuesto y consignados por partida, alzado o incluidos en los precios de las unidades de obra.

## **1.4 DE LA RECEPCIÓN DE LAS OBRAS**

### **1.4.1 Recepciones provisionales**

Para proceder a la recepción provisional de las obras será necesaria la asistencia del propietario o de su representación autorizada (que pueda recaer en la Dirección Facultativa), de la Dirección Facultativa de la obra y del Contratista o de su representante, debidamente autorizado.

Del resultado de la recepción provisional de las obras será de (que pueda recaer en la dirección Facultativa), de la Dirección Facultativa de la Obra y del Contratista o su representante, debidamente autorizado.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas provisionalmente, comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía señalado en la obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se especificarán en la misma las precisas y detalladas instrucciones que la Dirección Facultativa debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijándose un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará de nuevo reconocimiento en idénticas condiciones a fin de proceder de nuevo a la recepción provisional de la obra.

Si el Contratista no hubiese cumplido, se declarará rescindida la contrata con pérdida de fianza, a no ser que el propietario acceda a conceder un nuevo e improrrogable plazo.

#### **1.4.2 Conservación de las obras recibidas provisionalmente**

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía entre las recepciones provisionales y la definitiva, correrán a cargo del Contratista.

Si el edificio fuese ocupado o utilizado antes de la recepción definitiva, la guardería, limpieza, reparaciones acusadas por el uso correrán a cargo del Propietario y las reparaciones por vicio de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo del Contratista.

En caso de duda, será juez inapelable la Dirección Facultativa, sin que contra su resolución quepa ulterior recurso.

#### **1.4.3 Plazo de garantía**

El plazo de garantía será un año contando desde la fecha en que la recepción provisional se verifique, quedando durante dicho plazo la conservación de las obras y arreglo de desperfectos (ya provengan del asiento de las obras, ya de la mala construcción de aquéllas), a cargo del Contratista.

#### **1.4.4 Recepción definitiva**

Finalizando el plazo de garantía, se procederá a la recepción definitiva, con las mismas formalidades señaladas en los artículos procedentes para la provisional; si se encontraran las obras en perfecto estado de uso y conservación se darán por recibidas definitivamente quedará el Contratista relevado de toda responsabilidad legal que le pudiera alcanzar, derivada de la posible existencia de vicios ocultos.

En caso contrario, se procederá de idéntica forma que la preceptuada para la recepción provisional sin que el Contratista tenga derecho de percepción de cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía, y siendo obligación suya hacerse cargo de los gastos de conservación hasta que la obra haya sido recibida definitivamente.

## **CAPÍTULO 2**

### **CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE ECONÓMICA**

#### **2.1 BASE FUNDAMENTAL**

##### **2.1.1 Base fundamental**

Como base fundamental de estas “Condiciones particulares de índole económica”, se establece el principio de que el Contratista debe recibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que éstos se hayan realizado con arreglo y sujeción al proyecto y condiciones generales y particulares que fijan la construcción del edificio y obra aneja contratada.

#### **2.2 FIANZAS**

##### **2.2.1 Constitución de la fianza**

Se establecen descuentos del cinco por ciento (5%) efectuados sobre el importe de cada certificación abonada al Contratista. El total de las retenciones constituirán la fianza. Salvo en el caso en que la obra se adjudique por subasta, para cuyo caso la fianza se establecerá según Pliego General, Condiciones Generales de Índole Económica.

Si lo estipulado en este Artículo estuviese recogido en contrato, firmado, entre la Propiedad y la Contrata éste prevalecerá frente a lo expuesto

##### **2.2.2 Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza**

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, La Dirección Técnica, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o directamente por Administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

##### **2.2.3 De su evaluación en general**

La fianza depositada será disuelta al Contratista en un plazo que no excederá de ocho (8) días, una vez firmada el Acta de la Recepción Definitiva de la Obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de certificación del Alcalde del distrito Municipal en cuyo

término se halle emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra aquél por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

#### **2.2.4 De su evolución en el caso de efectuarse recepciones parciales**

Si el Propietario creyera conveniente hacer recepciones parciales, no por ello tendrá derecho el Contratista a que se devuelva la parte proporcional de la fianza cuya cuantía total quedará sujeta a las condiciones preceptuadas en el artículo 3 precedente.

### **2.3 PRECIOS**

#### **2.3.1 Precios unitarios**

El Contratista presentará precios unitarios de todas las partidas que figuran en el estado de mediciones que se le entregará.

Los precios unitarios que compongan el presupuesto oferta, tienen valor contractual y se aplicarán las posibles variaciones que pudieran sobrevenir.

#### **2.3.2 Alcance de los precios unitarios**

El presupuesto se entiende comprensivo de la totalidad de la obra, instalaciones ó suministro y llevará implícito el importe de los trabajos auxiliares (andamiajes, transportes, elevación de material, desescombro, limpiezas, combustibles, fuerza motriz, agua y otros análogos), el de la imposición fiscal derivada del contrato y de la actividad del Contratista en su ejecución, el de las cargas laborales de todo orden, todos los cuales no son objeto de partida específica. Quedarán incluidos en la oferta de la Empresa Constructora todos aquellos trabajos y materiales que aún no están descritos en el presente Pliego de Condiciones, y sean necesarios para la total terminación de la obra.

#### **2.3.3 Precios contradictorios**

Los precios de unidades de obra, así como los de materiales o mano de obra de trabajos que no figuren entre los contratados, se fijarán contradictoriamente entre la Dirección Facultativa y el Contratista o su representante autorizado a éstos efectos. El Contratista los presentará descompuestos, siendo condición necesaria la presentación y la aprobación de estos precios antes de proceder a la ejecución de las unidades de obra correspondientes.

De los precios así acordados se levantarán actas, que firmarán por triplicado la Dirección Facultativa, el Presidente de la Junta Rectora y el Contratista o los representantes autorizados de éstos últimos designados a dicho fin.

#### **2.3.4 Precios no señalados**

La fijación de precios deberá hacerse antes de que se ajuste la obra a que haya que aplicarse, pero si por cualquier circunstancia en el momento de hacer las mediciones no estuviese aún determinado el precio de la obra ejecutada, el Contratista viene obligado a aceptar el que señale la Dirección Facultativa.

Cuando a consecuencia de rescisión y otra causa fuere preciso valorar obras incompletas cuyo precio no coincida con ninguno de los que se consignen en el cuadro de precios, la Dirección Facultativa será la encargada de descomponer el trabajo hecho y compondrá el precio sin reclamación por parte del Contratista.

#### **2.3.5 Revisión de precios**

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello que en principio no deben admitir la revisión de los precios contratados. No obstante, y dadas las variabilidades continuas de los precios, de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que son características de determinadas épocas anormales, se admite durante ellas la revisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en armonía con las oscilaciones de los precios en el mercado. Se entiende, de todas formas, que se admitirá solamente aquellas variaciones de precios y jornales que hayan sido oficialmente autorizados. Por ello, y en los casos de revisión en alza, el Contratista puede solicitarla del propietario, notificándolo por escrito, en cuanto se produzca cualquier alteración de los precios que repercuta aumentando los contratos.

Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de continuar la ejecución de la unidad de obra en que intervienen el elemento cuyo precio en el mercado y pro causa justificada, ya ha subido, especificándose y acordándose también previamente la fecha a partir de la cual se aplicará el precio revisado y elevado, para lo cual se tendrá en cuenta, y cuando así proceda, al acopio de materiales en la Obra, en el caso de que estuviesen abonados total o parcialmente por el Propietario. Si el Propietario o la Dirección Facultativa, en su representación, no estuviesen conforme con los nuevos precios de materiales, transportes, etc., que el Contratista desea recibir como normales en el mercado, aquél tiene la facultad de proponer al Contratista, y éste la obligación de

aceptarlas, los materiales, transportes, etc., a precios inferiores de los pedidos por el Contratista, en cuyo caso, como es lógico y natural, se tendrán en cuenta para la revisión, los precios de los materiales, transportes, etc., adquiridos por el Contratista merced a la información del Propietario.

Cuando el Propietario o la Dirección Facultativa en su representación, solicitase al Contratista la revisión de precios por haber bajado los de los jornales, materiales, transportes, etc., se convendrá entre las dos partes la baja a realizar en los precios unitarios vigentes en la Obra, en equidad experimentada por cualquiera de los elementos constructivos de la unidad de obra y la fecha en la que empezarán a regir los precios revisados. Cuando entre los documentos ya aprobados por ambas partes figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento ya similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de precios.

#### **2.3.6 Formas tradicionales de medir o aplicar los precios**

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres del país respecto a la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obras ejecutadas cuando se hallen en contradicción con las normas establecidas a estos efectos en el Pliego de Condiciones Generales.

### **2.4 VALORACIÓN U ABONOS DE TRABAJOS**

#### **2.4.1 Forma de abono de las obras**

La forma de pago será la que se acuerda en el documento privado que firmen la Propiedad y el Contratista.

#### **2.4.2 Abono de unidades de obras ejecutadas**

El Contratista deberá recibir el importe de todas aquellas unidades de obra que se haya ejecutado con arreglo y sujeción a los documentos del Proyecto, a las condiciones de la Contrata y a las órdenes e instrucciones que por escrito entregue la Dirección Facultativa, siempre dentro de las cifras a que ascienden a los presupuestos aprobados.

#### **2.4.3 Relaciones valoradas y certificaciones**

En cada una de las épocas o fechas que estipule el documento privado o Contrato entre Propiedad y Contratista, éste último presentará a la Dirección Facultativa una relación de las obras ejecutadas durante los plazos previstos. Dicha valoración y medición

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

se realizará a origen en todos los casos y teniendo presente lo establecido en el presente Pliego.

Para la realización de las mediciones el contratista avisará, con un tiempo suficiente y en las fechas previamente establecidas, a la Dirección Técnica, por si éste o su representante quieran presenciarlas.

Una elaborada la medición y valoración, el Contratista la remitirá a la Dirección Facultativa para que ésta dé su conformidad o, en el caso contrario, hacer las observaciones que crea oportunas en función de las mediciones y datos que previamente ha ido recogiendo en las sucesivas visitas a obras.

Efectuadas por la Dirección Facultativa las correcciones necesarias, si las hubiese, emitirá su certificación firmada al Contratista y Propietario.

El Contratista podrá acudir contra la resolución de la Dirección Facultativa, ante la Propiedad en la forma prevenida en los “Pliegos Generales de Condiciones Facultativas. Este paso le conducirá a la Dirección Facultativa y Legales”. Este paso lo comunicará a la Dirección Facultativa justificando por escrito los motivos.

Si transcurridos diez días desde su envío (en el caso de que se haya pactado otro plazo) la Dirección Técnica no recibe notificación alguna, se considerará que el Contratista está conforme con los referidos datos y la certificación será inapelable.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa del Propietario podrá certificarse hasta el 90% de su importe, a los precios que figuren en los documentos del Proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de contrata.

La Dirección Facultativa no aceptará como certificable ninguna partida de obra que se encuentre, sin acabar o rematar totalmente. Tampoco aceptará la inclusión, en la certificación, de unidades de obra que se ejecuten fuera del orden lógico de la obra o de manera que, al seguir ésta, puedan sufrir deterioro.

Las certificaciones tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Si existiese entre lo recogido en este Artículo y lo firmado en contrato entre la Propiedad y la Contrata, prevalecerá lo expuesto en cláusula del contrato en todo momento.

#### **2.4.4 Mejoras de obras libremente ejecutadas**

Cuando el Contratista, incluso con autorización de la Dirección Facultativa, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el Proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquier parte de la obra, o en general, introdujese en ésta, y sin pedírsela, cualquier otra modificación que sea beneficioso a juicio de la Dirección Técnica, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

#### **2.4.5 Abonos por partidas enteras**

No admitiéndole la índole especial de algunas obras su abono por sucesivas mediciones parciales, la Dirección Facultativa queda facultada para incluir estas partidas completas cuando lo estime justo, en las periódicas certificaciones parciales.

#### **2.4.6 Abonos por partidas alzadas**

Caso, de que por no existir en el presupuesto precios unitarios que puedan emplearse por asimilación con las obras ejecutadas por partidas alzadas, éstas se abonarán previa presentación de los justificantes de su costo, (adquisición de materiales y lista de jornales debidamente controladas por la Dirección Facultativa).

#### **2.4.7 Abonos de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados**

Cuando fuese preciso efectuar agotamientos, inyecciones, u otra clase de trabajos de cualquier índole especial u ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del Contratista, y si la Dirección Facultativa no los contratase con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales serán abonados por el Propietario por separado de la Contrata. A este efecto, la Dirección Facultativa designará la persona que deberá comprobar la listillas de jornales y vales de materiales y medios auxiliares en ellos se formarán dos relaciones, que, unidas a los recibos de su abono, servirán de documentos justificativos de las cuentas, en los cuales firmará el visto bueno la Dirección Facultativa.

Además de reintegrar mensualmente estos gastos al Contratista, se le abonará justamente con ellos el diez por ciento (10%) de su importe total, como interés del dinero adelantado y remuneración del trabajo y diligencia que ha tenido que prestar.

Si lo estipulado en este Artículo estuviese recogido en contrato, firmado, entre la Propiedad y la Contrata éste prevalecerá frente a lo expuesto.

#### **2.4.8 Liquidaciones parciales**

Periódicamente el Contratista tendrá derecho a percibir una cantidad proporcional a la obra ejecutada en aquel período. A la vista del calendario de obra, se fijará el alcance de cada uno de los periódicos y las cantidades a percibir al final de ellos.

Estas cantidades tendrán el carácter de entrega a buena cuenta y el Contratista no podrá percibir las hasta que no haya dado conformidad la Dirección Facultativa.

De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya preestablecido.

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso, suspender los trabajos ni llevarlos con menos incremento del necesario para la terminación de obras en el plazo establecido.

#### **2.4.9 Liquidación general**

Terminadas las obras se procederá a hacer la liquidación general, que constará de las mediciones y valoraciones de todas las unidades que constituyan la obra.

#### **2.4.10 Pagos**

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra extendidas por la Dirección Facultativa, en virtud de las cuales se verifican aquéllos.

El importe de estos pagos se entregará precisamente al Contratista en cuyo favor se hayan rematado las obras, o a persona legalmente autorizada por el mismo, nunca a ningún otro, aunque se libren despachos o exhortos por cualquier Tribunal o Autoridad para su retención pues se trata de fondos destinados al pago de operarios y no de intereses particulares del Contratista. Únicamente al saldo que la liquidación arroje a favor de éste y de la fianza, si no hubiese sido necesario retenerla para el cumplimiento de la contrata, podrá

verificarse el embargo dispuesto por las referidas Autoridades o Tribunales.

#### **2.4.11 Suspensión o retraso en el ritmo de los trabajos**

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos ni ejecutarlos a ritmo que el que corresponda, con arreglo al plazo en que deban terminarse.

Cuando el Contratista proceda de dicha forma, podrá el Propietario rescindir la contrata.

#### **2.4.12 Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía**

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

- 1- Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figurasen en el Presupuesto abonados de acuerdo con lo establecido en el Pliego Particulares o en su defecto en los Pliegos Generales en el caso de que dichos precios fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización, en caso contrario, se aplicarán estos últimos.
- 2- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios previamente acordados.
- 3- Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al Contratista.

#### **2.4.13 Valoración en el caso de rescisión**

Siempre que se rescinda la Contrata por causas que no sean de la responsabilidad del Contratista, las herramientas y demás útiles que como medios auxiliares de la construcción se hayan estado empleando en la sobras con autorización de la Dirección Facultativa o la Contrata, y de no mediar acuerdo, por los amigables componedores a que se hace referencia en el Pliego Particular de Condiciones Legales, o en su defecto, ha establecido en los "Pliegos de Condiciones Generales de índole legal y facultativa".

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

A los precios de tasación sin aumento alguno, recibirá el Propietario aquellos de dichos medios auxiliares que señalan en las condiciones de cada contrata, o en su defecto, los que considere necesario para terminar las obras y no quiera reservar para sí el Contratista, entendiéndose que sólo tendrá lugar el abono por este concepto cuando el importe de los trabajos realizados hasta la rescisión no llegue a los dos tercios de las obras contratadas.

Las cimbras, andamios, apeos y demás medios auxiliares análogos, quedarán de propiedad de la obra si así lo dispone la Dirección Facultativa, siéndole de abono al Contratista la parte correspondiente en proporción a la cantidad de obras que falten por ejecutar según los cuadros de precios. Si la Dirección Facultativa resuelve no conservarlos, serán retirados por el Contratista. Se abonarán las obras con arreglo a las condiciones establecidas, también los materiales acopiados al pie de la obra, si son de recibo y de aplicación para terminar ésta y en calidad proporcionada a la obra pendiente de ejecución, siempre que no estorben ni dificulten la buena marcha de los trabajos, aplicándose a estos materiales los precios que figuren en el cuadro de precios descompuestos, o cuando no está comprendidos en él, si fijarán contradictoriamente. También se abonarán al Contratista los materiales que, reuniendo las mismas circunstancias, se hallen acopiados fuera de la obra, siempre que los transportes al pie de ella, el término que al efecto se le fije por la Dirección Facultativa.

En los casos en que la rescisión obedezca a falta de pago o retraso en el abono, o a suspensión por plazo superior a un año imputable al Propietario, se concederá al Contratista, además de las cantidades anteriormente expuestas, una indemnización que fijarán la Dirección Facultativa en justicia y su leal saber y entender, por ejecutar, ni bajará del importe, a juicio de la Dirección Facultativa de todos los gastos justificados que por cualquier motivo relacionado con las obras tuviera que hacer al Contratista, tales como derechos de contratos, custodia de la fianza, anuncios, etc.

En los casos en que la rescisión sea producida por alteración de presupuesto o por cualquiera de las causas reseñadas en el Pliego de Condiciones Legales, no procederá más que el reintegro al Contratista de los gastos por custodia de fianza, y formalización de contrato, sin que pueda reclamar el abono de los útiles y herramientas destinados a las obras, ni otra indemnización alguna.

Cuando la rescisión se deba a falta de cumplimiento en los plazos de obra, no tendrá tampoco derecho el Contratista a reclamar ninguna indemnización ni a que adquiera por el Propietario los útiles y herramientas destinados a las obras, pero sí a que se abonen las ejecutadas con arreglo a condiciones y los materiales acopiados a

pie de obra que sean de recibo y sean necesarios por la misma, sin acusar entorpecimiento a la buena marcha de los trabajos.

Cuando fuese precios valorar obras incompletas, si el incompleto de su terminación se refiere al conjunto, pero las unidades de obras lo está en sí, entonces se medirán las unidades ejecutadas y se valorarán a los precios correspondientes del presupuesto. Si lo incompleto es la unidad de obra y la parte ejecutada de ella fuera de recibo, entonces se abonará esta parte con arreglo a lo que le corresponda según la descomposición del precio que figura en el cuadro de proyecto, sin que pueda pretender el Contratista que, por ningún motivo, se efectúe la descomposición de otra forma que en la que en dicho cuadro figura.

Toda unidad compuesta o mixta no especificada en el cuadro de precios, se valorará haciendo la descomposición de la misma y aplicando los precios unitarios en dicho cuadro a cada una de las partes que la integran, quedando en esta suma así obtenida, comprendidos todos los medios auxiliares, etc.

A la valoración de las obras y de las unidades de obra incompletas es aplicable también el tanto por ciento de bonificación acordado sobre el precio de ejecución material, así como la baja que se hubiera obtenido en la adjudicación.

#### **2.4.14 Acopio de materiales**

Bien sea el inicio de las obras o después en cualquier momento durante el transcurso de las mismas, la entidad propietaria, cuando lo crea oportuno, podrá exigir al Contratista que previo pago de los mismos por la Propiedad, acopia parte o la totalidad de los materiales necesarios para la ejecución de las obras.

Por dichos materiales se abonará el precio que figure en los documentos del contrario.

### **2.5 INDEMNIZACIÓN**

#### **2.5.1 Importe de la indemnización por retraso**

El Contratista por causa de retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras, abonará a la Propiedad la cantidad de tres mil pesetas durante los días de retraso que no sobrepasen los dos meses siguientes de plazo de terminación. A partir de estos dos meses la cantidad a abonar por el Contratista en concepto de indemnización se doblará durante los días de retraso.

Lo recogido en Contrato firmado entre la Propiedad y la Contrata prevalecerá frente a lo establecido en este Artículo, si se recoge este aspecto.

### **2.5.2 Demora de pagos**

Si el Propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que le corresponda el plazo convenido, el Contratista tendrá derecho, además a percibir un cuatro y medio por ciento anual (4,5%), en concepto de interés de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Lo recogido en Contrato firmado entre la Propiedad y la Contrata prevalecerá frente a lo establecido en este Artículo, si se recoge este aspecto.

### **2.5.3 Indemnización de daños causados por fuerza mayor**

El Contratista tendrá derecho a indemnización por causa de pérdidas, averías o perjuicios ocasionados en las obras, si no en los casos de fuerza mayor. Los efectos de este Artículo, se consideran como tales casos únicamente los que siguen.

- 1.- Los incendios causados de electricidad atmosférica.
- 2.- Los daños causados por terremotos o maremotos.
- 3.- Los producidos por vientos huracanados, mareas y crecida de áridos, superiores a los que sean de prever en el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que por el Contratista se tomarán medidas posibles dentro de sus medios para evitar o atenuar los daños.
- 4.- Los que prevengan de movimientos del terreno en que están construidas las obras.
- 5.- Los destrozos ocasionados violentamente a mano armada en tiempo de guerra, movimientos sediciosos, populares o robos tumultuosos.

La indemnización se referirá exclusivamente al abono de las unidades de obra ya ejecutadas o materiales acopiados a pie de obra, en ningún caso comprenderá medios auxiliares, maquinaria o instalaciones, etc., o propiedad de la Contrata.

## **2.6 OTROS PAGOS A CUENTA DEL CONTRATISTA**

### **2.6.1 Arbitrios**

El pago de arbitrios e impuestos, sobre vallas, alumbrados, etc. Y por preceptos inherentes a los propios del trabajo que se realizan correrán a cargo del Contratista. El, no obstante deberá ser reintegrado del importe de todos aquellos conceptos que no sean previsibles en el momento de la oferta, a juicio de la Dirección Facultativa.

### **2.6.2 Copia de documentos**

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costo de los planos, Pliego de Condiciones y demás documentos de la Contrata. Los gastos de copia de toda clase de documentos que el Contratista o industriales precisan, para redactar proposiciones de presupuestos serán de su cuenta.

### **2.6.3 Vigilante de obras**

Será también por cuenta del Contratista el abono de jornales del vigilante de obras, en el caso de que el Ingeniero estime necesario su nombramiento, siendo nombrado directamente por la Dirección Técnica.

### **2.6.4 Seguro de obras**

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva.

La cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en el caso de siniestro se ingresará en cuenta a nombre del Propietario para que con cargo en ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción, y a medida que ésta se vaya realizando, en ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos de la construcción de la parte siniestrada. La infracción de lo anteriormente expuesto, será motivo suficiente para que el Contratista pueda rescindir la contrata, con devolución de la fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc. Y una indemnización equivalente al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Director.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

En las obras de reforma o reparación, se fijará previamente la proporción de edificio que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se previene se entenderá que el seguro a de comprender toda la parte del edificio a que afecta la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza de seguro, los pondrá el Contratista, antes de contratarlos en conocimientos del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

### **CAPÍTULO 3**

#### **CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE LEGAL**

##### **3.1 CONTRATISTAS**

Los requisitos que deberán cumplir los Contratistas figuran detallados en el Artículo 1 del título 4 del “Pliego General de Condiciones Varias de la Obra”

##### **3.2 EL CONTRATO Y SU ADJUDICACIÓN**

La ejecución de las obras se contratará por unidades de obra, ejecutadas con arreglo a los documentos del Proyecto. Se admitirán subcontratas con firmas especializadas, siempre que estén dentro de los precios que fije el Presupuesto del Proyecto.

La adjudicación de las obras podrán efectuarse por cualquiera de los procedimientos siguientes:

- Subasta pública o privada
- Concurso público o privado
- Adjudicación directa

Se cumplirá el procedimiento que indican los Artículos 3 y 4 del “Pliego General de Condiciones Varias de la Obra”.

##### **3.3 FORMALIZACIÓN DEL CONTRATO**

Los contratos se formalizarán mediante documento privado en general, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes y con arreglo a las disposiciones vigentes. El cuerpo de estos documentos, si la adjudicación se hace por subasta, contendrá un tanto del acto de subasta que haga referencia exclusivamente a la proposición del rematante, o sea la declarada más ventajosa: la comunicación de adjudicación, copia del recibo de depósito de fianza, en el caso de que se haya exigido, y una cláusula cuando se exprese terminantemente que el Contratista se obliga al cumplimiento exacto del contrato, conforme a lo previsto en el P.G.C., en los particulares del Proyecto y de la Contrata, en los Planos y en el Presupuesto, es decir, en todos los documentos del Proyecto.

Si la adjudicación se hace por concurso, la escritura tendrá los mismos documentos, sustituyendo al acta de la subasta la del concurso.

### **3.4 ARBITRAJE OBLIGATORIO**

Ambas partes se comprometen a someterse al arbitraje de amigables componedores, designados uno de ellos por el Propietario, otro por Contrata y tres Ingenieros del Colegio Oficial correspondiente, uno de los cuales será forzosamente el Director de Obra.

### **3.5 JURISDICCIÓN COMPETENTE**

En caso de no haberse llegado a un acuerdo, por el anterior procedimiento, ambas partes quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones que puedan surgir como derivadas de su contrato, a las Autoridades y Tribunales administrativos, con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo componente la jurisdicción donde estuviese enclavada la obra.

### **3.6 RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA**

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el Proyecto (la Memoria tendrá consideración de documento del Proyecto).

Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo el mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que la Dirección Técnica haya examinado y reconocido la construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

### **3.7 RECONOCIMIENTO DE OBRAS CON VICIOS OCULTOS**

Los gastos de demolición y reconstrucción que ocasionen serán de cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente, y en caso contrario, correrán a cargo del Propietario.

### **3.8 POLICIA DE OBRA**

Serán de cargo y cuenta del Contratista el vallado y la policía del solar, cuidando la conservación de sus líneas de lindero y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, se las hubiese, no se realicen durante las obras actos que mermen o modifiquen la Propiedad.

Toda la observación referente a este punto, será puesta inmediatamente en conocimiento de la Dirección Facultativa.

El Contratista es responsable de toda falta relativa a la policía urbana y a las Ordenanzas Municipales a estos respectos vigentes en la localidad en que la obra esté emplazada.

### **3.9 ACCIDENTES DE TRABAJO**

En caso de accidentes ocurridos a los operarios, con motivo y en ejercicio de los trabajos para ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, siendo en su caso único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la propiedad, por responsabilidades en cualquier aspecto.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúen, para evitar en lo posible accidentes a los obreros o a los viandantes, no sólo de los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra, huecos de escalera, de ascensores, etc.

De los accidentes y perjuicios de todo género que, por no cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales. Será preceptivo que en el “Tablón de anuncios” de la obra y durante el transcurso figure el presente Artículo “Pliego de Condiciones de Índole Legal”, sometiéndolo previamente a la firma de la Dirección Facultativa.

### **3.10 DAÑOS A TERCEROS**

El Contratista será responsable de todos los accidentes que por experiencia o descuido sobrevinieran tanto en la del solar donde se efectúen las obras, como en las contiguas. Será, por tanto, de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiere lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir, cuando a ello fuese requerido, el justificante de tal cumplimiento.

### **3.11 PAGOS DE ARBITRIOS**

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, enganches y acometidas provisionales de obra, etc., cuyo abono debe hacerse durante el

tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo del Contratista.

Se exceptúan los pagos de Licencia Municipal y los enganches definitivos de suministros y evacuación, salvo que se pacte de otro modo el contrato.

### **3.12 OBLIGACIONES LABORALES**

El Contratista es el único responsable del fiel cumplimiento de la vigente legislación laboral. Por tanto, todo el personal que intervenga en la obra estará dado de alta, con su cualificación correspondiente, en los Organismos Oficiales que sean indicados.

### **3.13 ANUNCIOS Y CARTELES**

Sin previa autorización de la Propiedad, estará prohibido poner más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y a la policía local, donde quedan incluidas sus propias vallas.

### **3.14 COPIAS DE DOCUMENTOS**

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa, de los Planos, Pliegos de Condiciones y Presupuestos, y demás documentos del Proyecto.

La Dirección Facultativa, si el Contratista lo solicita, autorizará estas copias con su firma una vez confrontadas.

### **3.15 HALLAZGOS**

El Propietario se reserva la posesión de las antigüedades, objetos de arte o sustancias minerales utilizables, que se encuentren en las excavaciones y demoliciones practicadas en sus terrenos o edificaciones, etc.

El Contratista deberá emplear para extraerlos, todas las precauciones que se le indiquen por la Dirección Facultativa. El Propietario abonará al Contratista el exceso de obras o gastos especiales que estos trabajos ocasionen.

Serán así mismo de la exclusiva pertenencia del Propietario los materiales y corrientes de agua que, como consecuencia de la ejecución de las obras, aparecieran en los solares o terrenos en que se realicen las obras, pero el Contratista tendrá el derecho de utilizarlas en la construcción, en el caso de tratarse de agua y si las utiliza, serán de cargo del Contratista las obras que sean

convenientes ejecutar para recogerlas o desviarlas para su utilización.

La utilización para el aprovechamiento de grabas, arenas y toda clase de materiales procedentes de los terrenos donde los trabajos se ejecuten, así como las condiciones técnicas y económicas en que estos aprovechamientos han de concederse y ejecutarse, se señalarán para cada caso concreto por la Dirección Facultativa.

### **3.16 CAUSAS DE RESCISIÓN DEL CONTRATO**

Se consideran causas suficientes de rescisión las que a continuación se señalan:

1.- La muerte o incapacitación del Contratista.

2.- La quiebra del Contratista.

En los casos anteriores, si los herederos o síndicos ofrecieran llevar a cabo las obras bajo las mismas condiciones estipuladas en el contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan aquéllos derecho a indemnización alguna.

3.- Las alteraciones del contrato por las causas siguientes:

A- La modificación del Proyecto en forma tal, que representen alteraciones fundamentales del mismo a juicio de la Dirección Facultativa, y en cualquier caso, siempre que la variación del presupuesto de ejecución, represente en más o menos, el 25% como mínimo, del importe de aquél.

B- La modificación de unidades de obra. Siempre que estas modificaciones representen variaciones, en más o en menos, del 40% como mínimo de las unidades que figuren en las mediciones del Proyecto, o más de un 50% de unidades del Proyecto modificadas.

4.- La suspensión de obra comenzada, y en todo caso, siempre por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación; en este caso, la devolución de fianza será automática.

5.- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo señalado en las condiciones particulares del Proyecto.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

- 6.- El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del Proyecto.
- 7.- El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de la obra.
- 8.- La terminación del plazo de ejecución de la obra, sin haber llegado a ésta.
- 9.- El abandono de la obra sin causa justificada.
- 10.- La mala fe en la ejecución de los contratos.

## **CAPÍTULO 4**

### **CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE TÉCNICA**

#### **4.1 GENERALIDADES**

##### **4.1.1 Forma general de ejecutar los trabajos**

La sobras se ajustarán a los Planos y a esta Memoria-Pliego de Condiciones, resolviendo cualquier discrepancia que pueda existir, por Ingenieros Directores de la Obra. Si por cualquier circunstancia fuera preciso hacer alguna variación en las obras a realizar se redactará el correspondiente proyecto reformado, el cual desde el día de su fecha, se considerará parte integrante del Proyecto primitivo, y por tanto sujeto a las mismas especificaciones de todos y cada uno de los documentos de éste en cuanto no se le opongan explícitamente.

Si el Proyecto reformado implicase variación en el Presupuesto total de las obras, se procederá con arreglo a lo que se prevé en el Artículo que trata del tipo económico de contrata.

##### **4.1.2 Replanteo**

Una vez adjudicada una obra, se procederá al replanteo general, marcando las alineaciones y rasantes de los puntos, los ejes de las zanjas y pozos, que deberán quedar perfectamente determinados por puntos invariables durante la marcha de la obra.

Del resultado del replanteo se levantarán actas, que formarán ambas partes, debiendo constar en ellas si se puede proceder de la ejecución de la obra y todas las circunstancias en que se encontraba el terreno al dar comienzo la cimentación.

##### **4.1.3 Interpretación del pliego**

Para resolver cualquier duda que pueda plantearse en cuanto a la interpretación de este Artículo de este Pliego, o de algún aspecto del mismo que no quedara suficientemente claro, deberá recurrirse en primer lugar al Pliego de Condiciones de la Edificación, compuesto por el Centro Experimental de Ingenieros y aprobado por el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros, y si fuese necesario, a los Pliegos de Condiciones aprobados por R.O. de 13 de Marzo de 1983 y R.O. de 1 de Septiembre de 1988 y a las Normas, Reglamentos y Ordenanzas Oficiales actualmente en vigor.

#### **4.1.4 Condiciones que deben satisfacer los materiales**

Todos los materiales que hayan de emplearse en estas obras habrán de reunir con todo rigor las condiciones mecánicas, físicas y químicas requeridas para cada uno, reservándose la Dirección Técnica de la Obra, el derecho de ordenar sean retirados, demolidos o reemplazados, dentro de cualquiera de las épocas de la obra o de sus plazos de garantía aquéllas que, a su parecer, perjudicasen en cualquier medida el aspecto, la seguridad o la bondad de la construcción.

#### **4.1.5 Prescripciones técnicas**

El conjunto de los diversos trabajos que deben realizarse para ultimar las condiciones requeridas el conjunto proyectado, así como los materiales y aparatos que ellos deben emplear relaciones y especificados en los títulos anteriores y posteriores y los restantes que aunque no figuren sean indispensables para la ejecución de las obras, de acuerdo y en armonía con los documentos del Proyecto redactado, cumplirán las condiciones establecidas para cada uno de dichos materiales en la primera parte, título I “Condiciones Generales de Índole Técnica del Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación”, aprobado por el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de España.

Se exceptúan de esta obligación, aquellas condiciones que por el avance de la técnica hubiera caído en desuso, y se entenderán sustituidos por las más modernas. A estos efectos se tendrán en cuenta el “Pliego Oficial de Condiciones para recepción de materiales hidráulicos” la, instrucción H.A. 88, las normas publicadas por el Instituto Eduardo Torroja, así como todas aquellas órdenes y normas de la Presidencia del Gobierno, Ministerio de la Vivienda o cualquier otro Ministerio, Departamento, etc., de carácter preceptivo o recomendado, publicadas con anterioridad a la licitación o después de ella, durante la ejecución de las obras.

#### **4.1.6 Materiales no consignados en los Pliegos**

Cualquier material que no fuera consignado ni descrito por los Pliegos, Órdenes o Normas antes mencionadas y fuese necesario utilizar, reunirá las condiciones que se requieren para su función a juicio de la Dirección Técnica de la Obra, y en este sentido el criterio de la Dirección Facultativa será totalmente inapelable.

#### **4.1.7 Responsabilidades**

Hasta que tenga lugar la recepción definitiva de las Construcciones ejecutadas, el Contratista es el único responsable de la ejecución de

los trabajos que han contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan estimar, bien sea mala ejecución o deficiente calidad de los materiales empleados, sin que le otorgue derecho alguno la circunstancia de que el Director o sus subalternos no le hayan llamado la atención ni tampoco el hecho de haber sido valoradas en las certificaciones parciales de obra.

#### **4.1.8 Procedencia de materiales y aparatos**

El Contratista podrá proveerse de materiales y aparatos a utilizar en las obras objeto de este Pliego en los puntos que le parezcan convenientes, siempre que reúnan las especificaciones técnicas exigidas por el Proyecto.

#### **4.1.9 Control**

Antes de proceder al empleo de los materiales serán examinados y aceptados por el Director, quién podrá disponer si así lo considera, todas las pruebas, análisis, ensayos, etc., hasta su definitiva aprobación. Los gastos que dichos ensayos ocasionen, serán cargo exclusivo del Contratista.

#### **4.1.10 Materiales no utilizables**

Los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra, se retirarán cuando así lo ordene el Director, acordando previamente con el Contratista su justa tasación.

#### **4.1.11 Medios auxiliares**

Serán de cuenta y riesgo del Contratista, los andamios, máquinas y demás medios auxiliares que para la ejecución de la obra se necesiten, no contrayendo el Propietario, responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente laboral que pueda ocurrir por insuficiencia de dichos medios auxiliares.

#### **4.1.12 Documentación técnica de referencia**

El adjudicatario deberá atenerse en la ejecución de la obra a las condiciones específicas de los documentos especificadas en los documentos que a continuación se expresan, respecto a condiciones de los materiales y forma de ejecutar los trabajos y ensayos a que deben ser sometidos.

1.- Hormigones, fábricas, solados, etc...

1-1 Norma del Ministerio de la Vivienda M.V. 101.1962.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

- 1-2 Pliego General de Condiciones para la recepción de Conglomerado Hidráulico en las obras de carácter Oficial del Ministerio de Obras Públicas.
  - 1-3 Pliego de Condiciones de la Edificación adoptado en las obras de la Dirección General de Arquitectura.
  - 1-4 Instrucción para el Proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado, Decreto 2.987 de 20 de Septiembre de 1.968.
  - 1-5 Norma del Ministerio de la Vivienda M.V. 201-1972 “Muros Resistentes Fábrica de Ladrillo”.
- 2.- Redes y canalización de alcantarillado y suministro de agua.
- 2-1 Pliego de Condiciones para la fabricación, transporte y montaje de tuberías de hormigón de la Asociación Técnica de Derivados de Cemento.
  - 2-2 Normas del Instituto Eduardo Torroja.
  - 2-3 Reglamento del Ministerio de Industria.
  - 2-4 Reglamentación al respecto del ayuntamiento de la localidad.
- 3.- Instalaciones.
- 3-1 Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión.
  - 3-2 Normas del Instituto Eduardo Torroja.

## **4.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE OBRA A REALIZAR**

### **4.2.1 Encofrado**

Los hormigones para hormigón visto han de ser de manera de abeto o pino, su superficie completamente plana con tabla cepillada por ambas caras, con espesor completamente uniforme y asegurando la estanqueidad de las juntas, bien empleando tablas machiembradas o colocando tiras de goma espuma autoadhesiva entre los elementos del encofrado. Los tableros empleados deberán estar encerados o barnizados y nunca aceitados para que la superficie del encofrado no manche el hormigón a ejecutar.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

Asimismo los clavos de los tableros deberán de embutirse y masillarse posteriormente.

Se tomarán todas las precauciones para que el entramado del encofrado no sufra el menos movimiento. Antes de proceder a la ejecución de los encofrados será obligatorio presentar a la Dirección de la Obra, Plano de despiece del encofrado a escala 1:10 y 1:15, según las piezas.

El desencofrado no se iniciará hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar con suficiente seguridad y sin deformaciones excesivas los esfuerzos a los que va a ser sometido durante y después del desencofrado o descimbramiento.

Los encofrados metálicos de la cimentación, así como las uniones de sus distintos elementos, poseerán una resistencia y rigidez suficiente para resistir, sin asientos ni deformaciones perjudiciales, las acciones de cualquier naturaleza que puedan producirse sobre ellos como consecuencia del proceso de hormigonado y, especialmente, bajo las presiones del hormigón fresco o los efectos del método de compactación utilizado.

Los encofrados serán suficientemente estancos para impedir pérdidas apreciables de lechada, dado el modo de compactación previsto.

Las superficies interiores de los encofrados y moldes aparecerán limpias en el momento del hormigonado. Para facilitar esta limpieza en los fondos de los pilares y muros, deberán disponerse aperturas provisionales en la parte inferior de los encofrados correspondientes.

Cuando sea necesario, y con el fin de evitar la formación de fisuras en los parámetros de las piezas, se adoptarán las medidas oportunas para que los encofrados y moldes no impidan la libre retracción del hormigón.

Si se utilizan productos para facilitar el desencofrado o desmoldeo de las piezas, dichos productos no deben dejar rastros en los parámetros de hormigón, ni deslizar por las superficies verticales o inclinadas de los encofrados o moldes. Por otra parte, no deberán impedir la ulterior aplicación de revestimientos ni la posible construcción de juntas de hormigonado, especialmente cuando se trate de elementos que, posteriormente, vayan a unirse entre sí, para trabajar solidariamente. Como consecuencia, el empleo de estos productos deberá ser expresamente autorizado, en cada caso, por el Director de Obra.

#### **4.2.2 Hormigones**

La composición y el aspecto del hormigón se definirá de antemano mediante muestras y deberá tener la resistencia característica asignada en los documentos del Proyecto. Durante la construcción deberá de mantenerse el tipo de cemento y el de los áridos, pues cualquier variación modificaría el tono del hormigón.

Deberá estar exento de coqueas y resaltantes que afeen su aspecto, demoliendo y volviendo a rehacer aquellos elementos que no reúnan las condiciones requeridas a juicio de la Dirección Facultativa.

En la ejecución deberá cuidarse la forma de las juntas de hormigonado de una manera racional de forma que no afecten el aspecto del conjunto una vez desencofrado el elemento.

La altura libre del vertido de hormigón no será superior a 4 m, debiendo procurarse los medios necesarios, de acuerdo con la Dirección Facultativa para los casos especiales.

Se vibrará la masa de hormigón, una vez vertida en sus encofrados, por medios adecuados de forma que se obtenga una capacidad constante y regular de la masa sin que llegue a producirse segregación de los componentes.

El proceso de compactación deberá prolongarse hasta que refluya la pasta a la superficie. Deberá procurarse el curado del hormigón, en especial en épocas de fuerte calor y hasta la recepción de la obra el Adjudicatario vendrá obligado a proteger los bordes y aristas contra toda acción mecánica.

#### **4.2.3 Estructuras metálicas**

Se realizará en su totalidad soldada eléctricamente, mediante soldadura por arco, salvo en los casos en que sea necesario una presentación atornillada por razones de montaje.

Se efectuará una comprobación con arreglo a la instrucción EM-62 del LETCC y a la norma UNE-14035.

La protección antioxidante se realizará mediante el pintado con una mano de mimio de plomo y el acabado en una mano de esmalte.

#### **4.2.4 Soleras del hormigón**

Sobre el encachado de piedra partida, perfectamente apisonada, se construirán las soleras de hormigón monolíticas, con el espesor indicado en los documentos del Proyecto, impermeabilizándose con material bituminoso las juntas de construcción (con material tipo Sikaflex u otro análogo).

Se realizarán pastillas de 25 m<sup>2</sup> de superficie máxima.

Sobre este pavimento se embaldosará con terrazo o se aplicará el pavimento definitivo según el caso, de acuerdo con lo definido en los documentos del proyecto.

Las soleras industriales se realizarán mallazos reticulares y terminación con pavimentos industriales, según las especificaciones del Proyecto.

#### **4.2.5 Recomendaciones finales del Contratista**

El Contratista cuidará de que no sean utilizados los aparatos sanitarios por los operarios, no depositen paquetes o restos de comida en los rincones, vierteaguas, etc., y se mantenga siempre la obra en completa limpieza. Pondrá especial diligencia para que este apartado sea cumplido verdaderamente.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

**2. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES**

## **CAPÍTULO 1**

### **REGLAMENTOS Y NORMAS DE APLICACIÓN**

#### **1.1 DISPOSICIONES LEGALES DE APLICACIÓN**

Serán de aplicación las siguientes normas y disposiciones técnicas:

- Ley 21/1992, de 16 de Julio, de Industria.
- Real Decreto 2135/1980, de 26 de Septiembre, del Ministerio de Industria y Energía, sobre la liberalización en materia de instalación, ampliación y traslado industriales.
- Orden del 19 de Diciembre de 1980 del Ministerio de Industria y Energía, que desarrolla el R.D. anterior.
- Real Decreto 1523/1999, de 1 de Octubre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Real Decreto 769/1999, de 7 de Mayo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión y se modifica el Real Decreto 1244/1979, de 4 de Abril, que aprobó el Reglamento de aparatos a presión.
- Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de transformación y sus ITC correspondientes.
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamentación de seguridad en las máquinas.
- Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios y las correspondientes normas UNE incluidas en el mismo.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

- Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Real Decreto 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto Legislativo 1032/1986.
- Decreto 292/1995, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Real Decreto- Ley 9/2000, de 6 de octubre, de modificación del R.D. 1302/1986 de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalizaciones de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 349/2003, de 21 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, y por el que se amplía su ámbito de aplicación a los agentes mutágenos.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de los equipos de protección individual.

- Real Decreto 1215/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los que trabajadores de los equipos de trabajo.
- Instrucción EHE de hormigón.
- Estructura de acero en la edificación NBE-EA-95.

## **1.2 CÓDIGOS DE CONSTRUCCIÓN DE LOS EQUIPOS**

Se aplicarán los siguientes códigos de construcción:

- Código ASME: "Boiler and Pressure Vessel Code", Sección VIII, División I.
- Código ASME: "Materials", Sección II, Parte B, Nonferrous Material Specifications.
- Código TEMA: "Tubular Exchanger Manufactures Association".
- API Standard 660 "Cambiadores de carcasa y tubos para servicios generales de refinería".
- ANSI B-16.5: "Pipe Flanges and Flanged Fitting".
- Código ANSI B-31.3: "Tuberías en Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo".
- ASTM: "American Society for testing and Material".
- Norma API 650: "Tanques de acero soldado para almacenaje de petróleo".
- Normas ISA: "Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy Duty Chemicals and Industry Services".
- API 6.10: "Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy Duty Chemicals and Industry Services".

## **1.3 ESPECIFICACIONES Y PROCEDIEMIENTOS**

Serán de aplicación todas las especificaciones, estándares y procedimientos de la Refinería, relativas a la fabricación de equipos y al diseño y ejecución de la construcción.

Entre los procedimientos cabe destacar los tres siguientes:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°2: PLIEGO DE CONDICIONES**

---

- PR-104-00 Seguridad en reformas, cambios y operaciones especiales.
- RP-152-01 Condiciones Técnicas. Prevención de accidentes en la l. refino.
- PR-194-02 Coordinación temas medioambientales en proyectos de inversión.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

**DOCUMENTO N° 3**

**ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

## **ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS**

### **CAPÍTULO 1**

#### **OBJETO DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS**

##### **1.1 OBJETO DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS**

El objeto de este Estudio de Seguridad y Salud en las Obras es establecer las directrices para la prevención de riesgos laborales durante el desarrollo de las obras correspondientes a la columna de rectificación. Asimismo, se analizarán y definirán los preceptivos servicios de higiene y bienestar de los que deben disponer los trabajadores durante el desarrollo de la obra.

Estas directrices servirán para que las empresas constructoras elaboren el Plan de Seguridad y Salud, en función de su plan de obra, medios humanos, maquinaria, medios auxiliares, etc., facilitando su desarrollo bajo el control del Coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, integrado en la Dirección Facultativa. Todo ello, de acuerdo con el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

## **CAPÍTULO 2**

### **CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS**

#### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS**

Las obras objeto del presente Estudio consisten en la construcción de una columna de destilación de ácido fluorhídrico en una refinería, con capacidad de diseño de 18.27 kg/h.

##### **2.1.1 Descripción de la parcela**

La Refinería se encuentra situada en el término municipal de San Roque (Cádiz), localizado dentro del mismo, en el Polígono de Guadarranque, en las proximidades de Puente Mayorga.

##### **2.1.2 Actuaciones previas**

Las actuaciones previas dentro del Proyecto de la instalación de la torre de destilación, son las siguientes:

###### **Instalación de equipos**

###### **a) Recipientes, torres y reactores**

V-1 columna de destilación.

###### **b) Intercambiadores**

E-1 Precalentador de carga.

E-2 Condensador de columna.

E-3 Rehervidor de la columna.

E-4 Enfriador de salida de cola

###### **c) Bombas**

P-1 Bomba de alimentación.

P-2 Bomba de cabeza y reflujo.

### **Obra Civil y Estructuras**

Las cimentaciones de la columna y estructura serán profundas a base de pilotes existentes en el área de implantación, con las modificaciones necesarias en los encapados para adaptarlos a la nueva configuración.

La estructura principal será de hormigón antisurfactante y la estructura secundaria para apoyo de equipos, plataformas y escaleras de acceso metálica.

El conjunto de tuberías y equipos ligeros situados a nivel del suelo se apoyarán sobre cimentaciones superficiales, dimensionadas para minimizar la transmisión de tensiones al terreno.

### **Instalaciones eléctricas**

La instalación eléctrica de la nueva unidad se integrará en la existente zona de implantación del proyecto.

Se equiparán las reservas disponibles para la alimentación de las bombas.

El alumbrado adicional se alimentará desde las reservas disponibles de los cuadros existentes en la Refinería.

## **2.2 PLAZO DE EJECUCIÓN**

El plazo de ejecución previsto es de 9 meses.

Este plazo incluye todos los trabajos comprendidos entre el comienzo de obra civil hasta la finalización del montaje de instrumentos y asilamiento, no contemplando las actividades de precomisado y puesta en marcha, por no ser objeto del presente documento.

## **2.3 PERSONAL PREVISTO**

Las previsiones de carga del personal durante los trabajos son las siguientes:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

**Tabla 3.1: N° operarios y duración de las obras**

FASE	OPERARIOS		DURACIÓN (meses)
	N° medio	N° punta	
Obra Civil	15	20	3
Estructura Metálica	4	6	1
Montaje de Equipos	6	10	1,5
Montaje de tuberías	9	12	3
Soldadores	8	13	2
Electricidad e instrumentación	6	10	2
Aislamiento/ pintura	5	10	1,5
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	

## **2.4 INTERFERENCIAS Y SERVICIOS AFECTADOS**

Los trabajos se desarrollarán encontrándose el resto de las unidades de la Refinería en operación, de manera que se encontrará con la problemática asociada al trabajo en un entorno industrial en actividad.

## **2.5 UNIDADES DE LAS OBRAS**

A efectos del presente estudio, se han identificado las siguientes fases de obra representativas dentro de las actuaciones correspondientes al Proyecto de la Columna de destilación:

- Obra Civil.
- Instalaciones y montaje mecánico de equipos y líneas.
- Trabajos en el interior de equipos.
- Montaje eléctrico y de instrumentación.
- Trabajos de pintura, aislamiento e ignifugado.
- Pruebas.

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS DE RIESGOS LABORALES Y MEDIDAS PREVENTIVAS**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

A la hora de evaluar las medidas preventivas precisas para abordar el estudio de riesgos el estudio de riesgos laborales existente en la planta de proceso objeto de diseño del presente proyecto fin de carrera, es necesario proceder según la naturaleza del riesgo en cuestión. Por tanto, de acuerdo con lo expuesto, es necesario evaluar:

- Las medidas técnicas necesarias para aquellos riesgos laborales que puedan ser evitados.
- Las medidas preventivas y protecciones técnicas tendentes a controles y reducir aquellos riesgos laborales que no pueden eliminarse.
- Se han definido las medidas a adoptar en relación con la obra en su conjunto, bajo los siguientes epígrafes:
  - Planificación de la prevención en el proceso constructivo.
  - Delimitación del cajón de obra (Accesos y permanencia en la obra; Señalización; Zonas de trabajo; circulación y acopios).
  - Instalaciones eléctricas de obra.
  - Instalaciones provisionales (Oficina técnica; Instalaciones sanitarias; servicios comunes).
  - Medidas contra incendios en la obra.
  - Servicios afectados.
- Se han identificado las frases de obra y unidades de obra que pueden definirse para cada una de éstas:
  - Obra Civil que incluye:

- Demolición de pavimentos y cimentaciones existentes.
- Trabajos de excavación, relleno, compactación y pavimentación.
- Trabajos de encofrado, ferrallado y hormigonado.
  
- Construcción de estructuras.
  
- Instalación y montaje mecánico de equipos y líneas, que incluye:
  - Trabajos de soldadura.
  - Trabajos de altura.
  - Transporte mecánico de cargas.
  - Prefabricación de tuberías y elementos mecánicos.
  - Montaje de prefabricados.
  
- Trabajos en el interior de equipos.
  
- Montaje eléctrico y de instrumentación.
  
- Trabajos de pintura, aislamiento e ignifugado.
  
- Pruebas.
  
- Se han realizado un tratamiento similar para los principales vehículos industriales e instalaciones en las obras:
  - Vehículos industriales, dentro de los que se han identificado:
    - Retroexcavadora y pala cargadora.
    - Camión de carga.
    - Dúmper.
    - Rodillo vibrante.
    - Camión hormigonera.

- Grúa autopropulsada.
- Máquina de bombeo de hormigón.

De esta manera se identifican no solo los equipos de trabajo asociados a cada fase de obra o vehículo, sino también los principales riesgos asociados a cada uno de ellos, resultando de especial relevancia el apartado de:

- Equipos de protección individual y colectiva que hayan de utilizarse, con objeto de preverlos y tenerlos disponibles con anterioridad al comienzo de cada fase de obra.
- Medidas preventivas, esto es, principales recomendaciones aplicables a los trabajadores, que conforman los principales aspectos sobre los que se debe recaer el preceptivo deber de formación e información a los trabajadores, así como la labor de vigilancia y control durante el desarrollo de la obra.

### **3.2 PLANIFICACIÓN DE LA PREVENCIÓN EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO.**

#### **A) Aspectos generales.**

En las diferentes fases de la construcción de la obra, no sólo hay que organizar los medios humanos y materiales para el correcto funcionamiento del proceso constructivo, sino que además es necesario que no se de comienzo a ninguna tarea hasta que no se hayan previamente organizado y previsto las medidas de prevención necesarias para evitar los accidentes o los daños para la salud que pudieran ocurrir durante dicha labor constructiva.

La planificación de la prevención comprende actuaciones a realizar tanto por la propiedad y por el Coordinador de Seguridad y Salud en la ejecución, como por todas las partes intervinientes en la misma (Contratas, Subcontratas y trabajadores autónomos) desde la fase de proyecto hasta la finalización de la obra, así como los trabajadores y responsables de las Unidades afectadas.

#### **B) Tramitaciones relativas a la ejecución de las obras.**

Previo al inicio de las obras:

- La propiedad deberá designar al Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de las obras y cumplimentar el Aviso Previo, remitiéndolo a la Delegación Provincial correspondiente.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- El Coordinador de Seguridad y Salud:
  - Solicitará la elaboración del Plan de Seguridad y Salud a cada empresa contratista con anterioridad a su participación en la obra, aprobándolo cuando se ajuste o mejore las previsiones contenidas en el presente Estudio de Seguridad y Salud.
  - Se encargara de que se realice la Comunicación de Apertura previa y reanudación de actividades en los Centros de Trabajo, dentro de los treinta días siguientes al inicio de las obras por cuadruplicado ejemplar y adjuntando el Plan de Seguridad y Salud al Coordinador de Seguridad y Salud de la Delegación correspondiente.
  - Solicitará el libro de incidencias a su colegio profesional, acompañado del documento de aprobación del Plan de Seguridad y Salud.
- El Coordinador de Seguridad y Salud, asimismo, y previo a la participación de cada empresa en la obra, solicitará:
  - La identidad del Responsable de Seguridad de la misma, así como los representantes de los trabajadores y trabajadores encargados de emergencias.
  - La identidad de cada subcontrata y trabajadores autónomos contratados por esta.
- Asimismo, se encargará de que se traslade la información y formación acerca del procedimiento específico de información e investigación de accidentes e incidentes, así como acordando el control de accesos a implantar en la obra, periodicidad y composición de cuadrillas de seguridad, protocolos de asistencia médica sanitaria y de medios de emergencia y evacuación.
- Deberá requerir al Responsable de Seguridad y Salud de cada empresa que todos los trabajadores a su cargo cuenten con la Vigilancia de la Salud, Formación, Información, equipo de Protección Colectiva e Individual Preceptivos.

### **C) Obligaciones relativas a la coordinación**

Previo a la ejecución y durante toda la obra deberán de establecerse mecanismos adecuados de cooperación y coordinación entre contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos. A tal fin, el Coordinador de Seguridad y Salud del Dpto de Construcción de la

Refinería mantendrá una reunión previa al comienzo de las obras, con objeto de definir:

- Responsabilidades y funciones de cada uno de ellos respecto a las actividades que se realicen en la obra.
- Mecanismos de periodicidad de las comunicaciones que se establecerán entre ellos, a fin de lograr un satisfactorio nivel de información por ambas partes y la correcta coordinación de sus actuaciones.

Deberá planificarse de forma adecuada el acopio, la evacuación y el transporte de materiales, escombros y residuos, de manera que los trabajadores no estén expuestos a riesgos intolerables para la seguridad o la salud y estén debidamente protegidos contar infecciones u otros factores derivados de tales operaciones.

Todos los trabajadores que intervengan en la obra deberán tener la capacitación y cualificación adecuadas a su categoría profesional y a los trabajos o actividades que hayan de desarrollar.

No deberá iniciarse ningún trabajo en la obra sin que se hayan establecido las medidas de control con antelación por parte del Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de las obras que han sido dispuestas las protecciones colectivas e individuales necesarias y que han sido adoptadas las medidas preventivas establecidas en el presente Estudio, o las alternativas equivalentes planteadas en el Plan de Seguridad y Salud que se apruebe.

Una vez dispuestas las protecciones colectivas e individuales y las medidas de prevención necesarias, habrán de comprobarse periódicamente y deberán mantenerse y conservarse adecuadamente durante todo el tiempo que hayan de permanecer en la obra.

Asimismo, deberán establecerse los mecanismos adecuados de coordinación e información de actividades críticas por la gravedad de los riesgos que comportan.

#### **D) Aspectos relativos generales.**

Se deberán adaptar el trabajo a las condiciones de la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como en la elección de los equipos y los métodos de trabajo y de producción, con vistas a atenuar el trabajo monótono y el trabajo repetitivo y a reducir sus efectos en la salud.

En los supuestos que, por las características personales del trabajador, las condiciones de trabajo de su puesto habitual pudieran acarrear daños para su salud, aún habiéndose adoptado las medidas preventivas necesarias, el trabajador deberá ser destinado a un puesto de trabajo compatible con su estado de salud, siempre que el mismo existiera en la obra, conforme a las reglas de movilidad funcional establecidas en el Estatuto de los Trabajadores.

Los puestos de trabajo deberán estar acondicionados, en la medida de lo posible, de tal manera que los trabajadores:

- Estén protegidos contra atropamientos, caídas de objetos, resbalones y caídas.
- No estén expuestos a niveles sonoros intolerables ni a factores exteriores nocivos.
- Puedan conocer la situación de riesgo grave e inminente, pudiendo abandonar rápidamente su puesto de trabajo o puedan recibir auxilio inmediatamente.
- No estén expuestos a interacciones peligrosas o incompatibles con cualquier otro tipo de trabajo que se realice en la obra o en las proximidades.

Para la asignación de labores nocturnas y trabajos extraordinarios se seleccionarán los trabajadores según su capacidad física y previa determinación de los límites generales y particulares.

### **3.3 MEDIDAS CONTRA INCENDIOS Y DE EMERGENCIA Y EVACUACIÓN**

#### **3.3.1 Protección contra incendios**

En todo el recinto de la planta y zona de obras está prohibido fumar, con la única salvedad de los lugares que específicamente se designen para ello, los cuales estarán señalados. Tampoco se permite la realización de ningún fuego que no sea parte del propio proceso de trabajo, tal como fogatas para calentarse, quema de desperdicios, etc.

Los combustibles líquidos y lubricantes estarán en un lugar aislado, vigilado y convenientemente ventilado, con todos los recipientes cerrados y no estarán en contacto con equipos y canalizaciones eléctricas, debiendo quedar resguardados de la acción directa del sol. Asimismo, acompañarán de las preceptivas Fichas de Seguridad.

Todos los desechos, virutas y desperdicios que produzcan los trabajos han de ser apartados con regularidad, dejando limpios diariamente los alrededores de las máquinas.

Deben colocarse extintores en cada uno de los siguientes puntos:

- En o juntos a las casetas provisionales dedicadas a oficina técnica, comedor, vestuario, y almacén.
- En zonas de acopio de sustancias inflamables (combustibles o aceites lubricantes). En particular, dos de 6 kg (mínimo) en cada zona destinada a almacén de botellas de gases para soldadura.
- En un radio inferior a 15 m de zonas donde se acometan trabajos de soldadura o trabajos en caliente, en una localización permanentemente accesible por los trabajadores, así como en zonas donde se utilicen materiales inflamables (pintura, uso de disolventes, etc.)
- En cada uno de los vehículos industriales, y en un radio inferior a 15 m de máquinas que funcionen con combustible.

Se colocarán señales visuales en cada una de las ubicaciones de estos extintores, que serán de fácil acceso por parte del personal.

Todo el personal de obra deberá tener nociones básicas de manejo de medios de extinción.

### **3.4 RIESGOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS DE LAS FASES Y UNIDADES DE OBRA**

#### **3.4.1 Obra civil**

Dentro de los trabajos relativos a obra civil, se encuentran:

- A. Demolición de pavimentos y cimentaciones de existentes.
- B. Cimentaciones de equipos y estructuras.
- C. Construcción/reposición de redes enterradas.
- D. Reconstrucción de pavimentos.

Se van a considerar los siguientes apartados dentro de los trabajos asociados a Obra Civil:

- Trabajos de demolición, excavación, relleno, compactación y pavimentación.

- Trabajos de encofrado, ferrallado y hormigonado.
- Construcción de estructuras.

#### **3.4.1.1 Trabajos de demolición, excavación, relleno, compactación y pavimentación.**

En esta fase de la obra se tienen en cuenta las precauciones y condiciones mínimas expuestas en el “Procedimiento para trabajos de excavaciones (PR-120.01)”. La realización de un trabajo de excavación requiere la obtención de un permiso de trabajo.

Las excavaciones de 1,5 metros o más de profundidad estarán consideradas como un espacio confinado donde existe la posibilidad de acumulación de materiales tóxicos e inflamables y, por lo tanto, se deberá cumplir también el “Procedimiento específico para la autorización de espacios confinados (PRE-422.02)”.

##### Descripción de los trabajos

Las cimentaciones de la columna y estructura serán profundas a base de pilotes existentes en el área de implantación, con las modificaciones necesarias en los encepados para adoptarlos a la nueva configuración.

##### Riesgos más comunes:

- Caídas de personas a distinto nivel al interior de excavaciones/desde vehículos.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Caídas de objetos por desplome o derrumbamiento.
- Choques contra objetos inmóviles.
- Exposición a vapores tóxicos e inflamables.
- Parada de equipos críticos por rotura de cables de instrumentación que van enterrados.
- Atrapamiento por vuelvo de máquinas o vehículos.
- Exposición a temperaturas ambientales externas.
- Contactos eléctricos directos/indirectos.
- Exposición a polvos.
- Atropellos o golpes con vehículos.
- Exposición a ruidos y vibraciones.
- Proyección de fragmentos o partículas.
- Atropamiento entre objetos, por partes móviles de maquinaria sin resguardo.
- Sobreesfuerzo, lumbalgias por posturas inadecuadas o transporte de cargas pesadas.

- Vibraciones (conducción de vehículos y uso de martillo neumático).
- Desprendimiento de tierras y/u rocas por variación de humedad del terreno.
- Accidentes durante la conducción o el manejo de los vehículos.
- Quemaduras.
- Rotura de manguera bajo presión.

#### Equipos de protección individual

- Cascos de polietileno.
- Botas de seguridad (terrenos secos)/ botas de agua con puntera de acero reforzada y suela antiperforaciones (terrenos con presencia de agua).
- Ropa de trabajo adecuada.
- Guantes de protección (trabajo general).
- Cinturones lumbares (trabajos que impliquen sobreesfuerzos o fuertes vibraciones).
- Protección auditiva.
- Mascarilla desechable antipolvo.
- Petos reflectantes (trabajos próximos a vehículos industriales).
- Muñequeras (martillo neumático)
- Gafas antiproyecciones (martillo neumático).

#### Medidas preventivas:

- Antes de realizar excavaciones, asegurarse del trazado de líneas de servicio.
- En caso de encontrarse con una línea eléctrica enterrada no prevista inicialmente, suspender los trabajos de excavación en las proximidades de la línea, descubrir la línea sin deteriorarla y con suma precaución,, proteger la línea para evitar su deterioro e impedir el acceso del personal a la zona e informar a los responsables de la unidad.
- Cuando los trabajos de excavación se aproximen al área donde se encuentren las instalaciones subterráneas, la localización exacta deberá ser determinada por sondeos o excavación manual cuidadosa.
- Para la apertura de zanjas o excavaciones en presencia de cables eléctricos u otros servicios, se permitirá la utilización de martillo neumático rompedor en zonas pavimentadas, hasta la rotura del pavimento. El resto de la excavación se realizará manualmente.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Se mantendrá una distancia superior a 2 m del borde de las zanjas para la circulación o estacionamiento de vehículos y acopio de materiales, señalizándolo mediante balizamiento o tope.
- Los bordes de las excavaciones de profundidad superior a 1 m, se protegerán mediante barandilla de 91 cm de altura, listón intermedio y rodapié. En cualquier otro caso, se instalará cinta de balizamiento soportada por puntales de madera, se mantendrá iluminados durante la noche.
- Para acceder al fondo de toda excavación de profundidad superior a 60 cm, se dispondrán escaleras con barandilla o escalas cada 30 metros lineales de zanja, como máximo.
- En caso de que la profundidad de la zanja sea superior a 10 m, se instalarán sobre las mismas pasarelas, cada 10 m lineales.
- Las paredes laterales de todas las excavaciones de metro y medio de profundidad o mayores, estarán entibadas a menos que se construyan con taludes cuya inclinación determinará la persona responsable asignada y que nunca sea superior a 60° medidos con la horizontal.
- En excavaciones localizadas de profundidad superior a medio metro, siempre que haya operarios en su interior, se mantendrá uno siempre a retén en el exterior que podrá actuar como ayudante de trabajo y dará la alarma en caso de producirse alguna emergencia.
- Se detendrá cualquier trabajo al pie de un talud, si no reúne las debidas condiciones de estabilidad.
- Deben prohibirse los trabajos en las proximidades de elementos/ estructuras, etc., cuya estabilidad no quede garantizada antes del inicio de las tareas.
- Se prohíbe permanecer o trabajar al pie de un frente de excavación recientemente abierto, antes de haber procedido a su saneo.
- Se prohíbe trabajar dentro del radio de acción del brazo de una maquinaria para el movimiento de tierras.
- En zonas de producción de polvo, se regará para evitarlo siempre que sea posible. Asimismo para las cajas de camiones.

- En trabajos nocturnos la iluminación será suficiente en todas las partes del tajo.
- En los movimientos de explanación y excavación, no se acumularán cantidades de tierra que puedan provocar derrumbamientos.
- Cuando se trabaje simultáneamente en el interior de las excavaciones, la distancia mínima entre dos trabajadores será de 1,5 m.
- Se instalará en el borde de los terraplenes de vertido, sólidos topes de limitación de recorrido para el vertido en retroceso.
- Se prohíbe la permanencia de personas en un radio no inferior a los 5 m entorno a las compactadoras y apisonadoras en funcionamiento.
- Las maniobras de compactación serán dirigidas en todo momento por otro operario.
- Delimitar la zona de actuación del rodillo vibrante.
- Adoptar las normas preventivas en el manejo de:
  - Vehículos Industriales.
  - Maquinaria.

### **3.4.1.2 Trabajos de encofrado, ferrallado y hormigonado (Cimentaciones y estructuras de hormigón).**

#### **3.4.1.2.1 Encofrado y desencofrado.**

##### Descripción de los trabajos.

Ejecución de encofrado recuperable de madera con entibación mediante puntales metálicos, aplicación de desencofrantes y posterior desencofrado de la misma.

##### Riesgos más comunes.

- Desprendimiento por mal apilado de la madera.
- Golpes durante la clavazón/ golpes con objetos.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Vuelcos de los paquetes de madera.
- Caídas de personas a mismo/distinto nivel.
- Proyección de serrín durante el corte de la madera.
- Ruido.
- Pisada sobre objetos punzantes.
- Electrocuación por inundación de equipos y protección eléctricas.
- Sobreesfuerzos por posturas inadecuadas/ manejo de cargas pesadas.
- Dermatitis (en caso de contacto con cemento).
- Riesgos derivados de los trabajos en condiciones meteorológicas derivadas.
- Intoxicación, inundación, dermatitis a causa del producto desencofrante.

Equipos de protección individual necesarios

- casco de polietileno.
- Botas de seguridad (uso general) o botas de goma o de PVC de seguridad con plantilla metálica (operarios que trabajen en superficies mojadas).
- Guantes de cuero (uso general). Guantes bien ajustados con protección anticorte (colocación de clavos/ operaciones de corte).
- Guantes de seguridad antiproyecciones (operaciones de corte o cepillado).
- Protectores auditivos y mascarillas aptas para polvo (operaciones de corte).
- Guantes de PVC o látex (manejo de cemento).
- Ropa de trabajo/trajes para tiempo lluvioso.
- Guantes (manejo de desencofrantes).

Medidas preventivas.

- Todo personal encofrador, deberá tener cualificación como carpintero encofrador.
- Se prohíbe la permanencia de operaciones en la zona de batida de cargas durante las operaciones de izado de tablonés.
- Se observará el orden y limpieza durante la ejecución de los trabajos.
- Los clavos o puntas existentes en la manera usada, se extraerán y se eliminarán mediante un barrido y apilado y se eliminarán en lugar conocido para su posterior retirada.
- Una vez concluido un determinado tajo, se limpiará eliminando todo el material sobrante.
- Se instalarán señales de:
  - Uso obligatorio de casco.

- Uso obligatorio de botas de seguridad.
- Uso obligatorio de guantes.
- Peligro de caídas de objetos.
  
- Se tratará de proteger y señalizar los bordes de las excavaciones a una distancia que impida que la maquinaria pesada se aproxime en exceso.
  
- La aproximación de los trabajadores a bordes sin proteger, se realizará con ayuda de dispositivos anticaídas (cinturones), amarradotes a puntos fuertes.
  
- El desencofrado se realizará siempre con ayuda de uñas metálicas desde el lado que no pueda desprenderse la madera, es decir, desde el ya desencofrado. Se vigilará que en el momento de quitar el apuntalamiento nadie permanezca bajo la zona de caída del encofrado.
  
- Se prohíbe utilizar elementos verticales de ferrallas como escaleras.
  
- Se suspenderán los trabajos ante fuertes lluvias o cuando el viento o ráfagas de viento sean de 60 km/h o superiores.
  
- Seguir las medidas preventivas sobre:
  - Manipulación manual de cargas.
  - Manutención mecánica de cargas.
  - Manejo de máquinas-herramientas.

#### **3.4.1.2.2                    Trabajos de ferrallado.**

##### Descripción de los trabajos.

Acopio, elaboración, (corte, doblado, montaje) y puesta en obra de la ferralla necesaria para el armado de losas, zapatas y encepados de cimentación.

##### Riesgos más comunes.

- Cortes y heridas en las manos y pies por manejo de redondos de acero.
- Aplastamiento durante las operaciones de carga y descarga de paquetes o redondos de ferralla y durante el montaje de armaduras.
- Tropezos, torceduras y costes al caminar sobre armaduras.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Riesgos derivados de roturas de aceros en las fases de estirado y doblado del mismo.
- Sobreesfuerzos (posturas forzadas/manipulación manual de cargas).
- Caídas al mismo/distinto nivel.
- Golpes por caídas de cargas suspendidas.
- Electrocutión.

Equipos de protección individual.

- Casco de polietileno.
- Guantes de cuero.
- Botas de seguridad (uso general) o botas de goma o PVC con plantillas de acero (trabajos en superficies mojadas).
- Ropa de trabajo.
- Cinturón porta-herramientas.
- Trajes para tiempo lluvioso, en caso de condiciones meteorológicas adversas.

Medidas preventivas.

- Habilitar en la obra un espacio dedicado al acopio clasificado de los redondos próximos al lugar del montaje de armaduras. Los paquetes de redondos se almacenarán en posición horizontal sobre durmientes de madera, capa a capa evitándose alturas de pilas mayores de 1,5 m.
- La ferralla se almacenará en los lugares designados a tal efecto separado del lugar del montaje.
- El transporte aéreo de paquetes de armadura mediante goma se ejecutará suspendiendo la carga en dos puntos separados mediante eslingas. Queda terminantemente prohibido izar o manejar los paquetes de ferralla sujetándolos por los alambres de atado.
- Los desperdicios o recortes de hierro y acero, se recogerán acopiándose en lugar determinado para su posterior carga y transporte al vertedero.
- Se efectuará un barrido diario de puntas, alambres y recortes de ferralla en torno al banco de trabajo.
- Las maniobras de colocación de ferralla montada se guiarán mediante un equipo de tres hombres, dos guiarán mediante soga en dos direcciones la pieza a situar, siguiendo instrucciones de un tercero que procede manualmente a efectuar las correcciones de aplomado.

- Seguir las instrucciones de fabricante en el uso de la máquina dobladora de ferralla.
- Colocar pasarelas de menos de 60 cm de ancho, en caso de tener que caminar sobre la ferralla, para evitar caídas o cortes.

### **3.4.1.2.3 Hormigonado.**

#### Descripción de los trabajos.

Hormigonado de cimentaciones mediante bombeo con hormigón de consistencia plástica, vibrado del mismo y curado una vez fraguado.

#### Riesgos más comunes.

- Tropezos y torceduras al caminar sobre armaduras.
- Golpes por herramientas o por objetos en general.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Sobreesfuerzos.
- Atrapamiento.
- Corrimiento de tierras.
- Electrocuación.
- Caídas de objetos.
- Vibraciones por manejo de agujas vibrantes inadecuadas.
- Ruido ambiental.
- Dermatitis por contacto con el cemento.
- Proyección de gotas de hormigón.
- Los derivados del trabajo en condiciones meteorológicas extremas. Los derivados del trabajo sobre superficies húmedas.
- Caída de grúa. Salpicaduras de hormigón en ojos.
- Caída al mismo o distinto nivel.
- Atropello con vehículos.
- Golpes por sacudidas de la manguera de hormigonado.

#### Equipos de protección individual.

- Casco de polietileno.
- Botas de seguridad.
- Guantes de neopreno para hormigones.
- Trajes para tiempo lluvioso.
- Guantes de cuero.
- Gafas antiproyecciones (operarios de vertido de hormigón).

Medidas preventivas.

- Recordar la necesidad de mantener el orden en el acopio de materiales y la limpieza de los tajos de madera de clavos y residuos materiales. Para ello, es recomendable destinar a un trabajador específicamente por esta labor.
- Los hierros en espera serán protegidos adecuadamente para evitar caída de personas sobre ellos. Además, se protegerán todas las esperas de acero con elementos resistentes a la rotura en caso de impacto.
- El manejo del vibrador se hará siempre desde una posición estable sobre una base o plataforma de trabajo segura.
- Cuando el trabajo se desarrolle en una zona con riesgo de caída de altura se dispondrá de la protección colectiva adecuada y, en su defecto, se hará uso correcto del cinturón de seguridad de caída homologado.
- El operario que maneje el vibrador hará uso de botas aislante de goma, de caña alta y suelas antideslizantes.
- Nunca se deberá acceder a los órganos de origen eléctrico de alimentación con las manos mojadas o húmedas.
- Terminado el trabajo se limpiará el vibrador de materiales adheridas, previamente desconectado de la red.
- El desembozado de los conductos de bombeo de hormigón se realizará en ausencia de personal ajeno a dicha operación y utilizando la cesta de recogida de la bola de desemboce.
- No se realizará el hormigonado sin que los responsables técnicos hayan verificado las condiciones de los encofrados.
- Cuando se utilicen bombas de hormigonado, las mangueras de salida se sujetarán con cuerdas y no directamente, para evitar posibles sacudidas.
- El cubo o cazo de vertido de hormigón deberá ir rotulado con el peso máximo que alcanza, cuando se utiliza lleno hasta su capacidad nominal.
- Los encofrados y apuntalamientos serán los adecuados para resistir las cargas que hayan de soportar. Respetar los tiempos mínimos para realizar el desencofrado.
- Relevase y beber agua periódicamente, durante las tareas de hormigonado que requieran grandes esfuerzos para los trabajadores. Usar gafas antisalpicaduras durante la operación de vertido del hormigón. Disponer o localizar, en todo caso, fuentes lavaojos.
- En los trabajos de hormigonado se utilizará preferentemente maquinaria, herramientas y equipos de accionamiento mecánico o neumático. Los accionados eléctricamente se alimentarán con tensión de seguridad (24V) o de ser técnicamente imposible, se protegerán con interruptores diferenciales con una sensibilidad de al menos 30mA.
- Seguir las normas indicadas sobre:

- Manipulación manual de cargas.
- Manutención mecánica de cargas.
- Uso de vehículos industriales.

### **3.4.1.3 Construcción de estructuras**

#### Descripción de trabajos.

Puesta en obra, colocación y unión de perfiles de acero. Se prevé que la estructura sea soldada preferiblemente en fábrica, siendo atornillada y prearmada en suelo, de forma que los trabajos de soldadura a realizar en planta se conentren durante un único periodo.

#### Riesgos más comunes.

- Aprisionamiento.
- Electrocutión.
- Proyecciones en los ojos.
- Radiaciones.
- Incendios.
- Explosiones.
- Golpes con objetos.
- Caídas al mismo nivel.
- Caídas a distinto nivel.
- Caídas de objetos en manipulación.
- Daño ocular.
- Caída o vuelco de grúa.
- Cortes.
- Aprisionamientos.
- Lumbalgias.
- Derrumbe de estructura.
- Vuelco de acopio de perfilaría.

#### Equipos de protección individual.

- Arnés de seguridad.
- Gafas de soldador o pantalla de soldador incorporada al casco.
- Botas de cuero.
- Guantes de seguridad.
- Guantes dieléctricos.
- Ropa de soldador.

Medidas preventivas.

- Los elementos de circulación y subida o bajada de plataformas, en caso de no venir incorporadas, deberán sustituirse por soluciones que aseguren la estabilidad, que deberán haber sido previstas y preparadas previo al montaje de estructuras.
- El montaje de pilares, vigas o celosías se hará desde andamios torres o plataformas elevadoras.
- El acceso a niveles superiores se hará por la propia escalera de la estructura instalada. Si no estuvieran disponibles, se construirán escaleras fijas provisionales, a base de material de andamio.
- Se aconseja gobernar las cargas suspendidas de la grúa mediante cabos sujetos en sus extremos, nunca directamente con las manos.
- Izar los perfiles cortados a la medida. Evitar el oxicorte en altura.
- No se permite desplazarse sobre las vigas o celosías sin tener el arnés puesto completo, bien seguro y fijo.
- Una vez aplomada y nivelada la estructura, ejecutar los cordones definitivos de soldadura o el atornillado completo. Usar guindola, andamio o plataforma.
- No se permite elevar una nueva altura sin haber concluido toda la soldadura de la inmediata inferior.
- La estructura formada durante la jornada debe quedar asegurada, soldada o atornillada antes de finalizar el día y abandonar el tajo.

**3.4.2 Instalación y montaje mecánico de líneas y equipos.**

Descripción de los trabajos

- Instalación de los nuevos equipos, se instalarán en obra una vez finalizados los trabajos de construcción y montajes internos.
- Montaje mecánico, incluido la prefabricación y montaje de líneas de tuberías y accesorios (bridas, válvulas, instrumentos de control) y soportes y elementos anejos, para interconexión de los nuevos equipos.

A efectos de la identificación de riesgos y medidas preventivas asociadas, se han considerado las actividades que se indican a continuación:

- Trabajos de soldadura.
- Trabajos de altura.
- Transporte mecánico de cargas.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Prefabricación de tuberías y elementos mecánicos.
- Montaje de prefabricados.

Riesgos más comunes.

- Radiaciones.
- Proyecciones en los ojos.
- Electrocutación.
- Quemaduras.
- Incendios.
- Explosiones.
- Golpes con objetos.
- Caídas a mismo nivel.
- Caídas a distinto nivel.
- Caídas de objetos en manipulación.
- Daño ocular.
- Caída o vuelvo de grúas.
- Cortes.
- Aprisionamientos.
- Lumbalgias.

Equipos de protección individual.

- Arnés de seguridad (trabajos de altura).
- Gafas de soldador o pantalla de soldador incorporada al casco.
- Botas de cuero.
- Guantes de seguridad.
- Guantes de soldador de cuero.
- Mandil.
- Guantes dieléctricos (uso de cuadros eléctricos).
- Ropa de soldador.

Medidas preventivas.

1. Trabajos de soldadura.

La planificación de la obra se considera la realización de los trabajos previos de fabricación y prefabricación de equipos y estructuras, incluida la realización de trabajos de soldadura, en talleres ajenos a las unidades objeto de los trabajos, de manera que las operaciones de soldadura en obra se concentren mayoritariamente durante el mismo periodo.

En todo caso se deberán distinguir las siguientes prescripciones:

- Todo trabajo de soldadura a realizar en obra deberá contar con el preceptivo Permiso de trabajo en caliente, que se emitirá de manera individualizada por cada uno de los trabajos de

soldadura a realizar. Ello se realizará tanto para las actuaciones puntuales a acometer durante la operación de la unidad como en parada.

- Previo a los trabajos de soldadura que afecten a líneas o trabajos de equipos de proceso existentes, un encargado de la unidad afectada deberá garantizar que todas las líneas que puedan contener sustancias con potencialidad para causar riesgos, en base a la peligrosidad de las sustancias o a las condiciones de estos, han sido vaporizados o limpiados, habiéndose eliminado cualquier condición de peligrosidad en los mismos.
- En caso de utilización de soldadura oxiacetilénica, se acordará con el coordinador de seguridad y salud la ubicación de botellas de gases, debiendo aportarse por el contratista el agente extintor con características y cantidades adecuadas y debidamente señalizadas.
- Se prestará especial atención a que no existan materiales inflamables o combustibles en un radio inferior a 6 m y 1,5 m, respectivamente, instalando en caso de que aquello no fuera posible, pantallas ignífugas que impidan la proyección de partículas de soldadura. Ello será, asimismo aplicable a los equipos de trabajo o trabajadores que puedan encontrarse en cotas inferiores a la de trabajo.
- Se aplicarán las medidas preventivas sobre soldadura.

## 2. Trabajos en altura.

- Todos los trabajos se suspenderán siempre y cuando el viento supere los 60 km/h.
- Se establece como norma general la utilización de andamios tubulares, que deberán ser revisados, mantenidos y desmontados por empresas especializadas.
- Al margen de los andamios tubulares, podrá utilizarse otra solución que garantice la seguridad de los trabajadores previa propuesta a la dirección de construcción y aceptación por parte de la misma. Entre estas se encuentran:
  - Línea de vida: podrán aplicarse para trabajos en plataformas en construcción o cuyas barandillas hayan sido retiradas provisionalmente.

La longitud del anclaje de dicha línea de vida deberá ser evaluada previamente, en base a los impactos que pueda

recibir el trabajador en caso de caída. El diseño y montaje correrá a cargo de empresas de reconocido prestigio.

- Plataformas elevadoras o canastillas. Para estas últimas su uso se limitará a trabajos para los que no quepa otra solución alternativa.

Tanto el uso de andamios modulares, como de línea de vida o canastillas requerirá de la cumplimentación del correspondiente permiso de trabajo de altura.

- En caso de que durante las operaciones de montaje se proceda a la retirada de escaleras fijas o barandillas o que queden al descubierto huecos en plataformas con riesgo de caída en altura de más de 2 m, se instalarán barandillas de 90 cm de altura, con rodapié de 15 cm y barra intermedia, pudiendo sustituirse en el caso de huecos por tapas de adecuada resistencia y fijación. Previo a la retirada de dicho elemento, se deberán disponer de las medidas preventivas alternativas para su inmediata instalación. Ello resulta, asimismo, aplicable para protección de huecos a mismo nivel de suelo.
- Se aplicará balizamiento en el perímetro de todas aquellas zonas expuestas a riesgo de caídas de materiales por desprendimiento, como consecuencia de trabajos de altura y se advertirá de dicho riesgo de caídas de materiales.

En todo caso de adoptarán las siguientes medidas preventivas:

- Los trabajadores utilizarán portaherramientas, así como caja para herramientas y otro material que pueda desprenderse.
- No podrán arrojarse herramientas entre trabajadores.
- Se limitará el acopio de materiales en altura a las necesidades del trabajo a realizar. En todo caso, se protegerán de posibles caídas por viento o golpes, dejando pasillo de al menos 60 cm de ancho y respetando las normas de orden y limpieza.

3. transporte mecánico de cargas.

- Para el manejo y montaje de las cargas que se indica a continuación será necesario preparar previamente un estudio de maniobra, que deberá ser aprobado por el Director de construcción, como condición para la realización de maniobra:

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Cargas de peso superior a 5 tm.
- Izados en que la pieza haya de pasar sobre equipos o instalaciones de proceso que están en servicio o a una distancia horizontal inferior a 10 m de los mismos.
  
- Se seguirán las normas preventivas para el transporte mecánico de cargas.
  
- Para el manejo de equipos, recipientes de proceso o líneas o estructuras cuyo peso y/o dimensiones puede acarrear riesgos particularmente graves, deberán adoptarse, las siguientes medidas preventivas:
  - Se establecerán de manera previa los recorridos de las cargas, considerando las dimensiones de los vehículos-grúa y de la carga, eliminando o señalizando cualquier obstáculo que pueda dificultar la maniobra. Se prestará especial atención a los cables de alta tensión, con objeto de respetar las preceptivas distancias de seguridad.
  - Ello será, asimismo aplicable a los recorridos de grúas, polipastos a emplear, en su caso.
  - Asimismo, se establecerán de manera previa a su utilización:
    - La carga máxima admisible por el equipo, así como la relación con la longitud del brazo de carga, en grúas y grúas-telescópicas, tales como las asociadas al camión-grúa.
    - Puntos seguros de enganche de la carga a transportar, capacidad de cables, eslingas o estrobos a utilizar y situación del centro de gravedad de la carga.
    - Muelles de carga/ descarga a instalar en plataformas para la disposición segura del equipo.
    - Posibles balanceos de la carga y medidas a adoptar en tal caso.
    - Procedimiento de desestrobado, una vez finalizada la maniobra.
    - La capacidad resistente del terreno y estructuras o plataformas donde ubicar el equipo.

- Cualquier limitación derivada del equipo de transporte mecánico.
  
- Se recuerda la prohibición de que permanezcan los trabajadores bajo cargas suspendidas, así como la necesidad de que se designe un responsable de la operación, así como de los signos que deberá establecer esté o la persona que el designe con el encargado de manejo de la maquinaria.
  
- Los trabajos se suspenderán cuando el viento alcance o supere los 60 km/h.

#### 4. Prefabricación de tuberías y elementos mecánicos.

Se deberán seguir las siguientes normas preventivas:

- Los puestos de trabajo que impliquen actividades de soldadura o arranque de materiales con medios mecánicos portátiles, dispondrán de pantallas divisoras o distancias suficientes que eviten la propagación del riesgo a puestos vecinos. Se seguirán, en todo caso, las recomendaciones acerca de trabajos de soldadura.
  
- Se emplearán caballetes o trípodes para soporte de tuberías o accesorios, de tipo prefabricado, no permitiéndose caballetes improvisados del conjunto soportado. Se indicará claramente la capacidad máxima de los mismos, no pudiendo rebasarla.
  
- Se dispondrán de equipos de trabajo para el manejo de materiales, de capacidad adecuada a la carga a soportar, con objeto de minimizar la manipulación manual de cargas.
  
- Toda la maquinaria fija estará en sus correspondientes protecciones mecánicas antiproyecciones, contra atrapamiento, contra contacto eléctrico, etc., cumpliendo con la normativa vigente sobre máquinas y equipos de trabajo.
  
- Los distintos usuarios dispondrán de bancos y soportes portaherramientas que permitan evitar que estas se encuentren dispersas por el suelo.
  
- Se prohíbe la utilización de indumentaria o elementos (cadenas, pulseras, anillos, etc.), que puedan provocar enganchones o atrapamiento con órganos móviles de la maquinaria, señalizándose adecuadamente.

- El personal involucrado en trabajos de prefabricación utilizará guantes, gafas de seguridad y botas.
- Los acopios de materiales y prefabricados se dispondrán de forma que su transporte mediante la grúa no se vea obstaculizado por ningún otro elemento.
- El lugar de acopios será de resistencia adecuada a la carga prevista.
- El almacenaje se realizará en orden inverso al de la utilización y de forma que se evite producir el deslizamiento o el desplome de los materiales o terreno. Usar durmientes, en su caso.
- Para evitar confusiones se tendrá previamente definido y señalizado el peso de cada elemento estructural.

#### 5. Montaje de prefabricados.

- Periódicamente y previo a las tareas de montaje, el responsable de la contrata analizará el emplazamiento de cada tubo, isométrico o elemento a instalar, así como los equipos, medios auxiliares y condiciones requeridas para su montaje y las posibles interferencias con otros trabajos en curso, tanto propios de montaje como de la operación de la planta, coordinándose con el coordinador de seguridad y salud y el responsable de la unidad.
- Se tendrán previstos los soportes de tubos isométricos previo a su instalación. Estos, aún cuando puedan considerarse como provisionales, reunirán las características adecuadas en cuanto a solidez y estabilidad, no permitiéndose la utilización de soluciones improvisadas, tales como cuerdas, alambres o ferralla.
- La colocación de los elementos prefabricados se realizará mediante elementos mecánicos, usando cabestrantes o tráeteles para los desplazamientos horizontales a realizar.
- El ajuste se realizará por medio de cabos-guía, recordando que se debe evitar situarse bajo cargas suspendidas.
- Una vez colocados se inmovilizarán por medio de cuñas, tirantes o medios auxiliares de arriostamiento que impidan movimientos o giros espontáneos o causados por otros elementos. En ningún caso se dejarán elementos de forma inestable. En todo caso, se advertirá de la prohibición de eliminar dichos elementos auxiliares.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Nunca se elevarán pesos superiores a los estipulados para cada tipo de grúa/ elementos de carga (cables, eslingas, cuerdas o cadenas).
- Las grúas nunca pegarán tirones a las cargas para acercarlas al punto de destino.
- Se evitará la permanencia de personas bajo cargas suspendidas. Además durante el transporte y elevación de piezas metálicas, no se permitirá que nadie bajo ningún concepto, permanezca sobre ella.
- Para dirigir piezas de gran tamaño, se utilizarán cuerdas guías sujetas a los extremos de las piezas.
- Los trabajos de soldadura se realizarán por medio de plataformas elevadoras.
- En caso de que la manipulación de las planchas impida el montaje de las preceptivas barandillas para trabajos en altura, el trabajador se fijará mediante arnés a puntos o líneas de vida, mediante cuerda de longitud máxima de 2 m.
- Antes de soltar el elemento prefabricado por el elemento mecánico de carga, se debe asegurar que el elemento quede fijo, evitando que éste pueda caer sobre el trabajador.
- Habrá escaleras en número suficiente y debidamente estabilizadas en sus apoyos. Si los desplazamientos verticales por medio de escaleras son grandes, se harán descansillos con barandillas y rodapié.
- Los elementos mecánicos serán soldados con la mayor rapidez posible. Nunca se colocará un elemento sobre otro simplemente punteado.
- Los trabajos serán planificados de forma que minimicen los trabajos de montaje de piezas sobre zonas en las que haya otro trabajo en marcha.
- Se suspenderán los trabajos en días de lluvia intensa o vientos fuertes (>60 km/h).
- Cuando se acometan trabajos de noche, la zona de trabajo estará suficientemente iluminada.
- Durante estos trabajos, el trabajador deberá usar:

- Casco de seguridad corto.
  - Guantes de seguridad.
  - Botas de seguridad.
  - Arnés (fijación a punto fuerte).
  - Ropa de trabajo.
- 
- Se debe señalar el riesgo de cargas suspendidas.

Respecto a la manipulación de tuberías:

- Previa a la apertura de tubería se debe comprobar que está despresurizada, abriendo purgas y asegurándose por medio de una varilla o electrodo que no estén obturadas. Posteriormente se procederá a aflojar los pernos lentamente (primero los del lado opuesto al trabajador). Al aflojar los tornillos o soltar las conexiones, el trabajador se situará a un lado hasta asegurarse de que no existe presión en la tubería.
- Es obligatorio usar protección respiratoria para dismantelar o trabajar en tuberías o equipos que contengan o que hayan contenido productos tóxicos.
- Es obligatorio el uso de guantes y calzado de seguridad para el manejo de tuberías y accesorios.
- No se introducirán los dedos en los orificios para los tornillos de las bridas o zunchos. Los orificios se alinearán por medio de un pasador o el mango de una llave de pico.
- Las virutas de metal se quitarán con un cepillo de alambre. No se barrerán nunca con estopa, no se desprenderán a martillazos.
- Para abrir las conexiones embridadas de las tuberías, se empleará un aparato separabridas, o cuñas de bronce.
- Cuando varios hombres transporten un tubo u otros materiales pesados, la elevación y descenso de los mismos se hará por señales dadas, de forma que todos estén prevenidos y que los movimientos resulten coordinados.

- Al bajar tubos rodando desde camiones o plataformas los trabajadores se situarán por detrás del tubo y lo empujarán de forma que ambos extremos golpeen el suelo aproximadamente al mismo tiempo.
- La tubería en construcción no se dejará suspendida de forma que exista peligro de que el tubo caiga, o de que alguien pueda caer al andar por él.
- Las tuberías de construcción al nivel del suelo o por debajo, se taponarán para evitar la introducción de materiales extraños. Además se colocará a una distancia superior a la mitad de la profundidad de la zanja, nunca a menos de 60 cm y calzados sobre apoyos estables o lechos de arena, para evitar la rotura de los tubos.
- Se seguirán las recomendaciones de manipulación de cargas, zanjas y excavaciones, maniobras así como para las herramientas o máquinas o equipos de trabajo a utilizar.

### **3.4.3 Trabajos a realizar en el interior de los equipos**

#### Descripción de los trabajos

Trabajos en espacios con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable, en los que puedan acumularse contaminantes tóxicos o inflamables o tener una atmósfera deficiente de oxígeno y que no estén concebidos para una ocupación continuada por parte del trabajador.

#### Riesgos más comunes

- Radiaciones.
- Proyecciones en los ojos.
- Electrocutión.
- Quemaduras.
- Incendios.
- Explosiones.
- Golpes con objetos.
- Caídas al mismo nivel.
- Caídas a distinto nivel.
- Caída de un objeto en manipulación.
- Daño ocular.
- Aprisionamientos.
- Cortes.
- Lumbalgias.
- Exposición por inhalación de sustancias peligrosas.

- Exposición a condiciones ambientales extremas.

Equipos de protección individual.

- Arnés de seguridad y trípode (equipos verticales).
- Gafas de soldador o pantalla de soldador incorporada al casco.
- Botas de cuero.
- Guantes de seguridad.
- Guantes de soldador de cuero.
- Mandil.
- Guantes dieléctricos para uso de cuadros eléctricos.
- Ropa de soldador.
- Equipo de respiración autónoma y reanimación.
- Equipo de extracción localizado.

Medidas preventivas.

- Dar instrucciones al trabajador para la identificación del espacio confinado ya la toma de conciencia de los riesgos y su prevención.
- No entrar sin autorización previa. Se pedirá la autorización de entrada a espacios confinados conforme a los procedimientos en vigor.
- Se realizará la limpieza, medición y evaluación del ambiente interior, por personal cualificado, para determinar su peligrosidad, previo comienzo a los trabajos.
- Se planificará el trabajo para que el número de personas que se encuentren en el interior de los recipientes sea el mínimo posible. Es necesario que este personal tenga un certificado médico de aptitud para este tipo de trabajo. Además, deberán tener formación básica en procedimientos de recuperación cardiorrespiratoria.
- Una vez realizada la apertura del espacio confinado, se deberá emplazar, inmediatamente, un cartel en cada abertura o acceso existente, con el mensaje "entrada prohibida", en letras blancas sobre fondo rojo y por ambas caras.
- Durante todo el tiempo de trabajo, permanecerá un trabajador en el exterior, en contacto permanente (visual o por elemento de comunicación) con el interior, y con medición continuada de la atmósfera interior. El elemento de comunicación será comprobado previamente, por si fuera necesario dar la alarma.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Si se detectaran gases, deberá procederse a una limpieza o ventilación en la zona. En ningún caso se autorizará la entrada a espacios confinados que contengan atmósferas inmediatamente mortales. Los equipos de medición deben haber sido verificados antes de proceder al test de gases que determina la verificación de entrada.
- Como criterio general, se tratará de que la concentración de gases, tanto explosivos como tóxicos sean cero.
- El personal que penetre en el interior del espacio confinado, deberá estar equipado con arnés de seguridad atado a una cuerda cuyo extremo deberá quedar en el exterior del mismo al alcance del personal vigilante, disponiendo de trípode o de línea de vida, cuando ello resulte aplicable. Los medios para un posible rescate deberán estar dispuestos previo a la entrada en el espacio confinado, habiéndose planificado esta circunstancia y adiestrado convenientemente a los operarios.
- El equipo de protección básico estará compuesto por:
  - Mascarilla de trabajo facial con filtro polivalente o protección ocular en su caso.
  - Equipo autónomo de respiración.
  - Casco de seguridad.
  - Traje de agua.
  - Botas de seguridad antideslizantes.
  - Guantes químicos.
- Será obligatorio el uso de equipos de extracción localizada para trabajos en el interior de espacios confinados donde se puedan generar vapores o humos tóxicos, tales como trabajos de soldadura o de aplicación de pintura o de líquidos penetrantes.
- Cuando se precise algún tipo de protección respiratoria en el interior del espacio confinado, junto a la boca o lugar de entrada principal, deberá disponerse de al menos, dos equipos de rescates autónomos, (botellas estándares de 3 litros y 400 kg, según se indica en el PRE-422.02).
- Una vez cumplidas las exigencias de seguridad, se situará el cartel rojo de "Entrada prohibida" existente, por otro de color verde con el mensaje "Entrada autorizada con permiso", y se

tendrá en cuenta la existencia de más de una entrada. El permiso de entrada tiene validez, únicamente, mientras permanece el cartel de autorización.

- La iluminación dentro de la zona será acorde a la precisión requerida para el trabajo a realizar, considerándose como valor mínimo el de 500 lux. Donde se requiera alumbrado deberá contarse, asimismo, de un elemento alternativo de alumbrado en prevención de un posible fallo de corriente eléctrica.
- Los elementos para iluminación, instrumentos eléctricos y demás alimentaciones eléctricas a utilizar en el interior del espacio confinado serán de las siguientes características:
  - Empleo de tensiones de seguridad (24 voltios). Corriente que no podrá proceder por transformación directa de alta tensión a la tensión de seguridad.
  - Separación de circuitos, mediante el empleo de transformadores que reúnan las condiciones especificadas en el MIE-BT-021.
- Una vez cancelada la autorización de entrada o cuando se terminen los trabajos, provisional o definitivamente, en el interior y haya salido el personal, se deberá sustituir el cartel de "Entrada autorizada con permiso" existente, colocándose nuevamente el de "Entrada prohibida", hasta el cierre o impedimento del acceso definitivo al espacio confinado. Se habrán retirado del equipo aquellos elementos, herramientas, materiales o restos de materiales con anterioridad.
- En el caso de que la terminación de trabajo sea provisional (comida, etc.), previamente a la reanudación del mismo, se repetirá el test de gases, y si las condiciones son adecuadas se colocará nuevamente el cartel "Entrada autorizada".
- Durante el desarrollo de los trabajos, se deberán seguir normas preventivas sobre soldadura, trabajo en altura, manipulación mecánica y manual de cargas.

#### **3.4.4 Montaje eléctrico.**

##### Descripción de los trabajos.

- Trabajos a realizar en subestaciones. Se equiparán las reservas disponibles en el CCM para alimentación de las bombas. El alumbrado adicional se alimentará desde las reservas disponibles en los cuadros existentes.

- Trabajos a realizar en campo, entre los que se incluyen:
  - Alimentación de los equipos desde los CCM, los cables irán en tendido aéreo (en bandejas fundamentalmente, o adosados a estructuras) y subterráneo, que se tenderán a los largo de zanjas.
  - Sistemas de puesta a tierra.
  - Sistemas de alumbrado de las instalaciones.
  - Sistemas de alumbrado y conexionado a los instrumentos de control.
  - Montajes de cuadro provisionales de obra.

#### Riesgos más frecuentes.

- Electrocción.
- Quemaduras.
- Caída de materiales.
- Atropamiento de miembros.
- Sobreesfuerzos.
- Caídas de personas.
- Cortes en mano.
- Golpes de objeto.

#### Equipos de protección individual.

- Guantes dieléctricos (trabajos en tensión). Guantes de cuero (resto de trabajos).
- Arnés (trabajos en altura).
- Botas dieléctricas (trabajos en tensión) botas de seguridad (resto de trabajos).
- Cascos dieléctricos (trabajos en tensión) / de seguridad (resto de trabajos).
- Gafas anti-proyecciones.

#### Medidas preventivas.

Para neutralizar aquellos riesgos que son comunes a los trabajos de tipo mecánico, tales como montaje de equipos y montaje de tuberías, las mismas medidas de prevención indicadas en los apartados correspondientes a dichos trabajos.

Otras medidas preventivas que se adoptarán serán las siguientes:

- Realizar la excavación de forma manual y con catas de aproximación, en evitación de electrocución con líneas eléctricas enterradas que se encuentren en servicio.
- Usar elementos mecánicos para el levantamiento de tapas de registro y zanjas, tal como camión-grúa, trípode o palanca.
- El estrobo de bobinas de cable para carga y descarga se realizará mediante elementos mecánicos, tales como cabestrantes, adaptados al tamaño y peso de la misma.
- Cuando el desenrollado del cable se realice a mano se establecerá un sistema que permita evitar sobreesfuerzos aislados por errores de coordinación.
- Las bobinas podrán colocarse sobre un vehículo de caja abierta o sobre soportes fijos para proceder al desenrollado del cable. Si están sobre vehículos éste se frenará y calzará, abandonando el conductor la caja; si se colocarán sobre soportes, éstos deberán ser capaces de soportar el peso y suficientemente estables para no ceder al esfuerzo axial que se produce al desenrollar.
- Las bobinas de cables que deban ser tendidos en zanja, se situarán alejados del borde de la misma, al menos a una distancia igual a la profundidad de aquélla.
- Las bobinas vacías y su embalaje se retirarán de obra tan pronto como se termine el desenrollado del cable. Se eliminarán o remacharán los clavos de las maderas de cierre, acopiándolas en lugar adecuado.
- Los extremos de cada tramo del cable se marcarán con anillos o placas que permitan su identificación inequívoca a la hora de realizar las conexiones.
- Todo el personal involucrado en estos trabajos utilizará casco de seguridad, guantes y calzado de protección. Los que trabajen en lugares elevados tendrán arnés de seguridad y portaherramientas.
- Las máquinas de doblado de tubos, corte, etc., estarán provistas de sus salvaguardas y mecanismos de seguridad.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Todo el personal utilizará casco de seguridad aislante de la electricidad, guantes aislantes, gafas protectoras y calzado de seguridad aislante.
- El conexionado de estructuras metálicas o equipos a redes de tierra no se realizará hasta haber descargado eléctricamente la estructura o el equipo con relación a tierra. Se instalará protección no inferior a IP 4X (norma IEC 529), para trabajos junto a cuadros de tensión.
- La subestación eléctrica será encerrada a toda persona no implicada en las pruebas, declarándose zona restringida. Las zonas de prueba de bombas, motores y otros equipos donde sea factible establecer un área restringida, se vallarán y señalizarán para notificar sobre la realización de la prueba e impedir la entrada de personal ajeno.
- Todos los equipos y elementos que estén o hayan estado en tensión deberán desconectarse antes de realizar cualquier trabajo sobre ellos. La desconexión se hará con corte visible, se inmovilizará con cerradura o candado y las partes activas se pondrán a tierra. En todo caso, se ajustará a las condiciones definidas para permisos de trabajos eléctricos. Los trabajos a realizar en zonas inaccesibles (sótano de subestaciones) se considerarán trabajos en espacios confinados, siguiendo la sistemática establecida a tal fin.
- Todas las intervenciones sobre equipos que hayan estado en tensión requerirán además de lo indicado en el punto anterior la comprobación de ausencia de tensión y el uso de herramientas aislantes.
- Para la prueba o rodaje de motores que accionen otros equipos, se desconectarán mecánicamente los motores de los equipos conducidos y las partes móviles del motor se protegerán. Si no fuera posible colocar dicha protección, se restringirá el acceso al mismo y se indicará su situación de motor en pruebas.
- Para el izado de cuadros se utilizarán orejetas provistas por el fabricante. Si no hubiera orejetas se seguirán las instrucciones dadas por el fabricante del cuadro.
- Las maniobras de carga, descarga y posicionamiento de cuadros serán dirigidas por una persona responsable quién será la única autorizada para impartir instrucciones.

- No se almacenarán en subestaciones y salas de control herramientas y materiales que no sean estrictamente imprescindibles, retirándose al final de cada día.
- Se debe de seguir todas las recomendaciones indicadas en el punto 3.5.1.1 sobre excavación. Se debe vigilar, en particular, la señalización, balizamiento y protección perimetral de la zanja, incluidas las pasarelas a instalar.

### **3.4.5 Trabajos de pintura, aislamiento e ignifugado**

#### Descripción de los trabajos

##### 1. Pintura

- Sobre estructuras: la estructura metálica vendrá chorreada, e imprimada y con la pintura de acabado del taller. Aplicación en obra de retoques en la imprimación para reparación de los daños sufridos durante el transporte, montaje y soldaduras realizadas en la obra.
- Sobre equipos: se reciben en las obras imprimados y con la pintura de acabados. Aplicación en obras de retoques para reparación de daños durante el transporte, montaje y soldaduras.
- Sobre tuberías: se reciben de taller tras sufrir tratamiento de chorreado e imprimación, y pintura intermedia y de acabado. En obra sólo se realizarán los retoques necesarios.

##### 2. Aislamiento.

- Aplicación de aislamiento a base de manta en equipos y coquilla en tuberías, con acabado en chapa de aluminio sujeta con fleje del mismo material.

##### 3. Ignifugado.

El ignifugado se diseñará para una temperatura límite de 425 °c y resistencia del fuego mínima de RF 2h.

- Estructura sobre soporte de equipos. Toda la altura.
- Estructuras y soportes de tuberías.
- En las tuberías soportadas por rod hangers y spring hangers, se ignifugarán las vigas soportes hasta una altura mínima de 8 m.

Riesgos más frecuentes.

- Afecciones a las vías respiratorias.
- Incendios.
- Caídas de personas.
- Caída de objetos.
- Intoxicaciones.
- Afecciones a la piel.
- Afecciones a los ojos.
- Cortes y pinchazos.
- Contactos eléctricos.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Golpes y/o cortes.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido y vibraciones.
- Ambiente pulvígeno.

Equipos de protección individual.

- Casco de polietileno.
- Guantes de PVC: largos.
- Mascarilla con filtro.
- Gafas de seguridad.
- Calzado antideslizante.
- Ropa de trabajo.
- Gorro de protección contra pintura para el pelo.
- Guantes térmicos.
- Calzado de protección contra golpes mecánicos.
- Pantalla facial.
- Equipo de protección de las vías respiratorias con filtro mecánico.
- Cinturón de seguridad anti-ácidas.
- Protectores auditivos.

Medidas preventivas.

1. Pintura.

- Los trabajos se realizarán de acuerdo con las condiciones establecidas en su apartado correspondiente.
- La preparación y la aplicación de la pintura se hará siguiendo las medidas de seguridad indicadas en la ficha de datos de Seguridad del fabricante.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- En todo caso los trabajos de pintura se realizarán alejados de todo tipo de focos de calor (motores, soldaduras, etc.). Habrá que extremar la precaución para que no haya trabajos incompatibles (soldadura) ejecutados a la vez a menos de 6 m en horizontal, ni sobre la vertical de los trabajos de pintura.
- Todo personal dedicado a trabajos de pintura utilizará casco de seguridad, guantes, gafas protectoras y calzado de seguridad.
- Aplicar la pintura de manera que el viento aleje los vapores o aerosoles formados. En caso de no ser posible, aplicar extracción localizada o usar mascarilla adecuada al tipo de producto y concentración estimada. El uso de equipos de extracción localizado es obligatorio para trabajos en el interior de equipos.
- La iluminación a utilizar será del tipo IP-A4C o P3.
- No adoptar posturas forzadas durante mucho tiempo. Trabajar por debajo de la altura del hombro, como norma general.
- Está prohibido comer, beber o fumar mientras se estén utilizando pinturas que sean muy tóxicas, tóxicas o nocivas por ingestión o sean cancerígenas. En tal caso de que contengan productos cancerígenos o plomo, diferenciar la ropa de trabajo de la calle y dejarlas en los lugares designados para ello, sin llevársela a casa.
- Usar obligatoriamente guantes para la aplicación de pintura.
- La pintura y disolventes a utilizar se acopiarán en un lugar alejado de posibles focos de ignición, señalizándose la prohibición de fumar de manera clara e inequívoca. Se instalarán extintores en carro de polvo químico seco en la zona de acopio y portátiles junto a las zonas de trabajo, a no más de 15 m.
- Verificar que los sistemas mecánicos de aplicación de pintura cuentan con puestas a tierra. Las herramientas eléctricas a utilizar en este tipo de trabajo contarán con doble aislamiento.
- Se recomienda no usar lentillas durante la aplicación de pintura.
- No probar nunca la pistola contra la palma de la mano, ni apuntar con ella a otras personas, ya que la presión en la boquilla es muy alta. No dejar nunca trapos empapados de

aceite de linaza tirados por el suelo o en los bolsillos, debiendo echarse en recipientes metálicos tapados.

- Los botes de pintura se mantendrán siempre tapados. No se tendrá en el lugar de trabajos más pintura de la necesaria. Al final del trabajo se cerrarán y retirarán los distintos recipientes que hayan contenido pintura o disolventes, y se colocarán en zonas libres de riesgo.
- Las zonas recién pintadas se señalarán claramente, indicándose la fecha de señalización de los trabajos.
- La limpieza de material, equipos y herramientas, en caso de precisar disolventes, se realizará utilizando el producto de menos toxicidad e inflamabilidad, siguiendo, en tal caso, las normas preventivas indicadas por el fabricante y alejadas de cualquier fuente de ignición.
- Los envases vacíos de pintura y disolventes se gestionarán como residuos tóxicos y peligrosos, entregándolos a un gestor autorizado para su eliminación.

## 2. Aislamiento.

- No hacer acopio innecesario de material de aislamiento en las áreas de trabajo.
- Depositar todos los restos y recortes de material que se produzcan en recipientes o bolsas preparadas a tal fin, que se irán llevando al lugar designado por el Contratista a medida que se vayan llenando. Proceder a la limpieza general de las áreas de trabajo al final de cada jornada.
- Al instalar los flejes de sujeción de la chapa de acabado, se tendrá especial cuidado en disponer el extremo final de los mismos, orientado fuera de las zonas de paso y de las zonas de trabajo, tanto del personal de construcción, como del futuro personal de operación. El extremo del fleje se dejará tan corto como sea posible.
- Usar herramientas adecuadas para el trabajo de instalación de aislamiento, usando guantes como protección frente a cortes.

## 3. Ignifugado.

- Seguir las medidas preventivas en trabajos de altura.

- Para evitar problemas por desprendimiento del revestimiento, se recomienda instalar una malla metálica anclada en la viga o pilar donde se vaya a proceder a la proyección del material.

### **Pruebas.**

#### Descripción de los trabajos.

Pruebas de presión, tanto hidráulicas como neumáticas, trabajos de radiografiado y comprobación de la correcta ejecución de soldaduras mediante partículas magnéticas o líquidos penetrantes.

#### Riesgos comunes.

- Proyección de objetos.
- Explosión.
- Derrumbamiento.
- Inundación.
- Ruido.
- Exposición a radiaciones ionizantes.

#### Equipos de protección individual.

- Guantes de neopreno.
- Calzado de seguridad.
- Guantes de cuero.
- Gafas antiproyecciones.
- Equipos de protección frente a la radioactividad.
- Botas de goma o de PVC con puntera reforzada.
- Guantes dieléctricos.
- Ropa de trabajo.

#### Medidas preventivas.

- Este tipo de operaciones serán realizadas por personal especialista de empresa que cuenten con la debida acreditación, requiriéndose la autorización legal de la empresa, así como la homologación de los equipos y resto de requisitos legales.
- Todas las pruebas serán notificadas al Coordinador de Seguridad de Obra, para su traslado a los responsables del resto de las empresas intervinientes.
- Antes de proceder a cualquier prueba de presión de equipo mecánico o circuito de tubería se realizará una inspección conducente a detectar posibles defectos, faltas, etc., y en general su disponibilidad se reflejará en un protocolo de aceptación o documento similar.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- En todo caso, previo a la realización de las pruebas de presión, se definirá las condiciones de las mismas, con indicación de las normas preventivas a adoptar.
- En las fases de pruebas de equipos móviles, se establecerá un sistema de enclavamientos por medio de candados, para evitar la puesta en marcha indeseada de equipos, durante el trabajo de los mismos. Los equipos accionados con motor eléctricos serán desconectados del mismo y las partes móviles de este serán protegidas, con objeto de que puedan realizarse pruebas de los dos elementos separadamente.
- La realización de pruebas de presión requerirá siempre el establecimiento de una zona de seguridad cuyo acceso será franqueado solamente por personal necesario para la prueba y debidamente autorizado. La extensión de la zona de seguridad se determinará en función del fluido a emplear en la prueba y la presión máxima que se alcance. Se instalará señalización del tipo "Zona de pruebas-Prohibido el paso".
- Todos los equipos en pruebas serán señalizados con un sistema de tarjetas. La empresa que realiza la prueba será la responsable de la colocación de las tarjetas y de la retirada de las mismas.
- Las pruebas que impliquen soplado de líneas con aire o vapor, realizarán este solapado de modo progresivo, abriendo inicialmente el paso de fluido a caudal mínimo y manteniendo este caudal durante cinco minutos antes de aumentarlo. El aumento se realizará progresivamente, hasta alcanzar la velocidad necesaria para el soplado.

En la zona próxima al soplado se dispondrá de protectores auditivos para todo el personal.

- Todas las pruebas que puedan representar un riesgo para el personal de otras empresas, se realizarán fuera del horario normal de trabajo, en domingos o festivos o en horario nocturno, coordinando en este caso con la realización de trabajo de radiografiado, si los hubiera.
- Se establecerá un procedimiento de consignación/ desconsignación de equipos y/o sistemas energizados.
- Para reducir la incidencia de los trabajos radiográficos, estos se realizarán en horario nocturno. No obstante, los preparativos necesarios, tales como preparación de andamios, iluminación de la zona de trabajo y de los accesos de la misma, etc., deberán quedar preparados durante el día.

En general y para prevenir la posibilidad de que estos trabajos afecten a controles de planta, así como reducir la posibilidad de irradiación peligrosa a personal de planta y a terceros, se establecerá un procedimiento de trabajo, de acuerdo con el

coordinador de seguridad y salud y con los responsables de la planta que incluirán:

- Utilización de la fuente de menos actividad posible, compatible con el tipo de trabajo a realizar en cada caso.
- Utilización de colimador y apantallamiento.
- Notificación diaria al responsable de la planta, de los trabajos a efectuar.
- Para trabajos de radiografía y gammagrafía se deberá:
  - Obtener permiso de trabajo diario. La autorización la dará el técnico de la unidad en función de la necesidad.
  - Acordonar y señalizar la zona, para evitar que ninguna persona no autorizada entre por desconocimiento y descuido, en la zona de seguridad establecida para la realización de radiografías, debiéndose verificar que el cerramiento y señalización es el adecuado para evitar lo indicado.
  - Utilizar el símbolo en presencia de radioactividad en la señalización de la zona de influencia del equipo radiográfico.
  - Realizar el corte total de calles, en su caso, para lo cual se informará al jefe de planta.
  - El perímetro de la zona vallada debe estar vigilada por los responsables del radiografiado, durante todo el tiempo que la fuente permanezca expuesta.
- Para trabajos bajo influencia radiactiva:
  - El equipo de trabajo radiografiado incluirá un mínimo de dos personas por fuente. La cámara podrá ser sólo manipulada por el operador. Cada equipo de trabajo dispondrá de un radiómetro y todos los trabajadores utilizarán dosímetros personales.
  - Se deberá asegurar el bloqueo de la fuente radiactiva antes de realizar cualquier trabajo bajo su influencia y de que los valores de radioactividad en el interior de los equipos o en zonas de trabajo próximas a fuentes radiactivas, sean los adecuados para permitir la realización de éstos sin peligro para el personal implicado.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Una vez terminado el trabajo principal, se deberá solicitar la autorización para el desbloqueo y puesta en servicio del equipo radiactivo, recabando previamente el enterado del responsable de ejecución y del ejecutor del trabajo principal, e informando al responsable de la unidad.

## **CAPÍTULO 4**

### **DISPOSICIONES LEGALES DE APLICACIÓN**

#### **4.1 DISPOSICIONES LEGALES DE APLICACIÓN**

Las disposiciones legales, en vigor, que afectan a las cuestiones relacionadas con la Seguridad y Salud en los trabajos del sector de la construcción son básicamente:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención y Riesgos laborales y sus modificaciones posteriores.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención y sus modificaciones posteriores.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañen riesgos, en particular, dorsolumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de equipos de trabajo.
- Reglamentos de líneas aéreas de alta tensión (O.M. 28-noviembre-1968.B.O.E. 12-diciembre-1968).
- Ordenanza laboral de construcción, vidrio y cerámica (O.M.28-agosto-1969.B.O.E. 5, 7, 8, y 9-septiembre-1970).
- Reglamento electrónico de baja tensión (D.1413/1973 de 20 de septiembre. B.O.E. 9-octubre-1973). Instrucciones complementarias sucesivas del mismo, de la Dirección General de la Energía, del Ministerio de Industria.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 88/1990, de 26 de enero, sobre protección de los trabajadores mediante la prohibición de determinados agentes específicos o determinadas actividades (B.O.E. 27-enero-90).
- Código de circulación.
- Real Decreto 1316/89, de 27 de octubre, sobre protección a los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo (B.O.E. 2-noviembre-89 y 26-mayo-90).
- ITC 07.104 del reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. Condiciones ambientales: lucha contra el polvo.

## **CAPÍTULO 5**

### **NORMAS GENERALES DE ACTUACIÓN PREVENTIVA**

#### **5.1 NORMAS GENERALES DE ACTUACIÓN PREVENTIVA**

Todos los trabajadores deben cumplir estos preceptos generales:

- Velar por su propia seguridad y salud en el trabajo y por aquellas personas a las que pueda afectar su actividad profesional.
- Cumplir las medidas de prevención adoptadas.
- Usar adecuadamente las máquinas, aparatos, herramientas, sustancias peligrosas, equipos de transporte y cualquier otro medio con el que se desarrolle su actividad.
- Utilizar correctamente los medios y equipos de protección facilitados por el empresario, de acuerdo con las instrucciones recibidas de éste.
- No poner fuera de funcionamiento y utilizar correctamente los dispositivos de seguridad existentes o que se instalen en los medios relacionados con su actividad o en los lugares de trabajo en los que ésta tenga lugar.
- Informar de inmediato a su superior jerárquico directo, y a los trabajadores designados para realizar actividades de protección y de prevención o, en su caso, al servicio de prevención, acerca de cualquier situación que, a su juicio, entrañe, por motivos razonables, un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores.
- Contribuir al cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente con el fin de proteger la seguridad y salud de los trabajadores en el trabajo.
- Cooperar con el empresario para que éste pueda garantizar unas condiciones de trabajo que sean seguras y no entrañen riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores.

Para ello, en particular:

- No podrán manipular instalaciones o equipos de la propiedad.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- Todos los trabajadores saldrán del vestuario con la ropa de trabajo, y las otras prendas de protección que su puesto de trabajo exija.
- Accederán a los puntos de trabajo por los itinerarios establecidos y utilizarán los pasos, escaleras, etc., instalados con esta finalidad.
- No utilizarán grúas, dumpers, etc., como medio de acceso al puesto de trabajo.
- No se situarán en el radio de acción de la maquinaria en movimiento.
- No permanecerán bajo cargas suspendidas.
- No manipularán cuadros o líneas eléctricas. Si se produjese alguna avería, avisarán al encargado o al personal de mantenimiento correspondiente.
- No construirán bebidas alcohólicas o drogas durante las horas de trabajo. Su posesión será causa de expulsión. Asimismo, en caso de consumir medicamente con posibles efectos sobre su atención, deberá comunicarlo a su Responsable de Seguridad si desarrollan trabajos de:
  - Conducción de vehículos.
  - Operación de maquinaria.
  - Trabajos en altura.
  - Trabajos en espacios combinados.
  - Operaciones de izado.
- No usar aparatos musicales o sin auriculares y ponerse el cinturón de seguridad mientras estén conduciendo vehículos industriales.
- No podrán estar en lugares donde no lo exija el trabajo.
- No se admitirán bromas pesadas, peleas ni actos de mala educación.
- No deberán arrogarse materiales ni herramientas de un nivel a otro.
- Mantendrán sus zonas de trabajo limpias y ordenadas, sin obstáculos que impidan el normal desarrollo del trabajo.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

- No fumarán al manipular sustancias inflamables (pinturas, disolventes, combustibles).
- Adoptarán medidas básicas de higiene personal, en particular lavándose las manos y las caras antes de comer, beber o fumar.

## **CAPÍTULO 6**

### **NORMAS DE CIRCULACIÓN**

#### **6.1 CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS POR EL INTERIOR DE LAS INSTALACIONES**

- Los vehículos que acceden a las instalaciones deberán estar autorizados por el Departamento de Seguridad.
- Solo podrán circular por las áreas de proceso los vehículos a motor a los que se haya concebido el Permiso de circulación.
- El Permiso de circulación será confeccionado y concebido por el responsable de la Unidad a la que accede el vehículo, procediendo a la autorización una vez obtenga el “enterado y conforme” de los responsables de aquellas unidades por las que tenga que pasar para acceder a su destino final.
- Ningún vehículo se podrá quedar sin conductor, interrumpiendo la circulación en el interior de la refinería.
- Cualquier empleado podrá invalidar la circulación por el interior de la misma, cuando observe que un vehículo no reúne las condiciones mínimas de conducción segura o que las maniobras realizadas pueden presentar peligro para las personas o instalaciones.
- La velocidad máxima permitida en el interior es de 40 km/h para todo tipo de vehículos, excepto en algunas áreas con cartel de 20 km/h.
- Dentro del recinto industrial, está plenamente en vigor el código de circulación, debiéndose respetar las señales de tráfico.
- No se permite viajar en los estribos, guardabarros o parachoques de los vehículos. El personal que viaje en un vehículo lo hará sentado y de forma que sus brazos no sobresalgan de los límites del mismo. Está prohibido subir o apearse de un vehículo en movimiento.
- Está prohibido el paso de vehículos por el interior de las zonas de procesos, por los cubetos de tanques y zonas prohibidas por discos y señales, sin obtener el correspondiente Permiso de Trabajo en Caliente.

- Los vehículos no podrán estacionarse a menos de 5 m de los hidratantes u otros equipos de Servicio Contra Incendios.

## **6.2 CIRCULACIÓN DE PERSONAL.**

- Se utilizarán los pasos, rutas senderos y escaleras previstos. No se tomarán atajos peligrosos, como cruzar zanjas de tuberías, etc. Se evitará desde lugares altos.
- Al utilizar las escaleras, se subirá y bajará de cara a las mismas y con ambas manos libres para asirse a los pasamanos. No se intentará transportar objetos voluminosos, pesados o peligrosos al utilizar las escaleras; estos objetos se izarán por cuerdas o por otros medios.
- Nunca se encaminará ni se detendrá debajo de cargas en suspensión.
- Todas las aberturas u obstáculos, que por cualquier motivo estén en los lugares de paso, se protegerán y marcarán.
- Es obligatorio circular por aceras o arcén izquierdo en las vías y está prohibido circular por el centro de las mismas, cumpliendo las señalizaciones.
- Queda prohibido correr salvo en caso de emergencia.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

---

**ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**  
**DURANTE LAS OPERACIONES**

## **CAPÍTULO 1**

### **SEGURIDAD Y DISEÑO**

#### **1.1 SEGURIDAD EN EL DISEÑO DEL PROCESO.**

##### **1.1.1 Sistemas de alivio de sobrepresión.**

Para descargar los excesos de presión las unidades de proceso deberán existir accesorios e instalaciones apropiadas. Se emplearán sistemas de alivio de sobrepresión en aquellos equipos en los que se alcancen niveles de presión que puedan ocasionar rotura o fallos mecánicos, según indica el Reglamento de Almacenamiento de Químicos.

Todo recipiente deberá disponer de sistemas de venteo o alivio de presión para prevenir la formación de vacío o presión interna, de tal modo que se evite la deformación del mismo como consecuencia de las variaciones de presión producidas por efecto de los llenados, vaciados o cambios de temperatura. Este sistema deberá ser dirigido hacia un lugar seguro.

Los venteos normales de un recipiente se dimensionarán de acuerdo con las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia y, en su ausencia, con códigos de reconocida solvencia. En ausencia de los mismos, tendrán, como mínimo, un tamaño igual al mayor de las tuberías de llenado o vaciado y, en ningún caso, inferior a 35 mm de diámetro interior.

Si cualquier recipiente tiene más de una conexión de llenado o vaciado, la dimensión del sistema de venteo o alivio de presión se basará en el flujo máximo posible. Como norma general deberá evitarse la emisión a la atmósfera de vapores de líquidos tóxicos y, en todo caso, controlar los niveles de emisión para cumplir la normativa vigente. Para recipientes a presión el cálculo del sistema de alivio de presión se hará de acuerdo con el código de diseño adoptado.

Los sistemas que pueden usarse son:

- Válvulas de seguridad para líquidos y para vapores.
- Discos de ruptura.
- Portezuelas de seguridad o de explosión.

En este proyecto, dado que no constituye un objeto del mismo, no se ha entrado en el diseño de estos sistemas; sin embargo, a

continuación se señalarán los puntos de la unidad donde podría ser necesario su empleo.

Se emplearán válvulas de seguridad en la cabeza de la columna que conduce la corriente de vapor hacia el condensador, y en los refrigerantes E-4 y E-5.

**Tabla 7.1: Válvulas de seguridad**

<b>Identificación</b>	<b>Equipo</b>	<b>Sustancia/estado</b>	<b>Descarga</b>
<b>PSV-1</b>	<b>E-4</b>	<b>Agua de refrigeración (L)</b>	<b>Atmósfera</b>
<b>PSV-2</b>	<b>E-5</b>	<b>Agua de refrigeración (L)</b>	<b>Atmósfera</b>
<b>PSV-3</b>	<b>E-2</b>	<b>Vapores de cabeza (V)</b>	<b>Atmósfera</b>

Estas válvulas de seguridad cumplirán con lo establecido en el Reglamento de Aparatos a Presión y con las especificaciones del código API o ASME.

### **1.2.1 Evacuación de fluidos.**

Estas instalaciones se encargan de realizar la descarga intencionada del fluido por presión autogenerada en el equipo con el fin de reducir o controlar la presión no usual, vaciar el sistema de su contenido en situaciones de emergencia o llevar a cabo las purgas previas a los trabajos de mantenimiento. Dicho dispositivo ha de estar dimensionado para que el contenido se pueda vaciar en el tiempo necesario, solidario al sistema de agua pulverizada mediante una serie de rociadores de los que dispone el mismo.

Las instalaciones de evacuación consistirán en válvulas de evacuación, de conexión entre la unidad y las líneas de evacuación de los recipientes receptores desde los que se dispondrá de manera segura los productos recibidos. Complementarán a las válvulas de seguridad.

Estas instalaciones cumplirán con los requisitos del Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos.

## **1.2 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.**

### **1.2.1 Medidas generales de defensa contra incendio.**

Se dispondrá de un adecuado suministro de agua para las redes contra incendios. Existirán al menos dos estaciones de bombeo

independientes y situadas de tal forma que en caso de emergencia no puedan ser afectadas simultáneamente.

Uno de los suministros de agua, como mínimo, deberá ser automático y aportar el caudal de agua necesario en los primeros momentos, en caso de incendio, mientras se pone en funcionamiento el suministro principal.

En este proyecto, dado que no constituye un objeto del mismo, no se ha entrado en el diseño de estos sistemas; sin embargo, a continuación se señalarán algunos puntos destacados para la protección de los recipientes afectados por un posible incendio.

La reserva permanente de agua se fijará según el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales. Dispondrán además de una fuente de suministro adicional que permita proteger, junto con la fuente principal, el área expuesta al incendio evitándose posibles sobrepresiones debidas al calentamiento de los diferentes recipientes. El suministro será tal que permita la protección del área en cuestión durante un tiempo que oscile entre los 15 y 20 minutos. Así dará tiempo a su vez al desalajo controlado del ácido del recipiente o los recipientes afectados.

El objetivo de este sistema de mitigación del ácido fluorhídrico es impedir la emisión descontrolada del mismo a la atmósfera así como el enfriamiento de las paredes de los recipientes afectados al crearse una cortina de agua que impide el paso del fuego.

La red de tuberías estará constituida por tuberías de acero e independientes de la red de agua para uso industrial. La red estará distribuida en malla y contará con válvulas de bloqueo en número suficiente para aislar cualquier sección que se vea afectada por rotura.

La red de agua contra incendio, seguirá el trazado de las calles siempre que sea posible; e irá enterrada o debidamente protegida en aquellos lugares donde se prevean persistentes temperaturas inferiores a 0°C. Si no existe esta posibilidad se realizará su instalación exterior para facilitar su inspección y mantenimiento. En todo caso se protegerán contra la corrosión.

Básicamente el sistema consiste en el uso de dos colectores, de 6 m (20 in) de alto y los otros de 15 m (50 in) de alto, que rodean totalmente el perímetro de la zona en la que se opera con el ácido. Dependiendo del tamaño de la planta, el número de boquillas oscila entre 500 a 2000 boquillas "SpiralJet" que se montan a 0,6m (2 in) del centro, se dirigen hacia abajo, hacia el área del proceso. En caso

de que se produzca una ruptura en la cadena, una pared de agua se crea literalmente que contiene al ácido dentro del perímetro de la planta. Puesto que el agua está circulando continuamente a través de las cadenas de un depósito de 800.000 galones (3.000 m<sup>3</sup>), la contención es rápida y eficaz.

#### **1.2.1.1 Utilización de extintores.**

Los extintores serán fácilmente visibles y accesibles, próximos a la salida de evacuación y preferentemente sobre soportes fijados a parámetros verticales, de tal manera, que la parte superior del extintor quede como máximo a 1,7 metros del suelo.

Las características y especificaciones se ajustarán a la norma UNE 23110, al Reglamento de Aparatos a Presión y a su Instrucción Técnica Complementaria MIE AP-5.

También se distribuirán extintores apropiados en los diversos locales, atendiendo a la legislación vigente.

#### **1.2.1.2 Utilización de equipos móviles.**

Estos equipos complementarán a la protección dada por las distintas instalaciones fijas.

Se trata de camiones de servicio contra incendio, de agua, espuma o polvo; los cuales pueden ser complementados por motobombas transportables, camiones cisterna y monitores transportables sobre ruedas.

### **1.2.2 Protección e instalaciones para defensa contra incendios.**

#### **1.2.2.1 Protección personal.**

Se dispondrá de equipos de protección individual para la lucha contra incendio en el lugar adecuado de la Petroquímica, así como, de mantas ignífugas en aquellos puntos en los que pueda existir peligro de quemaduras del personal.

#### **1.2.2.2 Protección de las unidades.**

Se emplearán dispositivos fijos o móviles que proyecten uno o varios productos extintores apropiados, tales como agua pulverizada, vapor, espuma, etc., cuyas características y especificaciones se ajustarán a la establecido en las normas UNE correspondientes.

Las instalaciones de protección fijas de accionamiento automático, deberán poderse igualmente accionar mediante mandos manuales situados debidamente alejados del riesgo que protegen.

### **1.2.2.3 Protección de tanques.**

Todos los tanques llevarán un sistema fijo de agua pulverizada que será susceptible de alimentarse desde el exterior de los cubetos por una instalación fija o por conexión a una instalación móvil adecuada.

El vertido de agua pulverizada podrá realizarse por encima de la superficie libre del producto o inyectándola por debajo de la misma.

### **1.2.2.4 Mando de instalaciones fijas.**

Los mandos de todas las instalaciones fijas de lucha contra incendios, comprendidas la válvula de evacuación de agua fuera de los cubetos de retención, deberán estar señalizados.

Se podrán usar en cualquier circunstancia. Por lo que, deberán encontrarse al exterior de los cubetos de retención y a una distancia mínima de 25 metros de la pared del tanque que protegen.

Esta distancia podrá reducirse si los mandos están colocados al abrigo de una pantalla cortafuegos fija y eficaz y si el personal encargado de su manejo dispone de equipos apropiados de protección contra el fuego. La pantalla cortafuego podrá estar constituida por un obstáculo incombustible.

### **1.2.3 Sistemas de alarmas.**

Las instalaciones de protección contra incendio contarán con alarmas para avisar al servicio de seguridad en caso de incendio.

Estas alarmas podrán ser de accionamiento manual o automáticas.

Los sistemas humanos requieren vigilancia continua por personal adiestrado y deben complementarse con equipos para comunicación: pulsadores, radioteléfonos, sirenas, etc., que transmitan una señal a la central de control de tal manera que sea fácilmente localizable la zona en la que ha sido activado el pulsador.

En la norma UNE 23007 se especifica el diseño de los sistemas automáticos.

Se colocarán de tal manera que en ningún caso la distancia a recorrer para alcanzar un punto sea superior a trescientos metros, a partir de un elemento conteniendo ácido fluorhídrico, excepto en tuberías. En el caso de no existir puntos de alarma, éstos deberán sustituirse por transmisiones portátiles de radio en poder de vigilantes o personal de servicios.

### **1.3 PROTECCIÓN EN CASO DE DERRAME Y SISTEMAS DE MITIGACIÓN Y MINIMIZACIÓN DE RIESGO.**

#### **1.3.1 Protección de personal.**

Cuando se define el equipo de protección personal también deben tenerse en cuenta a todas las posibles consecuencias para la salud de las personas que las utilizan y la adecuada aplicación de normas.

Todos los materiales utilizados para la fabricación de equipos de protección personal son impermeables al HF, en particular, líquidos de alta frecuencia. Los procedimientos deben garantizar que, cuando se dé el contacto con líquidos de alta frecuencia, el usuario pueda tratar de descontaminar e inspeccionar el equipo con la mayor brevedad posible.

En función del riesgo existente se pueden considerar 4 niveles de peligro para los cuales existen indumentarias apropiadas:

- Nivel Alfa ( $\alpha$ ): Respuesta de emergencia.
- Nivel Beta ( $\beta$ ): Equipo operacional de las actividades de mayor riesgo
- Nivel Gamma ( $\gamma$ ): Equipo operacional de rutina.
- Nivel Delta ( $\delta$ ): Equipo estándar de planta.

##### **1.3.1.1 Nivel Alfa.**

Se utiliza en caso de emergencia o cuando el riesgo tras haber sido evaluado ha determinado un alto grado de probabilidad de que la tarea pueda dar lugar a una elevada exposición. Llegado este caso el equipo de protección comprenderá:

- guantes adecuados cerrados herméticamente a nivel de muñeca.
- Set Ba con línea de suministro de aire adecuado.
- Máscara estándar duro.
- HF resistentes "Wellington" tipo de arranque (EN 943-2: 1995), con los dedos del pie y el acero, vástago desgastado dentro de la pierna exterior sello.

##### **1.3.1.2 Nivel Beta.**

B nivel de equipo de protección personal se utiliza para las tareas operativas de rutinas invasoras, interacciones con el equipo o proceso no rutinarios de las interacciones que han sido identificadas como que requieren un mayor nivel de protección. B Nivel equipo está diseñado para impedir la penetración de HF, y dar plena protección.

Este nivel comprende el siguiente equipo de protección:

- Chaqueta resistente alimentada de aire con pantalones de cintura alta que se sellará en “Wellingtontype”. También posee botas y guantes con integrante, alimentados con campana de aire; Campana alimentada de aire, de alta resistencia, que abarque plenamente una resistencia tal que se tenga el traje de una pieza.
- Máscara.
- Guantes resistentes al HF.
- Suministro adecuado de aire.
- Botas o polainas con puntera de acero. Fijadas de tal modo que sean una sola pieza con el resto del traje.

#### **1.3.1.3 Nivel Gamma.**

Se utiliza para las tareas rutinarias en procesos de interacción con el equipo. Está diseñado para dar un mayor grado de protección en caso de contacto accidental con el proceso, para las personas que trabajan en la zona de manipulación del HF.

Dispone de los siguientes elementos:

- Sombrero estándar duro que cubre la nuca y la visera que cubre la cara. El visor ha de estar hacia abajo cuando se esté trabajando en la zona de manipulación.
- Gafas químicas que han de usarse bajo la máscara.
- Guantes resistentes al HF.
- Chaqueta resistente con mangas de sellado en guantes.
- Pantalones de cintura alta resistentes al HF sellada con las botas de tipo Wellington.
- Botas con punteras reforzadas de acero y polainas de seguridad.

#### **1.3.1.4 Nivel Delta.**

Nivel mínimo de protección necesario para realizar manipulaciones en zonas de operación con el ácido fluorhídrico. No está diseñado para su uso cuando existe riesgo potencial de exposición con el ácido.

Dispone de los siguientes elementos:

- Sombrero estándar duro.
- Gafas de seguridad con protectores laterales o gafas químicas.
- Botas con puntera de acero y polainas de seguridad.
- Guantes resistentes al HF.
- Sistemas de filtro.

El equipo de protección se debe descontaminar justo después de su uso en duchas. Deben existir sistemas secundarios que permitan la descontaminación mediante la neutralización para terminar de asegurar su completa descontaminación. Tras limpiar el equipo de protección debería hacerse la prueba de integridad antes de su reutilización en la zona de uso habitual, así por ejemplo, los guantes han de ser inflados de aire para asegurar que no pueda existir ningún tipo de contacto con el ácido.

El equipo de protección personal deben ser almacenados y sistemáticamente mantenida por personal capacitado en conformidad con las recomendaciones de los fabricantes.

En caso de la existencia de algún defecto no deberá ser usado dicho equipo de protección en las instalaciones.

Todas las reparaciones de los equipos de protección personal sólo debe ser realizada por personal capacitado y autorizado.

### **1.3.2 Protección de las instalaciones y sistemas de mitigación**

#### **1.3.2.1 Introducción.**

Aunque, no es objetivo del presente proyecto el diseño de los sistemas de mitigación así como de cualquier dispositivo de índole relacionada con la seguridad, se destacarán algunos aspectos importantes, en la lucha contra el ácido fluorhídrico, en caso de derrame accidental o posibles escapes por cualquier tipo de circunstancia.

Para la neutralización en casos de escape del ácido por derrames, se hace patente, la necesidad de sistemas de mitigación que impidan emisiones de dicho producto debido a las consecuencias que se derivan de la interacción con él.

#### **1.3.2.2 Sistemas de monitorizado y detección.**

La detección temprana de una liberación HF es un importante componente de un sistema eficaz de protección de los empleados y la refinería de la comunidad que la rodea. Dicha detección es también de importancia crítica en la aplicación de medidas de mitigación.

Se hace necesario, pues, contar con un eficaz sistema de detección de fugas de ácido fluorhídrico. Tal sistema puede incluir circuito cerrado de televisión, sensores, y otros sistemas. Los sensores y / o sistemas deberían estar situados de manera que se pueda detectar cualquier posible liberación de HF en diversas condiciones

climáticas, todo tipo de liberaciones y posibles fuentes de fugas. Los procedimientos de operación deben incluir las medidas necesarias para la mitigación una vez se haya detectado una fuga. El sistema deberá proporcionar cobertura para todas las áreas del proceso que contienen cantidades importantes de dicha sustancia, así como de almacenamiento y áreas de carga y descarga.

También debe especificar los procedimientos para la detección del ácido, del sistema de calibración y ensayo para asegurar un sistema lo más fiable posible para que funcione cuando se active.

### **1.3.2.3 Sistemas de liberación-mitigación.**

En lo que se refiere a los sistemas de mitigación, no existe tan sólo un único sistema como es el del uso de agua pulverizada, existen muchos otros sistemas, como son el uso de espumas o agentes químicos, inclusive aislamientos remotos, etc. El uso de varios sistemas de mitigación a la vez dependerá de las diferentes situaciones con las que puedan originarse y de muchos factores específicos. Un ejemplo sería la liberación de ácido ante un caso de sobrepresión (a elevada temperatura) lo que llevaría a la formación de una nube de aerosol, por lo que se haría necesario el uso de diques así como de el uso de agentes para contener de manera adecuada la vaporización del ácido.

Para este proyecto, la contención mencionada se hará con un sistema de mitigación que consiste en la utilización de agua pulverizada. En base al caso del que se trate, debido a la zona donde se cree el riesgo mencionado, la distancia de aplicación del agua será diferente.

El agua puede ser aplicada por un sistema de control remoto fijo de "spray" de cortinas, monitores de agua, o algunos combinación de los dos, en función de consideraciones locales. El tiempo de detección ante un posible escape toma una gran importancia, ya que afecta directamente sobre el tiempo de respuesta mediante el sistema de mitigación. Dicho sistema ha de ser comprobado previamente para asegurar su correcto funcionamiento en caso de fuga. Esas pruebas han de hacerse de tal manera que tengan en cuenta cualquier tipo de caso o de condiciones climáticas.

### **1.3.3.4 Válvulas de aislamiento para casos de emergencia.**

La magnitud o las consecuencias de una posible liberación de ácido puede minimizarse mediante el uso de válvulas de seguridad, ubicadas de tal forma que puedan aislar rápidamente las posibles fugas. El objetivo es poder eliminar las fuentes de ácido o presión desde el punto de liberación. Las disposiciones para la protección

presión excesiva de los equipos aislados por las válvulas de bloqueo de emergencia ha de incluirse en el diseño.

#### **1.3.3.5 Sistemas de desviación de las corrientes de ácido.**

La duración y, por tanto, la magnitud de una liberación de HF puede reducirse si la fuga de ácido en la sección de la unidad puede ser trasladado rápidamente a un lugar seguro. El propósito fundamental de cualquier sistema orientado a minimizar la fuga de HF se basa en reducir el tiempo en el que se produzca el goteo del mismo. El diseño de este sistema por el que se produce la desviación de las corrientes que contengan el ácido afecta sobre el diseño de los sistemas de mitigación.

Los depósitos para las posibles desviaciones de ácido han de estar coordinados en el diseño con la situación de las válvulas de seguridad y de la localización de las instalaciones de emergencia. El tiempo de respuesta de dicho sistema depende del lugar donde se localice la emisión.

Dichos sistemas han de diseñarse de forma que permitan una buena ventilación y neutralización de los vapores durante el traslado de los ácidos.

La capacidad y la localización de las válvulas de seguridad de alivio debe revisarse durante el diseño de un estos sistemas. Una variación en el servicio de un recipiente durante una emergencia o de la instalación de válvulas adicionales en un sistema de tuberías puede cambiar la presión de las necesidades de socorro de los equipos involucrados.

### **1.4 RELACIÓN DE SUSTANCIAS CLASIFICADAS Y PELIGROSAS.**

En este apartado se aporta la información sobre las características físicas, químicas y toxicológicas, de las sustancias peligrosas presentes en cantidades relevantes en esta planta.

Se incluyen las “Fichas de datos de seguridad de sustancias y preparados” según el R.D. 363/1995.

#### **1.4.1 Sustancias peligrosas (R.D. 1254/1999)**

##### **1. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA.**

###### **1.1. Identificación de la sustancia o del preparado**

Nombre del producto: Ácido Fluorhídrico 60%

Otros nombres del producto: Fluoruro de Hidrógeno 60%

### **1.2. Uso de la sustancia o preparado**

Decapado del cobre, latón y acero inoxidable; disolución de metales; control de fermentación de la cerveza; fabricación de levadura; fabricación de productos químicos derivados del flúor; flotación de minerales; limpieza de hierro y aceros fundidos; limpieza exterior de la piedra o ladrillo de construcción; pulido electrolítico de metales; pulido, grabado y esmerilado del vidrio; purificación del grafito; purificación del papel de filtro; tratamiento previo para la galvanización.

### **1.3. Identificación de la sociedad o empresa**

Nombre de la empresa: DERIVADOS DEL FLÚOR, S.A.

Dirección: Factoría

ONTÓN – CASTRO URDIALES  
39700 ONTÓN / CANTABRIA (ESPAÑA)  
Tlfno. 942-87 94 00 / FAX: 942-87 92 46

## **2.COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES**

### **2.1. Sustancia / preparado: Sustancia**

Familia Química: Fluoruro Inorgánico

### **2.2 Información componentes peligrosos**

Nombre químico: Ácido Fluorhídrico - HF 60%

Nº CAS: 7664-39-3

Nº EINECS: 231-634-8

Nº ONU: 1790

Sustancia incluida en la lista de sustancias peligrosas (Anexo 1 de la Directiva 67/548 CEE y sus modificaciones y adaptaciones)

Clasificación: Muy tóxico y corrosivo

Símbolos: T+, C

Frases R: 26/27/28 - 35

## **3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.**

### **3.1. Peligros fisicoquímicos.**

Líquido fumante. Sus vapores al contacto con el aire húmedo producen abundantes y densos humos blancos.

Ataca a la mayoría de los metales con desprendimiento de hidrógeno gaseoso inflamable.

Reacciona intensamente (exotérmica) con agua y lejías.

Reacciona violentamente con sustancias oxidantes con desprendimiento de Flúor.

### **3.2. Peligros medioambientales.**

Efecto tóxico en los peces y el placton, sobre organismos fijos a causa también de una variación del pH.

Fuerte polucionante del aire.

### **3.3. Peligros para la salud humana.**

Muy tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel. Provoca quemaduras graves.

La absorción de iones Fluoruro en la sangre, por inhalación de polvo o vapores, por ingestión o por absorción cutánea, puede reducir los niveles de calcio del suero, causando posible hipocalcemia, así como las de magnesio causando posible hipomagnesia, además de provocar la inhibición de enzimas vitales. Puede causar también peligrosas y acusadas disturbancias del metabolismo y de las funciones renales y hepáticas.

En casos de exposiciones prolongadas y repetidas, la absorción de iones fluoruro en la sangre puede producir fluorosis (fijación del calcio de los huesos por fluoruros).

Los síntomas de sobreexposición a fluoruros pueden incluir salivación, náuseas, vómitos, dolor abdominal, diarreas, fiebre, respiración fatigosa.

Los síntomas de severo envenenamiento incluyen respiración difícil, congestión pulmonar, espasmos musculares, convulsiones, colapso.

## **4. PRIMEROS AUXILIOS.**

La inmediatez del tratamiento es esencial para disminuir la gravedad de las consecuencias de la quemadura o intoxicación.

En cualquiera de los casos siempre es recomendable el consejo asistencia médica.

#### **4.1. Contacto con la piel.**

El contacto directo del líquido con la piel ocasiona inmediatamente quemaduras que se intensificarán con el tiempo, pudiendo variar, según el tiempo de contacto y la rapidez del tratamiento, evolucionando de eritemas y vesículas a quemaduras con necrosis y ulceraciones.

Las soluciones diluidas pueden producir también quemaduras, difíciles de advertir al principio.

Los iones de fluoruro penetran rápidamente a través de la piel y los tejidos provocando necrosis en los tejidos blandos y descalcificación de los huesos. De forma contraria a otros ácidos, los cuales son rápidamente neutralizados, este proceso puede continuar por días. En caso de salpicaduras grandes han sido reportados varios casos fatales. Normalmente la muerte ocurre repentinamente entre 2 y 10 horas después de la exposición, debido a problemas respiratorios y fallo cardíaco.

Puede ser absorbido a través de la piel en cantidades tóxicas.

Quítese inmediatamente la ropa manchada o salpicada, lavar inmediata y abundantemente con agua durante al menos 5 minutos, a continuación aplicar sobre la zona afectada gel de Gluconato Cálcico al 2,5% dando masajes (frotando) con él hasta desaparecer el dolor y durante 15 minutos más. Eventualmente poner un apósito o vendaje embebido en solución de Gluconato Cálcico al 10%.

Si no se dispone de gel de Gluconato Cálcico, el lavado con agua debe realizarse durante 15 minutos.

Si se trata de quemaduras en la piel mayores que la superficie de la mano (aprox. 150 cm<sup>2</sup>) deben administrarse adicionalmente por vía oral 6 tabletas de calcio efervescentes (400 mg. de calcio por tableta) disueltas en agua. Esta administración se repetirá cada 2 horas hasta el ingreso en el hospital.

Si las quemaduras son muy extensas, tomar un baño integral en solución 1-5% de Gluconato Cálcico.

El tratamiento médico es necesario lo antes posible.

#### **4.2. Contacto con los ojos**

Es lacrimonal y produce dolorosas quemaduras que pueden provocar defectos visuales permanentes o ceguera.

Lavar éstos inmediata y abundantemente con agua, manteniendo abiertos los párpados de 10 a 15 minutos. A continuación irrigar con solución isotónica salina normal durante 15 minutos.

Acudir urgentemente a un oftalmólogo.

#### **4.3. Inhalación**

Provoca quemaduras en el aparato respiratorio. Puede causar inflamación en el tracto respiratorio superior, en los pulmones, congestión, edema pulmonar, fiebre y cianosis, los cuales pueden no aparecer en 12 o 24 horas. Después de la exposición puede ser fatal.

Prolongadas y repetidas exposiciones a bajas concentraciones de gases pueden causar congestión nasal, hemorragias nasales y bronquitis.

Es casi imposible para nadie consciente inhalar suficiente HF para dañarse seriamente, ya que es demasiado picante y molesto para inhalarlo voluntariamente.

Separar al afectado de la zona de peligro. Colocar al afectado en la posición más cómoda posible y protéjasele del frío. Administrar comprimidos de calcio como en el caso de contacto con la piel. Si la respiración es trabajosa désele oxígeno a través de una máscara facial.

El tratamiento médico es necesario lo antes posible.

#### **4.4. Ingestión**

Causa necrosis bucal, de esófago y estómago, pudiendo causar náuseas, vómitos, diarrea y colapso circulatorio.

Administrar por vía oral 6 tabletas efervescentes de calcio disueltas en agua. En caso de no disponer de calcio administrar leche. No provocar el vómito.

El tratamiento médico es necesario lo antes posible.

#### **4.5. Información adicional.**

Es muy recomendable que, en las cercanías de los puestos de trabajo, existan duchas de emergencia y lavaojos.

Por la singularidad de las quemaduras e intoxicaciones por fluoruros, los departamentos de accidentes y servicios de emergencia de los hospitales locales deben estar perfectamente informados de los tratamientos médicos específicos y concretos.

## **5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**

El producto no es combustible **ni comburente**.

### **5.1. Medios de extinción apropiados.**

Sin restricción en caso de incendio en las inmediaciones.

### **5.2. Procedimientos especiales contra incendios.**

En el caso de acción del calor debido a incendio en las inmediaciones, peligro de reventón. Trasládense los recipientes a una zona que ofrezca seguridad, siempre que esta operación pueda realizarse sin peligro. Refrigerar con agua pulverizada los recipientes expuestos al fuego. Al abrir los recipientes asegurarse la no existencia de chispas o medios de ignición en las proximidades.

### **5.3. Riesgos especiales.**

Ninguno. Desprendimiento de gases muy tóxicos y corrosivos de HF.

### **5.4. Protección de bomberos.**

En los trabajos de extinción es necesario proveer protección respiratoria y ropa de protección completa.

## **6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**

### **6.1. Precauciones personales**

Procurar buena ventilación. El personal que se ocupe de combatir el derrame debe estar equipado adecuadamente (Ver apartado 8). Restringir el acceso al área hasta la limpieza total, a las personas que no usen equipo de protección personal. Evitar la entrada de producto a sótanos.

## **6.2. Precauciones para la protección del medio ambiente**

Prevenir la contaminación del suelo, agua y desagües. El aire extraído que se haya contaminado con una importante cantidad de vapores debe tratarse con un sistema de lavado por vía húmeda antes de evacuarlo a la atmósfera.

## **6.3. Métodos de limpieza**

Si es posible, voltear recipiente con fuga, para que escape gas mejor que líquido. Contener la fuga con arena, tierra o material absorbente. Diluir con mucha agua. Arrastrar con chorro de agua pulverizada los gases / vapores que se escapen. Neutralizar con cal. No tirar los residuos por el desagüe.

## **7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO**

### **7.1. Manipulación.**

Procurar buena ventilación. Se han de manejar cuidadosamente los recipientes a fin de evitar roturas o desperfectos en las válvulas. Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia por la posible sobrepresión. Efectuar el vaciado, trasiego, diluciones, disoluciones, etc., según un proceso riguroso, de forma que se eviten los calentamientos locales, proyecciones de líquido y desprendimiento de vapores. Evitar la acumulación de recipientes a medio usar, los envases que hayan sido parcialmente utilizados deben volverse a cerrar herméticamente después de su uso y devolverse al almacén. Los recipientes vacíos contienen residuos, por lo que deben manipularse como si estuvieran llenos.

### **7.2. Almacenamiento.**

Consérvense los recipientes herméticamente cerrados, en lugar fresco y bien ventilado, protegidos contra daños físicos, del calor, de la luz solar directa, y separados de materiales fácilmente inflamables.

Los recipientes se deben inspeccionar periódicamente para detectar lo antes posible daños o fugas.

Es recomendable que el almacenaje esté separado de populosas áreas de trabajo, así como que los almacenes tengan dos puertas de salida situadas lo más lejos posible una de otra, y que en su exterior, cercanos a la puerta de salida, se sitúen equipos de protección personal.

En España, el almacenamiento debe cumplir con el R.D. 379/2001 (Reglamento de almacenamiento de productos químicos) si se almacena por encima de 50 litros.

Como materiales de embalaje se pueden utilizar depósitos de acero con recubrimiento interior de un plástico o caucho adecuado, a presión atmosférica con sistema de depuración de gases, bidones de acero con recubrimiento interior de PE alta densidad, jerricanes de PE alta densidad.

## **8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN / PROTECCION PERSONAL.**

### **8.1. Valores límite de exposición profesional.**

Valor límite para exposiciones repetidas

VLA – ED: 1,5 mg. (HF) / m<sup>3</sup> – Guía del INSHT.

Valor límite para exposiciones de corta duración.

VLA – EC: 2,5 mg. (HF) / m<sup>3</sup> – Guía del INSHT.

Valor límite biológico: VLB

Indicador biológico: Fluoruros en orina.

Final de la jornada laboral: 8 mg./l. – Guía del INSHT. (En revisión)

Antes del turno 4 mg./g. creatinina, al final del turno 7 mg./g. creatinina – BAT.

### **8.2. Controles de la exposición.**

Aspiración local recomendada para mantener las emisiones de vapores a nivel más bajo de exposición admisible. Así mismo, es recomendable la existencia de pantallas protectoras de salpicaduras en puntos de utilización del producto.

#### **8.2.1. Controles de la exposición profesional.**

Para la manipulación del producto debe ser obligatorio la utilización de equipos de protección personal.

No comer, beber, ni fumar durante su utilización. Antes de pausas lavarse las manos. Al terminar con el trabajo ducharse o lavarse. Mudarse de ropa de trabajo después de manipular con el producto. Cámbiese la ropa manchada o salpicada y lavarla previamente a su

reutilización. Las zonas de duchas y lavabos deben estar separadas de los vestuarios. Manténgase el producto lejos de alimentos, condimentos y bebidas.

#### **8.2.2. Protección respiratoria.**

Si los controles de ingeniería, prácticas de trabajo y controles administrativos no son efectivos para reducir la concentración por debajo de la legislación referente a límites de exposición, vestir protección respiratoria.

Los equipos respiratorios apropiados, todos ellos EPI's de categoría 3, pueden ser, en dependencia del nivel de vapores, una máscara facial con filtros recambiables tipo E<sub>1</sub> – E<sub>2</sub>, máscara de capucha con visores de plástico apropiado y filtros recambiables del tipo anterior, o equipos aislantes bien con línea de aire o autónomos.

#### **8.2.3. Protección de las manos.**

Guantes de protección química de un material adecuado (p.e. Vitón, Neopreno, PVC).

#### **8.2.4. Protección de los ojos.**

Gafas de protección química, tipo motorista o buzo, bien ajustadas, con cristales de plástico (p.e. PVC transparente), o una pantalla facial.

Es generalmente reconocido que las lentes de contacto no deben utilizarse cuando se trabaja con químicos, porque dichas lentes pueden contribuir a la severidad de los posibles daños a los ojos.

#### **8.2.5. Protección cutánea.**

En condiciones normales, delantal de un material adecuado (p.e. Vitón, Neopreno), ropa de protección normal (buzo) con mangas largas y botas de protección química (p.e. Vitón, Neopreno).

Adicionalmente para trabajos con posible contacto con el producto vestir EPI's de categoría 3 tipo 3 (estanqueidad a los líquidos) de material adecuado (Composite, Vitón, PVC) y para emergencias un EPI de categoría 3 tipo 1 (estanco a gases), de los mismos materiales, con equipo de respiración autónomo.

### **8.2.6. Controles de la exposición del medio ambiente.**

En España:

R.D. 547/1979 - Emisión gaseosa - Flúor total 40 mg. / Nm<sup>3</sup>.

R.D. 833/1975 - Inmisión gaseosa (fuera del recinto fabril) / Fluoruros 60 µg / m<sup>3</sup> (30') - Fluoruros 20 µg / m<sup>3</sup> (1 día)

## **9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.**

### **9.1. Información general.**

Aspecto: Líquido incoloro transparente

Olor: Picante. Umbral odorífico 0,04 a 0,13 ppm.

### **9.2. Información importante en relación con la salud, la seguridad y el medio ambiente.**

pH : < 1

Punto de ebullición: Aproximadamente 85 °c a 1.013 mbar.

Punto de inflamación: No inflamable.

Inflamabilidad: No inflamable.

Propiedades explosivas: No explosivo.

Propiedades comburentes: No comburente.

Presión de vapor: Aprox. 55 mbar a 20 °c

Densidad relativa: Aprox. 1,21 g./cm<sup>3</sup> a 25 °c

Hidrosolubilidad: Miscible en todos los ratios.

Liposolubilidad: No constan datos.

Coefficiente de reparto: No constan datos.

N – octanol / agua

Viscosidad: No constan datos.

Densidad de vapor: Variable según grado de polimerización, sujeto a variación con temperatura.

Velocidad de evaporación: No constan datos.

### **9.3. Otros datos.**

Temperatura de ignición espontánea: No inflamable.

Punto de fusión: Aprox. -42 °c

Muy soluble en etanol y otros solventes orgánicos.

## **10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD.**

Estable bajo condiciones normales. Presenta una gran actitud a la polimerización, no considerada peligrosa.

### **10.1. Condiciones que deben evitarse.**

Su calentamiento.

### **10.2 Materias que deben evitarse.**

El contacto con el acero, y otros muchos metales, desprenderá hidrógeno gaseoso inflamable. Ataca a la sílice, silicatos y en particular al vidrio. No son adecuados recipientes de vidrio, cemento, ciertos metales, materiales que contengan sílice, cerámica, caucho natural, cuero y muchos polímeros orgánicos. Reacciona violentamente con agua, lejías, oxidantes, sales (cianidos, hipocloritos, etc) aminas.

### **10.3. Productos de descomposición peligrosos.**

No aplicable.

## **11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA.**

### **11.1. Inhalación.**

Acción fuertemente cáustica y posible envenenamiento por fluoruros.

Voluntarios humanos expuestos a 100 mg / m<sup>3</sup> durante un minuto reportaron picores en la piel y marcada irritación ocular y respiratoria. A 50 mg / m<sup>3</sup> marcada irritación ocular y respiratoria pero no picores en la piel.

LC<sub>50</sub> - rata: 1276 ppm / 1h.

LC<sub>50</sub> - mono: 1774 ppm / 1h.

LC<sub>50</sub> - cerdo de Guinea: 4320 ppm / 15 min.

### **11.2. Ingestión.**

Acción fuertemente cáustica y posible envenenamiento por fluoruros.

DLL<sub>0</sub> - cobaya: 80 mg / kg.

### **11.3. Contacto con la piel.**

Acción fuertemente cáustica y posible envenenamiento por fluoruros.

Al 2% corrosivo en piel de conejo con 1 h. de exposición, pero no con 1 min.

LDL<sub>0</sub> - ratón: 500 mg / kg.

LDL<sub>0</sub> - (subcutánea) rana: 112 mg / kg.

LDL<sub>0</sub> - (intraperitoneal) rata: 25 mg / kg.

### **11.4. Contacto con los ojos.**

Acción fuertemente cáustica.

Ojos humanos – 50 mg – severa irritación.

### **11.5. Sensibilización.**

La existencia de sensibilización al ión fluoruro es improbable.

### **11.6. Carcinogenicidad.**

No hay evidencias de una asociación entre cáncer y exposición a Fluoruros inorgánicos.

### **11.7. Mutagenicidad.**

Test de salmonella / microsomas (Test de Ames) : Ningún síntoma que haga sospechar un efecto mutagénico.

(Investigación efectuada en el Instituto de Toxicología de BAYER AG).

### **11.8. Tóxico para la reproducción.**

No constan datos.

### **11.9. Narcosis.**

No es narcótico.

### **11.10. Efectos crónicos.**

Posibilidad de efectos crónicos (fluorosis).

### **11.11. Otros datos.**

Número de registro de toxicidad RTECS / NIOSH: MW 7875000.

## **12. INFORMACION ECOLÓGICA.**

La información ecológica está basada en el ión fluoruro.

Destino y Distribución Medioambiental:

- Gran cantidad de material producido en sistemas totalmente sellados.
- Gran cantidad de material utilizado en sistemas totalmente sellados.
- Líquido con bajo punto de ebullición.
- El producto tiene potencial para la bioacumulación en organismos acuáticos.
- El producto tiene baja movilidad en suelos. La natural alcalinidad del suelo disipará lentamente la acidez. Si el pH > 6,5 el suelo atará fuertemente los fluoruros. Alto contenido en calcio también inmovilizará Fluoruros.
- Grandes derrames de HF al medio acuático podrían provocar exceso de acidificación con el subsiguiente daño a la vida acuática.

Toxicidad: El fluoruro soluble puede ser tóxico para organismos acuáticos.

LC<sub>50</sub> Peces -60 ppm.

Efecto en tratamiento de efluyentes:

Se prevé que en procesos de tratamiento biológico se elimine muy poca cantidad.

## **13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN.**

### **13.1. Tratamiento del producto.**

Aprovechar todo el producto que se pueda en el ciclo productivo.

Las soluciones residuales de Ácido Fluorhídrico deben tratarse adecuadamente antes de evacuarlas. Las soluciones residuales deben neutralizarse con un álcali, siendo más recomendable la cal que la lejía de sosa. Si estos álcalis se añaden cuidadosamente o se utilizan soluciones diluidas de los mismos, se evitará una excesiva generación de calor.

### **13.2. Tratamiento de los envases**

Utilizar la mayor cantidad posible de producto en el ciclo productivo.

Eliminar por lavado las menores cantidades de ácido, neutralizar con un álcali. Asegurarse de que el recipiente haya sido completamente neutralizado antes de considerarlo como material inerte o como material reciclable.

### **13.3. Otras informaciones**

Antes de cualquier procedimiento de eliminación, consultar las normativas nacionales, autonómicas y locales. En España son de obligado cumplimiento las leyes 11/97 de envases y residuos de envases, y la 10/98 – Ley de Residuos.

Un gestor de residuos o el fabricante del producto podrían colaborar / aconsejar en dicha eliminación.

## **14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE**

Número ONU: 1790

Nombre propio: Ácido Fluorhídrico con un máximo del 60% de fluoruro de hidrógeno.

Número de peligro: 86

Etiquetas: 8 + 6.1

Grupo de embalaje: II

Carretera: ADR: Clase 8 - CTI

Ferrocarril: RID: Clase 8 - CTI

Mar: Código IMDG - Clase 8

Aire: Código ICAO / IATA - Clase 8

Otras informaciones: Mantener separado de los productos alimenticios y farmacéuticos.

## **15. INFORMACIONES REGLAMENTARIAS.**

Etiqueta según R.D. 393/1995 y modificaciones y según Directiva CE 67/548/ CEE sus modificaciones y adaptaciones.

Nombre etiqueta: Ácido Fluorhídrico 60%

Clasificación: Muy tóxico, corrosivo.

Símbolos de peligro: T +, C

Frases de riesgo:

R-26/27/28: Muy tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.

R-35: Provoca quemaduras graves

Frases de seguridad:

S-7/9: Manténgase el recipiente cerrado y consérvase en lugar bien ventilado.

S-26: En caso de contacto con los ojos, lávenlos inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.

S-36/37: Úsense indumentaria y guantes de protección adecuados.

S-45: En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta)

## **16. OTRAS INFORMACIONES**

Cualquier producto químico puede ser manipulado en condiciones seguras si se conocen sus propiedades fisicoquímicas y toxicológicas, si se utilizan los medios técnicos y medidas organizativas pertinentes y los equipos de protección personal adecuados.

La instrucción específica del personal sobre propiedades y características de los químicos es clave en cualquier actividad de buena práctica en seguridad.

Este producto debe ser almacenado, manipulado y usado de acuerdo con los procedimientos de una buena higiene industrial y en conformidad con cualquier regulación legal.

En España es de obligado cumplimiento el R.D. 374/2001 sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

Las indicaciones se basan en los conocimientos, informaciones y experiencias actuales.

#### **1.4.2 Otras sustancias presentes.**

##### **1. Identificación del producto, composición e información sobre los componentes.**

Nombre comercial: "SHELL THERMAL FLUIDS".

Tipo de producto: fluido sintético para la transmisión de calor.

Descripción del preparado: mezcla de alquilbecenenos lineales y aditivos.

Componentes peligrosos: los componentes de este preparado no se consideran que comuniquen al producto características de peligro.

##### **2. identificación del peligro.**

Peligros para la salud: se desconocen peligros específicos en condiciones normales de utilización. Contiene aceite mineral por lo que existen límites de exposición a neblina de aceite. Una exposición prolongada o repetida puede producir dermatitis. El aceite usado puede contener impurezas peligrosas.

Peligros: no está clasificado como inflamable pero puede llegar a arder.

Peligros para el medio ambiente: no es fácilmente biodegradable. Se considera que tiene un alto poder de bioacumulación.

Otras informaciones: no clasificado como peligroso para la distribución o el transporte.

##### **3. Primeros auxilios.**

A continuación se describirán los primeros auxilios para las diferentes partes del cuerpo.

Síntomas y efectos: en condiciones normales de uso, es de esperar que no ocasione riesgos para la salud.

Primeros auxilios-Inhalación: aunque no es probable que aparezcan vértigos y náuseas, si esto ocurre, trasladar la persona afectada a

una atmósfera no contaminada. Si los síntomas persisten, obtener atención médica.

Primeros auxilios-Piel: quitar la ropa y lavar la ropa contaminada con agua y jabón. Si la irritación continua, obtener atención médica. Si se producen lesiones por eyección a alta presión, obtener atención médica.

Primeros auxilios-Ojos: lavar los ojos con gran cantidad de agua. Si la irritación persiste, obtener atención médica.

Primeros auxilios-Ingestión: lavar la boca con agua y obtener atención médica. No provocar el vómito.

Recomendación al médico: tratar según síntomas. Su aspiración por los pulmones puede causar neumonía química. Una exposición prolongada o repetida puede originar dermatitis.

#### **4. Medidas de lucha contra incendio.**

Riesgos específicos: por combustión es probable que origine una nube de partículas sólidas y líquidas de gases que contendrían monóxido de carbono, óxidos de azufre, y otros compuestos orgánicos e inorgánicos no identificados.

Medios de extinción: espuma o polvo químico seco. Dióxido de carbono, arena o tierra puede usarse para incendios pequeños.

Medios de extinción inadecuados: echar agua a chorro. Por razones del medio ambiente evitar el uso de extintores de halón.

Equipos de protección: cuando se entre en un espacio encerrado y en llamas, se debe llevar equipo de protección adecuado, incluyendo equipo de protección autónomo.

#### **5. Medidas que deben tomarse en caso de vertido accidental.**

Precauciones personales: evitar el contacto con la piel y los ojos.

Protección personal: usar guantes de plástico y botas.

Precauciones para el medio ambiente: prevenir su extensión o entrada en desagües, canales o ríos mediante el uso de arena, tierra u otras barreras apropiadas. Si no puede evitarse, informar a las autoridades locales.

Métodos de limpieza en derrames pequeños: absorber el líquido con arena o tierra. Recoger y trasladar a un depósito apropiado y

claramente etiquetado hasta su eliminación de acuerdo con la normativa legal.

Método de limpieza en derrames grandes: evitar su extensión con arena, tierra u otro material de contención. Recuperar el líquido directamente o con un absorbente. Eliminar como si se tratara de un derrame pequeño.

## **6. Manipulación y almacenamiento.**

Manipulación: si se manipula el producto en bidones, usar calzado de seguridad y equipo apropiado de manejo. Prevenir los derrames.

Almacenamiento: colocar en lugar fresco, seco y bien ventilado. Colocar en contenedores que puedan etiquetarse y cerrarse adecuadamente. Evitar la luz directa del sol, las fuentes de calor y los agentes oxidantes fuertes.

Temperaturas de almacenamiento: de un mínimo de 0°C a un máximo de 50 °C.

Materiales recomendados: usar acero al carbono o polietileno de alta densidad (HDPE) para los envases.

Materiales inadecuados: evitar el uso de PVC para los envases o el recubrimiento interior de los envases.

Otra información: los envases de polietileno no deben exponerse a altas temperaturas por el posible riesgo de deformación.

## **7. Controles de exposición/ protección personal.**

Medidas de control durante el proyecto de construcción: usar ventilación local si existe riesgo de inhalación de vapores, neblinas o aerosoles.

Valores de exposición laboral: los valores límites de exposición se indican a continuación. Localmente pueden aplicarse límites de exposición inferiores.

Tabla 7.1: Valores de exposición laboral.

Componente	tipo de límite	Valor y unidad	Otra información
Neblina de aceite mineral	8 horas TWA	5 mg/ m <sup>3</sup>	ACGIH
	10 min.-STEL	10 mg/m <sup>3</sup>	ACGIH

Medidas higiénicas: lavar las manos antes de comer, beber, fumar y utilizar los servicios.

Protección respiratoria: normalmente no es necesaria. Si la neblina de aceite no puede controlarse, se usará equipo respiratorio con caucho para vapores orgánicos y pre-filtro adecuado.

Protección de los ojos: si es posible que se produzcan salpicaduras usar gafas de seguridad y máscara facial completa.

Protección corporal: reducir al mínimo todo contacto con la piel. Usar buzo para reducir al mínimo la contaminación de la ropa interior. Lavar con regularidad el buzo y la ropa interior.

### **8. Propiedades físicas y químicas.**

Estado físico a 20°C: líquido a temperatura ambiente.

Color: amarillento.

Olor: ligero.

Punto inicial de ebullición: >280°C.

Presión de vapor a 20°C: <0.5 Pa.

Grado SAE.

Densidad a 15°C: 0.878 kg/m<sup>3</sup>.

Densidad del vapor (aire=1): >1 a 20°C.

Fluidez crítica: -40°C.

Punto de inflamación: >200°C.

Límite superior de inflamabilidad: 10% V/V (típico).

Límite inferior de inflamabilidad: 1% V/V (típico).

Temperatura de autoignición: >320°C (típico).

Solubilidad en agua: despreciable.

Contenido en elementos: calcio <0.1%.

### **9. Estabilidad y reactividad.**

Estabilidad: estable.

Condiciones a evitar: las temperaturas extremas y la luz directa del sol.

Materiales a evitar: los agentes oxidantes fuertes.

Productos de descomposición peligrosos: durante el almacenamiento normal es de esperar que no se formen productos peligrosos de descomposición.

## **10. Información toxicológica.**

Criterios de valoración: no se han determinado datos específicos para este producto, por lo que la información dada a continuación se basa en el conocimiento de los componentes y de las toxicidades de formulaciones similares.

Toxicidad aguda oral: la LD 50 se espera sea superior a 2000 mg/kg.

Toxicidad agua cutánea: la LD 50 se espera sea superior a 2000 mg/kg.

Toxicidad aguda inhalatoria: no se considera exista riesgo de inhalación en las condiciones normales de uso.

Irritación ocular: se espera que como máximo sea mínimamente irritante de la piel.

Irritación respiratoria: si se inhala la neblina del producto, puede producirse irritación débil de las vías respiratorias.

Sensibilización cutánea: no se esperan reacciones de sensibilización de la piel

Carcinogénico: este producto esta basado en aceites minerales del tipo de los que no son carcinogénicos según estudios del contacto de la piel en animales. No se conoce que otros componentes estén asociados con efectos carcinógenos.

Mutágenos: no está considerado como mutágeno peligroso.

Información personal: el contacto prolongado y/o repetido con productos que contienen aceites minerales, puede causar sequedad en la piel, especialmente a elevadas temperaturas. Esta sequedad puede llegar a la irritación y posiblemente a la dermatitis, especialmente en condiciones de poca higiene personal. Reducir al mínimo el contacto con la piel. Se debe minimizar el contacto con la piel.

Los aceites pueden contener impurezas nocivas que no se hayan acumulado durante su utilización. La concentración de estas impurezas dependerá del uso, pudiendo suponer un riesgo para la salud y en su eliminación para el medio ambiente.

## **11. Información ecológica.**

Criterios de valoración: la información ecotoxicológica no está específicamente determinada para este producto. La información dada está basada en los conocimientos sobre los componentes y los datos ecotoxicológicos de productos similares.

Movilidad: líquido bajo la mayor parte de las condiciones medioambientales. Flota sobre el agua. Si el producto penetra en el suelo, éste la absorberá y no se trasladará.

Persistencia y degradabilidad: no fácilmente biodegradable. Es de esperar que sus principales componentes sean intrínsecamente biodegradables, pero el producto contiene otros elementos que pueden persistir en el medio ambiente.

Bioacumulación: potencialmente bioacumulativo.

Ecotoxicidad: mezcla poco soluble. Es de esperar que sea prácticamente no tóxico para los organismos acuáticos, LC/EC50 > 100 mg/l. puede causar desaparición física en los organismos acuáticos. (LC/EC50 expresado como la cantidad nominal de producto necesario para preparar un ensayo de extracción en medio acuoso).

## **12. Consideraciones sobre la eliminación.**

Eliminación de los residuos: el aceite usado o de desecho debe reciclarse o eliminarse de acuerdo con la legislación vigente.

La eliminación de los aceites usados ha de realizarse de manera controlada. La orden del 28/2/89 (BOE 57 de 8/3/89), el Real Decreto 833/1989 de 20 de Julio (BOE 182 de 30 de Julio) y sucesivos, prohíben todo abandono, vertido al suelo, mar, alcantarillado, vías fluviales, etc., así como el tratamiento inadecuado que pueda provocar una contaminación del medio ambiente. Entrega de aceites usados y envases vacíos a empresas que estén autorizadas a efectuar su recogida y eliminación.

Eliminación del producto: como la eliminación de los residuos.

Eliminación de los envases: drenar los bidones de 200 litros y devolverlos al suministrador o enviarlos a un reacondicionador de bidones sin eliminar las marcas y/o etiquetas.

Siempre que sea posible se deben reciclar los envases pequeños de un solo uso o contenedores de plástico, o eliminarlos como residuo doméstico.

**13. Información reglamentaria.**

Según la Directiva 88/379/CEE, no clasificado como peligroso.  
EINECS (CE): todos los componentes están listados o exentos por ser polímeros.

**14. Otra información.**

Usos y restricciones: para transmisión de calor en circuitos cerrados.

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°4: PRESUPUESTO**

---

**DOCUMENTO N° 4**

**PRESUPUESTO**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº4: PRESUPUESTO**

---

**CAPÍTULO 1**

**INGENIERÍA Y SUPERVISIÓN**

**Ingeniería.**

Estudios y Gestión de compras.

Total Uds.	1
Euros Ud.	479.007
<b>Total</b>	<b>479.007</b>

**Supervisión de construcción.**

Cumplimiento de las disposiciones  
Reglamentarias y requisitos de  
seguridad, realizado de  
conformidad con la  
documentación técnica.

Total Uds.	1
Euros Ud.	209.753
<b>Total</b>	<b>209.753</b>

**TOTAL CAPÍTULO I..... 688.760**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°4: PRESUPUESTO**

---

**CAPÍTULO 2**

**EQUIPOS Y MATERIALES MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS**

- **Equipos de separación.**

V-1: Columna de platos perforados de 1,95 metros en la zona de rectificación y 2,95 metros en la zona de agotamiento de diámetro y una altura de 16,81 metros, con 24 platos.

Total Uds.	1
Euros Ud.	271.113
Total	271.113

- **Equipos de transmisión de calor.**

E-1: Cambiador de calor de carcasa y tubos tamaño 12-240 tipo AES.

Total Uds.	1
Euros Ud.	9.717
Total	9.717

E-2: Cambiador de calor de carcasa y tubos tamaño 12-240 tipo BEU.

Total Uds.	1
Euros Ud.	12.640
Total	12.640

E-3: Cambiador de calor de carcasa y tubos tamaño 12-240 tipo AJW.

Total Uds.	1
Euros Ud.	20.856
Total	20.856

E-4: Cambiador de calor de carcasa y tubos tamaño 12-240 tipo BEM.

Total Uds.	1
Euros Ud.	28.835
Total	28.835

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº4: PRESUPUESTO**

---

- **Transporte de fluidos.**

Tubería de ¼ pulgadas de diámetro nominal y cédula de 10, de Hastelloy C.

Total m.	70
Euros Ud.	32,66
Total	2.286,66

Tubería de 8 pulgadas de diámetro nominal y cédula de 40, de Acero al Carbono.

Total m.	10
Euros Ud.	392
Total	3.920

Tubería de 2 ½ pulgadas de diámetro nominal y cédula de 40, de Acero al Carbono.

Total m.	80
Euros Ud.	115
Total	9.200

Tubería de ⅛ pulgadas de diámetro nominal y cédula de extrafuerte, de Aleación Cu-Ni.

Total m.	50
Euros Ud.	7,94
Total	397

Tubería de ⅛ pulgadas de diámetro nominal y cédula de regular, de Aleación Cu-Ni.

Total m.	20
Euros Ud.	179
Total	30.405

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°4: PRESUPUESTO**

---

- **Equipos para la impulsión de fluidos.**

P-1: Grupo electrobomba horizontal,  
2900 Rpm, 50 Hz, modelo F-32/160  
de ideal o similar.

Total Uds.	1
Euros Ud.	12.166
Total	12.166

P-2: Grupo electrobomba  
horizontal, 2900 Rpm, 50 Hz,  
modelo F 16/200 de ideal o similar.

Total Uds.	1
Euros Ud.	8.690
Total	8.690

- **Equipos de almacenamiento de fluidos.**

Tanque -1: Depósito para el  
almacenamiento de la alimentación  
construido de Hastelloy C.

Total Uds.	1
Euros Ud.	126.795
Total	126.795

Tanque -2: Depósito para el  
almacenamiento de producto  
construido de Acero al Carbono.

Total Uds.	1
Euros Ud.	62.094
Total	62.094

Tanque -3: Depósito para el  
almacenamiento de producto  
construido de Aleación Cu-Ni.

Total Uds.	1
Euros Ud.	119.922
Total	119.922

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°4: PRESUPUESTO**

---

V-2: Acumulador de reflujo de  
columna de Acero al Carbono.

	Total Uds.	1
	Euros Ud.	37.288
	<u>Total</u>	<u>37.288</u>
<u>TOTAL CAPÍTULO II.....</u>		<u>749.498,33</u>

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°4: PRESUPUESTO**

---

**CAPÍTULO 3**

**OBRA CIVIL E INSTALACIONES**

**- Obra civil.**

Incluye trabajos de demolición, excavación, relleno, compactación, pavimentación, encofrado, ferrallado, hormigonado y construcción de estructuras.

Total Uds.	1
Euros Ud.	161.071
Total	161.071

**- Montajes mecánicos.**

Prefabricación y montaje de líneas de tuberías y accesorios, soportes y elementos anejos.

Total Uds.	1
Euros Ud.	557.739
Total	557.739

**- Montaje eléctrico y de instrumentación.**

Trabajos a realizar en subestaciones y campo: alimentación desde CCM, puesta a tierra, alumbrado, alimentación y conexionado a los instrumentos de control, montaje de cuadros de obra.

Total Uds.	1
Euros Ud.	78.733
Total	78.733

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO Nº4: PRESUPUESTO**

---

**- Otros.**

Trabajos de pintura, aislamiento e ignifugados.

Total Uds.	1
Euros Ud.	32.903
Total	32.903

**- Seguridad y salud de las obras.**

Aplicación de las medidas relativas a la prevención de los riesgos profesionales para la protección de la seguridad y de la salud, la eliminación o minimización de los riesgos derivados del trabajo, la información, la consulta, la participación equilibrada y la formación de los trabajadores en materia preventiva.

Total Uds.	1
Euros Ud.	62.658
Total	62.658

TOTAL CAPÍTULO III..... 1.096.246

**RESUMEN**

TOTAL CAPÍTULO I.....668.760

TOTAL CAPÍTULO II.....749.498

TOTAL CAPÍTULO III.....1.096.246

IMPORTE TOTAL.....2.494.504

El presente presupuesto asciende a la cantidad de 2.494.504 de euros.

Cádiz, febrero de 2008

Fdo. : Javier Ángel Vidal Perea

PROYECTO DE FIN DE CARRERA  
DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO  
**DOCUMENTO N°5: PLANOS**

---

**DOCUMENTO N° 5**

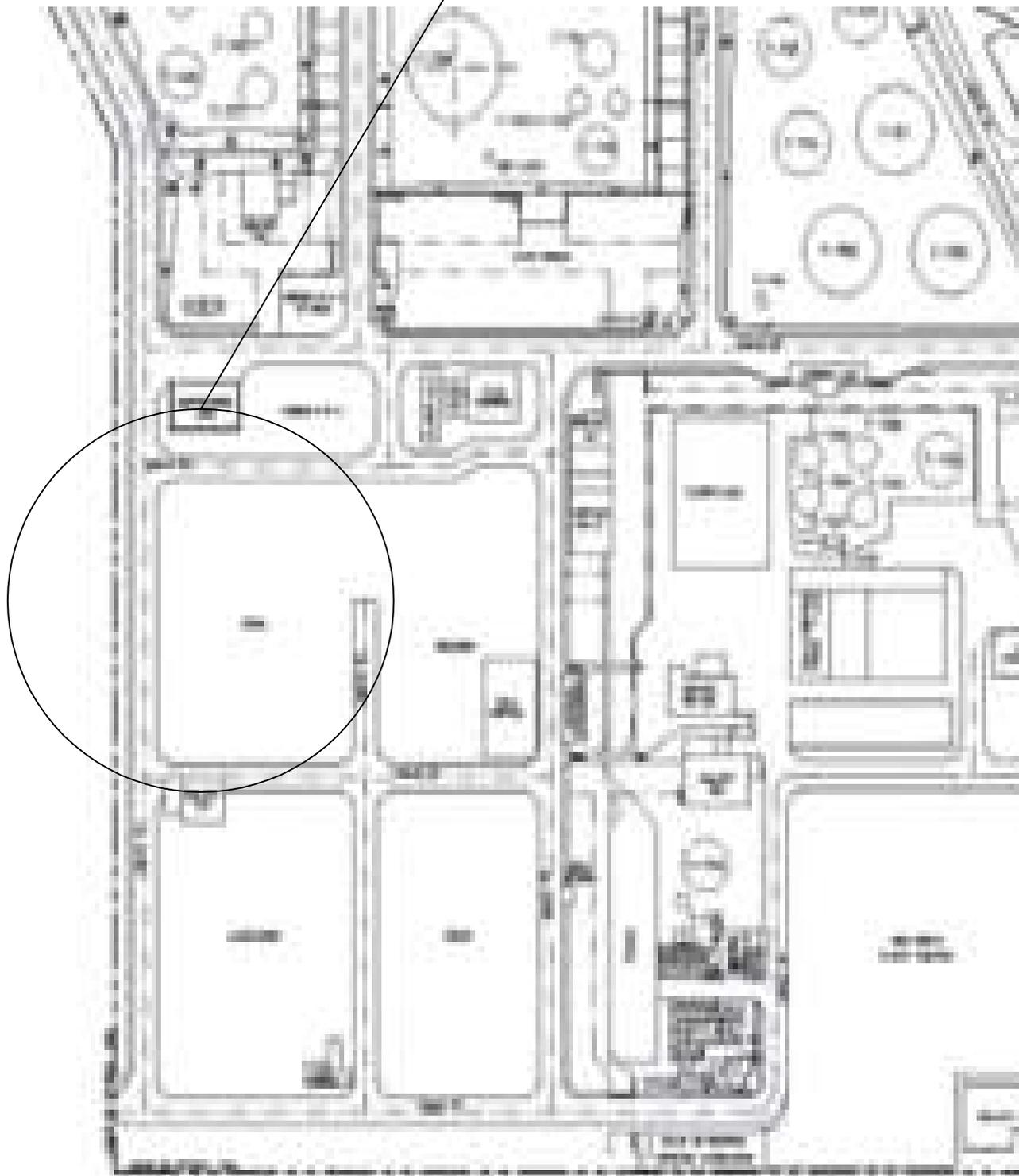
**PLANOS**



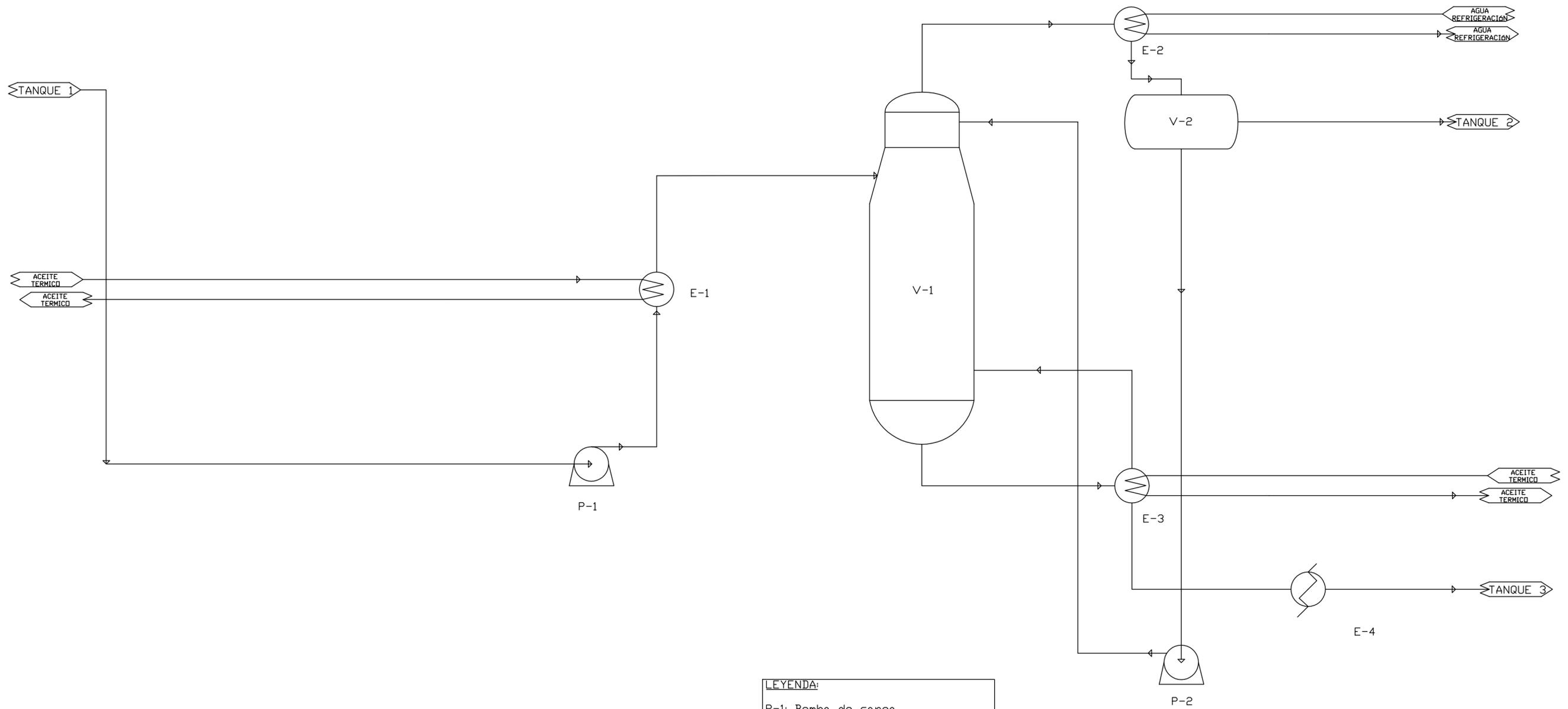
Situación

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN Algeciras (Cádiz)	FECHA: FEBRERO 27	PLANO Nº <b>1</b>
	PLANO SITUACIÓN	EL INGENIERO QUÍMICO Javier Vidal Perea	ESCALA: 1:2000

# Emplazamiento

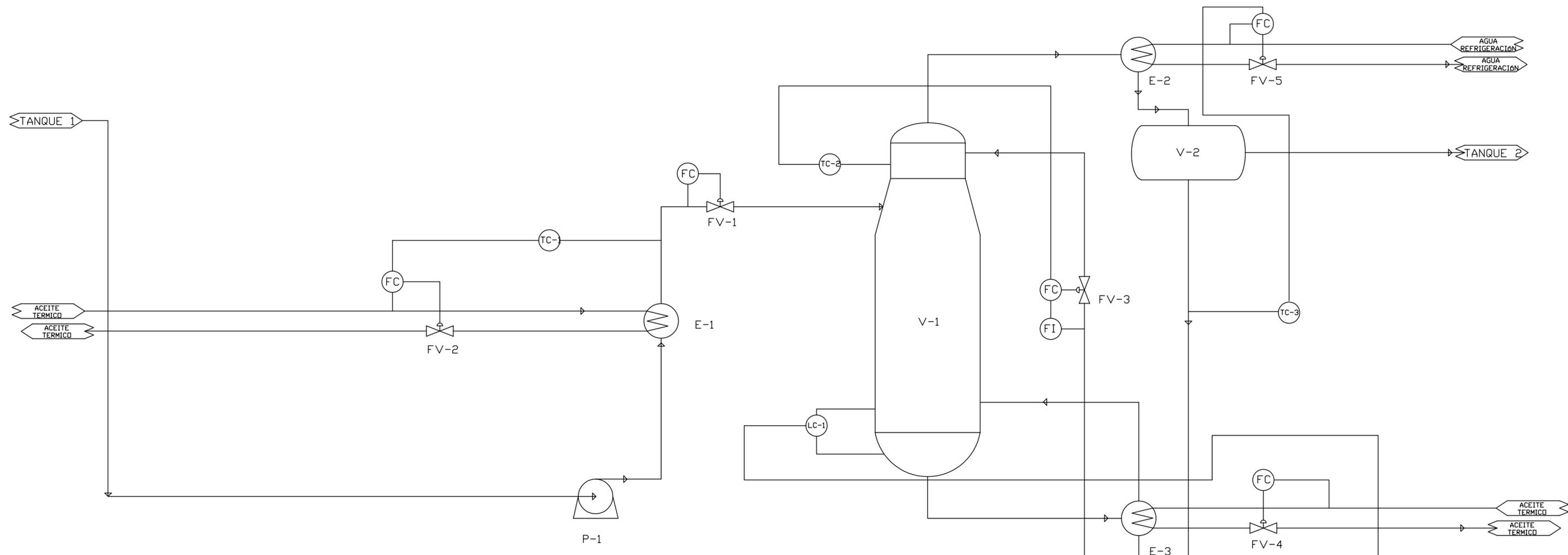


TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	
	PLANO <b>EMPLAZAMIENTO</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	PLANO Nº <b>2</b>
			ESCALA: 1:1000



**LEYENDA:**  
 P-1: Bomba de carga  
 P-2: Bomba de cabeza y reflujo  
 V-1: Columna de rectificación  
 V-2: Recipiente acumulador  
 E-1: Precalentador de carga  
 E-2: Condensador de la columna  
 E-3: Rehervidor de la columna  
 E-4: Enfriador de salida de fondo

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN: <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	
	PLANO: <b>DIAGRAMA DE FLUJO</b>	EL INGENIERO QUÍMICO: <b>Javier Vidal Perca</b>	PLANO N° <b>3</b>
		ESCALA:	



**LEYENDA:**

- P-1: Bomba de carga
- P-2: Bomba de cabeza y reflujo
- V-1: Columna de rectificación
- V-2: Recipiente acumulador
- E-1: Precalentador de carga
- E-2: Condensador de la columna
- E-3: Rehervidor de la columna
- E-4: Enfriador de salida de fondo
- TC: Lazo de control e indicador de temperatura
- FC: Lazo de control e indicador de caudal
- LC: Lazo de control e indicador de nivel
- FV: Válvula de control

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN: <b>Algeiras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	PLANO Nº <b>4</b>
	<b>DIAGRAMA DE FLUJO DE INGENIERÍA</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	ESCALA: s/e

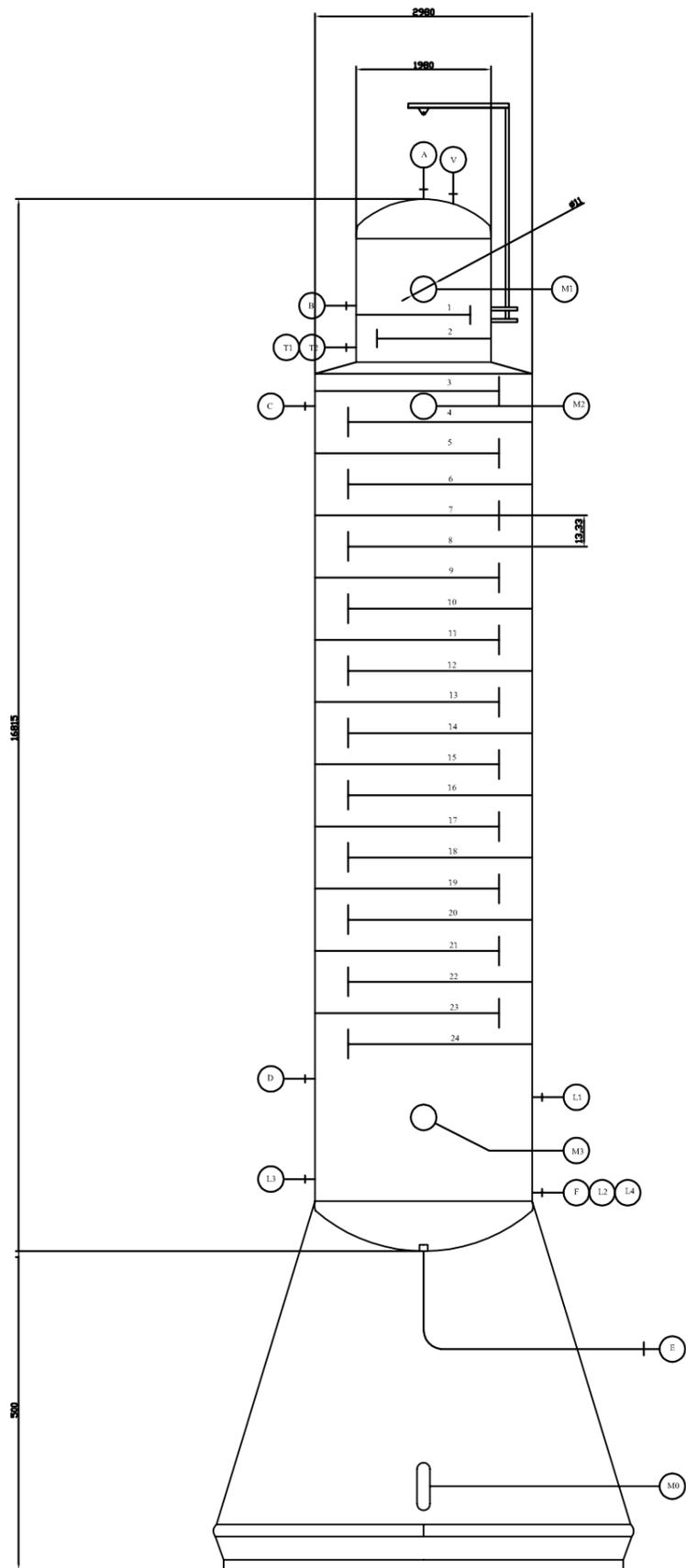
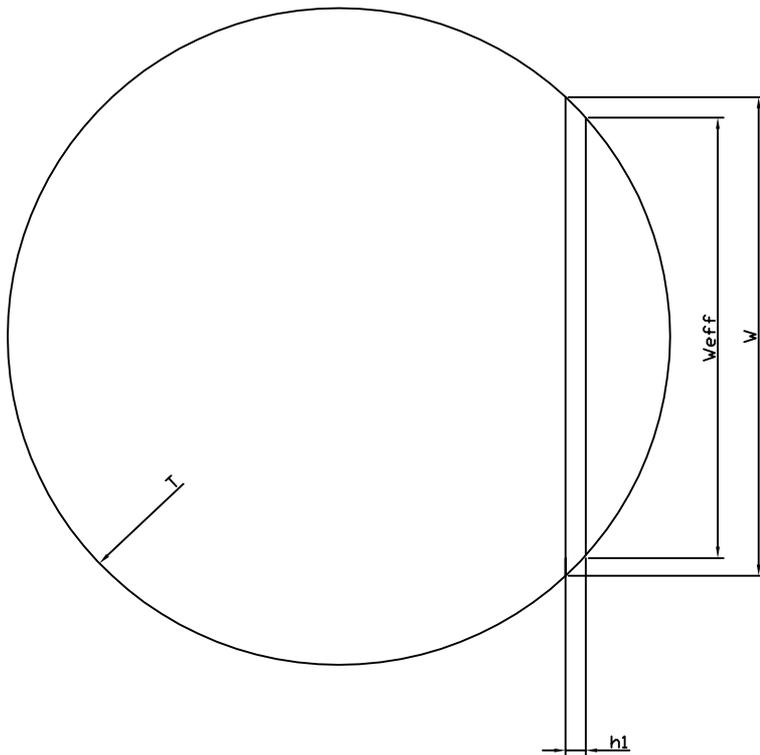


TABLA DE CONEXIONES				CONDICIONES DE OPERACIÓN	
MARCA	DIÁMETRO	BRIDA Y RATING	SERVICIO	CÓDIGO	ASME VIII DIV.1 Y ESP-1101-01
				PRESIÓN	5 a 12,4 kg/cm <sup>2</sup>
				TEMPERATURA	84 a 112°C
CONEXIONES DE PROCESO				EFICIENCIAS SOLDADURAS	VIROLA
A	16"	WN 300# RF	VAPORES DE CABEZA	CONO	100%
B	4"	WN 300# RF	REFLUJO	FONDOS	UNA PIEZA
C	3"	WN 300# RF	CARGA	SOBRESPORESORES DE CORROSIÓN	
D	10"	WN 300# RF	RETORNO REBOILER	ESPESOR DE AISLAMIENTO	
E	4"	WN 300# RF	SALIDA DEL FONDO		
F	2"	LWN 300# RF	INERTIZACIÓN		
V	1.1/2"	WN 300# RF	VENTEO		
CONEXIONES DE INSTRUMENTOS				MATERIALES	
L1	16"	LWN 300# RF		ASTM	
L2	16"	LWN 300# RF		VIROLAS, FONDOS Y REFUERZOS	
L3	16"	LWN 300# RF		SB-575	
L4	16"	LWN 300# RF		SB-575 y SA-285-C	
T1	16"	LWN 300# RF		FALDON	
T2	16"	LWN 300# RF		BRIDAS	
				SB-462	
				TUBOS	
				SB-622, SA-106-B y SB-466	
				CODOS	
				SA-234-WPB	
				TORNILLERÍA INTERNA	
				TORNILLOS	
				AVC°	
				TUERCAS	
				AVC°	
				TORNILLERÍA EXTERNA BAJO PRESIÓN	
				ESPARRAGOS	
				SA-193-B7	
				TUERCAS	
				SA-194-2H	
				ELEMENTOS SOLDADOS A VIROLAS O FONDOS	
				INTERNOS	
				SB-575	
				EXTERNOS	
				SB-575	
BOCAS DE HOMBRE Y DE CONEXIONES				BRIDAS:	
M1/M3	3 de 24"	WN 300# RF	BOCA DE HOMBRE	ANSI B-16.5 (EL SCH. DE BRIDAS WN Y TUBO SERÁN COINCIDENTES)	
				MANGUITOS:	
				ANSI B-16.11 CON ROSCA = ANSI B-2.1 NPT	
ACCESORIOS DE FALDON				TORNILLERÍA:	
M0	920x450	WN 300# RF	ACCESO DE HOMBRE (1ud)	PARA BRIDAS ANSI B-1.1 CON ROSCA Ø-1.1/8"UNC	
V0	4"		VENTILACIÓN (4ud)	JUNTAS:	
				CONEXIONES SERÁN ESPIROMETÁLICAS 150# R.F. SS TIPO 316L Y GRAFITO DE 0,175" CON ANILLO EXTERIOR DE C.S. 0,125" ESP. FLEXITALLIC ESTILO CG O SIMILAR	
OBSERVACIONES PARTICULARES					
1- TODAS LAS COTAS EN mm, EXCEPTO DIÁMETRO DE TUBOS EN PULGADAS					
2- EL ACABADO DE LA CARA DE LA JUNTA DE LAS BRIDAS SERÁ DE 125-250 Ra-ODAS					
3- LAS ELEVACIONES DE LOS PLATOS DESMONTABLES SON REFERIDAS A LA CARA SUPERIOR DEL ANILLO SOPORTE Y DE LOS PLATOS FIJOS A LA CARA SUPERIOR DE ÉSTOS					
4- LOS TALADROS DE LAS BRIDAS, ASÍ COMO LOS PERNOS DE ANCLAJE EN RECIPIENTES VERTICALES, SE DISPONDRÁN A HORCAJADAS DE LOS EJES PRINCIPALES					
5- LAS CONEXIONES DE LOS RECIPIENTES INCLINADOS SERÁN PERPENDICULARES (O PARALELAS A LAS SITUADAS SOBRE LOS FONDOS) A LA HORIZONTAL					
6- TODAS LAS CONEXIONES SERÁN ENRRASADAS CON LA CARA INTERIOR DEL RECIPIENTE					
7- TODAS LAS PARTES DESMONTABLES DEBERÁN PASAR A TRAVÉS DE UNA BOCA DE HOMBRE DE DIÁMETRO INTERIOR = 586 mm					
8- LAS SIGUIENTES PARTIDAS SERÁN SUMINISTRADAS E INSTALADAS POR OTROS EN OBRA: PLATOS Y VERTEDEROS, PERNOS DE ANCLAJE, IGNIFUGADO, PISCANTE, AISLAMIENTO					
<b>9- EL FABRICANTE DE RECIPIENTE SUMINISTRARÁ E INSTALARÁ EN TALLER:</b>					
- ANILLOS Y OTROS SOPORTES PARA PLATOS Y VERTEDEROS - SOPORTES DE EQUIPO (FALDON) - RIGIDIZADORES - TUBOS INTERNOS - PISCANTE O BISAGRA PARA CADA BOCA DE HOMBRE - PATES Y ASIDEROS					
- OREJETAS DE IZADO Y RETENCIÓN - ROMPEDOR DE REMOLINOS - PANTALLAS DEFLECTORAS - SOPORTES DE AISLAMIENTO E IGNIFUGADO - CARTELAS Y REFUERZOS PARA SOPORTES DE: PLATAFORMAS, ESCALAS, TUBERÍAS Y PISCANTE					
<b>10- EL FABRICANTE DEL RECIPIENTE SUMINISTRARÁ UNA PLANTILLA DE LA PLACA BASE PARA LA DISPOSICIÓN DE PERNOS EN OBRA.</b>					

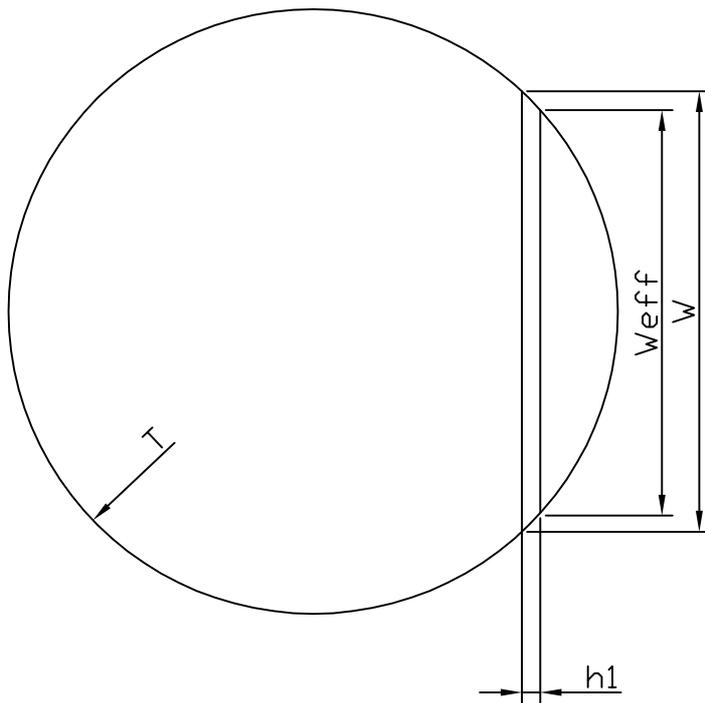
TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>	
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN: <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>
	PLANO: <b>COLUMNA DE RECTIFICACIÓN</b>	EL INGENIERO QUÍMICO: <b>Javier Vidal Perea</b>
		PLANO Nº <b>5</b>
		ESCALA: s/c



cota en mm

T(díámetro de la torre)=1950 mm  
 W(longitud del derramadero)=1365 mm  
 W<sub>eff</sub>(longitud del derramadero)=850 mm  
 h1(Cresta del derramadero)=49,6mm

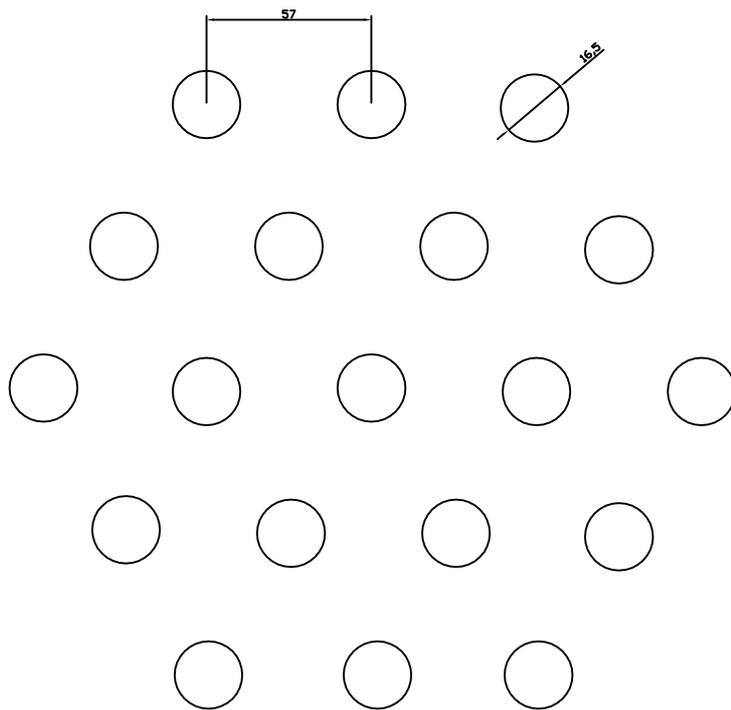
TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	
PLANO <b>DETALLE DE PLATO DE RECTIFICACIÓN</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	PLANO Nº <b>6</b> ESCALA: 1:20	



cota en mm

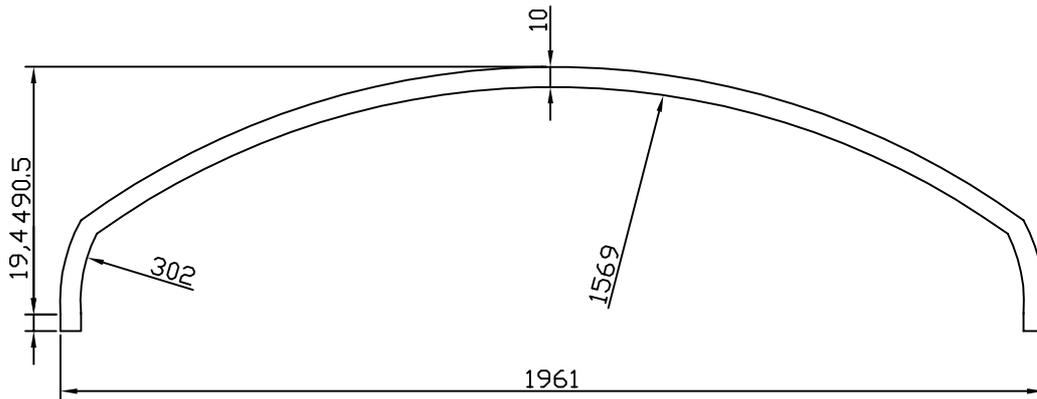
T(diámetro de la torre)=2950 mm  
 W(longitud del derramadero)=2065 mm  
 Weff(longitud del derramadero)=1866,5 mm  
 h1(Cresta del derramadero)=49,6 mm

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	
PLANO <b>DETALLES PLATO DE AGOTAMIENTO</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	PLANO Nº <b>7</b> ESCALA: 1:20	



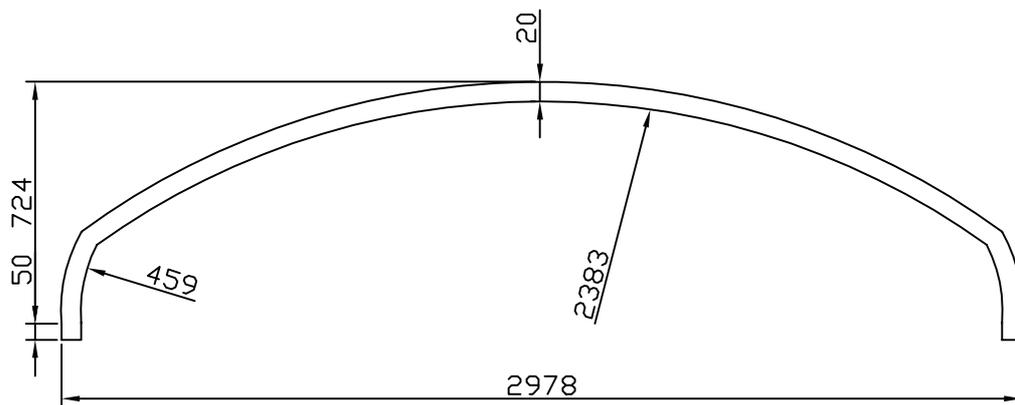
cota en mm

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	
PLANO <b>PERFORACIONES EN EL PLATO (DISTRIBUCIÓN)</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	PLANO Nº <b>8</b> ESCALA:s/e	



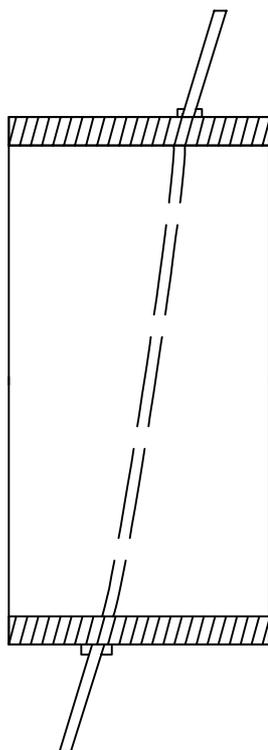
cota en mm

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	
	PLANO <b>FONDO SUPERIOR COLUMNA TORIESFÉRICO TIPO "KORBBOGEN"</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	PLANO Nº <b>9</b> ESCALA:s/c

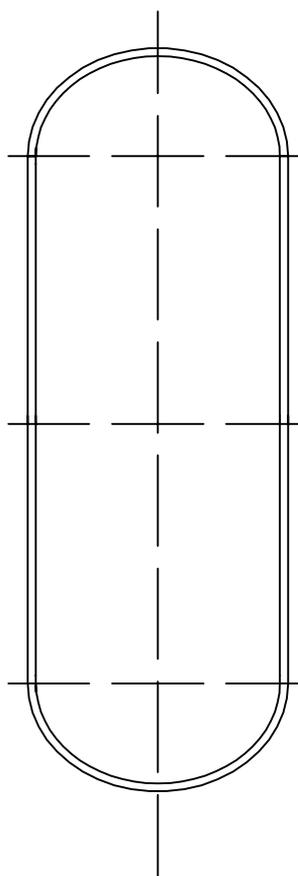


cota en mm

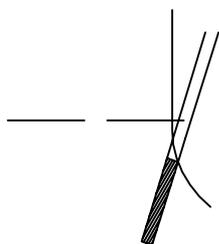
TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN <b>Algeciras (Cádiz)</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>
	PLANO <b>FONDO INFERIOR COLUMNA TORIESFÉRICO TIPO "KORBBÖGEN"</b>		PLANO Nº <b>10</b>
			ESCALA:s/e



ACCESO DE HOMBRE



ACCESO DE HOMBRE



UNION DEL FALDON

TITULACIÓN:  
**INGENIERO  
QUÍMICO**

**PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO**

EL PETICIONARIO:

**FACULTAD  
DE CIENCIAS  
QUÍMICAS**

SITUACIÓN

**Algeciras (Cádiz)**

FECHA:

**FEBRERO 27**

PLANO

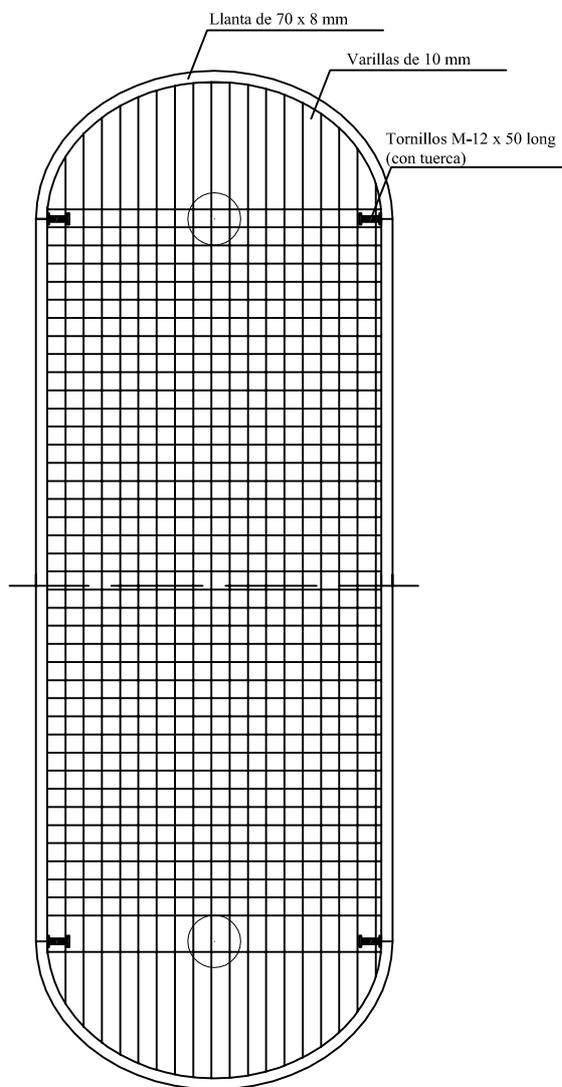
**DETALLES FALDÓN:  
-ACCESO DE HOMBRE  
-UNIÓN DE FALDÓN**

EL INGENIERO QUÍMICO

**Javier Vidal Perea**

PLANO Nº **11**

ESCALA:s/c



TITULACIÓN:  
INGENIERO  
QUÍMICO

**PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA  
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO**

EL PETICIONARIO:

**FACULTAD  
DE CIENCIAS  
QUÍMICAS**

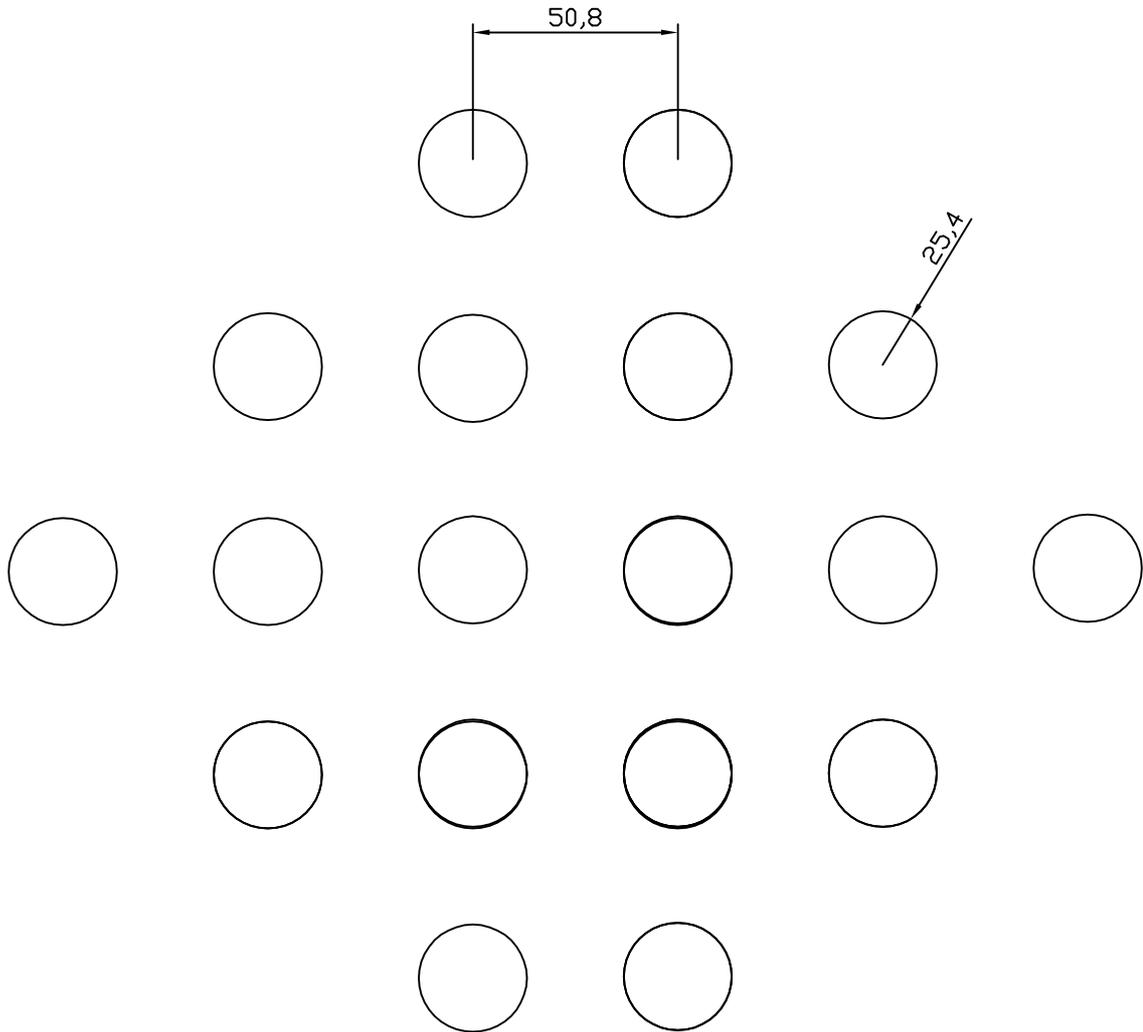
SITUACIÓN  
**Algeciras (Cádiz)**

PLANO  
**ENREJILLADO PARA ACCESO A FALDÓN**

FECHA:  
**FEBRERO 27**

EL INGENIERO QUÍMICO  
**Javier Vidal Perea**

PLANO Nº **12**  
ESCALA:s/c



cota en mm

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO:	SITUACIÓN <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	
<b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	PLANO <b>DISTRIBUCIÓN DE TUBOS EN CAMBIADORES DE DE CARCASA Y TUBOS</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	PLANO Nº <b>13</b> ESCALA:s/c

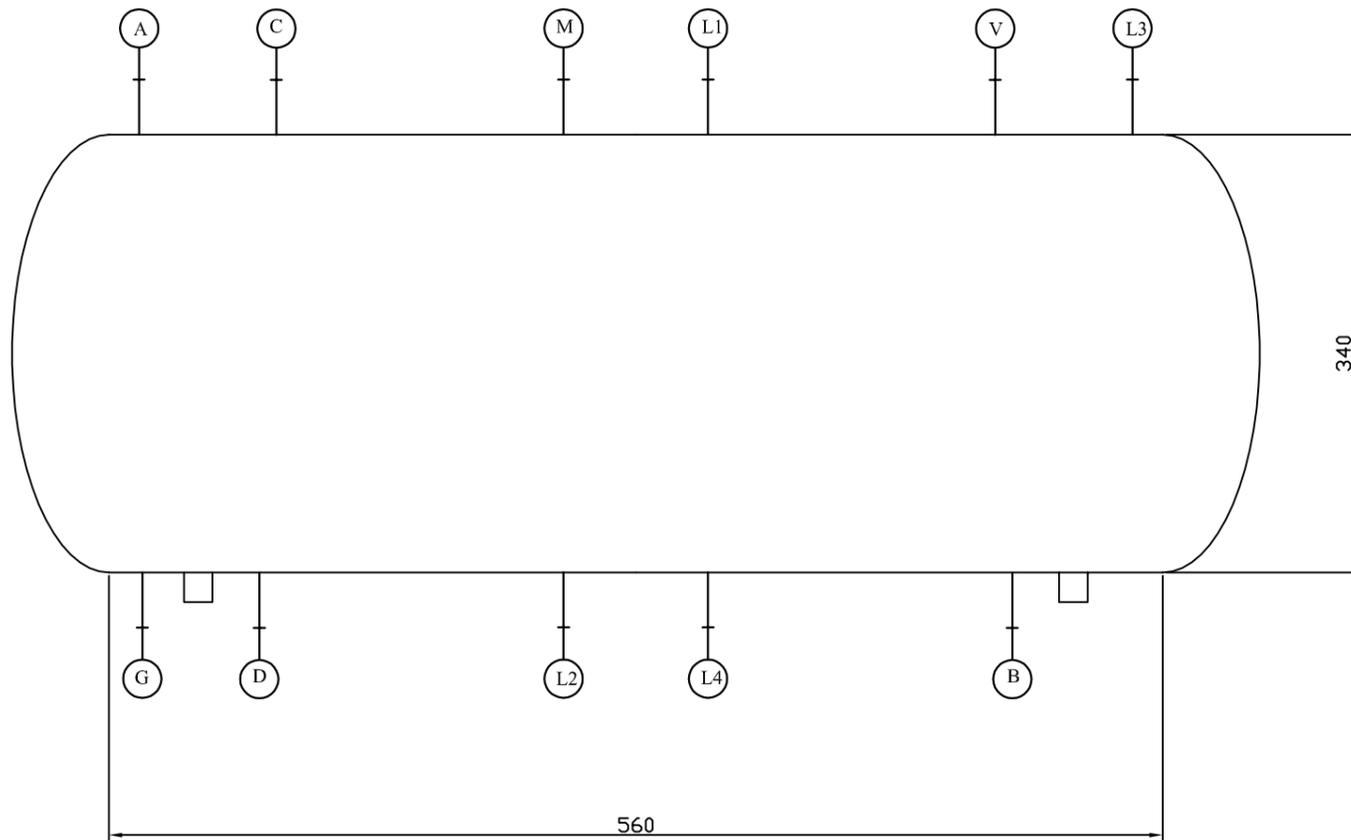
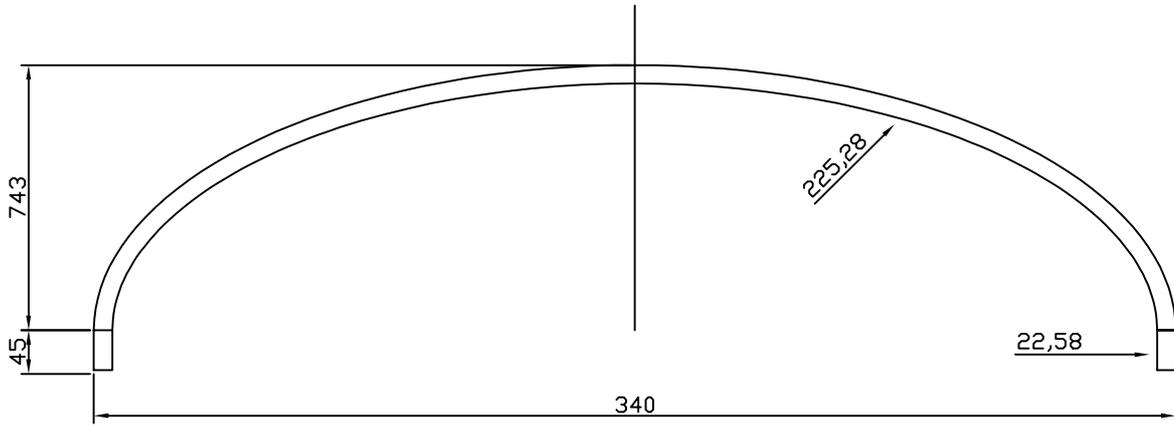


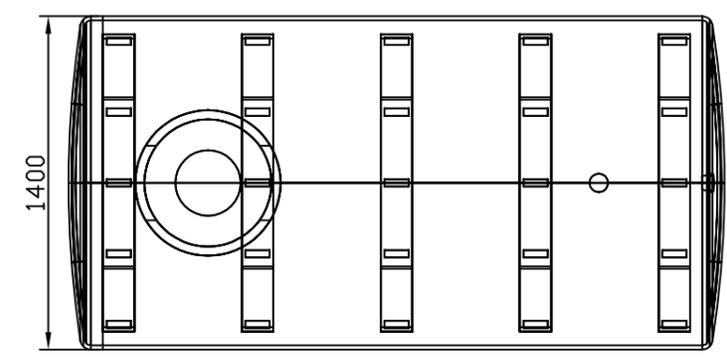
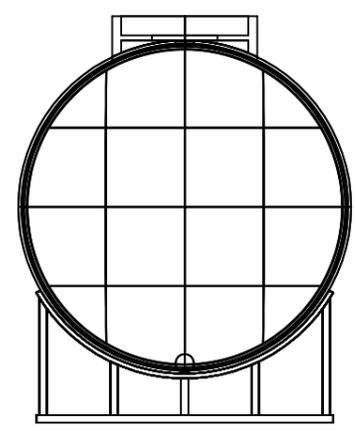
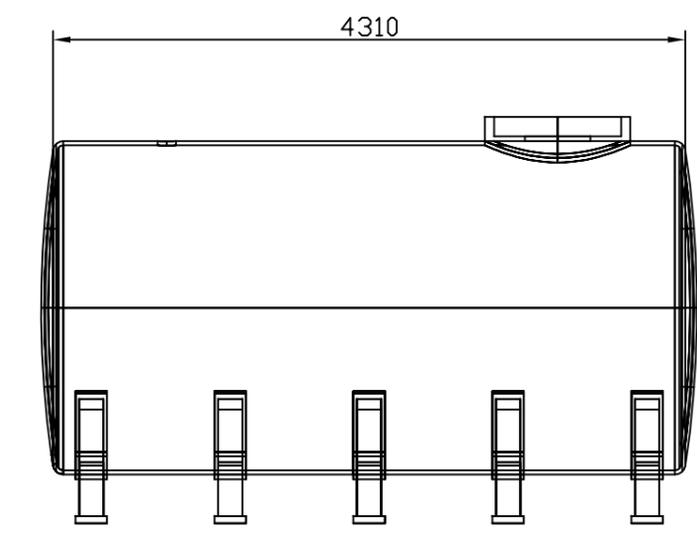
TABLA DE CONEXIONES				CONDICIONES DE OPERACIÓN	
MARCA	DIÁMETRO	BRIDA Y RATING	SERVICIO	CÓDIGO	ASME VIII DIV. 1 Y ESP-1101-01
CONEXIONES DE PROCESO				TEMPERATURA	109 kg/cm <sup>2</sup> VACÍO TOTAL
A	16"	WN 150# RF	ENTRADA (CON DISTRIBUIDOR)	EFICIENCIAS	100%
B	4"	WN 150# RF	SALIDA	SOLDADURAS	UNA PIEZA
C	3"	WN 150# RF	RECIRCULACIÓN (CON DISTRIBUIDOR)	FONDOS	1.7 mm
D	10"	WN 150# RF	DRISAJE	SOBRESPESES DE CORROSIÓN	25 mm
G	2"	LWN 150# RF	INERTIZACIÓN	ESPALES	
H	1.125"	WN 150# RF	VENTEO		
CONEXIONES DE INSTRUMENTOS				MATERIALES	
L1	2"	LWN 150# RF		VIROLAS, FONDOS Y REFUERZOS	ASTM
L2	2"	LWN 150# RF		FALDON	SA-316-60
L3	2"	LWN 150# RF		BRIDAS	SA-316-60
L4	2"	LWN 150# RF		TUBOS	SA-316-60
BOCAS DE HOMBRE Y DE CONEXIONES				TORNERÍA INTERNA	
M/M	3 de 24"	WN 150# RF	BOCA DE HOMBRE	TORNILLOS	-
ACCESORIOS DE FALDON				TORNERÍA EXTERNA BAJO PRESIÓN	
				ESPALES	SA-316-60
				TUBOS	SA-316-60
				FONDOS	SA-316-60
				EXTERNOS	SA-316-60
				BRIDAS:	ANSI B-16.5 (EL SCH. DE BRIDAS WN Y TUBO SERÁN COINCIDENTES)
				MANGUITOS:	ANSI B-16.11 CON ROSCA = ANSI B-2.1 NPT
				TORNILLERÍA:	PARA BRIDAS ANSI B-1.1 CON ROSCA 0-1.18"UNC
				JUNTAS:	LAS JUNTAS DE CONEXIONES SERÁN ESPIROMETÁLICAS 150# RF, SS TIPO 316L Y GRAFITO DE 0.175" CON ANILLO EXTERIOR DE C.S. 0.125" ESP. FLEXITALLIC ESTILO CG O SIMILAR
OBSERVACIONES PARTICULARES					
1- TODAS LAS COTAS EN mm, EXCEPTO DIÁMETRO DE TUBOS EN PULGADAS					
2- EL ACABADO DE LA CARA DE LA JUNTA DE LAS BRIDAS SERÁ DE 125-20 Ra+0.04					
3- LAS ELEVACIONES DE LOS PLATOS DESMONTABLES SON REFERIDAS A LA CARA SUPERIOR DEL ANILLO SOPORTE Y DE LOS PLATOS FIJOS A LA CARA SUPERIOR DE ÉSTOS					
4- LOS TALADROS DE LAS BRIDAS, ASÍ COMO LOS PERNOS DE ANCLAJE EN RECIPIENTES VERTICALES, SE DISPONDRÁN A HORCALADAS DE LOS EJES PRINCIPALES					
5- LAS CONEXIONES DE LOS RECIPIENTES INCLINADOS SERÁN PERPENDICULARES O PARALELAS A LAS SITUADAS SOBRE LOS FONDOS A LA HORIZONTAL					
6- TODAS LAS CONEXIONES SERÁN ENBRASADAS CON LA CARA INTERIOR DEL RECIPIENTE					
7- TODAS LAS PARTES DESMONTABLES DEBERÁN PASAR A TRAVÉS DE UNA BOCA DE HOMBRE DE DIÁMETRO INTERIOR = 586 mm					
8- LAS SIGUIENTES PARTIDAS SERÁN SUMINISTRADAS E INSTALADAS POR OTROS EN OBRA: PLATOS Y VERTEDEROS, PERNOS DE ANCLAJE, IGNIFUGADO, PESCANTE, AISLAMIENTO					
9- EL FABRICANTE DEL RECIPIENTE SUMINISTRARÁ E INSTALARÁ EN TALLER:					
ANILLOS Y OTROS SOPORTES PARA PLATOS Y VERTEDEROS - SOPORTES DE EQUIPO (FALDON) - RIGIDIZADORES - TUBOS INTERNOS - PESCANTE O BISABRA PARA CADA BOCA DE HOMBRE - PATES Y ASIBEROS					
ORJETAS DE IZADO Y RETENCIÓN - ROMPIDOR DE REMOLINOS - PANTALLAS DEFLECTORAS - SOPORTES DE AISLAMIENTO E IGNIFUGADO - CARTILAS Y REFUERZOS PARA SOPORTES DE PLATAFORMAS, ESCALAS, TUBERÍAS Y PESCANTE					
10- EL FABRICANTE DEL RECIPIENTE SUMINISTRARÁ UNA PLANTILLA DE LA PLACA BASE PARA LA DISPOSICIÓN DE PERNOS EN OBRA					

TITULACIÓN: INGENIERO QUÍMICO	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS	SITUACIÓN Algeiras (Cádiz)	FECHA: FEBRERO 27	PLANO Nº <b>14</b>
	PLANO BOTELLÓN REFLUJO	EL INGENIERO QUÍMICO Javier Vidal Perca	ESCALA: s/c



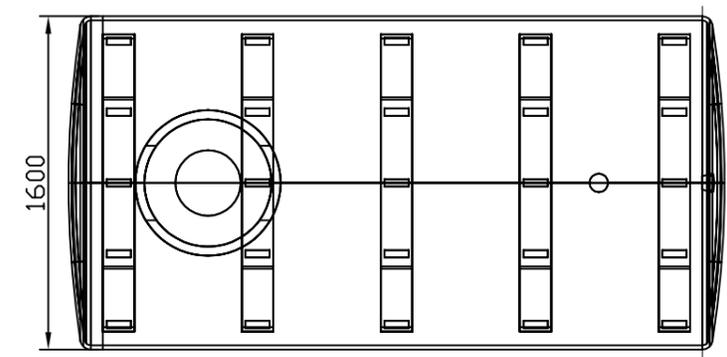
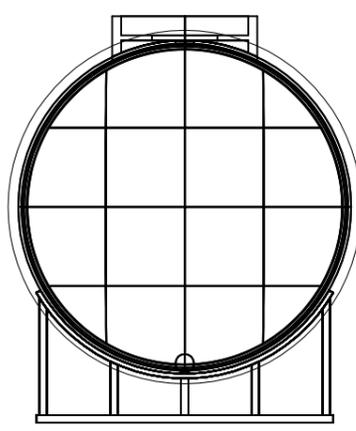
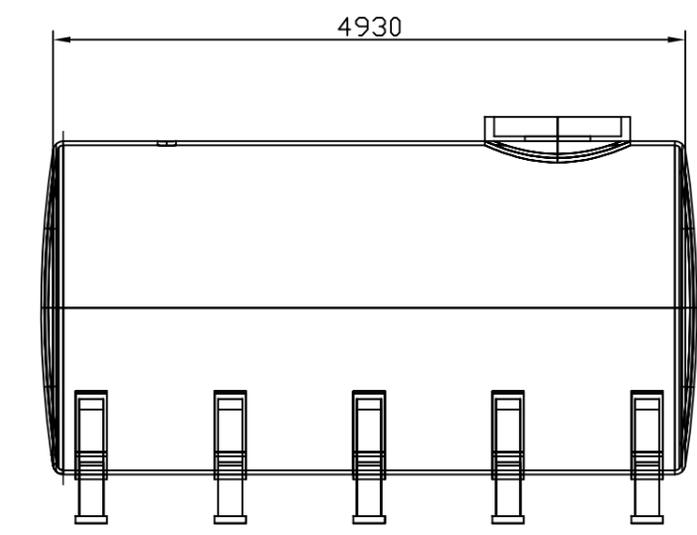
cota en mm

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	
PLANO <b>FONDO BOTELLÓN TORIESFÉRICO TIPO "KLOPPER"</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	PLANO Nº <b>15</b> ESCALA: s/c	



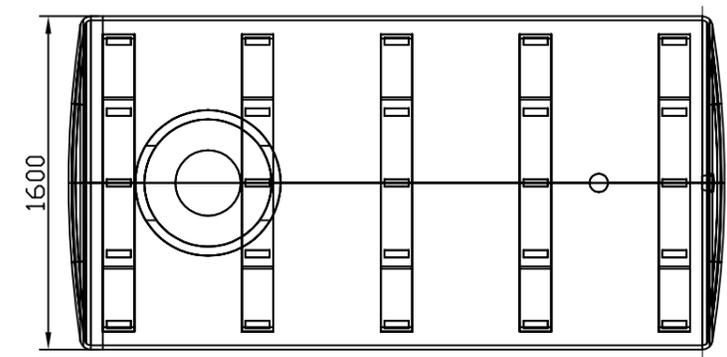
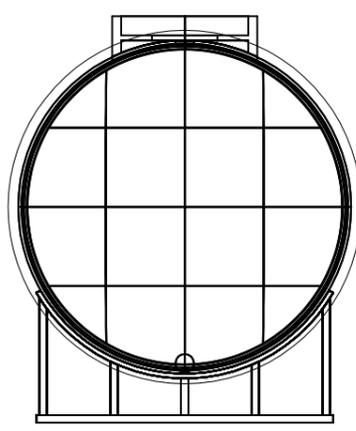
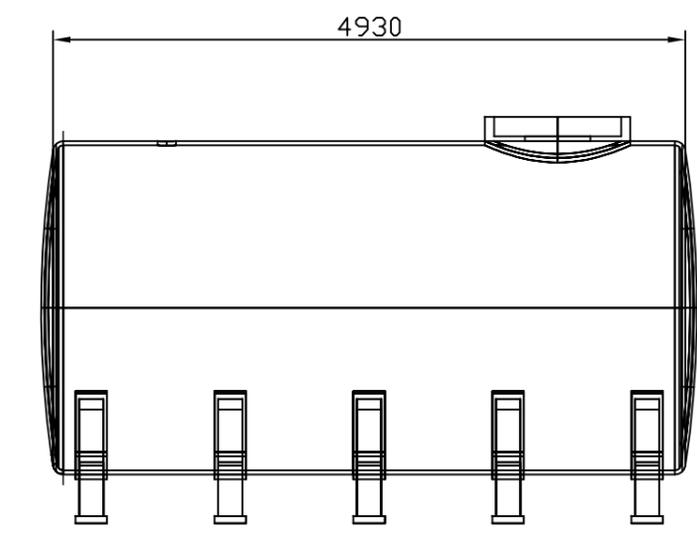
cota en mm

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	
	PLANO <b>TANQUE ALIENTACIÓN</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	PLANO Nº <b>16</b> ESCALA: s/e



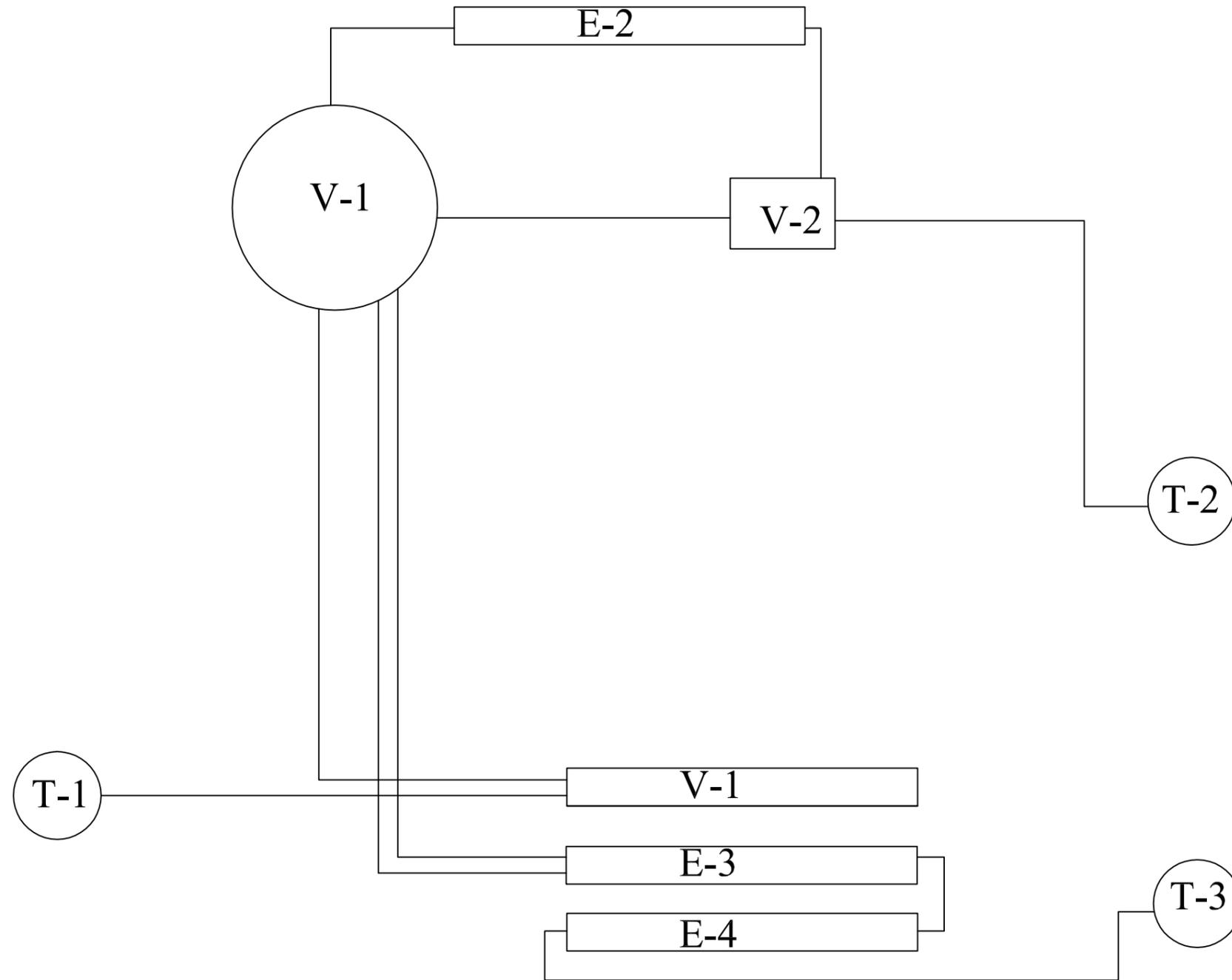
cota en mm

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN: <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	PLANO Nº <b>17</b>
	PLANO: <b>TANQUE DE PRODUCTO</b>	EL INGENIERO QUÍMICO: <b>Javier Vidal Perea</b>	ESCALA:s/c

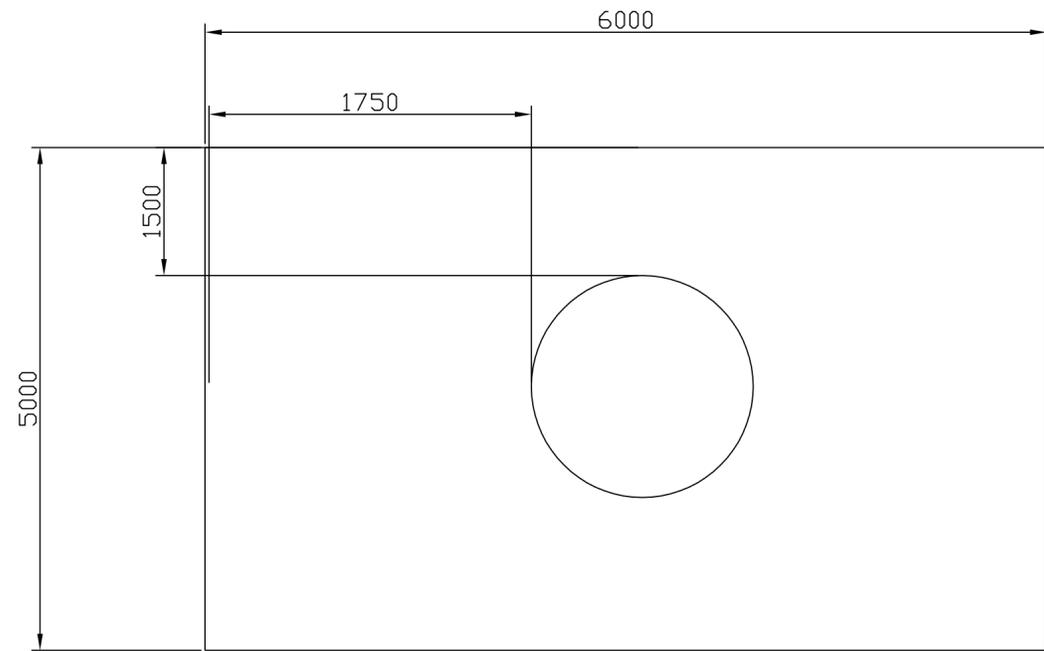


cota en mm

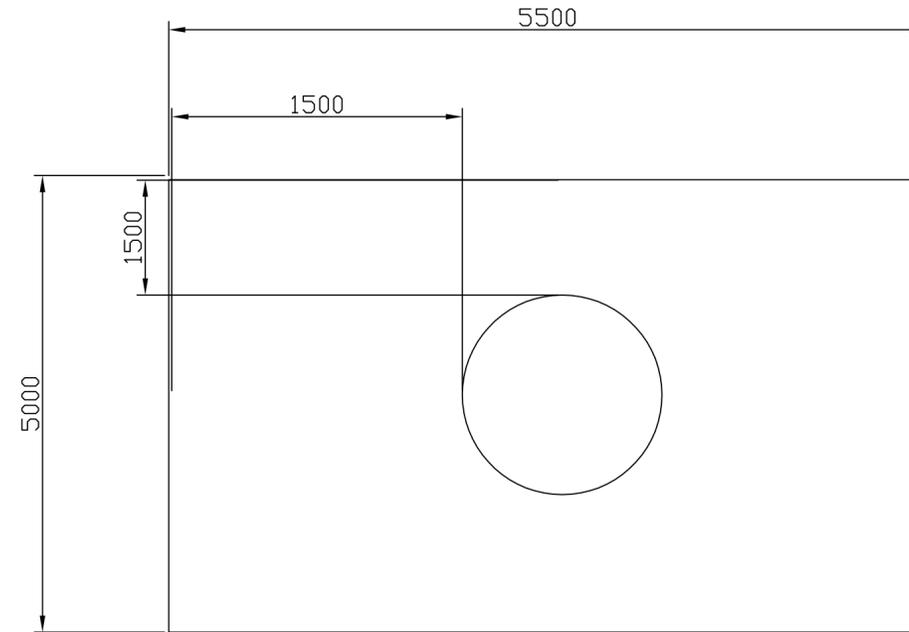
TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN: <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	
	PLANO: <b>TANQUE DE SUBPRODUCTO</b>	EL INGENIERO QUÍMICO: <b>Javier Vidal Perea</b>	PLANO Nº <b>18</b> ESCALA: s/c



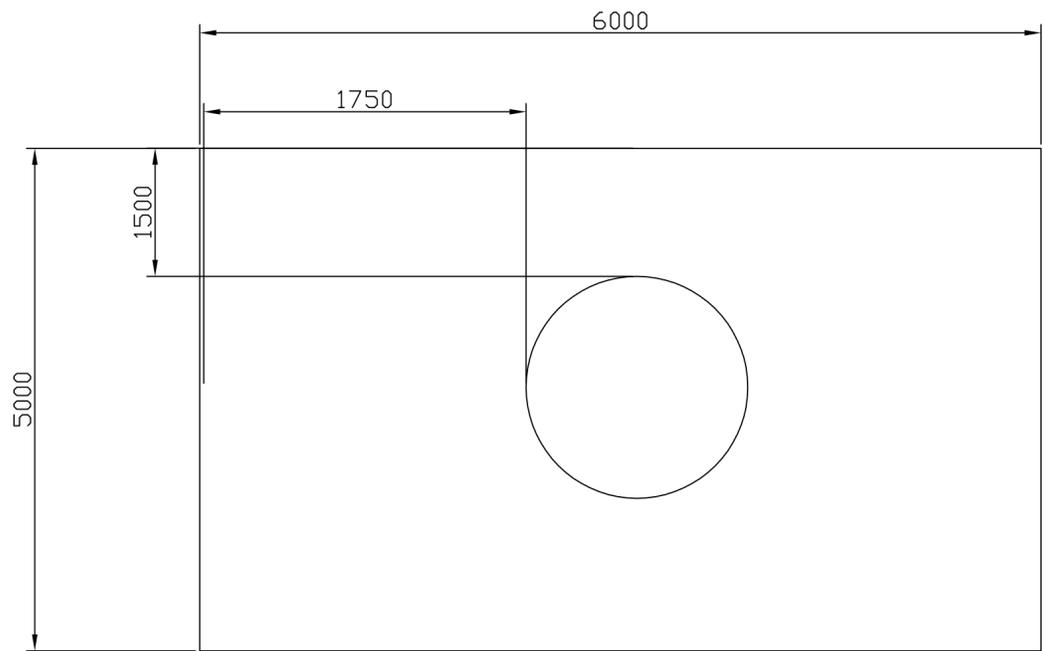
TITULACIÓN: INGENIERO QUÍMICO	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO:  FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS	SITUACIÓN Algeciras (Cádiz)	FECHA: FEBRERO 27	PLANO Nº <b>19</b>
	PLANO DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	EL INGENIERO QUÍMICO Javier Vidal Perea	ESCALA:s/c



TANQUE DE PRODUCTO



TANQUE DE ALIMENTACIÓN



TANQUE DE SUBPRODUCTO

cota en mm

TITULACIÓN: <b>INGENIERO QUÍMICO</b>	<b>PROYECTO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FLUORHÍDRICO</b>		
EL PETICIONARIO: <b>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>	SITUACIÓN <b>Algeciras (Cádiz)</b>	FECHA: <b>FEBRERO 27</b>	PLANO Nº <b>20</b>
	PLANO <b>DISTRIBUCIÓN DE TANQUES EN EL CUBETO</b>	EL INGENIERO QUÍMICO <b>Javier Vidal Perea</b>	ESCALA:s/c

