

Universidad de **Cádiz**

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

**Facultad:** CIENCIAS

**Titulación:** INGENIERÍA QUÍMICA

**Título:** DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA PROCEDENTE DE LA TORRE DE VACÍO DE LA REFINERÍA GIBRALTAR- SAN ROQUE

**Autora:** CALLE CABRERA, Mercedes de la

**Fecha:** Septiembre 2011





## **DOCUMENTOS DEL PROYECTO**

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA DESCRIPTIVA

DOCUMENTO N° 2: MEMORIA DE CÁLCULO

DOCUMENTO N° 3: PLANOS

DOCUMENTO N° 4: PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO N° 5: PRESUPUESTO

**DOCUMENTO N° 1:**

**MEMORIA DESCRIPTIVA**

## ÍNDICE DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVO DEL PROYECTO.....	6
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	6
4. LOCALIZACIÓN.....	8
5. ALCANCE.....	8
6. ANTECEDENTES.....	8
7. NORMATIVA LEGAL DE APLICACIÓN.....	9
8. DISTINTOS PROCESOS PARA ELIMINAR EL ÁCIDO SULFÚRICO.....	10
8.1. Proceso de absorción química.....	10
8.2. Proceso de absorción física.....	11
8.3. Procesos híbridos.....	13
8.4. Procesos de conversión directa.....	13
8.5. Proceso de adsorción.....	15
9. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE VACÍO.....	17
10. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE AMINA.....	20
11. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	23
11.1. Introducción teórica del disolvente líquido.....	23
11.2. Elección del disolvente.....	24
11.3. Propiedades físicas del disolvente.....	25
11.4. Reacción química.....	27
11.5. Corrosión.....	28
11.6. Formación de espumas.....	29

12. DESCRIPCIÓN DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN.....	32
12.1. Balance de materia de la columna de absorción.....	32
12.2. Datos del proceso de absorción.....	33
12.3. Condiciones generales para el diseño de la torre.....	35
12.4. Materiales empleados.....	37
12.5. Descripción detallada de la torre.....	40
12.6. Diseño hidráulico.....	41
12.6.1. Relleno de la columna.....	42
12.6.2. Dispositivos internos de la columna.....	47
12.7. Diseño mecánico.....	51
13. DESCRIPCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	52
13.1. Balance de materia.....	53
13.2. Datos del proceso de intercambio de calor.....	54
13.3. Condiciones generales para diseño del intercambiador.....	54
13.4. Materiales empleados.....	57
13.5. Descripción detallada del intercambiador.....	57
14. DESCRIPCIÓN DEL SEPARADOR GAS-LÍQUIDO.....	58
14.1. Balance de materia.....	58
14.2. Datos del separador gas-líquido.....	59
14.3. Condiciones generales para diseño de separador gas-líquido.....	60
14.4. Materiales empleados.....	61
14.5. Descripción detallada del separador.....	61
15. DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA.....	62
15.1. Selección del tipo de bomba.....	62
15.2. Datos de la bomba.....	63
15.3. Curvas características.....	64
15.4. Material de fabricación.....	65
16. DESCRIPCIÓN DEL COMPRESOR.....	65
16.1. Selección del tipo de compresor.....	65
16.2. Datos del compresor.....	66
16.3. Material de fabricación.....	66
17. SISTEMA DE TUBERÍAS.....	66
18. SIMULACIÓN EN HYSYS.....	73
19. COMPARACIÓN DE LOS CÁLCULOS OBTENIDOS CON LA SIMULACIÓN DEL PROCESO EN HYSYS.....	77

---

20. ESTUDIO DEL PROCESO VARIANDO EL CAUDAL DE ALIMENTACIÓN MEDIANTE HYSYS.....	77
21. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	80
21.1. Control de procesos.....	81
21.2. Válvulas.....	83
22. LISTAS.....	86
22.1. Lista de líneas.....	86
22.2. Lista de válvulas manuales.....	87
22.3. Lista de equipos.....	88
22.4. Lista de instrumentos.....	89
22.5. Lista de señales eléctricas.....	91
23. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.....	94
23.1. Legislación aplicable.....	94
23.2. Identificación de los riesgos laborales.....	95
23.2.1. Exposición a agentes químicos.....	96
23.2.2. Exposición al ruido.....	98
23.2.3. Riesgo de incendio.....	99
23.2.4. Riesgos eléctricos.....	99
23.3. Protecciones colectivas.....	100
23.4. Equipos de protección individual.....	103
24. ESTUDIO MEDIO AMBIENTAL.....	104
24.1. Legislación aplicable.....	104
24.2. Emisiones atmosféricas.....	104
24.3. Vertidos líquidos.....	105
24.4. Residuos sólidos.....	105
24.5. Emisiones de ruido.....	105
24.6. Emisión de olores.....	106
24.7. Impacto visual.....	106
25. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

## 1. INTRODUCCIÓN.

La industria del petróleo comenzó en 1859 con la aparición del primer pozo petrolífero comercial y la apertura dos años después de la primera refinería para transportar crudo en queroseno mediante una operación de destilación. Durante los 30 años siguientes, el queroseno fue prácticamente el único producto generado. No obstante, dos hechos importantes cambiaron el curso de la industria:

- El desarrollo de los motores de combustión interna, con la consiguiente necesidad de gasolinas y combustibles diésel.
- La invención de la electricidad, que redujo la demanda existente de queroseno.

La finalidad principal de las refinerías continúa siendo la máxima producción en condiciones de rentabilidad de combustibles para el transporte. Aunque se generan muchos otros productos rentables, los mayores beneficios se obtienen con la generación de gasolinas, diésel, combustibles de aviación y combustibles para calefacción. Además de estos productos en la refinería se generan muchos otros, tales como lubricantes, aceite de refrigeración y productos base para la industria petroquímica.

Hoy en día, las refinerías han evolucionado hasta niveles de sofisticación y complejidad muy elevados, lo cual ha provocado un incremento de la contaminación en la producción de los productos.

Para evitar la contaminación y cumplir con la legislación existente ha sido necesario desarrollar nuevas tecnologías que permita aminorar esos efectos negativos.

En una refinería los principales focos de contaminación son las emisiones gaseosas, descargas de efluentes, desechos sólidos, ruido y olor además de efectos visuales o estéticos.

Las emisiones atmosféricas constituyen las causas más significativas de los impactos ambientales negativos de las refinerías. Las más importantes son las partículas, hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de azufre, ácido sulfhídrico y compuestos nitrogenados. Emanan de diferentes fuentes incluyendo la unidad de vacío, desintegración catalítica, los procesos de



recuperación de azufre, calentadores, desfuegos, mecheros y almacenamiento de los productos o materias primas. Los sellos de las bombas y las válvulas pueden originar las emisiones fugitivas. La combinación de estas emanaciones puede causar olores nocivos que afectarán a grandes áreas alrededor de la refinería.

El agua se emplea en grandes cantidades en la refinación de petróleo para lavar los materiales indeseados de la corriente del proceso, para enfriamiento y producción de vapor, y en los procesos de reacción. Entre los contaminantes principales que se encuentran en los efluentes de las refinerías de petróleo están: aceites y grasas, amoníaco, compuestos fenólicos, sulfuros, ácidos orgánicos, cromo y otros metales. Se pueden expresar estos contaminantes en términos de su Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el contenido de Carbono Orgánico Total (COT). Además, existe el potencial para contaminar el agua superficial, el suelo y el agua freática debido a las fugas o derrames de las materias primas o productos. La purga del agua de enfriamiento, el agua de lavado o de limpieza, el escurrimiento e infiltración de los patios de tanques, almacén de tubos, áreas de entrega de productos, y módulos de procesamiento, también pueden causar la degradación de las aguas superficiales y freáticas.

Las refinerías generan grandes cantidades de desechos sólidos. Los principales son las partículas catalíticas de las unidades de desintegración, finos de coque, sulfuros de hierro, medios de filtración, y diferentes lodos, debido a la limpieza de los tanques, separadores de aceite y agua, y sistemas de tratamiento de las aguas servidas.

La operación de refinación de petróleo es ruidosa. Las fuentes de ruido son los compresores de alta velocidad, las válvulas de control, los sistemas de tubería, turbinas y motores, mecheros, intercambiadores de calor con enfriamiento por aire, ventiladores, torres de enfriamiento y desfuegos. Los niveles típicos de ruido varían de 60 a 110 dB a una distancia de un metro de la fuente.

## 2. OBJETIVO DEL PROYECTO.

El presente proyecto tiene como objetivo la descripción, justificación y dimensionamiento de las unidades y elementos accesorios permitiendo la eliminación de ácido sulfhídrico de la corriente de gases incondensable procedente de la cabeza de la torre de vacío de una refinería, empleando una disolución de alcanolaminas como disolvente líquido.

Para ello el sistema constará de los siguientes equipos: absorbedor gas-líquido, donde se llevará a cabo la eliminación del ácido sulfhídrico de la corriente gaseosa, un intercambiador de calor para enfriar la corriente gaseosa y calentar la corriente de amina de modo que la temperatura de salida son las óptimas para la entrada en el absorbedor, una bomba para transportar la disolución de amina desde el límite de batería hasta el absorbedor, un compresor, para transportar la corriente de gases incondensable desde el límite de batería hasta el separador y por último, el separador gas-líquido donde se produce el condensado de la pequeña cantidad de agua que contiene la corriente de gases incondensables y que es separado en este equipo. Además se incluye el conjunto de elementos necesarios para la conducción de los gases incondensable y la disolución de amina hasta los equipos correspondientes.

Se pretende conseguir, por ello, una reducción del ácido sulfhídrico acorde con la legislación vigente y con unos costes económicos, sociales y medioambientales mínimos.

## 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

Este proyecto fin de carrera (PFC) surge durante el periodo de prácticas en la planta de Lubrisur en la Refinería de Cepsa "Gibraltar-San Roque" como estrategia de reducción de contaminantes hasta los límites permitidos, cumpliendo así con las especificaciones medioambientales.

La necesidad de este tipo de unidades está fundamentada desde el punto de vista legal puesto que la legislación medioambiental actual requiere la reducción del contenido de azufre en las emisiones atmosféricas hasta límites permitidos, evitando así un efecto perjudicial para la salud y el medioambiente.

El proyecto está basado principalmente en el cumplimiento de las siguientes normativas medioambientales:

- Real Decreto 100/2011 del 28 de enero por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación, indicando en su disposición derogatoria única que quedan derogadas cuantas disposiciones de igual o menor rango se opongan a lo establecido en este Real Decreto y en particular los títulos V, VI y VII y el anexo IV del Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.

Seguirán igualmente siendo aplicables las referencias a los valores límite de emisión del citado anexo en las autorizaciones otorgadas con anterioridad a la entrada en vigor de este Real Decreto.

- Decreto 239/2011, de 12 de julio por el que regula la calidad del medio ambiente atmosférico y crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía en cuyo apartado 2 Disposición adicional única. Valores límite de emisión se indica que : “ a efectos del apartado e) del artículo 5.2 y del segundo párrafo del apartado 1 de la Disposición derogatoria única del Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, para el establecimiento de límites en la autorización ambiental unificada y en la autorización de emisiones a la atmósfera, los límites aplicables en Andalucía para las actividades recogidas en el epígrafe 27 del Anexo IV del Decreto 833/1975, de 6 de febrero , por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre , de protección del ambiente atmosférico, serán los que se establecen a continuación, salvo que las técnicas disponibles no permitan su cumplimiento”:

CONTAMINANTES	UNIDADES	NIVELES DE EMISIÓN
Partículas sólidas	mg/Nm <sup>3</sup>	50
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	200
NOx (como NO <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup>	600
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	625
Flúor total (como HF)	mg/Nm <sup>3</sup>	10
Cloro total (como HCl)	mg/Nm <sup>3</sup>	10
SH <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	10
Opacidad	Bacharach	2
Opacidad	Ringelmann	1

## 4. LOCALIZACIÓN.

La torre de absorción estará situada en la planta de Lubrisur en una plataforma anexa a la torre de vacío.

En el Plano de Implantación del apartado Planos del proyecto se puede observar con mayor claridad donde se ubicará la nueva torre de absorción, así como los equipos necesarios para realizar la absorción de forma eficiente.

La distribución de los equipos dentro de la planta es más o menos lógica, situándose estos en zonas próximas a la unidad en la que están involucrados o bien, como en el caso de las bombas, en zonas próximas a los tanques de alimentación, permitiendo así una mejor supervisión y control. Las tuberías están recogidas de tal forma que discurren agrupadas por la planta según la unidad a la que se dirijan. Esto impide que existan molestias al tránsito de la planta y permite controlar posibles problemas de flujo, si estos se dieran.

## 5. ALCANCE.

Como anteriormente se ha descrito en el apartado 2 de la memoria descriptiva "Objetivos del proyecto", este proyecto engloba el diseño y dimensionamiento de una torre de absorción gas-líquido, así como de los equipos y tuberías necesarios para llevar a cabo la absorción de forma efectiva.

Se ha realizado los cálculos necesarios para el dimensionamiento de la torre para un caudal de gases incondensable máximo de 470 kg/h y posteriormente se ha realizado un estudio del comportamiento de la torre diseñada en el simulador Hysys para un caudal de gas menor, concretamente de 300 kg/h.

## 6. ANTECEDENTES.

El calentamiento que sufre el crudo en la unidad de destilación a vacío tiene como consecuencia la ruptura de algunos enlaces mas débiles Carbono-Azufre (C-S) de las complejas moléculas que lo constituyen, según unas reacciones propias del "cracking" térmico, originándose sulfuro de hidrógeno

y mercaptanos, por lo que la concentración de estos compuestos sulfurados va aumentando progresivamente a lo largo del tren de intercambiadores y de los tubos del horno, haciéndose máxima en la zona más caliente de la columna.

Cada fracción obtenida lleva consigo los compuestos sulfurados de volatilidad correspondiente a su intervalo de ebullición. La totalidad del ácido sulfhídrico sale por la cabeza de la columna y en parte queda absorbido por el agua condensada en los distintos acumuladores de cabeza (aguas residuales que son tratadas convenientemente en la unidad de aguas residuales).

El proceso de absorción con amina como disolvente y posteriormente el proceso de regeneración de dicho disolvente son empleados principalmente en las fracciones más ligeras del petróleo y del gas natural, evitando así los efectos corrosivos en las instalaciones y cumpliendo con las especificaciones legales, entre otros motivos también importantes.

## 7. NORMATIVA LEGAL DE APLICACIÓN.

El presente proyecto se realiza conforme a los siguientes reglamentos, códigos y normativas técnicas, que a continuación se cita en orden alfabético:

- Artículo 1.588 y el siguiente del Código Civil, en los casos que sea procedente su aplicación al contrato.
- Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones petrolíferas.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre Prevención de Riesgos laborales
- Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos.
- Norma ANSI, ASME, API y ASTM para materiales.
- Real Decreto 1523/1999, de 1 de octubre, por el que se modifica el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas, aprobado por el Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre.
- Real Decreto 1627/97 sobre disposiciones mínimas en materia de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.

- Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas, Derogado parcialmente por el Real Decreto 1523/1999.
- Reglamento General de Contratación según Decreto 3410/75, de 25 de noviembre.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Decreto 239/2011 de 12 de junio, por el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y crea un registro de sistemas de evaluación de la calidad del aire en Andalucía.
- Real Decreto 100/2011 de 28 de enero por el **que** se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.

## 8. DISTINTOS PROCESOS PARA ELIMINAR EL ÁCIDO SULFHÍDRICO.

Son muchos los procesos que se pueden emplear para la eliminación del ácido sulfhídrico. De modo general se pueden agrupar en cinco categorías de acuerdo a su tipo y si posteriormente es necesario o no recuperar el ácido sulfhídrico eliminado. A continuación se enumeran los cinco tipos:

- Absorción química.
- Absorción física.
- Híbridos.
- Proceso de conversión directa.
- Proceso de lecho seco también denominado proceso de adsorción.

### 8.1. PROCESO DE ABSORCIÓN QUÍMICA.

Estos procesos se caracterizan porque el gas ácido se pone en contacto en contracorriente con una disolución que reacciona con los gases ácidos. El contacto se realiza en una torre conocida como torre de absorción en la cual la entrada del gas es por la zona inferior de la columna y la del líquido por la

zona superior. La principal característica que presenta este tipo de absorción es que la reacción es reversible por lo que la disolución se recupera entrando en una torre de regeneración. Dicha regeneración se lleva a cabo mediante un incremento de temperatura y un decremento de la presión. Dentro de la absorción química los procesos con aminas son los más conocidos de esta categoría y seguidamente los procesos con carbonato.

- Procesos con aminas

En general los procesos con aminas son los más usados por su buena capacidad de eliminación, bajo costo y flexibilidad en el diseño y operación. Las alcanolaminas más usadas son: Monoetanolamina (MEA), Dietanolamina (DEA), Trietanolamina (TEA), Diglicolamina (DGA), y Metildietanolamina (MDEA).

Los procesos con aminas son aplicables cuando se requieren bajas concentraciones del gas ácido en el gas de salida también llamado gas dulce.

- Procesos con carbonato

También conocidos como procesos de carbonato caliente porque usan soluciones de carbonato de potasio al 25 – 35% por peso y a temperaturas de unos 230 °F. En el proceso de regeneración el carbonato de potasio tiene mayor afinidad para reaccionar consigo mismo en lugar de con el sulfuro ácido de potasio, por lo que este último se va acumulando, lo cual conlleva a una disminución paulatina de la de absorción.

Además en la mayoría de los procesos con carbonato caliente contienen un activador el cual actúa como catalizador para acelerar las reacciones de absorción y reducir así el tamaño del absorbedor y el regenerador; estos activadores son del tipo aminas (normalmente DEA) o ácido bórico.

## **8.2. PROCESO DE ABSORCIÓN FÍSICA.**

La absorción física depende de la presión parcial del contaminante y estos procesos son aplicables cuando la presión del gas y su concentración es alta. Los disolventes se regeneran con disminución de presión y aplicación baja o moderada de calor.

Los procesos físicos tienen alta afinidad por los hidrocarburos pesados. Si el gas a tratar tiene un alto contenido de propano y compuestos más pesados

el uso del disolvente físico puede implicar una pérdida grande de los componentes más pesados del gas.

El uso de disolventes físicos para endulzamiento podría considerarse bajo las siguientes condiciones:

- Concentración de propano o más pesados baja.
- No se requiere la eliminación del sulfuro de hidrógeno hasta bajas concentraciones.

Entre estos procesos se encuentra el proceso selexol y el lavado con agua.

- Proceso Selexol

Se emplea como disolvente un dimetil éter de polietilenglicol (DMPEG). Las aplicaciones de este proceso han sido para gases ácidos con un bajo contenido de dióxido de carbono y alto de sulfuro de hidrógeno. La solubilidad del sulfuro de hidrógeno en dimetil éter de polietilenglicol es de 8-10 veces la del dióxido de carbono, permitiendo la absorción preferencial del sulfuro de hidrógeno.

El proceso de Selexol es más costoso que el proceso de amina.

- Proceso de Lavado con Agua.

Es un proceso de absorción física en el cual los problemas de corrosión son mínimos y el líquido usado se regenera haciéndolo pasar por un separador para eliminar el gas absorbido. Apenas es necesaria la aplicación de calor y además es un proceso muy selectivo. La principal desventaja es que requiere una unidad recuperadora de azufre.

El proceso es efectivo a presiones altas, contenidos altos de gases ácidos y relaciones ácido sulfhídrico/dióxido de carbono altas. Algunas veces se recomienda combinar este proceso con el de aminas para reducir costos.

En el proceso el gas ácido entra por la zona inferior de la torre y el agua por la zona superior. El gas que sale por la parte superior de la torre está parcialmente endulzado y se envía a la planta de aminas para completar el proceso de endulzamiento. El agua que sale del fondo de la torre se envía a un separador de presión intermedia para eliminar los hidrocarburos disueltos y al



salir de éste se envía a un separador de presión baja donde se le eliminan los gases ácidos y de aquí el agua ya limpia se recircula a la torre.

### **8.3. PROCESOS HÍBRIDOS.**

Los procesos híbridos aprovechan las ventajas de los procesos químicos, tal como la alta capacidad de absorción y por tanto de reducir los niveles de los contaminantes.

El proceso híbrido más usado es el Sulfinol que usa un disolvente físico, sulfolano (dióxido de tetrahidrotiofeno), un disolvente químico (DIPA) y agua. Una composición típica del disolvente es 40- 40-20 de sulfolano, DIPA y agua respectivamente aunque la composición del disolvente varía dependiendo de los requerimientos del proceso de endulzamiento.

Los efectos de la DIPA y el sulfolano para mejorar la eficiencia del proceso son diferentes. La DIPA tiende a ayudar en la reducción de la concentración de gases ácidos a niveles bajos, el factor dominante en la parte superior del absorbedor, y el sulfolano tiende a aumentar la capacidad global de eliminación, el factor dominante en el fondo del absorbedor. Como los disolventes físicos tienden a reducir los requerimientos de calor en la regeneración, la presencia del sulfolano en este proceso reduce los requerimientos de calor a niveles menores que los requeridos en procesos con aminas.

La eliminación selectiva del sulfuro de hidrógeno es posible en casos específicos en los que la relación entre el dióxido de carbono/ ácido sulfhídrico es alta.

Este proceso no es comercial, por lo que hay que pagar derechos para poder aplicarlos. Además el sulfolano presenta pérdidas por evaporación en el proceso de regeneración y tiene una alta afinidad por los hidrocarburos pesados.

### **8.4. PROCESOS DE CONVERSIÓN DIRECTA.**

Estos procesos eliminan el sulfuro de hidrógeno convirtiéndolo directamente a azufre elemental sin necesidad de unidad recuperadora de azufre.

En estos procesos utilizan reacciones de oxidación – reducción que involucra la absorción de sulfuro de hidrógeno en una solución alcalina. Entre estos métodos está el proceso Stretford y el proceso del Hierro Esponja.

- Proceso Stretford.

Es el más conocido de los métodos de conversión directa y en el se usa una solución 0.4 N de carbonato de sodio y bicarbonato de sodio en agua. La relación es una función del contenido de dióxido de carbono presente en el gas.

El gas ácido entra por el fondo del absorbedor y entrando en contacto en contracorriente con la disolución del proceso. Con este proceso se pueden tener valores de concentración de sulfuro de hidrógeno desde 4 ppm a 1,5 ppm. La disolución permanece en el absorbedor unos 10 minutos para que haya contacto adecuado y se completen las reacciones y luego al salir por el fondo se envía a un tanque de oxidación, en el cual se inyecta oxígeno por el fondo para que oxide el sulfuro de hidrógeno a azufre elemental; el mismo oxígeno inyectado por el fondo del tanque de oxidación envía el azufre elemental a la zona superior del tanque de donde se puede eliminar.

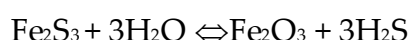
Entre las ventajas de este proceso se encuentra la buena capacidad de eliminación del sulfuro de hidrógeno y que el azufre obtenido es de pureza comercial aunque su color es de menor calidad que el obtenido en la unidad recuperadora de azufre.

Sin embargo, el disolvente es muy costoso y se degrada.

- Proceso del Hierro Esponja.

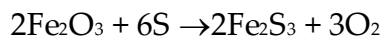
Este proceso es aplicable cuando la cantidad de sulfuro de hidrógeno es baja y la presión también. Requiere la presencia de agua ligeramente alcalina.

Es un proceso de adsorción en el cual el gas se hace pasar a través de un lecho de madera triturada que ha sido impregnada con una forma especial hidratada de óxido férrico que tiene alta afinidad por el ácido sulfhídrico. La reacción química que ocurre es la siguiente:



La temperatura se debe mantener por debajo de 120 °F pues a temperaturas superiores y en condiciones ácidas o neutras se pierde agua de cristalización del óxido férrico.

El lecho se regenera circulando aire a través de él, de acuerdo con la siguiente reacción:



La regeneración no es continua sino que se hace periódicamente y además es difícil y costosa. Presenta el problema de que el azufre se va depositando en el lecho y lo va aislando del gas. También el proceso de regeneración es exotérmico y se debe hacer con cuidado, inyectando el aire lentamente, para evitar que se presente combustión. Generalmente, después de 10 ciclos el empaque se debe cambiar.

### **8.5. PROCESO DE ADSORCIÓN.**

El gas ácido se pone en contacto con un sólido que tiene afinidad por los gases ácidos.

En estos procesos el gas ácido se hace pasar a través de un filtro que tiene afinidad por el y en general por las moléculas polares presentes en el gas entre las que también se encuentra el agua. El más común de estos procesos es el de las mallas moleculares.

Son menos usados que los procesos químicos aunque presentan algunas ventajas importantes tales como la simplicidad del proceso ya que no depende de la presión. Se aplica a gases con concentraciones moderadas de sulfuro de hidrogeno y en los que no es necesario eliminar el dióxido de carbono.

- Proceso con Mallas Moleculares.

Es un proceso de adsorción física similar al aplicado en los procesos de deshidratación por adsorción. Dichas mallas son prefabricadas a partir de aluminosilicatos de metales alcalinos mediante la eliminación de agua de tal forma que queda un sólido poroso con un rango de tamaño de poros reducido y además con puntos en su superficie con concentración de cargas, este hecho hace que tenga afinidad por moléculas polares como las de sulfuro de hidrógeno y el agua; además debido a que los tamaños de poro son bastante uniformes son selectivas en cuanto a las moléculas que eliminan. Dentro de los poros la estructura cristalina crea un gran número de cargas polares localizadas en los llamados lugares activos. Las moléculas polares, tales como las de sulfuro de hidrogeno y agua, que entran a los poros forman enlaces

iónicos débiles en los lugares activos, en cambio las moléculas no polares como las parafinas no se fijarán a estos lugares, por lo tanto las mallas moleculares podrán endulzar y deshidratar simultáneamente el gas.

Uno de los inconvenientes que presentan las mallas polares es que el dióxido de carbono es una molécula de tamaño similar a las de sulfuro de hidrógeno y agua y aunque no es polar puede quedar atrapada en pequeñas cantidades bloqueando dichos poros. El principal problema con el dióxido de carbono es que al quedar atrapado reduce los espacios activos y por tanto la eficiencia de las mallas para retener el sulfuro de hidrógeno y el agua.

Las mallas se regeneran circulando gas dulce caliente a temperaturas entre 300 y 400 °F. No sufren degradación química y se pueden regenerar indefinidamente; sin embargo se debe tener cuidado de no dañarlas mecánicamente pues esto afecta a la estructura de los poros y finalmente a la eficiencia del lecho. La principal causa de daño mecánico son los cambios bruscos de presión o temperatura.

El uso de mallas moleculares en endulzamiento está limitado a volúmenes pequeños de gas y presiones de operación moderadas; debido a esto su uso es limitado en procesos de endulzamiento. Se usan generalmente para mejorar el endulzamiento o deshidratación realizado con otros procesos o para deshidratación de gases dulces cuando se exigen niveles muy bajos de agua.

Las mallas moleculares se usan también para tratar volúmenes grandes de gas pero con contenidos bajos de contaminantes ácidos. Una innovación reciente del proceso con mallas moleculares permite la eliminación selectiva de sulfuro de hidrógeno en presencia de dióxido de carbono.

→ Finalmente, se decide proyectar el proceso con aminas debido a su buena capacidad para eliminar el ácido sulfhídrico, bajo coste y por su flexibilidad en el diseño y operación.

Además es el proceso más usado en la refinería y ya se cuenta con las materias primas, sin embargo el cambio a otro proceso conllevaría la construcción de tanques para su almacenamiento y de una torre regeneradora, no pudiéndose emplear la existente ya en la planta.

## 9. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE VACÍO.

La Unidad de vacío está diseñada para trabajar con residuo atmosférico de Crudo Arabia Ligero.

Hay dos tanques para el almacenamiento del residuo atmosférico. Además, contiene un serpentín de calentamiento con vapor de 150 psig para mantener el residuo atmosférico a una temperatura adecuada.

El residuo atmosférico es impulsado desde los tanques a la columna de vacío mediante una bomba situada fuera de los límites de la unidad. Antes de entrar en la columna de vacío el residuo atmosférico se calienta por intercambio de calor con los productos de salida de la Torre de Vacío que se dirigen a los tanques y los reciclos en el orden siguiente:

- 1º intercambiador- Gas Oil de Vacío – Residuo Atmosférico.
- 2º Intercambiador- Destilado 150 – Residuo Atmosférico.
- 3º Intercambiador- Reciclo Superior – Residuo atmosférico.
- 4º Intercambiador- F.O.V – Residuo atmosférico.
- 5º Intercambiador- Destilado 850 – Residuo atmosférico.
- 6º Intercambiador- F.O.V. – Residuo atmosférico.
- 7º Intercambiador- Destilado 350 – Residuo atmosférico.
- 8º Intercambiador- Destilado 850 – Residuo atmosférico.
- 9º Intercambiador- Reciclo Intermedio – Residuo atmosférico.
- 10º Intercambiador- Destilado 850 – Residuo atmosférico.
- 11º Intercambiador- F.O.V. – Residuo atmosférico.
- 12º Intercambiador- Extracción de slop – Residuo atmosférico.

Para alcanzar el residuo atmosférico la temperatura deseada para entrar en la columna de vacío, finalmente entra en los hornos que normalmente queman Fuel Oil preparado en la Refinería para todo el complejo.

Al llegar la carga a los hornos se divide en tres pasos, dos de ellos se dirige al primer horno y el otro al segundo. El primer horno cuenta con siete quemadores más dos entradas para los gases incondensables de la cabeza de la columna y el segundo tienen cuatro quemadores.

El combustible de los hornos el fuel-oil se introduce en los hornos a través de los quemadores junto al vapor de atomización, cuya misión es dividir el fuel en pequeñas partículas favoreciendo así la combustión.

Si el caudal de fuel-oil en el horno es excesivo se produce una gran llamarada, para impedir esto se puede actuar sobre el quemador estrangulándolo o sobre la válvula de retorno de fuel-oil abriéndola.

Los gases incondensables permiten una mejor combustión y eleva la temperatura de la carga. Para mantener esta temperatura constante lo que se realiza al introducir estos gases en el horno es baja el caudal de fuel oil.

En la zona final del horno se realizan inyecciones de vapor, con ello se consigue que disminuya el tiempo de residencia de la carga en el horno, evitando así la formación de coque en las paredes de las tuberías donde la carga circula.

Los humos del horno salen a mucha temperatura por lo que se aprovecha dicha temperatura para calentar el aire de entrada en el horno, de esta forma se produce un ahorro de combustible. La entrada de aire en los hornos se realiza por dos zonas. La primera se denomina primaria y el aire entra por el quemador, el segundo se denomina secundario y en este caso el aire entra en el hogar del horno. El caudal de aire de entrada tanto al quemador como en el hogar se puede modificar mediante unas chapaletas.

Posteriormente los humos pasan por un economizado donde calienta agua de entrada en calderas. A continuación los humos se llevan a la chimenea.

A la salida de los hornos los tres pasos se unen en la llamada línea Transfer y la carga se introducen en la torre por la zona flash. Al entrar la carga y encontrarse a tan baja presión en ella se produce la separación instantánea de los destilado. Por un lado los productos más ligeros suben por la torre y los productos más pesados caen al fondo.

La carga que cae en el fondo de la torre se pone en contacto con vapor de media mediante cuatro platos perforados.

De la torre de vacío se obtiene distintos productos. Por la parte superior el GOV (gasoil a vacío), por las extracciones intermedias los destilados 150 (DT-150) y el destilado 600 (DT-600) que se emplean posteriormente en otra unidad de la planta. Por la zona inferior se obtienen dos cortes, el Slop y como fondo de la torre el residuo de vacío, empleado estos dos últimos en las proporciones adecuadas como alimentación en otra unidad.

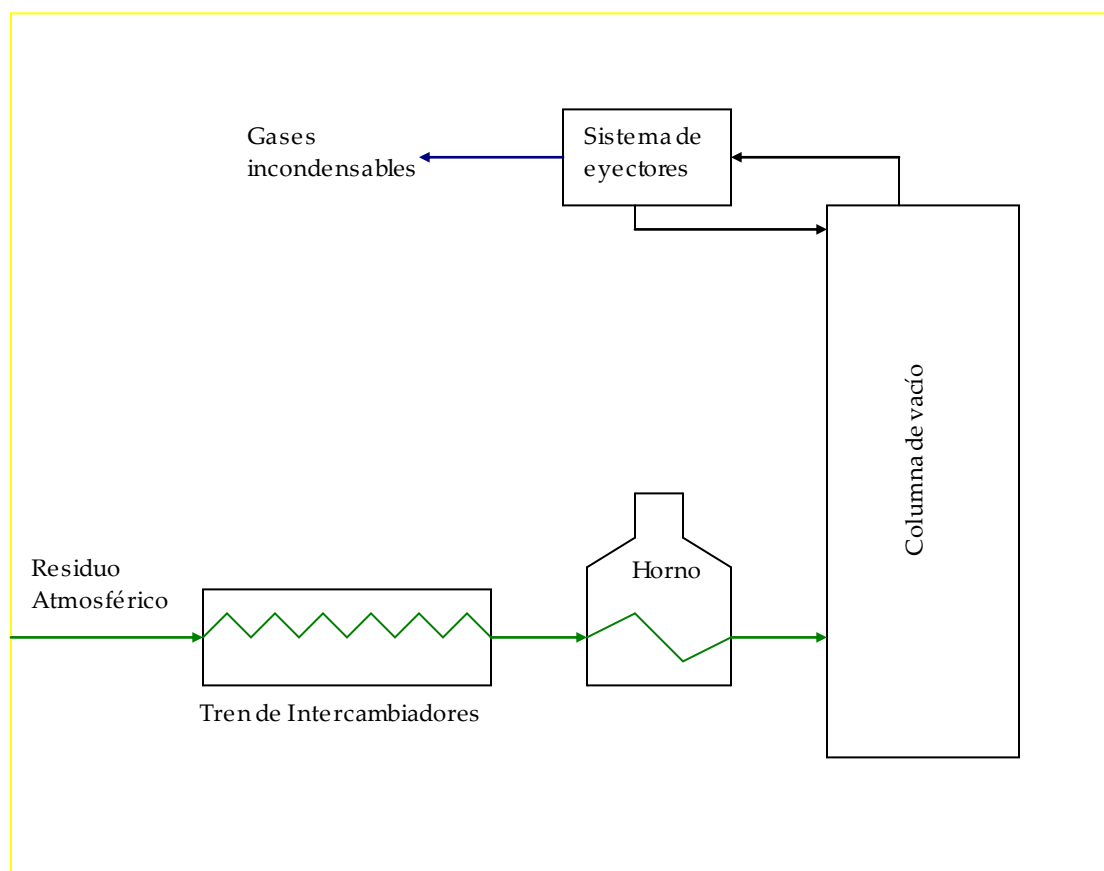
Los vapores que abandonan la Torre de Vacío son aspirados por los 2 trenes de eyectores de 3 etapas. Cada tren de eyectores tiene una capacidad para absorber el 50% del total de la carga. Cada eyector está equipado con un condensador de superficie, el cual condensa la mayor parte del agua y los hidrocarburos condensables.

En cada tren de eyectores el condensador de superficie del primer eyector usa agua de refrigeración nueva y los condensadores siguientes, segundo y tercero usarán el agua proveniente del primero.

El vapor motriz para los eyectores es de 150 Lb.

El líquido condensado en los condensadores de superficie fluye al separador en el que se separa el agua y los hidrocarburos. El agua que se recoge se envía al sistema de aguas aceitosas.

- *Diagrama de flujo*



## 10. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE AMINA.

La eliminación del ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) que acompaña al gas es indispensable para evitar emisiones de azufre.

La separación del  $H_2S$  de los gases se realiza en un proceso que se denomina de endulzamiento, basado en la absorción en soluciones acuosas de aminas; la solución rica en sulfhídrico se regenera por agotamiento con vapor para recircularse a la absorción, y el  $H_2S$  separado se procesa en unidades donde primeramente se realiza una combustión parcial del mismo para generar una proporción adecuada de  $H_2S$  y  $SO_2$ , que enseguida se hacen reaccionar catalíticamente para generar azufre elemental.

Para llevar a cabo el proceso es necesario disponer en la refinería de un espacio destinado al almacenamiento de la amina. Por ello se dispone de tanques para la preparación de la amina, el cual es un tanque paralelepípedo con capacidad aproximada de  $4.5\text{ m}^3$ , dicho tanque consta de una entrada de vapor de agua condensada por la parte superior que llega hasta el fondo.

La disolución de amina debe realizarse con un condensado de vapor frío, o equivalente.

La línea de salida parte del fondo del tanque y va a la aspiración de las bombas de transferencia. Sobre este tanque hay una rejilla que sirve para soportar los bidones de amina, pudiendo colocarse hasta tres bidones simultáneamente.

Además hay una estación de mangueras de vapor que se emplea para agitar y calentar con el fin de favorecer la solución.

Una vez que la disolución de amina es preparada es impulsada mediante una bomba hasta los tanques de almacenamiento de la disolución de amina. Los tanques son cilíndricos de techo cónico, con capacidad de  $70\text{ m}^3$ . El tanque tiene un respiradero que descarga a una presión aproximada de  $1.9\text{ g/cm}^2$ , de acuerdo con las normas API de venteo para tanques.

Por otro lado la fase gas que llega hasta la unidad puede llevar algo de hidrocarburo que en caso de llegar hasta el absorbedor, quedaría con la amina formando emulsiones.



El coalescedor - separador es un absorbedor de gotas, cuya finalidad es evitar precisamente este arrastre de hidrocarburo líquido al absorbedor de amina. Para evitar este fenómeno, el equipo dispondrá de dos zonas: una inferior, por la que entra el gas, con demister para retención de las gotas mayores, y otra superior que alojará 4 elementos coalescentes de tipo "seprasol" en material polimérico, para eliminación de gotas líquidas.

Posteriormente la corriente gaseosa sale del coalescedor y entra en el absorbedor de amina. El absorbedor de amina, normalmente, son columnas de relleno o de platos de válvulas. La disolución de amina entra por un distribuidor cerca de la parte superior de la columna, fluye a través de cada plato, y sale por el fondo. El gas de alimentación entra por un distribuidor de entrada localizado inmediatamente debajo del plato inferior. El ácido sulfhídrico en el gas se elimina por el paso del gas hacia arriba por las aberturas de los platos y burbujea a través de la disolución de amina en cada plato. El gas tratado pasa a través de una malla y sale por la parte superior del absorbedor. A veces existe dispositivo en la pared del fondo del tanque de almacenamiento de amina, para permitir la eliminación de hidrocarburos líquidos que puedan acumularse en la superficie de la misma.

A continuación, la amina que sale del absorbedor es regenerada en una columna de regeneración, pero antes de ello pasa por un buffer o botellón cuya función es impedir, por decantación como por vaporización, que los hidrocarburos que puedan acompañar a la amina rica acaben llegando a las plantas de azufre formando parte de la corriente de gas ácido, tras pasar por el regenerador de amina.

El buffer internamente consta de tres pantallas para hacer efectiva la separación entre los hidrocarburos y la amina rica.

La amina finalmente se envía al regenerador previo calentamiento por unos cambiadores de calor conectados en serie, el intercambio se realiza entre la amina de entrada al regenerador y la amina de salida de este.

La amina rica en ácido sulfhídrico entra en el regenerador de amina. Este caudal de amina rica es repartido uniformemente por un distribuidor, y va cayendo plato a plato por los bajantes en contracorriente con los vapores compuestos principalmente por ácido sulfhídrico, que asciende hacia la cabeza. En cada plato hay un contacto íntimo entre dichos vapores y el líquido que se encuentra en él.

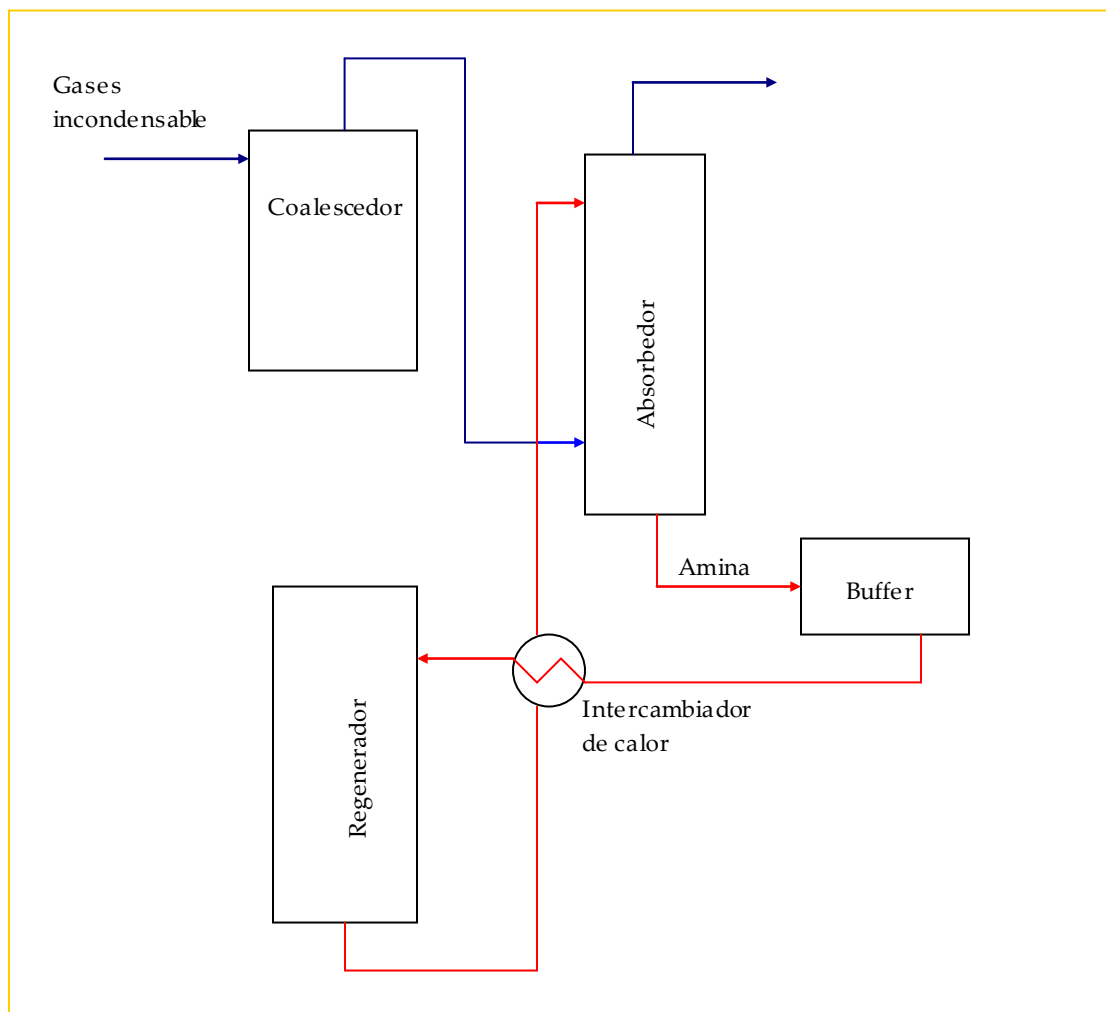
Por la cabeza de la torre salen los gases ácidos compuestos principalmente por ácido sulfhídrico y vapor de agua.

Por el inferior de la torre sale fundamentalmente el DEA.

La solución de amina regenerada debe filtrarse para separar los productos procedentes de la corrosión, los productos de degradación de la amina y sedimentos que hubiera.

Los filtros llevan un tejido para eliminar los sólidos, fundamentalmente productos de corrosión del hierro y su eliminación es esencial, ya que de lo contrario, estos sólidos estabilizarán las emulsiones, siendo causa principal de los problemas de operación en las unidades de amina.

- *Diagrama de Flujo*



## 11. FUNDAMENTO TEÓRICO.

### 11.1. INTRODUCCIÓN TEÓRICA DEL DISOLVENTE LÍQUIDO.

La eliminación del ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) en corrientes de hidrocarburos gaseosos o líquidos para reducir las características corrosivas y de mal olor de este compuesto es un tema muy estudiado desde hace tiempo.

Hasta la fecha, el proceso más económico y más usado para eliminar eficientemente el  $H_2S$  y otros contaminantes ácidos es un proceso de regeneración - absorción en continuo, empleándose una solución acuosa de alcanolaminas básicas.

El sulfuro de hidrógeno en disolución acuosa se disocia para formar ácidos débiles. Las alcanolaminas son bases orgánicas débiles. Cuando la corriente gaseosa que contiene ácido sulfhídrico entra en contacto con el disolvente líquido reaccionan para formar un complejo ácido-base, una sal.

Las alcanolaminas están clasificadas según el grado de sustitución del nitrógeno central; una única sustitución designa una amina primaria, una doble sustitución, una amina secundaria, y una triple sustitución, una amina terciaria.

Cada una de las alcanolaminas tiene al menos un grupo hidroxilo y uno amino. De forma general, el grupo hidroxilo permite disminuir la presión de vapor e incrementar la solubilidad en agua, mientras que el grupo amino proporciona la alcalinidad necesaria en disoluciones acuosas como para promover la reacción con gases ácidos.

La amina primaria más conocida es la monoetanolamina (MEA), esta es muy reactiva y disminuye significativamente el ácido sulfhídrico. El alto calor de reacción que presenta este ácido, así como su alta corrosividad y el gasto de energía para su recuperación han restringido su uso.

La diglicolamina (DGA) también es una amina primaria similar a la MEA en estabilidad y reactividad, se puede utilizar en concentraciones relativamente altas, alrededor del 60%. Requiere menor energía y genera ahorro en el equipo. Sin embargo las principales desventajas que presenta son su alto costo y pérdida de solvente en presencia de  $CO_2$ ,  $COS$  y  $CS_2$ .

Si se compara la dietanolamina (DEA) con la MEA, esta presenta un calor de reacción menor con ácido sulfhídrico, es más resistente a la corrosión y a la degradación en COS, CS<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. A diferencia de la MEA, la DEA es muy difícil de mantenerse pura.

En los últimos años le metildietanolamina (MDEA), ha obtenido gran éxito en el mercado para el tratamiento del gas. Su uso fue propuesto por primera vez por Frazler y Khol. La ventaja más importante de esta amina sobre las aminas primarias y secundarias es básicamente la selectividad que tiene hacia el H<sub>2</sub>S; también tiene una entalpía de reacción baja con los gases ácidos, por lo que se requiere menor energía para su regeneración. Otras ventajas son que se obtiene una presión baja de la solución, el nivel de corrosión es bajo, tiene una mejor estabilidad térmica y química y es resistente a la degradación en compuestos orgánicos.

## ***11.2. ELECCIÓN DEL DISOLVENTE.***

La elección del disolvente se realizará teniendo en cuenta el disolvente que se emplea en la refinería. En este caso en la Refinería "Gibraltar - San Roque" se emplea como disolvente para estas unidades la dietanolamina (DEA).

El motivo de emplear la DEA en el proyecto es por cuestiones económicas fundamentalmente.

A continuación se detalla que repercusión tendría cambiar de disolvente y emplear una amina primaria que para la presión existente en el sistema es lo más recomendable.

- Si se emplea una amina primaria se deberá construir dos nuevos depósitos para el almacenamiento de este disolvente y nuevas líneas para el transporte desde el lugar de recepción al de almacenamiento.
- Se tendrá que contratar a proveedores que garanticen la disponibilidad del producto.
- Se tendrá que construir una nueva torre de regeneración y los equipos auxiliares correspondientes para regenerar la amina, ya

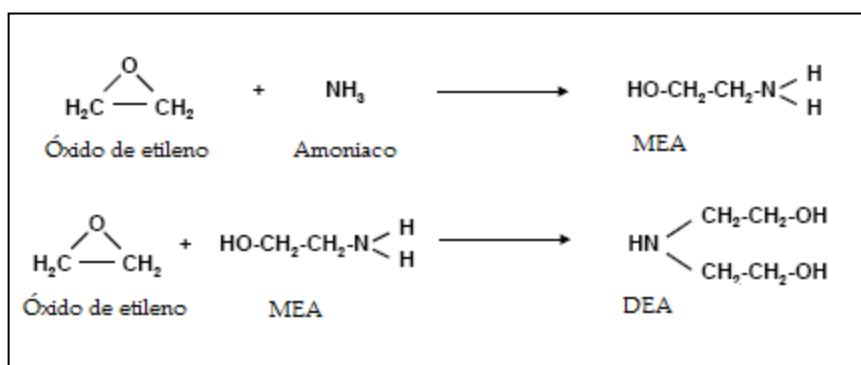
que en este caso no se podrá emplear la ya existente debido a que en esta se regenera la DEA.

Son por estos tres motivos fundamentalmente por lo que se decide emplear DEA como disolvente para la nueva torre de absorción.

### 11.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL DISOLVENTE.

La monoetanolamina (MEA) es la más sencilla de las etanolaminas y se produce por la reacción de amoníaco con óxido de etileno. Reaccionando la MEA con óxido de etileno se produce la dietanolamina (DEA).

El esquema de la reacción de obtención de este compuesto y su estructura molecular se muestran en el siguiente cuadro:



Algunas propiedades físicas de la DEA se exponen a continuación en un cuadro resumen:

Propiedades de DEA como compuesto puro.

<i>Peso Molecular</i>	105.14
<i>Densidad (30/20 °C)</i>	1.0919 g/cc
<i>Presión de Vapor (20 °C)</i>	Menor 0.01 mm Hg
<i>Punto de Ebullición (1 atm)</i>	271 °C
<i>Punto de Congelación (1 atm)</i>	28 °C

Propiedades de DEA disuelto al 20% en peso en agua.

<i>Densidad (20 °C)</i>	1.029 g/cc
<i>Punto de Ebullición (1atm)</i>	101 °C
<i>Punto de Congelación (1 atm)</i>	-4.2 °C

Ventajas del uso de DEA:

- Resistente ante la degradación de sulfuro de carbonilos (COS) y sulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>).

Si la corriente a tratar contiene concentraciones apreciables de estos dos productos, la DEA será el disolvente más adecuado. Este hecho está fundamentado en que, aunque la DEA y la MEA eliminan casi en su totalidad estos sulfuros, la MEA tiene el inconveniente de que reacciona con ellos para formar un compuesto estable térmicamente y no se puede posteriormente recuperar. La DEA también reacciona con ellos pero en todo caso forma compuestos recuperables en la regeneración.

- Baja presión de vapor del disolvente que da como resultado bajas pérdidas potenciales de disolvente.

Con el uso de DEA se produce menos pérdidas de disolvente que con MEA, debido a que la primera es menos soluble en los hidrocarburos líquidos.

Del mismo modo el disolvente es preferible que tenga una baja presión de vapor para evitar las pérdidas en su manejo y durante la operación.

- Naturaleza corrosiva reducida en comparación con la MEA.
- Es un disolvente de bajo coste.

Entre las desventajas que presenta la DEA se encuentra:

- Baja reactividad en comparación con MEA.
- Produce una eliminación no selectiva en sistemas de mezcla de gases debido a su incapacidad para tratar una cantidad apreciable de CO<sub>2</sub>.

- Elevadas exigencias para su circulación.
- A elevadas temperaturas puede reaccionar la DEA con el CO<sub>2</sub> para formar productos no recuperables mediante técnicas convencionales de recuperación.

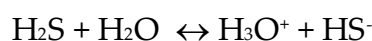
A modo de resumen el amplio uso que ha alcanzado la DEA en el ámbito de la industria de tratamiento de gases está en la habilidad de reunir los tres puntos clave en todo proceso de tratamiento de gases:

- a) Su reactividad, es decir, su capacidad de conseguir productos bajo especificaciones.
- b) La corrosión en los equipos es menor que la MEA.
- c) La utilización de la energía permite un amplio conjunto de aplicaciones para este disolvente en tratamiento de gases.

#### 11.4. REACCIÓN QUÍMICA.

Las reacciones químicas implicadas en la eliminación del H<sub>2</sub>S son:

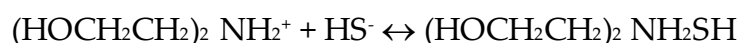
- El sulfuro de hidrógeno es un ácido débil y se ioniza parcialmente en agua para formar iones de hidrógeno y de sulfuro:



- Las etanolaminas son bases débiles y se ionizan en agua para formar iones de aminas e hidroxilo:

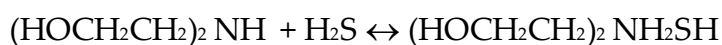


- Cuando el H<sub>2</sub>S se disuelve en la solución que contiene los iones de amina, reaccionará para formar una sal de base débil:



- El ión sulfuro es absorbido por la disolución de amina. Esta reacción de formación de sal no llega a su terminación, sino que

existe un nivel de H<sub>2</sub>S que permanece en la corriente de hidrocarburos. La reacción total puede escribirse como:



Las variables de operación se ajustan para favorecer la reacción directa en la ecuación anterior en la etapa de absorción del proceso.

El carácter reversible de la reacción es lo que permite la regeneración del disolvente y continuar eliminando el H<sub>2</sub>S por tratamiento con amina.

### **11.5. CORROSIÓN.**

La mayoría de los problemas de corrosión suelen ser producidos, tanto por un deficiente diseño de la unidad como una mala operación en la misma. No obstante la experiencia en equipos similares demuestra que estos problemas surgen de forma inherente durante la vida de la unidad.

Los factores que contribuyen a la corrosión se citan de modo resumido a continuación:

- Concentración de amina. Por lo general, cuanto más concentrada en amina esté la solución, mayores serán las características corrosivas de la misma. Con esto se obtiene, que por lo general la DEA está limitada a un 30% en peso.
- Carga de gas ácido. Una consideración importante en este tipo de unidades es el ratio máximo en el gas de alimentación a la unidad de CO<sub>2</sub>/SH<sub>2</sub>.
- Sales Estables al Calor. Las sales estables se forman por la reacción de la amina con ácidos fuertes, más que el ácido sulfhídrico. Estas no pueden disociarse en el regenerador, son estables al calor y potencian la corrosividad de la solución de amina, por lo general el nivel de sales estables está limitado a 1-2% en peso sobre la solución de amina.
- Elevadas temperaturas. Provoca una disminución del pH de la amina, haciendo a esta más corrosiva.



- Altas velocidades. La velocidad de circulación de la solución de amina tratada debe ser limitada, de tal forma que se eviten efectos de erosión por las propias partículas que lleva en suspensión.

### **11.6. FORMACIÓN DE ESPUMAS.**

La formación de espuma es uno de los problemas más frecuentes que aparece en las torres de absorción de aminas.

La mejor manera de detectar si se están formando espumas es instalando un medidor de presión en el absorbedor. Así un aumento en él, es el primer indicio de que comienza a producirse espuma.

La espuma se puede originar fundamentalmente por algún tipo de contaminante o por problemas mecánicos.

#### Espuma química:

Los factores que favorecen la formación de espumas en la solución de amina son una baja tensión superficial o un incremento en la viscosidad de la misma.

Las espumas se forman fundamentalmente por la contaminación de la amina debido a:

- Ácidos orgánicos procedentes de la fase gas, que reacciona con la amina formando jabones.
- Hidrocarburos líquidos.
- Inhibidores, aceites de lubricación de compresores, bombas, válvulas, etc.
- Productos de la degradación y descomposición de la amina.
- Sales estables al calor (HSS).
- Sólidos en suspensión y material particulado.

El sulfhídrico no reacciona únicamente con la amina, sino que puede haber reaccionado con el material de las tuberías de las unidades formando

sulfuro de hierro. Este sulfuro de hierro, puede llegar hasta el sistema de aminas y tras un periodo de tiempo depositado crear una capa fina de protección que previene a la futura corrosión. Sin embargo, un aumento en la velocidad de circulación de la amina, puede arrastrar estas partículas de sulfuro de hierro, dejando al descubierto nuevamente el metal. Este material finamente particulado estabiliza las espumas de tal forma que evita el ascenso de las burbujas de vapor.

La contaminación de amina por HSS favorece la formación de espumas. Estas se forman cuando en la corriente de gas existen trazas de compuestos ácidos, que actúan como ácidos fuertes, que reaccionan con la amina, base fuerte, dando lugar a sales solubles de amina. Estas HSS no pueden ser regeneradas, disminuyendo la capacidad de tratamiento del gas de entrada.

En la siguiente tabla se recoge de modo resumido los compuestos con el que la amina puede formar sales:

Ácidos carboxílicos ( fórmicos, oxálico y acético)	Procedentes de las unidades de FCC. No presenta problema en el absorbedor diseñado.
Tiosulfatos	Procedentes de la ruptura del SO <sub>2</sub> en reactores de hidrógeno.
Acetato, formiato, tiocianato, sulfato y tiosulfato.	Los aniones más comúnmente asociados a la formación de sales.

Para el control de las sales estables se llevan a cabo tres acciones:

- Técnicas preventivas.

Son dos las técnicas preventivas que se emplean para la eliminación de compuestos que pueden reaccionar con el disolvente y producir HSS.

La primera es una técnica de lavado de la corriente gaseosa a la entrada del absorbedor. El empleo de esta técnica se realiza cuando el coste del agua de lavado compensa frente a la elevada formación de sales.

Otra técnica que se suele emplear es modificar las condiciones de operación del proceso anterior. En este caso trabajar en la torre de destilación a vacío con unas condiciones que minimice la formación de complejos que posteriormente en el absorbedor pueden formar sales estables.

- Técnicas de neutralización.

Consiste en la adición de bases fuertes, tales como la sosa cáustica o potasa, carbonatos de sodio o potasio.

Las reacciones que ocurren son las siguientes:



- Técnicas de eliminación.

Las técnicas de eliminación son fundamentalmente:

Purgado de la amina existente y reposición de amina fresca Se emplea en circunstancia de urgencia.	No se emplea usualmente por: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevado coste de la amina</li> <li>- La amina no puede ser tratada en las plantas de tratamiento de agua residuales</li> </ul>
Electrodialisis: (se emplea cuando se haya empleado la neutralización) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consiste en membranas que permiten el paso selectivo de aniones y cationes en presencia de un campo eléctrico.</li> <li>- Se obtienen dos corrientes: una corriente de amina recuperada y otra salmuera rica en anión o catión</li> </ul>	No es un método muy empleado: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altas concentración de amina en la salmuera para ser tratada en las plantas de tratamiento de aguas residuales</li> </ul>
Destilación a vacío	Gran cantidad de corriente residual rica en amina que debe ser tratada en la planta de aguas residuales.
Intercambio iónico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se genera residuo sólido</li> <li>- Corriente de agua residual compatible con la planta de aguas residuales.</li> </ul>

### Espuma mecánica:

Son originadas por:

- Obstrucción de los platos.
- Excesiva velocidad del gas.
- Productos de corrosión tales como sulfuro de amina o similares.

Para eliminar este tipo de espuma solo queda abrir la torre y proceder a su limpieza.

## 12. DESCRIPCIÓN DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN.

La definición del código ASME para recipientes a presión es aquel que está constituido por una envolvente, normalmente metálica, capaz de contener un fluido cuyas condiciones de temperatura y presión son distintas a las medioambientales.

La columna de absorción se encuentra clasificada dentro de los recipientes a presión.

### 12.1. BALANCE DE MATERIA DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN.

Las características más significativas de las corrientes principales son las que a continuación se exponen:

<i>Item</i>	<i>1¼"-3-GAC-C</i>	<i>2"-5-AMP-C</i>	<i>1¼"-1-GDL-C</i>	<i>2"-1-AMR-C</i>
Nombre	Carga absorbedor	Amina pobre	Gas dulce	Amina rica
Temperatura (°C)	45,00	50,00	50,99	54,61
Presión (KPa)	119,96	199,39	118,98	119,96
Caudal (kg/h)	460,01	6094	371,45	6182,6
Estado de agregación	Gas	Líquido	Gas	Líquido
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1,4234	1010,80	1,3505	1033,90
Viscosidad (cP)	1,1475 · 10 <sup>-2</sup>	0,86163	1,1192 · 10 <sup>-2</sup>	0,80228

Las fracciones másicas de dicha corrientes son las siguientes:

<i>Item</i>	<i>1¼"-3-GAC-C</i>	<i>2"-5-AMP-C</i>	<i>1¼"-1-GDL-C</i>	<i>2"-1-AMR-C</i>
Nombre	Carga absorbedor	Amina pobre	Gas dulce	Amina rica
Nitrógeno	0,047694	-	0,059053	0,000001
Ácido sulfhídrico	0,238466	-	0,057389	0,014294
Dióxido de carbono	0,014314	-	0,012466	0,000316
Oxígeno	0,019075	-	0,023615	0,000001
Hidrógeno	0,001911	-	0,002365	-
Agua	0,046078	0,8	0,062085	0,788239
Metano	0,147863	-	0,183039	0,000005
Etileno	0,019075	-	0,023594	0,000002
Etano	0,066779	-	0,082667	0,000002
Propileno	0,009543	-	0,011794	0,000001
Propano	0,104930	-	0,129903	0,000003
1-Buteno	0,009543	-	0,011806	0,000001
Iso-Butano	0,0038151	-	0,047246	-
n-Butano	0,085855	-	0,108322	-
Iso-Pentano	0,033390	-	0,041349	-
n- Pentano	0,062008	-	0,076790	-
n- Hexano	0,028618	-	0,035432	0,00001
n- Heptano	0,026708	-	0,033074	-
DEA	-	0,2	0,000001	0,0197135

## **12.2. DATOS DEL PROCESO DE ABSORCIÓN.**

Los datos necesarios para el correcto diseño de la columna de absorción son los siguientes. (Los cálculos se han realizado en la memoria de cálculo):

- **Condiciones de diseño**

Diámetro (m)	0,5
Altura de la columna (m)	17
Altura soporte (m)	1,5
Altura lechos (m)	6
Número de lechos	2
Presión de operación máxima (Kg/cm <sup>2</sup> )	2,03
Temperatura de operación máxima (°C)	54,6
Presión de diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,03
Temperatura de diseño (°C)	74,6

- **Eficiencia de soldadura**

Eficiencia De junta (%)	60
Sobreespesor de corrosión (mm)	6,0

- **Materiales**

Cuerpo	A-516-60
Fondos	A-516-60
Faldón	A-516-60
Bridas	A-105
Pernos	A-193-B7

- **Peso de la columna**

Vacío	3713 kg
Bandejas y distribuidores	1700 kg
Peso relleno	934,25 kg

### **12.3. CONDICIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE LA TORRE.**

El diseño y cálculo mecánico de los elementos que forman parte de un recipiente consiste, básicamente en la determinación de sus espesores, tomando como datos de partido: la forma del equipo, sus dimensiones, el material utilizado, las condiciones de presión y temperatura, las cargas debidas al viento, peso específico del fluido y la reglamentación, norma o código que debe cumplir el diseño del recipiente.

La columna de absorción debe construirse de acuerdo con algún código internacional de diseño. En este caso será diseñado según el código ASME para recipientes a presión, división 1, Sección VIII.

Concretamente la División 1 se utiliza para el diseño y construcción de equipos sometidos a vacío, baja, media y alta presión. Sus limitaciones en cuanto a recipientes son:

- La presión deberá ser menor a 3000 psi.

Este límite lo cumple la columna de absorción, ya que la presión máxima en el interior es de 17,40 psi.

- Recipientes sujeto a presión interna o externa menor a 1,0055 kg/cm<sup>2</sup> (15 psi).

Dado que la presión interna es mayor a 15 psi, esta limitación no supone un problema para la aplicación de este código de diseño.

- Recipiente que no exceda de 15,2 cm de diámetro.

Siendo el diámetro de la columna de 50 cm, tampoco presenta problema esta limitación.

En España los recipientes sometidos a presión deben cumplir el “Reglamento de Aparatos a presión” (RAP), complementado con las “Instrucciones Técnicas Complementarias” (ITC) que le son aplicables.

- Presión de diseño.

Presión que en todo caso debe ser mayor a la máxima de servicio, su valor queda establecido en la memoria de cálculo y es de 4,03 kg/cm<sup>2</sup>.

- Temperatura de diseño.

Debe ser superior a la máxima de operación y su valor calculado en la memoria de cálculo es de 74,6 °C.

- Espesor mínimo de pared.

El valor del espesor mínimo de la pared ha sido calculado en la memoria de cálculo y es de 11 mm.

- Espesor mínimo debido a la presión interna.

El valor del espesor mínimo debido a la presión interna ha sido calculado en la memoria de cálculo y es de 7,01 mm.

- Espesor mínimo del fondo de la columna.

El valor del espesor mínimo del fondo de la columna ha sido calculado en la memoria de cálculo y es de 11 mm.

- Presión del viento.

Viene condicionada por la altura sobre el nivel del suelo, por el tipo de zona eólica y por la situación topográfica que puede ser expuesta o normal. Se considera situación topográfica expuesta las costas, cumbres de montaña, desfiladeros, bordes de meseta y aquellos lugares en que puedan preverse vientos locales de intensidad excepcional.

La presión básica del viento en este caso es de 115,08 kg/m<sup>2</sup>.

- Carga debido a sismos.

La carga sísmica se calculan de acuerdo con la Norma ASCE-7, como en la memoria de cálculo se desarrolla el valor de la carga debido a sismos es de 662,4 kg.



- Análisis vibratorio.

El estudio vibratorio en la columna no procede, ya que no se cumple las condiciones para que se lleve a cabo el análisis.

- Espesor del faldón.

Realizado los cálculos necesarios que se desarrollan en la memoria de cálculo se determina que el espesor del faldón debe ser de 17 mm.

- Cálculo de los pernos.

El número de pernos de anclaje necesario es de 8 y cada uno tiene un tamaño de 19 mm.

- Eficiencia en la soldadura.

La unión entre chapas se realiza, normalmente, por medio de la soldadura, y ésta representa una discontinuidad dentro del trazado de chapa que pueda producir una intensificación local de las tensiones a que se encuentra sometido el material. Esta razón, junto con la posibilidad de producirse defectos en la realización de la soldadura y el calentamiento y rápido enfriamiento al que está sometida la zona próxima a la soldadura, dan pie a considerar la zona de soldadura como debilitada. Teniendo en cuenta este hecho, en el cálculo de los recipientes se introducen una reducción en la tensión máxima admisible multiplicando ésta por un coeficiente denominado eficiencia de la soldadura, cuyo valor varía según las normas o códigos, y de acuerdo a la soldadura y los controles efectuados sobre ella. En el caso que se trata, su valor es de 60% teniendo en cuenta el código UW 12.

#### **12.4. MATERIALES EMPLEADOS.**

Los aceros al carbono son usualmente usados donde las condiciones de servicio lo permitan por los bajos costes, su disponibilidad y la facilidad de fabricación de estos aceros. Este es el caso de la columna de absorción.

Para la selección del material de construcción de la torre de absorción se empleará la filosofía empleada por el código ASME.

A continuación se describen las propiedades que deben tener los materiales para satisfacer las condiciones de servicio:

a) Propiedades mecánicas.

Es necesario tener una buena resistencia a la tensión, alto nivel de alargamiento y mínima reducción de área. Estas tres propiedades están relacionadas con los esfuerzos de diseño para el material.

b) Propiedades físicas.

Es imprescindible que el material de construcción tenga un coeficiente de dilatación térmica adecuado.

c) Propiedades químicas.

La principal propiedad química a tener en consideración en la fabricación de recipientes a presión es su resistencia a la corrosión. Este es un factor de gran importancia a tener en cuenta, ya que si la selección del material no es la adecuada causará una serie de problemas que terminará por impedir la normal operación.

- El sobrediseño del espesor trae como consecuencia un notable encarecimiento en el diseño.
- Paros de proceso debido a la corrosión de los equipos, conlleva a pérdidas en la producción.
- Contaminación del producto debido a perforaciones de las paredes del equipo.
- Mantenimiento preventivo. Es necesario proteger los equipos del medio corrosivo empleando para ello pinturas protectoras.

d) Soldabilidad

Los materiales usados para fabricar los equipos deben tener buenas propiedades de soldabilidad, dado que la mayoría de los componentes son de construcción soldada. Para el caso en que se tenga que soldar materiales diferentes, estos deben ser compatibles en lo que a soldabilidad se refiere. Las soldaduras de virola son axiales o longitudinales, ya que están realizadas siguiendo la generatriz del cilindro y, al contrario, las soldaduras que unen virolas, o los fondos con la carcasa, son circunferenciales o transversales, por estar realizadas siguiendo una circunferencia situada en el plano perpendicular al eje del cilindro.

No resulta en ocasiones fácil seleccionar el material ya que deben considerarse varios factores como los costes, la disponibilidad del material, los requerimientos del proceso y de operación, etc.

Finalmente se decide elegir acero al carbono para la columna de absorción porque es de fácil disponibilidad y el más económico de los aceros. Además está recomendado para recipientes donde no existan altas temperaturas ni altas presiones y en el caso que ocupa las condiciones de presión y temperatura son moderadas.

En la siguiente tabla [Eugene F.Megyesy,1992] se puede observar los aceros recomendados para los rangos de temperatura más usuales.

<i>Temperatura de diseño °F</i>		<i>Material</i>	<i>Placa</i>
Criogénico	-425 hasta -321	Acero Inoxidable	SA-240, 304, 304L, 347, 316, 316L
	-320 hasta -151	Níquel 9	SA-353
Baja temperatura	-150 hasta -76	Níquel 3 1/2	SA-203-D
	-75 hasta -51	Níquel 2 1/2	SA-203-A
	-50 hasta -21	Acero al carbono	SA-516-55, 60 hasta SA-20
	-20 hasta 4		SA-516 todos
	5 hasta 32		SA-285-C
33 hasta 60 61 hasta 775	SA-516 todos SA-515 todos SA-455 todos		
Alta temperatura	776 hasta 875	C- ½ Mo	SA-204-B
	876 hasta 1000	1 Cr- ½ Mo	SA-387-12-1
		1 ¼ C- ½ Mo	SA-387-11-2
	1001 hasta 1100	2 ¼ C- 1 Mo	SA-387-22-1
	1101 hasta 1500	Acero Inoxidable	SA-240-347H
		Incoloy	SB-424
Por encima de 1500	Inconel	SB-443	

La temperatura de diseño en el absorbedor gas-líquido es de 74,6 °C, se elige el acero al carbono SA-516 para la carcasa del equipo, el fondo y los soportes existentes en él. Este acero se utiliza en aplicaciones a mediana y baja

temperatura donde se requiere una dureza excepcional, con él se puede formar cualquier tipo de chapa tanto en proceso en caliente como en proceso en frío debido a su ductilidad, además de poseer unas buenas características de soldabilidad. El acero al carbono es el material más utilizado para planta de proceso a pesar de tener una resistencia a la corrosión limitada. Se usa rutinariamente para las disoluciones acuosas orgánicas a temperaturas moderadas, como es el caso que ocupa.

Las características principales del acero al carbono SA-516 se recogen en la siguiente tabla:

<i>Especificación Código ASME A-516</i>		
Resistencia a la tracción (Ksi)	65-85	
Límite elástico (Ksi)	35	
Elongación en 8 pulgadas (%)	19	
Elongación en 2 pulgadas (%)	23	
Composición (% en peso máximo)	Carbono	27
	Manganeso	90
	Fósforo	3,5
	Azufre	4
	Silicio	40

## **12.5. DESCRIPCION DETALLADA DE LA TORRE.**

La columna de absorción consiste en una torre de relleno, y tiene la función de poner en contacto continuo a contracorriente los gases incondensables y la disolución de amina pobre para que el proceso de absorción tenga lugar.

La columna consiste en una torre cilíndrica que contiene una entrada para el gas en la parte inferior de esta y un espacio de distribución en el fondo, una entrada de la solución de amina y dispositivo de distribución en la parte superior, una salida de gas en la parte superior, una caída de líquido en el fondo y el relleno de la torre. El gas entra en el espacio de distribución que está debajo de la sección empaquetada y se va elevando a través de las aberturas o intersticios del relleno, así se pone en contacto con el líquido descendente que fluye a través de las mismas coberturas. El empaquetamiento proporciona una extensa área de contacto íntimo entre el gas y el líquido.

Recorriendo la columna desde su parte superior hasta la inferior, esta consta en el punto más alto de una conducción por la que sale el gas tratado en la torre, más abajo se encuentra una conducción lateral por la que entra la solución de dietanolamina. Más abajo se encuentra los distribuidores de líquido que llevan a cabo su función mediante distintos vertederos. Por debajo, está situado un plato de soporte o limitador del primer lecho, cuya función principal es evitar que parte del relleno suba por la columna hasta la zona anteriormente descrita, la zona de distribución del líquido. El plato de soporte debe constar con una gran fracción de área libre de forma que no se produzca inundación en su superficie. Inmediatamente por debajo de este plato está el primer lecho de relleno de una altura de 6 metros que cuenta con una corriente lateral para la salida de relleno. Esta salida es necesaria debido a diversas situaciones que impliquen la sustitución del relleno. Justo debajo del lecho empacado se sitúa un plato de soporte del lecho que se encuentra fijado a la columna mediante un anillo de soporte. A continuación de una franja intermedia de un total de 1,5 metros, se encuentra el segundo lecho de relleno, con características similares al primero y que cuenta con los mismos elementos. Ya por último, se encuentra la zona inferior que se puede denominar de distribución del gas, ya que en ella se encuentra la alimentación del gas en una altura de 1,5 metros de longitud en la que entra mediante una conducción lateral el flujo y en cuya parte inferior se encuentra un cierto nivel de líquido. En la zona inferior de la torre se halla la conducción por la que sale la solución de amina rica que se dirige a la torre de regeneración.

Debido al diámetro existente en la torre, esta no contará con bocas de hombres.

La torre está anclada al suelo por un faldón y silletas con pernos.

## ***12.6. DISEÑO HIDRÁULICO.***

El diseño hidráulico de la columna de absorción engloba la selección del relleno adecuado para la aplicación que se lleva a cabo y la determinación de parámetros importantes referentes a la columna y su distribución interna.

### 12.6.1. RELLENO DE LA COLUMNA.

- *Torre de relleno frente a platos*

La elección de la columna de absorción de relleno o plato sólo puede realizarse afirmándose en la experiencia y considerando las principales ventajas y desventajas de cada uno de los tipos, las cuales, de manera general, se muestran a continuación:

- La columna de platos puede diseñarse para tratar mayor rango de caudales de líquido y vapor. Sin embargo, la columna de relleno no puede trabajar con caudales muy pequeños de líquido.
- La eficiencia de los platos se puede predecir con mayor certeza que el término equivalente para el relleno.
- Para columnas de pequeño diámetro es más económico emplear relleno.
- Si se emplean compuestos corrosivos resulta más barato emplear torres empacadas.
- Se aprecia menos arrastre de líquido en columnas empacadas que en las de platos. Durante la operación normal, los platos retienen del 8 al 12% del volumen de la torre, y el relleno sólo del 1 al 6%. Esto puede ser importante cuando se necesita que los componentes tóxicos o inflamables estén contenidos en el menor espacio posible por razones de seguridad. También es una ventaja para líquidos de proceso que se puedan polimerizar o degradar térmicamente a elevada temperatura, ya que se requiere un tiempo de residencia pequeño.
- Las columnas de relleno son más apropiadas para el tratamiento de sistemas que pueden formar espumas.
- La caída de presión por etapa teórica es menor en columnas de relleno que en las de platos, asimismo, se debe elegir el relleno para servicios a vacío. Las cifras están en torno a 3-8 mm Hg en platos, 1-2 mm Hg para rellenos desordenados y de 0,01-0,8 para rellenos estructurados.

- El relleno debe emplearse para columnas con diámetro de menos de 0,6 metros, ya que en estos casos los platos resultan demasiado caros y complicados de instalar.

Teniendo presente todo lo citado anteriormente, se diseña la columna de absorción empacada, debido fundamentalmente a tres motivos:

- Resultan más adecuadas para el empleo de sustancias corrosivas.
- Resultan más adecuadas para procesos con formación de espuma.
- Uso en procesos que requiere una pequeña pérdida de carga a lo largo de la columna.

- *Elección del relleno*

Existen muchos tipos de rellenos comerciales y de muchos materiales diferentes, aunque principalmente se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Relleno al azar: Consiste en piezas discretas de una determinada forma geométrica que se disponen al azar en el interior de la carcasa. Son los más comunes en el mercado.
- Relleno estructurado: Formado por capas de tejido metálico arrugado o láminas acanaladas. Varias secciones de este relleno se disponen apilados en la columna. Su uso es menos común que el relleno en azar, aunque en los últimos años se ha visto aumentado.
- Rejillas: Es un relleno que también está apilado pero en este caso va formando cuadrícula abiertas. Su aplicación se limita a operaciones de transferencia de calor y a servicios de limpieza, en los que se requiere una gran resistencia al ensuciamiento.

En la siguiente tabla se muestran las características que hacen apropiados a cada uno de los tres tipos de relleno en operaciones de absorción. Hay que dejar claro que cualquiera de los tres disminuye la caída de presión en comparación con los platos.

<i>Tipo</i>	<i>Ventaja</i>	<i>Desventaja</i>
Relleno estructurado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja caída de presión.</li> <li>- Elevada capacidad de vapor.</li> <li>- Elevada eficiencia.</li> <li>- Poco arrastre.</li> <li>- Adecuado para servicios con espuma</li> <li>- Instalación rápida.</li> <li>- Puede fabricarse con materiales resistentes a la corrosión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensible a la espuma</li> <li>- Elevada relación coste/volumen.</li> <li>- Baja resistencia mecánica.</li> <li>- Pobre ante cargas grandes de líquido.</li> <li>- Elevada mezcla axial en algunos casos.</li> <li>- Inhabilitado para la inspección.</li> <li>- Desmontaje complejo.</li> </ul>
Rejilla Relleno al azar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja caída de presión.</li> <li>- Gran resistencia a ensuciarse.</li> <li>- Elevada capacidad para el líquido y vapor.</li> <li>- Caída de presión moderada.</li> <li>- Escaso arrastre.</li> <li>- Puede fabricarse con materiales resistentes a la corrosión.</li> <li>- Relación coste / volumen moderados.</li> <li>- Adecuado para servicios con espuma.</li> <li>- Fácil de instalar y desmontar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiencia muy baja.</li> <li>- Muy sensible a las espumas.</li> <li>- Sustitución dificultosa.</li> <li>- Mezclado axial.</li> </ul>

Una vez expuestas las mencionadas ventajas e inconvenientes, se considera que el tipo de relleno estructurado es el más idóneo para este sistema fundamentalmente por:

- Características frente a las espumas y los fluidos corrosivos.
- Pero el motivo principal por el que se emplea un relleno ordenado es por la baja caída de presión que este presenta frente al relleno al azar.

- ***Tipo de relleno***

Dentro del relleno estructurado hay una multitud de tipo de relleno, la elección de este, está fundamentada en la forma, tamaño, aplicación para la que se necesita, etc. Los rellenos han ido evolucionando desde su introducción en los procesos para conseguir un mejor resultado en la separación.

En lo referente a la forma geométrica, los primeros rellenos se fabricaron en dos formas muy simples, la de los anillos Raschig y las sillas o monturas de Berl. En la actualidad, estas disposiciones han sido reemplazadas por otros rellenos más eficientes como los anillos Nutter y Pall.

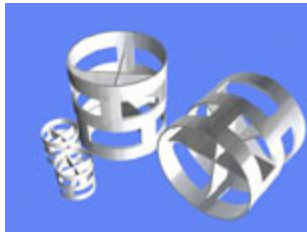


Los ingenieros de procesos seleccionan un tamaño de relleno siempre teniendo en cuenta que este es un indicador de su comportamiento. Cuando se selecciona un tamaño de relleno de pequeñas dimensiones, se obtiene más eficiencia, caída de presión y menor capacidad. Como regla general se suele elegir un relleno que, como máximo, tenga un tamaño 1/10 del diámetro de la columna.

La selección del tipo de relleno se basa de igual modo, en cumplir con los requerimientos del sistema en cuanto a eficiencia, capacidad y caída de presión.

Una vez descrito el procedimiento para la elección del relleno, se procede a exponer las bases sobre las que se asienta la elección del relleno específico para el diseño de la columna de absorción de amina.

El relleno más adecuado para este tipo de torres es el relleno Pall Ring. Están contruidos en acero inoxidable y a continuación se expone la foto de ellos.



- *Descripción del relleno*

Los anillos Pall son rellenos probados y de buen rendimiento. Se dispone de estos en una amplia variedad de aceros, entre los que se ha elegido el acero inoxidable.

Además, están disponibles en el mercado en un amplio abanico de medidas.

Sus principales características son:

- Características generales.
  - Excelente resistencia mecánica.
  - Mejora de la eficiencia debido a la difusión lateral de líquido y de superficie de película de renovación.
  - Máximo contacto con el mínimo de anidación.

- Alta resistencia al peso, permite hasta una altura de 15 metros.
  - Rendimiento uniforme.
- Capacidad frente a caída de presión.
- Carga y rendimientos elevados/ baja caída de presión.
  - Buena distribución líquido-gas y alta eficiencia de transferencia de materia.
- Versatilidad.
- Mojado fácil.
  - Alta resistencia al ensuciamiento.
  - Temperaturas elevadas.
- Resistencia mecánica.
- Aplicaciones a elevadas temperaturas.
  - Baja probabilidad de rotura.
- Aplicaciones.
- Empleado en proceso de separación y absorción a vacío, casos en los que una baja caída de presión es crítica.
  - Para la absorción de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>.

En la siguiente tabla se completa la información anterior y expone los parámetros técnicos que describen los anillos Pall de acero inoxidable:

Tamaño	Espacio libre	Área superficial	Unidades por m <sup>3</sup>	Peso por m <sup>3</sup>									
				Cm	%	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1,59	93	316	210000	400	535	---	---	---	---	---	---	---	
2,54	94	316	49500	---	322	403	483	564	644	---	---	---	
3,81	95	122	13450	---	200	250	300	350	400	---	---	---	
5,08	96	100	6000	---	---	196	235	275	314	354	---	---	
8,89	97	54	1000	---	---	---	---	144	165	180	206	---	

#### • Dimensionamiento del relleno

La mejor forma de diseñar el relleno es basando el diseño en datos empíricos. Existen datos suficientes para cubrir diferentes tamaños y tipos de

relleno en sistemas orgánicos como las aminas. Estos datos están recogidos en gráficas en función de los parámetros de flujo del sistema que incluyen los caudales y las propiedades tanto del líquido como del gas. A partir de estas gráficas y de su interpretación se diseñan las características del relleno.

### 12.6.2. DISPOSITIVOS INTERNOS DE LA COLUMNA.

Para el diseño de la columna de absorción son necesarios una serie de datos y cálculos realizados, tales como la elección del tipo de relleno, determinación del diámetro de la columna, determinación de la altura necesaria para la absorción del H<sub>2</sub>S.

También es necesario para un buen diseño de la columna seleccionar el tipo de internos de ella, los soportes del relleno, los distribuidores de líquido y los redistribuidores. Todo ello se expone a continuación en los apartados sucesivos.

- Distribuidor de líquido.

Es el interno más importante de la columna. Es necesario que facilite un riego homogéneo repartido sobre el lecho de relleno de forma que sea dosificado igualmente por unidad de área en toda la superficie del lecho. Su diseño depende del diámetro, los caudales, las condiciones operativas y de la aplicación. Está localizado dentro de la torre a 0,6 metros de la parte superior del primer empaque, dejando suficiente espacio libre al gas para su separación.

El distribuidor debe tener los siguientes atributos:

- Una distribución uniforme del líquido.
- Resistencia al ensuciamiento, a las obstrucciones, a las espumas y a la retención de líquido.
- El máximo espacio libre para el flujo de gas.
- Adaptabilidad a fabricarse en diferentes materiales.

Los dos factores principales en la selección de un distribuidor de líquido son el caudal de líquido y las propiedades del mismo, como la tendencia a formar espumas, el ensuciamiento, la densidad, viscosidad y tensión superficial.

Es necesario conocer la densidad de irrigación que se requiere para optimizar la distribución de la película líquida en la superficie de relleno. Para la mayoría de rellenos, el número mínimo de orificios para el goteo es de 6 a 10 por  $\text{ft}^2$ . A presiones bajas, este número debe aumentarse para obligar a cumplir el tamaño de orificios mínimo necesario. Ya que la absorción opera a bajas presiones y tiene un diámetro de 1,64 ft, se requiere al menos un número de 5 orificios por  $\text{ft}^2$ .

Existen dos tipos de distribuidores de líquido principalmente, los distribuidores por presión y los distribuidores por gravedad. Los distribuidores por presión suministran una mayor área superficial para el flujo gaseoso y suelen ser menos caros, más delgados, menos robustos y requieren tuberías de menor diámetro que los de gravedad. Sus principales desventajas son los elevados costes de operación, ser susceptibles de ensuciarse y de sufrir corrosión y una peor distribución del líquido.

Los tipos más comunes de distribuidores por presión son los de tubo perforado y los de spray, mientras que los que funcionan por gravedad son los de vertedero y los de orificio.

Para la torre de absorción, el distribuidor de líquido será de tipo vertedero, por gravedad, que contiene artesas paralelas con muescas en forma de V a los lados para facilitar el flujo de líquido, mientras que el vapor circula por los espacios entre las artesas.

Se elige este tipo de distribuidor por los motivos que a continuación se exponen:

- Consume menos espacio vertical que otros distribuidores.
- Fácil de sustentar.
- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia a la inundación.
- Elevada relación entre el caudal mayor y el menor.
- Adecuado para la aplicación que se trata.

Los distribuidores de líquido de la columna son del modelo 806 de Norton o similar, y está fabricado en acero inoxidable 304L.

- Distribuidor de gas.

El distribuidor de gas se encuentra ubicado en el conducto de entrada de gas, por debajo del segundo lecho de relleno de la columna de absorción.

La entrada de vapor está posicionada a 0,6 metros por debajo del relleno.

Los distribuidores de gas se clasifican en función del diámetro de la torre, pues se recomienda unos tipos determinados según si el diámetro es mayor o menor de 2,5 metros. La torre de absorción es de pequeño diámetro, por lo que se emplea la entrada de gas directa para el absorbedor.

- Soporte del lecho.

El soporte del lecho retiene en su lugar el relleno, evitando su migración hacia zonas superiores e inferiores de la torre y evitando posibles obstrucciones.

Las principales funciones de los soportes del lecho son las que a continuación se exponen:

- Soportar físicamente el lecho de relleno.

El soporte debe retener el relleno que se encuentra encima bajo condiciones de inundación en la columna. Debe tener suficiente tolerancia como para absorber las fluctuaciones de presión, el deterioro por la corrosión y algunas otras cargas adicionales.

- Tener suficiente área libre incorporada.

Esto es para permitir el flujo de gas y líquido sin restricciones y para prevenir la acumulación de líquido en el lecho ante el aumento de la velocidad del gas. Debe contar al menos con un área libre cercana al 70% del área interna de la columna, con el objeto de evitar una posible inundación.

- Evitar la caída de piezas de relleno.

Las aberturas del soporte deben ser más pequeñas que el tamaño del relleno y deben estar uniformemente repartidas. Para mejorar su funcionamiento el relleno que se encuentra justo por encima del soporte se apila formando una base ordenada.

Otras características adicionales del soporte son:

- Elevada permeabilidad para el líquido y el gas.

- Gran estabilidad que se consigue con un peso propio bajo.
- Estar disponible en el mercado en varios tipos de materiales dependiendo de la corrosividad del medio.
- Fácil instalación en la columna.

Por debajo de los platos soporte se encuentran los anillos soporte que están soldados al mismo. Están fijados a dichos anillos mediante dispositivos especiales de afianzamiento para prevenir que el soporte se eleve ante fluctuaciones de presión en la columna.

Se elige el tipo de plato soporte en función del tipo de relleno, de las propiedades del servicio y de la máxima carga de diseño soportada. Por ello, se elige el tipo de soporte denominado soporte de inyección de gas como el adecuado para la columna de absorción, al contar esta con una baja caída de presión, una gran área libre y un relleno estructurado. Este tipo de soporte está diseñado para proporcionar caminos separados para el líquido y el gas, de manera que ambas fases no compitan por las mismas aberturas y que minimice la pérdida de presión a través del plato. El gas fluye por las oberturas superiores previniendo la acumulación de líquido mientras que el líquido fluye por otros orificios inferiores. Se instalan en la columna dos platos de soporte multivigas del modelo 804 de Norton o similar, fabricado en acero inoxidable 304L.

- Limitadores de lecho.

El limitador de lecho retiene la parte superior del relleno, evitando su migración hacia zonas superiores de la torre y evitando la desnivelación del distribuidor y manteniendo la horizontalidad y nivel de la parte de arriba del lecho de relleno.

Es importante el mantenimiento del nivel superior del lecho, especialmente si, en un momento dado, se puede tener una carga de gas suficiente como para fluidizar hasta la parte superior del lecho en determinadas condiciones. La subida del relleno por encima del distribuidor afecta tanto a la distribución del líquido como a la del gas, los cuales incrementan su entrada.

Para el relleno de 2" (5,08cm) de acero inoxidable, el limitador de lecho consiste en una rejilla de barras planas soldadas a un anillo. El espaciado entre dichas barras determina el porcentaje de área libre, que es del 70% del área interior para evitar problemas de "cuello de botella" en la columna, y debe ser menor de 2". Se instalan en el absorbedor cuatro limitadores de lecho del

modelo 823 de Norton o similar, de acero inoxidable 304L. Estos limitadores de lecho se sujetan a la columna mediante anillos de soporte.

## **12.7. DISEÑO MECÁNICO.**

- ***Envolventes y fondos.***

Los recipientes sometidos a presión pueden estar contruidos por diferentes tipos de tapas o cabezas. Cada una de estas es más recomendable a ciertas condiciones de operación y coste monetario. Todos los fondos ASME se construyen a partir de chapa, a la que mediante estampación se le da la forma deseada, salvo en el caso de fondos cónicos y planos.

Para la columna de absorción se utilizan fondos de tipo toriesférico Korbogen Boden, ya que son las de mayor aceptación en la industria, debido a su bajo coste y a que soportan grandes presiones manométricas, su característica principal es la relación que establecen los parámetros geométricos del diámetro principal y el radio del abombado o codillo. Se construyen mediante una figura de revolución cuyo perfil, sección del fondo con plano que pasa por el eje del cilindro, interno se obtiene mediante dos radios de curvatura con centros diversos.

Su construcción es por estampación. Los Korbogen tienen el mismo campo de utilización que los elípticos. Se pueden fabricar en diámetros desde 0,3 a 6 metros.

- ***Construcción***

Los recipientes a presión se calculan con unos espesores de pared capaces de soportar sin deformación los esfuerzos a los que se verán sometidos. Es decir, que los esfuerzos a los que trabaja el material sea inferior a la máxima tensión admisible del mismo. Esta tensión máxima admisible depende de las características del material y del coeficiente de seguridad que se adopte, variando con la temperatura de trabajo.

Una vez que se han estudiado los diferentes esfuerzos que se producen en un recipiente por las diferentes causas, presión interna, presión externa, presión de prueba hidráulica, efectos del viento y sismo, separadamente, se debe considerar que estas causas pueden producirse simultáneamente y, por tanto, sumarse los esfuerzos producidos en el material.

Si en la comprobación de los espesores en estas secciones se encuentra que es preciso aumentar los espesores iniciales, se hace necesario comprobar más secciones, de forma que el recipiente sea diseñado con unos espesores diferentes a los largo de su altura, recipiente con espesores escalonados. La comprobación se realiza con el cálculo de esfuerzos a tracción y a compresión, debiendo resultar que en ambos casos el esfuerzo sea menor que la máxima tensión admisible.

En la memoria de cálculo se obtiene que los esfuerzos combinados a tracción y compresión, tanto en la línea de tangencia como en la base, son menores a los valores establecidos como máximos admisibles.

- *Soportes*

La columna está anclada a la cimentación, por medio de pernos de anclaje y de anillo de base. Los pernos de anclaje se instalan en múltiplos de cuatro, al ser la torre alta, se instalan el mínimo recomendado que son ocho.

Los pernos estarán situados a una distancia aproximada de 18 pulgadas, puesto que si se colocan más próximos, su capacidad de anclaje se ve reducida.

- *Bocas de hombres y de inspecciones.*

Debido al diámetro de la torre de absorción, esta no cuenta con boca de hombres y de inspección.

- *Conexiones*

Todas las conexiones lleva bridas de 150# de tipo welding neck.

## 13. DESCRIPCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.

El intercambiador de calor está diseñado de acuerdo al código TEMA (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association). En dicho código se dan recomendaciones para la construcción de intercambiadores de calor de carcasa y tubos. Aunque no es un órgano regulador y no hay requisito legal para el uso de sus normas, son ampliamente aceptadas como una buena base para el diseño.



### 13.1. BALANCE DE MATERIA.

Las características más significativas de las corrientes principales son las que a continuación se exponen:

Item	2"-3-AMP-C	2"-5-AMP-C	1 ¼ "-1-GAC-C	1 ¼ "-2-GAC-C
Nombre	Amina pobre entrada E-01	Amina pobre Salida E-01	Gas ácido entrada E-01	Gas ácido salida E-01
Temperatura (°C)	40,00	50,00	65,00	45,00
Presión (KPa)	199,39	199,39	119,96	119,96
Caudal (kg/h)	6094	6094	470	470
Estado de agregación	Líquido	Líquido	Gas	Gas
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1017,40	1010,80	1,35172	1,4234
Viscosidad (cP)	1,2175	0,86163	1,2155·10 <sup>-2</sup>	-

Las fracciones másicas de dicha corrientes son las siguientes:

Item	2"-3-AMP-C	2"-5-AMP-C	1 ¼ "-1-GAC-C	1 ¼ "-2-GAC-C
Nombre	Amina pobre entrada E-01	Amina pobre Salida E-01	Gas ácido entrada E-01	Gas ácido salida E-01
Nitrógeno	-	-	0,046680	0,046680
Ácido sulfhídrico	-	-	0,233410	0,233410
Dióxido de carbono	-	-	0,014010	0,014010
Oxígeno	-	-	0,018670	0,018670
Hidrógeno	-	-	0,001870	0,001870
Agua	0,8	0,8	0,066340	0,066340
Metano	-	-	0,144720	0,144720
Etileno	-	-	0,018670	0,018670
Etano	-	-	0,065360	0,065360
Propileno	-	-	0,009340	0,009340

Propano	-	-	0,102700	0,102700
1-Buteno	-	-	0,009340	0,009340
Iso-Butano	-	-	0,037340	0,037340
n-Butano	-	-	0,084030	0,084030
Iso-Pentano	-	-	0,032680	0,032680
n- Pentano	-	-	0,060690	0,060690
n- Hexano	-	-	0,028010	0,028010
n- Heptano	-	-	0,026140	0,026140
DEA	0,2	0,2	-	-

### 13.2. DATOS DEL PROCESO DE INTERCAMBIO DE CALOR.

- *Condiciones de diseño*

<i>Intercambiador de calor</i>	<i>Tubos</i>	<i>Carcasa</i>
Fluido	Gas incondensable	Amina pobre
Temperatura de entrada (°C)	65	40
Temperatura de salida(°C)	45	50
Tipo de intercambiador según TEMA	AES	
Coeficiente U (W/m <sup>2</sup> ·°C)	107,32	
Longitud de tubos (m)	4	
Diámetro de tubos (Pulgadas)	0,748	
Pitch (pulgadas)	0,935	
Disposición de tubos	Cuadrada	
BWRG (Pulgadas)	0,082	

- *Materiales*

La construcción del intercambiador de calor se realizará en acero al carbono, al igual que la torre de absorción.

### 13.3. CONDICIONES GENERALES PARA DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR.

Existen multitud de clasificaciones de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos, una de ellas es dependiendo de la construcción del cabezal de los tubos. En todos los casos dichos tubos se encuentran mandrilados o soldados al cabezal para impedir pérdidas de fluido en la carcasa.

Cabezales fijos	<p>Este tipo de intercambiador es el más simple, pero cuenta con limitaciones importantes, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diferencia de temperatura límite entre los dos fluidos de 65°C, no existiendo tolerancia a la expansión.</li> <li>- No se puede limpiar la carcasa, por lo que el fluido que circula por la carcasa debe ser un fluido limpio.</li> </ul>
Cabezal flotante	<p>La mayoría de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos son de este tipo. Uno de los cabezales de los tubos se mueve libremente dentro de la carcasa permitiendo que los tubos puedan expandirse debido a la diferencia de temperatura en el intercambiador.</p> <p>Esta cabeza flotante está encerrada dentro de la carcasa con una tapa para retornar el fluido a los tubos a la salida.</p>
Tubos en "U"	<p>Los tubos están fabricados en una sola pieza, pueden expandirse y contraerse. Dichos tubos pueden ser sacados para ser inspeccionados o limpiados mediante el uso de reactivos químicos. Para este tipo de intercambiadores de calor solo un cabezal es necesario.</p>

Es necesario para el diseño del intercambiador de calor seleccionar la trayectoria del flujo:

Distribución de flujo en paralelo	<p>En este caso, tanto el fluido caliente como el frío entran por el mismo extremo del intercambiador, circulan a través de él en la misma dirección y sentido hasta que finalmente salen por el otro extremo.</p>
Distribución de flujo en contracorriente	<p>En este caso, tanto el fluido caliente como el frío entran por los extremos opuestos del intercambiador, circulan a través de él en la misma dirección y sentido opuesto.</p>

Distribución en flujo cruzado de un solo paso	En este caso, un fluido se desplaza dentro del intercambiador de calor perpendicularmente a la trayectoria del otro fluido.
Distribución de flujo cruzado de paso múltiple	En este caso, un fluido se desplaza transversalmente de forma alternativa con respecto a la otra corriente de fluido.

Para los intercambiadores de calor de carcasa y tubos, el flujo en contracorriente es siempre más eficiente que el flujo en paralelo. El flujo cruzado es una situación intermedia entre ambos.

Otro factor a tener en cuenta para el diseño del intercambiador es el fluido que circulará por los tubos y cuál por carcasa, existen varias consideraciones a seguir para ello:

- El interior de los tubos es más fácil de limpiar que la carcasa, por ello los fluidos que formen espuma o depósitos deberán circular a través de los tubos del intercambiador de calor. También el fluido más corrosivo deberá circular a través de los tubos para evitar el gasto de materiales más costosos.
- La presión del lado de los tubos normalmente es mayor que la del lado de la carcasa.
- Para minimizar las pérdidas de calor, la corriente de mayor temperatura discurrirá por el interior de los tubos.
- Para alcanzar una mejor transferencia de calor, la corriente de menor caudal circulará por el interior de los tubos.

Por último para el diseño del intercambiador de calor es necesario tener en cuenta los deflectores:

En un intercambiador de calor es necesario un elevado coeficiente de transmisión de calor del lado de la carcasa y los tubos, por ello cuanto mayor sea la turbulencia tanto en la carcasa como en los tubos, mayores serán dichos coeficientes. Para inducir la turbulencia y aumentar la velocidad del fluido en la carcasa se instalan placas deflectoras que hacen que el fluido fluya a través de la carcasa de forma perpendicular al eje de los tubos, lo que causa una considerable turbulencia e incluso cuando el caudal del líquido en la carcasa es bajo.

Hay varios tipos de deflectores, pero los más comunes son los segmentados. Dichos deflectores son hojas de metal perforadas. Además pueden estar dispuestos en posición horizontal o vertical. La disposición horizontal para intercambiadores horizontales no es recomendable ya que el fluido puede quedar atrapado entre los deflectores o se puede producir depósito en los mismos. La posición vertical es empleada para intercambiadores horizontales.

Finalmente se decide diseñar un intercambiador de calor de carcasa y tubo con cabezal flotante, cuya disposición del flujo es en contracorriente y con deflectores verticales.

### **13.4. MATERIALES EMPLEADOS.**

Llevándose a cabo la misma filosofía que en el apartado "Materiales empleados en la torre de absorción" y teniéndose en cuenta las propiedades mecánicas, físicas, químicas, la soldabilidad y la tabla donde se puede ver el acero recomendado en función de la temperatura, se elige el material idóneo que satisface el servicio.

Concretamente, se decide la construcción del intercambiador de calor en acero al carbono 516.

### **13.5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL INTERCAMBIADOR.**

El intercambiador de calor cuenta con cuatro tubuladuras, dos de ellas se encuentran en el cabezal flotante y otras dos en la carcasa cilíndrica.

La disolución de amina procedente de la impulsión de las bombas P-01-A/B entra por el cabezal flotante del intercambiador a través de una

tubuladura de 2" recorre el intercambiador y sale por el mismo cabezal por una tubuladura de 2" para entrar a la torre de absorción C-01 a la temperatura deseada.

El gas incondensable procedente del compresor entra en el intercambiador por la carcasa del mismo a través de una tubuladura de 1 ¼ " y discurre en el interior de los tubos en cuatro pasos a través del intercambiador hasta salir por una tubuladura de 1 ¼ " y dirigirse al separador gas-líquido S-01.

Dicho intercambiador dispone de 9 deflectores dispuestos de forma vertical.

## 14. DESCRIPCIÓN DEL SEPARADOR GAS-LÍQUIDO.

De acuerdo al código ASME, se plantea las ecuaciones básicas para conocer las dimensiones del separador gas-líquido existente en el proceso, obteniéndose como resultado del desarrollo de dichas ecuaciones el diámetro y la altura del separador.

### 14.1. BALANCE DE MATERIA.

<i>Item</i>	<i>1 ¼ "-2-GAC-C</i>	<i>1 ¼ "-3-GAC-C</i>	<i>Condensados</i>
Nombre	Gas ácido salida E-01	Carga absorbedor	Condensados
Temperatura (°C)	45,00	45,00	45,00
Presión (KPa)	120	119,96	119,96
Caudal (kg/h)	470	460,01	9,99
Estado de agregación	Gas	Gas	Líquido
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1,4543	1,4234	990,16
Viscosidad (cP)	-	1,1475 · 10 <sup>-3</sup>	0,60984

Las fracciones másicas de dicha corrientes son las siguientes:

<i>Item</i>	<i>1 ¼ "-2-GAC-C</i>	<i>1 ¼ "-3-GAC-C</i>	<i>Condensados</i>
Nombre	Gas ácido salida E-01	Carga absorbedor	Condensados
Nitrógeno	0,046680	0,047694	0,000001
Ácido sulfhídrico	0,233410	0,238466	0,000615
Dióxido de carbono	0,014010	0,014314	0,000011
Oxígeno	0,018670	0,019075	0,000001
Hidrógeno	0,001870	0,001911	-
Agua	0,066340	0,046078	0,999353
Metano	0,144720	0,147863	0,000009
Etileno	0,018670	0,019075	0,000002
Etano	0,065360	0,066779	0,000003
Propileno	0,009340	0,009543	0,000002
Propano	0,102700	0,104930	0,000004
1-Buteno	0,009340	0,009543	0,000001
Iso-Butano	0,037340	0,0038151	-
n-Butano	0,084030	0,085855	-
Iso-Pentano	0,032680	0,033390	-
n- Pentano	0,060690	0,062008	-
n- Hexano	0,028010	0,028618	0,000001
n- Heptano	0,026708	0,008310	-
DEA	-	-	-

## 14.2. DATOS DEL SEPARADOR GAS-LÍQUIDO.

Los datos necesarios para el correcto diseño del separador gas-líquido son los siguientes:

- Condiciones de diseño

<i>Diámetro (m)</i>	0,57
<i>Altura (m)</i>	2,28
<i>Volumen (m³)</i>	0,58
<i>Presión operación (KPa)</i>	120
<i>Temperatura operación (°C)</i>	45

- Materiales

La construcción del separador gas-líquido se realizará en acero al carbono, al igual que la torre de absorción.

### 14.3. CONDICIONES GENERALES PARA DISEÑO DE SEPARADOR GAS-LÍQUIDO.

Los recipientes de proceso en una planta química son de dos tipos:

- Aquellas que no tienen componentes internos, llamado tanques o depósitos, cuya función principal es el almacenamiento inicial, intermedio o final de un fluido del proceso o la separación de dos fases líquido-líquido o líquido-gas.
- Aquellas con componentes internos, son las carcasas de los intercambiadores de calor, reactores, mezcladores, columna de separación y otros.

Se decide finalmente diseñar un separador gas-líquido sin componentes internos.

Es imprescindible realizar una comparación entre recipientes horizontales y verticales. Esta comparación se lleva a cabo para elegir finalmente el tipo de recipiente idóneo para el proceso. A continuación se expone una tabla con las ventajas y desventajas tanto de los separadores verticales como horizontales. [P. Buthod,1999]

<i>Item</i>	<i>Ventaja</i>	<i>Desventaja</i>
Separador Horizontal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dirección de caída del líquido perpendicular al flujo en lugar de a contracorriente.</li> <li>- Mayor capacidad de líquido.</li> <li>- Mejor control de la turbulencia.</li> <li>- Mejor uso del volumen de retención</li> <li>- Mayor superficie de líquido.</li> <li>- Más fácil de mantener.</li> <li>- Mejor para líquidos espumosos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesita mayor área de la planta.</li> <li>- No es bueno si hay gran cantidad de sólidos en el líquido.</li> <li>- Los eliminados de humedad se pueden taponar y romper.</li> </ul>



Separador Vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesita menos superficie de planta.</li> <li>- Fácil de limpiar.</li> <li>- Bueno para manejo de sólidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor capacidad de líquido.</li> <li>- El líquido fluye a contracorriente del vapor.</li> <li>- No es bueno para líquidos espumosos.</li> <li>- Problemas de instalación si es muy alto.</li> </ul>
--------------------	--	--

Se decide finalmente por el diseño de un separador gas-líquido vertical, además de por lo anteriormente descrito porque se aconseja este tipo de separador cuando el caudal de líquido es bajo, concretamente menor a 2,25 m<sup>3</sup>/h como es el caso.

#### **14.4. MATERIALES EMPLEADOS.**

Llevándose a cabo la misma filosofía que en el apartado 12.4. "Materiales empleados en la torre de absorción" y teniéndose en cuenta las propiedades mecánicas, físicas, químicas, la soldabilidad y la tabla donde se puede ver el acero recomendado en función de la temperatura, se elige el material idóneo que satisface el servicio.

Concretamente, se decide la construcción del separador gas-líquido en acero al carbono 516.

#### **14.5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL SEPARADOR.**

El separador gas-líquido consiste en un botellón sin internos, cuya misión es condensar la pequeña cantidad de agua existente en la corriente gaseosa.

El separador consiste en un depósito cilíndrico con una tubuladura para la entrada del gas ácido y dos tubuladuras para la salida del gas que posteriormente entrará en el absorbedor y otra para la salida de los condensados.

Recorriendo la columna desde la parte superior a la inferior, se encuentra en la parte superior una tubuladura para la salida del gas de carga al absorbedor y otra para la entrada de nitrógeno. En la zona central se encuentra la tubuladura para la entrada del gas ácido procedente del intercambiador de

calor y finalmente en el inferior del separador se encuentra una tubuladura para la salida de los condensados. Para mayor detalle ver plano constructivo del separador gas-líquido.

## 15. DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA.

Se trata de calcular la potencia y la altura neta de aspiración de las bombas P-01-A/B, para permitir una circulación del flujo óptima.

El objetivo de las bombas es transportar una disolución del 20% de dietanolamina en agua desde un pinchazo realizado en la tubería próxima al tanque donde se encuentra dicha disolución hasta la columna de absorción gas-líquido C-01.

### 15.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA.

Los equipos de impulsión de líquido pueden clasificarse en dos grandes grupos, dinámicos y de desplazamiento positivo.

En los primeros, la energía es comunicada al fluido por un elemento giratorio, rodete, que da al líquido un movimiento rotativo, que se transforma posteriormente en energía. El caudal a una determinada velocidad de rotación, depende de la resistencia del movimiento en la línea de descarga.

En las bombas de desplazamiento positivo, existe una relación directa entre el movimiento de los elementos de bombeo y la cantidad de líquido movido.

Se utilizará en el proyecto bombas centrífugas. Las bombas centrífugas están englobadas dentro del conjunto denominadas dinámicas, siendo éstas en las que se aplica energía al líquido que se bombea con un impulsor o una hélice que gira en un eje.

La energía de velocidad aplicada al fluido por el impulsor se convierte en energía de presión cuando el líquido sale del impulsor y avanza a lo largo de una voluta o carcasa de difusor estacionarias.

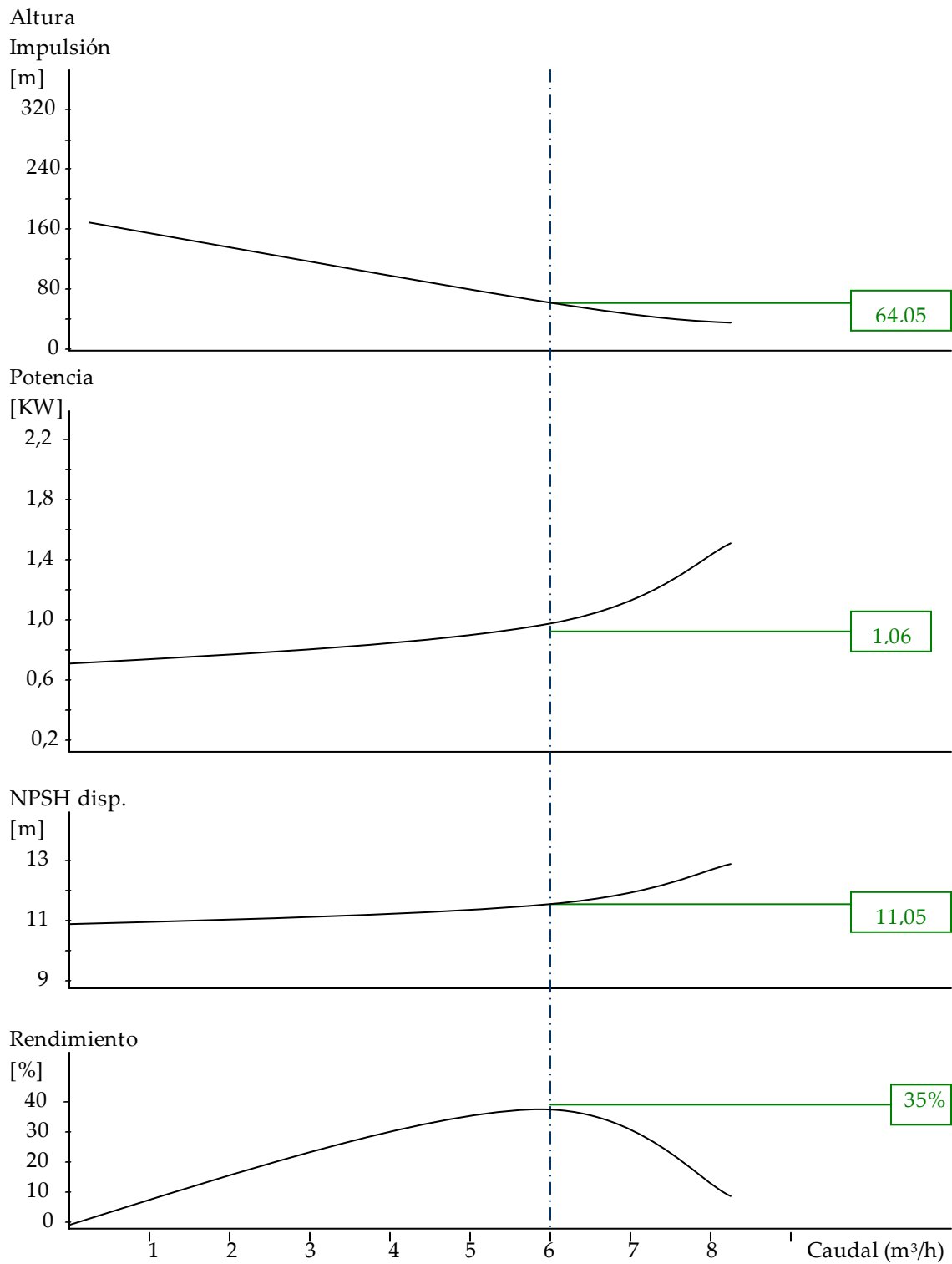
Las principales ventajas de las bombas centrífugas se encuentran en el siguiente cuadro:

- Construcción simple y precio bajo
- El fluido es entregado a presión uniforme, sin variaciones bruscas ni pulsaciones. Son bombas versátiles
- La línea de descarga puede interrumpirse, o reducirse completamente sin dañar la bomba
- Pueden emplearse en líquidos con grandes cantidades de sólido (no es el caso que ocupa)
- Ocupa poco espacio.
- Fácil de mantener.
- No alcanza presiones excesivas.
- Flujo suave no pulsante.
- El impulsor y los ejes son las únicas partes en movimiento.
- Se adapta a servicios comunes, suministro de agua, hidrocarburos...

### 15.2. DATOS DE LA BOMBA.

<b>Bomba de DEA (P1-A/B)</b>	
NPSH <sub>Disponible</sub> (metros)	11,05
Caudal de bombeo (m <sup>3</sup> /h)	5,9981
Potencia real de la bomba (KW)	1,06
Altura real de impulsión (metros)	64,05

### 15.3. CURVAS CARACTERISTICAS.



\* La curva característica de la bomba es una aproximación.

## **15.4. MATERIAL DE FABRICACIÓN.**

La bomba seleccionada para impulsar la amina pobre hasta la columna de absorción es de acero inoxidable 304L. Además la bomba no irá calorifugada, ya que el tiempo de residencia del líquido es tan bajo que se supone que no hay pérdida de calor.

## **16. DESCRIPCIÓN DEL COMPRESOR.**

Se trata de calcular la potencia del compresor CO-01, para permitir una circulación del flujo óptima.

El objetivo del compresor es transportar los gases incondensables hasta el separador S-01.

### **16.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE COMPRESOR.**

Los equipos de impulsión de gases pueden clasificarse según la manera en que se obtiene el incremento de presión, como compresores de desplazamiento positivo o de tipo dinámico. Los compresores de desplazamiento positivo entre los que se encuentra los de tornillo, pistón, álabe y otros, se caracterizan por aplicarse hasta 300 KW de potencia, mientras que los dinámicos, entre los que se encuentran los centrífugos, son aceptados por encima de 500 KW.

Otro criterio para clasificar los compresores sería como abiertos, semiherméticos o herméticos. Los de tipo abierto se caracterizan por la prolongación del eje fuera del compresor, donde se acopla el motor. Cuando el motor eléctrico se encuentra situado en la misma carcasa que el mecanismo compresor se denominan herméticos o semiherméticos. La diferencia existente entre ambos es que mientras los compresores herméticos presentan cierres soldados y no están diseñados para ser reparados, los compresores semiherméticos se sitúan en carcasas no soldadas, sino encerradas mediante tornillos. Los compresores semiherméticos presentan todas las ventajas de los herméticos, no presentan montado un motor externo y no presentan fugas de refrigerante y además pueden ser reparados aunque son más caros que los semiherméticos.

Se decide seleccionar un compresor de desplazamiento positivo, concretamente de pistón y semihermético, que además sea de inducción para impedir que se puedan producir chispas que den lugar a fuegos en la instalación y exento de lubricación.

Las principales ventajas de este tipo de compresores de encuentran reflejadas en este cuadro:

- Construcción simple
- Ocupa poco espacio
- La línea de descarga puede interrumpirse, o reducirse completamente sin dañar el compresor
- Pueden emplearse para pequeños caudales de gases
- Fácil de mantener
- Se adapta a servicios comunes
- No emplea lubricación

### **16.2. DATOS DEL COMPRESOR.**

<b>Compresor (C-01)</b>	
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	0,88
Potencia real (KW)	0,37

### **16.3. MATERIAL DE FABRICACIÓN.**

El compresor seleccionado es de acero inoxidable 304L.

## **17. SISTEMA DE TUBERÍAS.**

El sistema de tuberías se compone de tres elementos principales:

- Las tuberías propiamente dichas.
- Los elementos destinados al control automático o a regular el flujo, destacando las válvulas.
- Los accesorios, tales como codos, bridas, reducciones, etc.

Las tuberías son conductos cilíndricos de material, diámetro y longitud variables. Se dividen en tuberías y tubos, la diferencia entre ambos elementos es que las tuberías tienen unas dimensiones normalizadas y los tubos son los no fabricados en tamaño estándar.

Las válvulas pueden clasificarse en válvulas de corte (compuerta, globo, bola, tapón y diafragma), antirretorno (de bola, oscilante o de pistón), de conmutación (de tres vías), de control (mariposa o automática) y de seguridad (disco de ruptura). Todas ellas inducen una pérdida de carga en la tubería que es posible estimar, al igual que ocurre con los diferentes accesorios con los que puede contar cada tubería del sistema.

El estándar de tubería que se sigue en este proyecto es el código de tuberías a presión ASME B.31 del código B 31 (“Code for pressure piping”), que describen los mínimos requerimientos de diseño para las instalaciones de proceso y establece criterios para seleccionar parámetros físicos implicados en el análisis del sistema.

- Materiales

Las principales variables de selección de tuberías son:

- Corrosión.
- Temperatura.
- Presión.
- Coste.

La selección de los materiales se llevará a cabo según el criterio de la resistencia a la corrosión de los mismos, y dicha resistencia a la corrosión depende de la temperatura y la turbulencia. Una vez que se selecciona el material según su resistencia a la corrosión, se debe hacer la selección según los criterios de temperatura, presión y coste. A pesar de todo ello, la selección de material en el proyecto se apoya en la experiencia y la experimentación.

De manera general, los materiales de construcción de tuberías en las plantas de proceso son:

- Acero al carbono, que es el más empleado.
- Acero de baja aleación.
- Níquel, para baja temperatura y corrosión.
- Cromo- Molibdeno, para alta temperatura y presión.

- Acero inoxidable.
- Austenítico, para casos donde exista corrosión.
- Ferrítico, para casos donde hay corrosión, siendo menos utilizado que el anterior.
- Metales no férricos.
- Aluminio, para baja temperatura.
- Cobre y sus aleaciones (latón, bronce,...) para corrosión.
- Níquel y sus aleaciones (monel, inconel y hastelloy) para corrosión.
- Titanio, para tuberías que traten con agua del mar.
- Plásticos.
- Polietileno, polipropileno, PVC, CPVC, todos para casos con corrosión.
- Plásticos reforzados con fibra de vidrio.
- Epoxi vinil éster, poliéster para corrosión.
- Recubrimientos plásticos.
- Polipropileno, teflón, para la corrosión.

Como se indicó en el apartado anterior, el material más utilizado para las líneas principales de esta unidad es el acero A-106 Gr. B, que es un tipo de acero al carbono colmado.

El acero al carbono ASTM A-106 Gr. B tiene la siguiente composición.

<i>Compuesto</i>	<i>Composición</i>
Carbono	0,30 máximo
Manganeso	0,29
Fósforo	0,048 máximo.
Azufre	0,058 máximo.
Silicio	0,10
Hierro	El resto.

Las características más importantes de este acero al carbono al utilizarlo en las tuberías son su resistencia a las altas temperaturas, la resistencia al choque, su resiliencia, la tenacidad, la maquinabilidad (facilidad que posee el material para permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta) y, las más importantes, el que sea forjable y su soldabilidad.



- Diámetros

Los criterios a seguir para el cálculo del diámetro de cada una de las tuberías son:

- Si la energía necesaria para el movimiento del fluido no ha de ser bombeada, se debe utilizar el diámetro mínimo que permite el caudal deseado.
- Si el fluido ha de ser bombeado se halla el tamaño de tubería que conlleve los menores costes anuales, mediante un cálculo sencillo a partir del caudal y la velocidad del flujo.

En general, la determinación del diámetro depende principalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido.

- Espesores

El mínimo espesor de pared para cualquier tubo sometido a presión interna o externa es una función de:

- El esfuerzo permisible para el material del tubo.
- Presión de diseño.
- Diámetro de diseño del tubo.
- Diámetro de la corrosión y/o erosión.

Además, el espesor de pared de un tubo sometido a presión externa es una función de la longitud del tubo, pues ésta influye en la resistencia del colapso del tubo. El mínimo espesor de pared de cualquier tubo debe incluir la tolerancia apropiada de fabricación.

Este espesor mínimo de pared para las condiciones de diseño debe establecerse de manera que la tubería sea capaz de soportar diferentes cargas típicas y sus combinaciones, que se deben considerar en el diseño de tuberías.

En cuanto al sobreespesor de corrosión, se estimará de la siguiente manera:

- Acero al carbono: 6,0 mm.

Siempre es recomendable seleccionar un material mejor siempre que sea posible, en lugar de aumentar el sobreespesor de corrosión por encima de los anteriores para este servicio.

- Aislamiento térmico

En este sistema de tuberías hay fundamentalmente tres tipos de aislamiento térmico: calorifugado, protección personal y traceado de vapor con calorifugado.

El calorifugado y la protección personal difieren en que la finalidad del primero es la de mantener caliente la tubería y aislarla de la temperatura exterior por necesidades del proceso, mientras que la protección personal protege a las personas que puedan tener contacto directo con estas tuberías a temperaturas muy superiores a las ambientales, para evitar accidentes y lesiones por quemaduras, es decir, es una medida de seguridad.

Antes de aplicar el aislamiento, se realizara las correspondientes operaciones de limpieza según sea el material de la superficie a calorifugar:

- En el caso del acero al carbono, se realiza un cepillado ligero para eliminar restos de humedad, polvo, partículas sueltas, etc., que se hubieran adherido durante el montaje mecánico.

El traceado en general sirve para mantener las tuberías y el fluido contenido en ellas a una temperatura superior a la ambiente. En las tuberías de este proyecto no llevan traceado vapor ni traceado eléctrico.

- Condiciones de operación.

Los esfuerzos en las tuberías determinan las condiciones de servicio de las mismas, dichos esfuerzos están condicionados por las cargas o sollicitaciones del sistema. Las fuentes de las cargas son: presión interna, el peso muerto de los elementos, la expansión térmica debida a variaciones de temperatura y las cargas de viento, nieve o hielo. Las cargas en las tuberías se clasifican en cargas constantes y variables.

- Las cargas constantes son las que no sufren en el tiempo y se aplican de manera constante (presión interna y externa, peso del sistema incluido el peso de la columna de fluido). Tanto la presión como la temperatura de diseño se emplean para obtener el mínimo espesor de pared y el rating de sus componentes.

- Las cargas variables son las que actúan en el sistema de forma discontinua (prueba hidráulica, sismo y otras cargas dinámicas).

◇ Carga por la presión de diseño.

Es la carga debido a la presión en la condición más severa, interna o externa, a la temperatura coincidente con esa condición durante la operación normal.

◇ Carga por peso.

- Peso muerto incluyendo tuberías, accesorios, aislamiento, etc.
- Cargas vivas impuestas por el flujo de prueba o de proceso.
- Efectos locales debido a las reacciones en los soportes.

◇ Cargas dinámicas.

- Cargas por efecto del viento, ejercidas sobre el sistema de tuberías expuesto al viento.
- Carga sísmicas que deben ser consideradas para aquellos sistemas ubicados en áreas con probabilidad en movimiento sísmicos.
- Carga por impacto u ondas de presión, tales como los efectos del golpe de ariete, caída bruscas de presión o descarga de fluido.
- Vibraciones excesivas inducidas por pulsaciones de presión, por variaciones en las características del fluido, por resonancia causada por excitaciones de maquinarias o del viento.

◇ Efectos de la expansión y/o contracción térmica.

- Cargas térmicas y de fricción inducidas por la restricción al movimiento de expansión térmica de la tubería.
- Carga inducida por un gradiente térmico severo o diferencia en las características de expansión (diferentes materiales).

◇ Efectos de los soportes, anclajes y movimiento en las terminales.

- Expansión térmica de los equipos.
- Asentamiento de las fundaciones de los equipos y/o soportes de las tuberías.

En cuanto a la temperatura y presión de operación, que son los valores de ambas variables para las condiciones en que la línea está funcionando durante la mayoría del tiempo. No existe ninguna relación constante entre la presión y la temperatura de diseño y las de operación. Sin embargo, los valores de presión y temperatura considerados conjuntamente, para las condiciones de operación, nunca impondrán al material de las tuberías un esfuerzo mayor que el que le imponga dichos valores para las condiciones de diseño.

- Caída de presión

En la memoria de cálculo se exponen tanto las fórmulas matemáticas como las gráficas utilizadas para el cálculo de la pérdida de presión en las principales líneas.

Las principales líneas de esta unidad junto con sus características se muestran en el siguiente cuadro:

Líneas	Fluido	Velocidad (m/s)	$\Delta P$ Total (m)	Schedule (mm)
2"-3-AMP-C	Disolución de amina pobre impulsión P-01-A	1,84	29,3	160
2"-4-AMP-C	Disolución de amina pobre impulsión P-01-B	1,84	2,3	160
2"-5-AMP-C	Disolución de amina pobre salida del intercambiador	1,84	73,5	160
1 ¼ "-1-GAC-C	Gas incondensable impulsión compresor	0,36	24,25	160
1 ¼ "-2- GAC-C	Gas incondensable salida intercambiador	0,36	87,25	160
1 ¼ "-3-GAC-C	Gas incondensable salida separador	0,36	21,6	160

## 18. SIMULACIÓN EN HYSYS.

El simulador Hysys se basa fundamentalmente en los principios que a continuación se exponen:

- El concepto del “modelo único”.
- Primer principio de rigurosidad de modelos.
- Reutilización de datos de simulación.
- Un entorno que puede ser personalizado por el usuario.

El uso del simulador permite al usuario crear un modelo del proceso y migrar a través de las diferentes etapas del ciclo de vida.

Durante la etapa de diseño, un modelo puede ser usado para diseño conceptual, el proceso real de diseño, ingeniería de detalle de diseño y, finalmente, el diseño de operatividad.

Hysys además sirve como plataforma para modelar toda la gama de la química y las industrias de procesamiento de hidrocarburos.

Para realizar el diseño del absorbedor gas-líquido y del separador objeto del proyecto fin de carrera se llevará a cabo la utilización del simulador en Hysys, el hecho de utilizar este simulador es debido a que es el empleado por la empresa. De este modo se conseguirá realizar un estudio más real del proceso, así como realizar un estudio para caudal mínimo del gas.

- Definición de la simulación básica.

Para este caso, se emplea las propiedades del paquete de amina con los siguientes componentes: agua, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, metano, etileno, etano, propileno, propano, 1-buteno, iso-butano, n-butano, iso-pentano, n-pentano, n-hexano, n-heptano y dietanolamina.

El paquete de amina contiene los modelos termodinámicos desarrollados por B.D. Robinson y los asociados para la planta de aminas propios del simulador. El equilibrio de los gases ácidos y los parámetros cinéticos de las soluciones acuosas de alcanolamina en contacto con ácido sulfhídrico y dióxido de carbono, se han incorporado en las propiedades de este paquete.

El paquete de amina incorpora un modelo especializado para permitir la simulación de columna de una base real. Con el modelo se calcula el ácido sulfhídrico existente en cada etapa y las dimensiones y el cálculo interno de la columna de absorción.

- Adicción de las corrientes básicas.

Para comenzar la simulación se deberá añadir dos corrientes.

- Agregar un nuevo flujo para la entrada de los gases con los siguientes valores:

<i>Nombre:</i>	Gas ácido
<i>Temperatura:</i>	45 °C
<i>Presión:</i>	120 KPa
<i>Caudal:</i>	470,0 kg/h
<i>Componentes:</i>	<i>Fracción Másica:</i>
Nitrógeno	0.046680
Ácido sulfhídrico	0.23341
Dióxido de carbono	0.01401
Oxígeno	0.01867
Hidrógeno	0.00187
Agua	0.06634
Metano	0.14472
Etileno	0.01867
Etano	0.6536
Propileno	0.00934
Propano	0.10270
1-Buteno	0.00934
Iso-Butano	0.03734
n-Butano	0.08403
Iso-Pentano	0.03268
n- Pentano	0.06069
n- Hexano	0.02801
n- Heptano	0.02614

- Añadir una segunda corriente de amina con los siguientes valores:

<i>Nombre:</i>	Amina pobre
<i>Temperatura:</i>	50 °C
<i>Presión:</i>	199,39 KPa
<i>Caudal:</i>	6094,0 Kg/h
<i>Componentes:</i>	<i>Fracción Másica:</i>
H <sub>2</sub> O	0.8
DEA	0.2

- Adición de operaciones básicas.

- Operación de separación.

Con este proceso se lleva a cabo la separación del agua existente en la corriente a tratar de gas.

Para conseguir esto se adiciona un separador y se incluye en él la siguiente información:

<i>Nombre:</i>	Separador
<i>Alimentación:</i>	Gas ácido
<i>Corriente gaseosa de salida:</i>	Carga absorbedor
<i>Corriente líquida de salida:</i>	Condensados

- Operación de contacto.

Este proceso se simula mediante una operación de Absorción en Hysys.

Para ello se adiciona una columna de absorción con las siguientes especificaciones:

<i>Nombre</i>	Absorbedor
<i>Número de etapas</i>	4
<i>Alimentación por la etapa superior</i>	Amina pobre
<i>Alimentación por la etapa inferior</i>	Carga absorbedor
<i>Salida de producto gaseoso</i>	Gas dulce
<i>Salida de producto líquido</i>	Amina rica
<i>Presión</i>	
<i>Superior</i>	119 KPa
<i>Inferior</i>	120 KPa

<i>Temperatura</i>	
<i>Superior</i>	50 °C
<i>Inferior</i>	60 °C

- Torre de absorción de relleno.

El gas ácido procedente de la unidad de vacío tiene una presión muy baja, por lo que para disminuir la pérdida de carga se usa torre relleno en lugar de platos.

Para obtener el mismo fin, se emplea un relleno que se dispondrá de modo ordenado dentro de la torre.

A continuación se expone el procedimiento seguido para convertir la torre de plato en una torre de relleno dentro del programa de simulación Hysys:

- Se parte de la columna de platos del proceso de absorción simulada.
- Se despliega el menú ' Tools' y seleccionar ' Utilities' . A continuación desplazarse sobre la barra hasta encontrar ' tray Sizing' y una vez localizado se clikea sobre él.
- Seguidamente se abre una ventana llamada ' tray Sizing: Tray Sizing-1'. Se Clikea sobre el botón 'Select TS' y seleccionar Dea Contactor y el Object TS-1. Una vez realizado este procedimiento se le da a OK.
- Hacer clic sobre el botón ' Auto Section' y se selecciona la opción de platos empacados ' Packed'. Escoger de la lista desplegable el tipo de empaquetamiento a emplear, en este caso, como anteriormente se ha citado para disminuir la pérdida de carga y evitar que aparezcan los caminos preferenciales se elige un relleno ordenado. Concretamente el relleno empleado es el que tiene por defecto el simulador "Pall Ring".
- Aparece una ventana denominada ' Tray Section Information' donde se recoge los detalles del empaquetamiento. Presionar sobre el botón 'Complete Autosection'.



- Seguidamente se selecciona la pestaña que se sitúa en la parte inferior de la ventana ' Tray Sizing: Tray Sizing-1' denominada ' Performance- Results' y se selecciona dentro del apartado ' Section Results' la opción ' Packed'.

Mediante este procedimiento concluye el procedimiento a realizar para pasar de una torre de plato a relleno. Surge un problema al final del procedimiento, ya que al cerrar la ventana ' Tray Sizing: Tray Sizing-1' la torre continua siendo una torre de platos.

Los datos se ven reflejados en la propia pantalla de ' Tray Sizing'.

## **19. COMPARACIÓN DE LOS CÁLCULOS OBTENIDOS CON LA SIMULACIÓN DEL PROCESO EN HYSYS.**

La simulación del proceso a través del programa hysys proporciona un valor para el diámetro de la columna de 0,5 m y en el punto 1.1. de la memoria de cálculo se obtiene un valor de 0,49 m.

En cuanto a la altura del lecho de la columna el resultado obtenido a través de dicho programa de simulación es de 12 m, valor que concuerda con el apartado 1.2. de la memoria de cálculo (11,65 m).

## **20. ESTUDIO DEL PROCESO VARIANDO EL CAUDAL DE ALIMENTACIÓN MEDIANTE HYSYS.**

Una vez realizada la simulación y dimensionamiento del proceso de separación y absorción, se estudia el comportamiento de la columna para un caudal menor, concretamente para un caudal de gas de 300 kg/h a través del simulador hysys.

De este modo se comprueba si el gas dulce o gas de salida del absorbedor cumple la ley vigente, Real Decreto 100/2011, donde se establece el límite de emisión en  $10 \text{ mg/Nm}^3$  (0,139 ppm)

Como se verá a continuación en el siguiente apartado, para los caudales de alimentación de gas establecidos entre 470 kg/h y 300 kg/h las

dimensiones del absorbedor son totalmente validas y cumple los requisitos impuestos por el Real Decreto anteriormente citado.

- **Balance de materia para caudal mínimo de operación.**

En este caso se realiza la simulación para un caudal de gas de 300 kg/h, manteniendo la misma composición.

- Separador gas-líquido.

Nombre	1- Entrada gas ácido	2- Salida gas ácido	3- Condensados
Temperatura (°C)	45,00	45,00	45,00
Presión (KPa)	119,96	119,96	119,96
Caudal (kg/h)	300	293,62	6,38
Estado de agregación	Gas	Gas	Líquido
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1,4543	1,4234	990,16
Viscosidad (cP)	-	$1,1475 \cdot 10^{-3}$	0,60984

Las fracciones másicas de dicha corrientes son las siguientes:

Nombre	1- Entrada Gas ácido	2-Salida Gas ácido	3- Condensados
Nitrógeno	0,046680	0,047694	0,000001
Ácido sulfhídrico	0,233410	0,238466	0,000615
Dióxido de carbono	0,014010	0,014314	0,000011
Oxígeno	0,018670	0,019075	0,000001
Hidrógeno	0,001870	0,001911	-
Agua	0,066340	0,046078	0,999353
Metano	0,144720	0,147863	0,000009
Etileno	0,018670	0,019075	0,000002
Etano	0,065360	0,066779	0,000003
Propileno	0,009340	0,009543	0,000002
Propano	0,102700	0,104930	0,000004

1-Buteno	0,009340	0,009543	0,000001
Iso-Butano	0,037340	0,0038151	-
n-Butano	0,084030	0,085855	-
Iso-Pentano	0,032680	0,033390	-
n- Pentano	0,060690	0,062008	-
n- Hexano	0,028010	0,028618	0,000001
n- Heptano	0,026708	0,008310	-
DEA	-	-	-

- Absorción gas-líquido.

En los siguientes cuadros se recogen las características más significativas de las corrientes principales:

Nombre	1-Carga absorbedor	2-Amina pobre	3-Gas dulce	4-Amina rica
Temperatura (°C)	45,00	50,00	51,00	54,63
Presión (KPa)	119,96	199,39	118,98	119,96
Caudal (kg/h)	293,62	3890	236,85	3946,77
Estado de agregación	Gas	Líquido	Gas	Líquido
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1,4234	1010,80	1,3505	1034,00
Viscosidad (cP)	-	0,86162	1,1189·10 <sup>-2</sup>	0,80208

Las fracciones másicas de dicha corrientes son las siguientes:

Nombre	1-Carga absorbedor	2-Amina pobre	3-Gas dulce	4-Amina rica
Nitrógeno	0,047694	-	0,059114	0,000001
Ácido sulfhídrico	0,238466	-	0,056389	0,014357
Dióxido de carbono	0,014314	-	0,012561	0,000311
Oxígeno	0,019075	-	0,023639	0,000001
Hidrógeno	0,001911	-	0,002368	-
Agua	0,046078	0,8	0,062102	0,788193

Metano	0,147863	-	0,183228	0,000005
Etileno	0,019075	-	0,023619	0,000002
Etano	0,066779	-	0,082752	0,000002
Propileno	0,009543	-	0,011806	0,000001
Propano	0,104930	-	0,130037	0,000003
1-Buteno	0,009543	-	0,011818	0,000001
Iso-Butano	0,0038151	-	0,047295	-
n-Butano	0,085855	-	0,106433	-
Iso-Pentano	0,033390	-	0,041342	-
n- Pentano	0,062008	-	0,076869	-
n- Hexano	0,028618	-	0,035468	0,000001
n- Heptano	0,008310	-	0,033108	-
DEA	-	0,2	0,000001	0,197123

## 21. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.

Todas las operaciones de la ingeniería química dependen del control y la medida de determinadas variables del proceso. La instrumentación se ha convertido un una parte indispensable dentro de las operaciones industriales.

El objetivo de la instrumentación y control del sistema proyectado es:

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

Para que los objetivos se cumplan es necesario mantener las variables del proceso en un punto de consigna, empleando para ello controladores destinados a tal fin. Un sistema de control automático de cualquier proceso está constituido por cuatro tipos de elementos básicos:

- Sensor o elemento primario, que es el instrumento que mide la variable que se quiere controlar.
- Transmisor o elemento secundario, que recibe la señal del medidor y la transforma en señal eléctrica, neumática o digital que pueda ser procesada por el controlador para calcular la acción de control.

- Controlador, es el aparato que calcula la acción de control de acuerdo con el algoritmo de control que se haya programado en él. Este cálculo se traduce en un valor determinado de la señal de salida que se envía al elemento final de control.
- Elemento final de control, elemento que manipula la variable de proceso de acuerdo con la acción calculada por el controlador. El elemento final de control más empleado es la válvula, aunque existen otros menos utilizados como son las bombas de velocidad variables, los transportadores y los motores eléctricos.

De esta manera se realiza las tres operaciones básicas presentes en todos los sistemas de control: medición (sensor y transmisor), decisión (controlador) y acción (elemento final de control).

Cada uno de dichos elementos se puede identificar claramente como un dispositivo físico independiente dentro de cada proceso. Estos son los cuatro componentes básicos de todo sistema de control, aunque los sistemas más complejos se completarán con más elementos. El set point o punto de consigna es el valor deseado para una variable de control. La perturbación se refiere a un cambio en cualquier variable que cause que la variable de control varíe.

### **21.1. CONTROL DE PROCESOS.**

La instrumentación del sistema proyectado son un conjunto de aparatos destinados a medir variables de proceso tales como caudales, temperaturas, presiones y niveles.

Los instrumentos necesarios para un buen control del sistema son los que se detalla en los siguientes apartados.

#### **- Instrumentos de caudal.**

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

- Tubería 2"-3-AMP-C, tubería de impulsión de las bombas P-01-A/B que contiene la disolución de amina pobre.

- Tubería 1 ¼ " -3-GAC-C, tubería de gas ácido a entrada al absorbedor gas-ácido C-01.
- *Instrumentos de temperatura.*

Se medirá la temperatura a la entrada y salida del equipo donde se produce una variación de temperatura y también en la torre de absorción C-01. Por lo tanto será necesario instrumentación de temperatura en:

- La tubería 1 ¼ " -2-GAC-C, tubería de gas ácido procedente del intercambiador de calor E-01.
- La tubería 2" -5-AMP-C, tubería de amina pobre procedente del intercambiador de calor E-01 y que entra en la torre de absorción C-01.
- En la torre de absorción C-01.

Las bombas cuentan con variadores de velocidad que incrementará o disminuirá el caudal de impulsión de las bombas en función del caudal de gas ácido de entrada a la torre de absorción.

- *Instrumentos de presión.*

La presión se medirá en las corrientes gaseosas, líquidas y en la zona de la torre de absorción donde se produzca una pérdida de carga significativa. Concretamente, será necesario instrumentación de presión en:

- La tubería 2" -1-GAC-C, tubería de impulsión de gas ácido procedente del compresor CO-01.
- La tubería 1 ¼ " -3-AMP-C, tubería de impulsión de la disolución de amina pobre procedente de la bomba P-01-A.
- La tubería 1 ¼ " -4-AMP-C, tubería de impulsión de la disolución de amina pobre procedente de la bomba P-01-B.
- En el separador gas-líquido S-01.
- En la tubería 1 ¼ " -3-GAC-C, tubería de salida del gas ácido del separador S-01. Si se produce un exceso de presión en el separador se produce la rotura del disco de ruptura existente en dicha tubería y el medidor de presión al ver aumentado la presión acciona una

solenoides que hacen que se abra una válvula todo-nada y que redirige el gas hacia antorcha.

- En la torre de absorción que cuenta con dos instrumentos de presión instalados cada uno en un lecho de la torre. Además la torre de absorción C-01 cuenta con una válvula de seguridad para que en el caso de que se produzca un fallo por sobre presión pueda producirse un alivio de presión.

- *Instrumentos de nivel.*

El nivel se medirá tanto en el absorbedor como en el separador.

Concretamente, será necesario instrumentación de nivel en:

- El separador líquido-gas S-01, donde visualmente se indicará el nivel existente de líquido en el separador.
- En la torre de absorción C-01.

## 21.2. VÁLVULAS.

Las válvulas son elementos que pueden realizar alguna de las siguientes funciones:

- Impedir totalmente la circulación de un fluido por una tubería, o por el contrario permitirla sin oponer resistencia.
- Variar la pérdida de carga que sufre un fluido al atravesar la válvula con lo cual se puede regular el caudal que circula por la tubería.
- Permitir la circulación del fluido a través de la válvula en un único sentido.

En la instalación proyectada es necesario instalar válvulas para las tres funciones descritas, ya que:

Es necesario impedir la circulación de fluidos para así aislar equipos y tuberías para el mantenimiento del proceso sin que se produzca la parada de este. Además se requiere regular el caudal de los fluidos para el control de determinadas variables. También es necesario instalar válvulas que impidan el retorno de un fluido.

Los tipos de válvulas empleadas en la planta se describen a continuación:

- *Válvulas de compuerta*

Se utilizan para detectar el flujo de fluido. Este tipo de válvulas resultan poco recomendables para una regulación cuidadosa del flujo, aunque si son adecuadas para servicios que requieren frecuentes cierres o aperturas.

El órgano de cierre es un disco perpendicular a la dirección del flujo, que se mueve verticalmente, sin girar, bajo la acción del husillo. El disco tiene forma de cuña y se adapta a un asiento que tiene la misma forma, cuando se abre la válvula, el disco se eleva hasta que quede completamente fuera de la trayectoria del fluido, por lo que cuando está totalmente abierta, deja una sección de paso igual a la de la tubería, y no se produce variación en la dirección del flujo.

Se utilizarán por lo tanto para impedir la circulación de la amina pobre y el gas ácido en los casos en que sean necesarios aislar un equipo o una tubería para el mantenimiento de los mismos. Serán de funcionamiento manual.

- *Válvula de globo*

Son válvulas en el que el movimiento del fluido queda interrumpido por un obturador, que cierra el paso entre los dos lados del cuerpo de la válvula.

A diferencia de las válvulas de compuertas, la caída de presión en las válvulas de globo es grande, ya que el fluido circula a través de una pequeña abertura y cambia varias veces de dirección.

Estas válvulas se emplean en los casos en que se requiere la regeneración del caudal mediante un sistema de control, por tanto además del cuerpo tiene un actuador cuya misión es producir la fuerza necesaria para mover algunos elementos internos del cuerpo y provocar así un cambio en la apertura de la válvula.



- ***Válvula de bola***

Hay dos categorías de válvula de bola. La de pleno orificio, utilizada normalmente para pérdidas de carga elevadas en aplicaciones de regulación y la de “todo-nada”. Ambas tienen elevada capacidad de caudal y baja susceptibilidad para su utilización con corrientes erosivas.

- ***Válvula antirretorno o de retención.***

Tienen como objetivo permitir el paso del fluido en un solo sentido. Se abren debido a la presión del fluido que circula en un determinado sentido, cuando se detiene el flujo o tiende a invertirse, la válvula se cierra automáticamente por gravedad o por medio de un resorte que presiona el disco.

- ***Válvulas de solenoide***

La válvula de solenoide se emplean para suministrar la señal de aire directamente al actuador o bien indirectamente, bloqueando el suministro de aire al posicionador. Las válvulas de solenoide son una forma barata de actuación eléctrica, aunque sea necesario el suministro de aire.

## 22. LISTAS.

## 22.1. LISTA DE LÍNEAS.

<i>Identificación de la tubería</i>	2"-1-AMP-C	2"-2-AMP-C	2"-3-AMP-C	2"-4-AMP-C
<i>Servicio</i>	Tubería Aspiración Bomba P-01-A	Tubería Aspiración Bomba P-01-B	Tubería Impulsión Bomba P-01-A	Tubería Impulsión Bomba P-01-B
<i>Origen</i>	Límite de batería	Tubería 2"-1-AMP-C	Bomba P-01-A	Bomba P-01-B
<i>Destino</i>	Bomba P-01-A	Bomba P-01-B	Entrada Intercambiador E-01	Tubería 4"-3-AMP-C
<i>Presión (KPa)</i>	199,39	199,39	199,39	199,39
<i>Temperatura</i>	40 °C	40 °C	40 °C	40 °C
<i>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</i>	1017,4	1017,4	1017,4	1017,4
<i>Viscosidad (cP)</i>	1,2175	1,2175	1,2175	1,2175
<i>Estado</i>	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
<i>Traceado</i>	No	No	No	No
<i>Aislamiento</i>	Si	Si	Si	Si

<i>Identificación de la tubería</i>	2"-5-AMP-C	1 ¼"-1-GAC-C	1 ¼"-2-GAC-C	1 ¼"-3-GAC-C
<i>Servicio</i>	Tubería Entrada absorbedor C-01	Tubería Entrada Intercambiador E-01	Tubería Salida Intercambiador E-01	Tubería Salida Separador C-01
<i>Origen</i>	Salida Intercambiador E-01	Salida Compresor CO-01	Salida Intercambiador E-01	Salida Separador S-01
<i>Destino</i>	Absorbedor gas-Líquido C-01	Entrada Intercambiador E-01	Entrada Separador S-01	Entrada Columna C-01
<i>Presión (KPa)</i>	199,39	119,96	119,96	119,96
<i>Temperatura</i>	50 °C	65 °C	45 °C	45 °C
<i>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</i>	1010,8	1,4543	1,4543	1,4234
<i>Viscosidad (Pa·s)</i>	0,86163	-	-	0,0001
<i>Estado</i>	Líquido	Gas	Gas	Gas
<i>Traceado</i>	No	No	No	No
<i>Aislamiento</i>	Si	Si	Si	Si

<b>Identificación de la tubería</b>	2"-1-AMR-C	1 ¼"-1-GDL-C
<b>Servicio</b>	Tubería Salida Absorbedor C-01	Tubería Salida Absorbedor C-01
<b>Origen</b>	Salida Absorbedor C-01	Salida Absorbedor C-01
<b>Destino</b>	Limite de batería	Limite de batería
<b>Presión (KPa)</b>	118,98	119,96
<b>Temperatura</b>	50,995 °C	54,609 °C
<b>Densidad (Kg/m³)</b>	1,3505	1033,9
<b>Viscosidad (Pa·s)</b>	0,00001	0,00802
<b>Estado</b>	Gas	Líquido
<b>Traceado</b>	No	No
<b>Aislamiento</b>	Si	Si

## 22.2. LISTA DE VÁLVULAS MANUALES.

<b>Identificación de válvula</b>	<b>Tipo</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Localización</b>	<b>Comentarios</b>
001	Compuerta	1 ¼ "	Entrada CO-01	
002	Compuerta	1 ¼ "	Tubería manómetro PI-01	
003	Compuerta	1 ¼ "	1 ¼ "-1-GAC-N	
004	Bola	1 ¼ "	1 ¼ "-1-GAC-N	
005	Bola	1 ¼ "	1 ¼ "-1-GAC-N	
006	Globo	1 ¼ "	1 ¼ "-1-GAC-N	By-pass
007	Compuerta	1 ¼ "	1 ¼ "-1-GAC-N	
008	Compuerta	1 ¼ "	1 ¼ "-2-GAC-C	
009	Compuerta	2"	2"-1-AMP-C	
010	Compuerta	2"	2"-1-AMP-C	
011	Filtro en "y"		2"-1-AMP-C	
012	Compuerta	2"	2"-2-AMP-C	
013	Filtro en "y"		2"-2-AMP-C	
014	Compuerta	2"	Tubería manómetro PI-03	
015	Antirretorno	2"	2"-4-AMP-C	
016	Compuerta	2"	2"-4-AMP-C	
017	Compuerta	2"	Tubería manómetro PI-02	
018	Antirretorno	2"	2"-3-AMP-C	
019	Compuerta	2"	2"-3-AMP-C	
020	Compuerta	2"	2"-3-AMP-C	

021	Compuerta	2"	2"-5-AMP-C	
022	Compuerta	1"	Tubería Nitrógeno	
023	Antirretorno	1"	Tubería Nitrógeno	
024	Compuerta	2"	Salida Arqueta	
025	Antirretorno	1 ¼ "	1 ¼ "-3-GAC-C	
026	Bola	1 ¼ "	1 ¼ "-3-GAC-C	
027	Bola	1 ¼ "	1 ¼ "-3-GAC-C	
028	Globo	1 ¼ "	1 ¼ "3-GAC-C	By-pass
029	Antirretorno	1"	Tubería Nitrógeno	
030	Compuerta	1"	Tubería Nitrógeno	
031	Antirretorno	1 ¼ "	1 ¼ "-1-GDL-C	
032	Antirretorno	2"	2"-1-AMR-C	
033	Bola	2"	2"-1-AMR-C	
034	Bola	2"	2"-1-AMR-C	
035	Globo	2"	4"-1-AMR-C	By-pass

### 22.3. LISTA DE EQUIPOS.

Item	Descripción	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Caudal (kg/h)	Potencia (KW)
P-01-A	Bomba de alimentación de la disolución de amina a la columna de absorción previo paso por el intercambiador de calor	-	-	-	6094	1,06
P-01-B	Bomba de reserva para la alimentación de la disolución de amina a la columna de absorción previo paso por el intercambiador de calor	-	-	-	6094	1,06
CO-01	Compresor de alimentación del gas ácido al separador, previo paso por el intercambiador de calor	-	-	-	470	0,37

E-01	Intercambiador de calor donde se enfría la corriente de gas ácido y se calienta la corriente de amina para que la temperatura a la entrada de la torre de absorción sea la adecuada.	-	-	-	-	-
S-01	Separador gas-líquido de la pequeña proporción de agua existente en el gas ácido	570	2280	0,58	470	-
C-01	Columna de absorción donde se produce el contacto entre la disolución de amina y el gas ácido, produciéndose la reacción química que lleva lugar a eliminación del ácido sulfhídrico de la corriente gaseosa	500	16000	3,14	Gas ácido 460,01/ DEA 6094	-

## 22.4. LISTA DE INSTRUMENTOS.

<i>Identificación de Instrumento</i>	<i>Descripción</i>	<i>Servicio</i>
PI-001	Indicación Local de Presión	Presión de Impulsión Compresor CO-01
PI-002	Indicación Local de Presión	Presión de Impulsión Bomba P-001-A
PI-003	Indicación Local de Presión	Presión de Impulsión Bomba P-001-B
PSE-001	Válvula local de alivio de emergencia	Válvula de Alivio Separador gas-líquido S-01
PSV-001	Válvula de expansión térmica	Válvula de seguridad Absorbedor gas-líquido C-01
PT-004	Transmisor de presión	Separador gas-Líquido S-01
PI-004	Indicador de presión SCD*	Presión en Separador gas-Líquido S-01
PT-005	Transmisor de presión	Lecho nº 1 Absorbedor gas-líquido C-01
PI-005	Indicador de presión SCD*	Presión en Lecho nº 1 Absorbedor gas-líquido C-01
PT-006	Transmisor de presión	Lecho nº 2 Absorbedor gas-líquido C-01
PI-006	Indicador de presión SCD*	Presión en Lecho nº 2 Absorbedor gas-líquido C-01
PT-007	Transmisor local de presión	Presión en la tubería 1 ½ "-3-GAC-C
PIC-007	Controlador indicador de presión en SCD*	Tubería 1 ¼"-3-GAC-C

KY-007	Solenoide	
KV-007	Válvula Todo-nada	Válvula de alivio a antorcha
TV-001	Válvula reguladora de temperatura	Válvula reguladora en tubería 1 ¼"-1-GAC-C
TY-001	Convertidor de señal eléctrica en señal neumática	
TIC-001	Transmisor indicador de temperatura	Temperatura en 2"-5-AMP-C
TT-001	Transmisor de temperatura	Temperatura en 2"-5-AMP-C. Salida E-01
TET-002	Transmisor de temperatura	Temperatura en 1 ¼"-2-GAC-C. Salida E-01
TI-002	Indicador de temperatura	Temperatura en 1 ¼"-2-GAC-C. Salida E-01
TET-003	Transmisor de temperatura	Temperatura en torre de absorción gas-líquido C-01
TI-003	Indicador de temperatura	Temperatura en torre de absorción gas-líquido C-01
FT-001	Transmisor de caudal	Caudal en tubería 2"-3-AMP-C
FI-001	Indicador de caudal	Caudal en tubería 2"-3-AMP-C
FV-002	Válvula de control de caudal	Válvula reguladora en tubería 1 ¼"-3-GAC-C
FY-002	Convertidor de señal eléctrica en señal neumática	
FIC-002	Controlador indicador de caudal	Tubería 1 ¼"-3-GAC-C
FT-002	Transmisor de caudal	Tubería 1 ¼"-3-GAC-C
FE-002	Indicador de caudal	Tubería 1 ¼"-3-GAC-C
LG-001	Nivel local visual	Nivel visual en separador gas-líquido S-01
LV-001	Válvula controladora de nivel	Válvula reguladora de nivel en tubería 2"-1-AMR-C
LY-001	Convertidor de señal eléctrica en señal neumática	
LIC-001	Controlador indicador de nivel	Tubería 2"-1-AMR-C
LT-001	Transmisor de nivel	En absorbedor gas-líquido C-01
P-001-A	Bomba	
HS-P-001-A	Orden marcha/paro en SCD*	Orden marcha/paro de bomba P-01-A
YA-P-001-A	Disparo protecciones en sala eléctrica	Disparo protecciones de bomba P-01-A
YI-P-001-A	Confirmación de marcha en sala eléctrica	Confirmación de marcha de bomba P-01-A
YL-P-001-A	Mando remoto en sala eléctrica	Mando remoto de bomba P-01-A
FZ-002-A	Variador de velocidad en sala eléctrica	Variador de velocidad de bomba P-01-A
P-001-B	Bomba	
HS-P-001-B	Orden marcha/paro en	Orden marcha/paro de bomba P-01-B

	SCD*	
YA-P-001-B	Disparo protecciones en sala eléctrica	Disparo protecciones de bomba P-01-B
YI-P-001-B	Confirmación de marcha en sala eléctrica	Confirmación de marcha de bomba P-01-B
YL-P-001-B	Mando remoto en sala eléctrica	Mando remoto de bomba P-01-B
FZ-002-B	Variador de velocidad en sala eléctrica	Variador de velocidad de bomba P-01-B

\*SCD: Sistema de control distribuido.

## 22.5. LISTA DE SEÑALES ELÉCTRICAS.

<i>Identificación de señal</i>	TV-001	FI-001	PI-004	PI-005
<i>Servicio</i>				
<i>Equipo</i>	TIC-001	FT-001	PT-004	PT-005
<i>Tipo señal</i>	AO	AI	AI	AI
<i>Tipo contacto</i>	4-20 mA	-	-	-
<i>Señal de seguridad intrínseca</i>	No	No	No	No
<i>Estado 0</i>	0-100			
<i>Estado 1</i>	%			

<i>Identificación de señal</i>	PI-006	FV-002	TI-002	TI-003
<i>Servicio</i>				
<i>Equipo</i>	PT-006	FIC-002	TET-002	TET-003
<i>Tipo señal</i>	AI	AO	AI	AI
<i>Tipo contacto</i>	-	4-20mA	-	-
<i>Señal de seguridad intrínseca</i>	No	No	No	No
<i>Estado 0</i>		0-100	0-100	0-100
<i>Estado 1</i>		%	°C	°C

<b>Identificación de señal</b>	LV-001	ZSH-001	ZAH-001	YA-P-001-A
<b>Servicio</b>				
<b>Equipo</b>	LIC-001	PSE-001	PSE-001	P-001-A
<b>Tipo señal</b>	AO	DI	DI	DI
<b>Tipo contacto</b>	4-20 mA	i.d.p.	i.d.p.	-
<b>Señal de seguridad intrínseca</b>	No	No	No	No
<b>Estado 0</b>	0-100	-	Alarma	Alarma
<b>Estado 1</b>	%	Abierto	Ok	Ok

<b>Identificación de señal</b>	YI-P-001-A	YL-P-001-A	HSHL-P-001-A	FZ-P-001-B
<b>Servicio</b>				
<b>Equipo</b>	P-001-A	P-001-A	P-001-A	P-001-B
<b>Tipo señal</b>	DI	DI	DO	AO
<b>Tipo contacto</b>			24 Vcc	4-20 mA
<b>Señal de seguridad intrínseca</b>	No	No	No	No
<b>Estado 0</b>	Paro	Local	Paro	0-100
<b>Estado 1</b>	Marcha	Remoto	Marcha	%

<b>Identificación de señal</b>	YA-P-001-B	YI-P-001-B	YL-P-001-B	HSHL-P-001-B
<b>Servicio</b>				
<b>Equipo</b>	P-001-B	P-001-B	P-001-B	P-001-B
<b>Tipo señal</b>	DI	DI	DI	DO
<b>Tipo contacto</b>	-			24 Vcc
<b>Señal de seguridad intrínseca</b>	No	No	No	No
<b>Estado 0</b>	Alarma	Paro	Local	Paro
<b>Estado 1</b>	Ok	Marcha	Remoto	Marcha



<i>Identificación de señal</i>	FZ-P-001-B	KV-007	YA-CO-01	YI-CO-01
<i>Servicio</i>		Alivio por alta presión		
<i>Equipo</i>	P-001-B	KV-007	CO-01	CO-01
<i>Tipo señal</i>	AO	DO	DI	DI
<i>Tipo contacto</i>	4-20 mA	110 Vca	-	
<i>Señal de seguridad intrínseca</i>	No	No	No	No
<i>Estado 0</i>	0-100	Cerrado	Alarma	Paro
<i>Estado 1</i>	%	Abierto	Ok	Marcha

<i>Identificación de señal</i>	YL-CO-01	HSHL-CO-01
<i>Servicio</i>		
<i>Equipo</i>	CO-01	CO-01
<i>Tipo señal</i>	DI	DO
<i>Tipo contacto</i>		24 Vcc
<i>Señal de seguridad intrínseca</i>	No	No
<i>Estado 0</i>	Local	Paro
<i>Estado 1</i>	Remoto	Marcha

## 23. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.

### 23.1. LEGISLACIÓN APLICABLE.

- Ley de Prevención de Riesgos Laborales – Ley 31/95 de 8 de Noviembre de 1995.
- Reforma del marco normativo de Prevención de Riesgos Laborales – Ley 54/03 de 12 de diciembre de 2003.
- Reglamento de los Servicios de Prevención – Real Decreto 39/97 de 17 de Enero de 1997.
- Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo – Real Decreto 486/97 de 14 de Abril de 1997.
- Disposiciones Mínimas en Materia de Señalización de Seguridad y Salud en los trabajadores – Real Decreto 485/97 de 14 de Abril de 1997.
- Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud relativas a la Utilización por los trabajadores de los Equipos de Protección Individual – Real Decreto 773/97 de 30 de Mayo de 1997.
- Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud para la Utilización por los trabajadores de los Equipos de trabajo – Real Decreto 1215/97 de 18 de Julio de 1997.
- Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción – Real Decreto 1627/97 de 24 de Octubre de 1997.
- Disposiciones Mínimas para la Protección de la Salud y Seguridad de los Trabajadores frente al Riesgos Eléctrico – Real Decreto 614/01 de 8 de Junio de 2001.
- Disposiciones Mínimas para la Protección de la Salud y Seguridad de los Trabajadores expuestos a Riesgos Derivados de Atmósferas Explosivas – Real Decreto 681/03 de 12 de Junio de 2003.

- Real Decreto sobre la Protección de la Salud y Seguridad de los Trabajadores frente a los Riesgos Derivados o que puedan Derivarse de la Exposición a Vibraciones Mecánicas – Real Decreto 1311/05 de 4 de Noviembre de 2005.
- Real Decreto sobre la Protección de la Salud y Seguridad de los Trabajadores contra los Riesgos Derivados con la Exposición al Ruido – Real Decreto 286/06 de 10 de Marzo de 2006.
- Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud relativas a la Utilización por los trabajadores de los Equipos de Protección Individual – Real Decreto 773/97 de 30 de Mayo de 1997.
- Real Decreto sobre la Protección de la Salud y Seguridad de los Trabajadores contra los Riesgos Derivados con la Exposición al Ruido – Real Decreto 286/06 de 10 de Marzo de 2006.
- Real Decreto sobre la protección de la Salud y Seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo- Real Decreto 374/01 de 6 de abril de 2001.

### **23.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS LABORALES.**

Partiendo de la base de que el riesgo cero es imposible, ya que siempre existe el riesgo de que se produzca un determinado accidente se debe trabajar para disminuir la posibilidad de que se produzca, reducir las consecuencias de estos y por último estar preparados para una correcta actuación.

En la instalación, para llevar a cabo el proceso de eliminación del ácido sulfhídrico proyectado, se han identificado los siguientes riesgos:

- Exposición a agentes químicos.
- Exposición al ruido.
- Riesgo de incendio
- Riesgo eléctrico.

### 23.2.1. Exposición a agentes químicos.

- Seguridad en el manejo del dietanolamina.

Las alcanolaminas en general y sus diluciones acuosas son alcalinas. Es un irritante de la piel y los ojos. Por lo tanto, para su manipulación se debe emplear gafas de seguridad y ropa protectora. A temperatura ambiente, la presión de vapor es baja y la concentración de vapor en estas condiciones no son consideradas como peligrosas o tóxicas. No obstante, debe evitarse la inhalación o contacto físico con vapor de alcanolamina caliente. En el caso de contacto físico, se debe retirar la ropa de la zona contaminada de forma inmediata y lavarse la piel y la ropa antes de volverse a usar.

En contacto con los ojos, se debe lavar con abundante agua durante 15 minutos y recibir atención médica inmediatamente.

Si se traga de forma accidental, se debe provocar el vómito bebiendo grandes cantidades de agua salada diluida y es necesaria una asistencia médica de forma inmediata.

Es imprescindible disponer de una estación de duchas lavaojos en las zonas donde se manipule la alcanolamina.

- Ácido sulfhídrico

El ácido sulfhídrico es un compuesto químico altamente peligroso, pero que con unos procedimientos adecuados de manejo pueden ser manipulados con seguridad. Este compuesto es peligroso como gas tóxico a muy bajas concentraciones y, como gas altamente combustible.

Las propiedades físicas del ácido sulfhídrico se presentan en el siguiente cuadro:

<i>Peso molecular</i>	34
<i>Punto de fusión ( °C)</i>	-83
<i>Punto de ebullición ( °C)</i>	-60
<i>Limite de inflamabilidad (% vol. En aire)</i>	4,3-4,6
<i>Temp. Punto ignición ( °C)</i>	260

El ácido sulfhídrico cuenta con un olor característico y nauseabundo que puede detectarse en concentraciones inferior a 0,1 ppm. Si embargo, el olor no es una advertencia fiable de concentraciones peligrosas de sulfuro de

hidrógeno debido a que los nervios olfativos se fatigan rápidamente, no pudiéndose detectar el olor en concentraciones altamente agudas. La fatiga olfativa puede ser tan rápida que no pueda advertir ni si quiera su presencia.

El principal peligro que presenta el ácido sulfhídrico es la intoxicación aguda por exposiciones relativamente cortas de tiempo en concentraciones peligrosas. Una corta exposición a concentración alta, es decir, desde unos pocos segundos hasta dos minutos a 500-600 ppm, parece incapacitar el sistema nervioso que controla los músculos del sistema respiratorio. Es, por lo tanto, de suma importancia que si alguien sufre una exposición a alta concentración de ácido sulfhídrico, sea llevado a una zona libre de este compuesto de forma inmediata y, si su respiración ha cesado, que se restablezca sin demora.

El sulfuro de hidrógeno no parece ser un veneno acumulativo, sin embargo puede producir graves daños al cerebro por la falta de oxígeno si no se restablece la respiración rápidamente.

En la siguiente tabla se resumen los efectos tóxicos que tienen el sulfuro de hidrógeno en humanos:

<b>Efectos agudos del Ácido sulfhídrico</b>		
<i>Concentración (ppm)</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Efecto</i>
0,13	Instantáneo	Olor detectable
10	8 horas	Límite de umbral
50-100	1 hora	Irritación membrana mucosa
200-300	1 hora	Grave irritación membranas mucosas
500-700	½ hora	Coma
900	Minutos	Puede ser mortal
1000	Minutos	Mortal

#### ◆ Primeros auxilios ante envenenamiento con ácido sulfhídrico

La sección que a continuación se expone es una guía, un procedimiento aceptado para tratamiento de primeros auxilios.

Es primordial retirar a la víctima hacia una zona libre de sulfuro de hidrógeno. Si la víctima continua respirando debe mantenerse al aire fresco y reposar con tranquilidad. Si es posible, debe tumbarse. La víctima debe estar

bajo observación médica unas 48 horas por si apareciese un edema en las vías respiratorias o los pulmones.

Si la víctima esta inconsciente o con parada cardiorrespiratoria, debe hacerse la respiración artificial enseguida. Si se dispone de un pulmón de acero u otros métodos mecánicos, deben emplearse, de lo contrario, es necesario hacer la respiración artificial por el método prono-presión lo antes posible. Es de vital importancia ser rápido en empezar la respiración artificial. Cuando la víctima se reanime, debe estar tranquila, abrigada y bajo observación durante 48 horas en el hospital por si se produjese un edema en las vías respiratorias o los pulmones.

#### ◆ Prevención de envenenamiento con ácido sulfhídrico

En todos los trabajos donde puedan producirse una exposición al ácido sulfhídrico se debe utilizar máscaras antigás o de aire fresco apropiadas. Además es imprescindible que para este tipo de trabajo los operadores trabajen en pareja para poder socorrerse en caso de accidente.

Se debe comprobar de vez en cuando la atmósfera de trabajo empleando para ello detectores de ácido sulfhídrico portátiles, por si existieran pequeñas concentraciones de sulfhídrico que puedan provocar envenenamientos crónicos.

### **23.2.2. EXPOSICIÓN AL RUIDO.**

Todas las máquinas, tales como bombas, compresores, alarmas, etc. son fuentes de ruido. El ruido se define como un sonido no deseable, inarticulado, confuso, cuya intensidad varía con el tiempo.

El oído humano es capaz de detectar desde un sonido asociado a una onda de 20  $\mu\text{Pa}$  hasta 10 millones de veces este valor (20 Pa), el cual corresponde al valor umbral de dolor (120 dB).

Los efectos producidos por el ruido son, lesión del oído interno, hipertensión arterial, alteración del ritmo cardiaco, trastorno nervioso, etc.

Para la medición del ruido se utilizan sonómetros, dosímetros y analizadores de frecuencia, de este modo se obtiene los niveles de ruido en cada lugar de la planta o se compara con los permitidos. Si en algún caso dichos valores tomados son mayores a los permitidos se deben de tomar

medidas preventivas, tales como aislar acústicamente la fuente del ruido y/o emplear protecciones personales, concretamente, tapones que reducen entre 10 y 20 dB o auriculares que reducen el ruido hasta en 50 dB.

### **23.2.3. RIESGO DE INCENDIO.**

El ácido sulfhídrico tiene un amplio rango de límite de explosión, 4,3 a 4,6 % (volumen) en aire. El vapor es ligeramente más pesado que el aire y puede, por lo tanto formar "bolsas de concentraciones" en ausencia de viento. La temperatura de auto ignición es de 260 °C, deben evitarse todas las fuentes de ignición como llamas, chispas, superficies incandescentes, etc.

Por este motivo equipos como extintores, vapor de ahogo y líneas de agua deberán estar instalados para su inmediato acceso. Todo el personal asociado a la unidad deberá recibir instrucciones para la lucha contra incendios, tales como el uso de los equipos contra incendios. Los derrames de hidrocarburos serán lavados hacia el alcantarillado de agua aceitosa inmediatamente.

Para soldar se deben tomar medidas extremas de precaución. En algunos casos será necesario para la unidad, vaciar los equipos e inertizarlos mediante nitrógeno, además antes de proceder a soldar el equipo o tubería debe ser aislado con tapas ciegas, comprobando el contenido en ácido sulfhídrico y gases de carácter explosivos.

En caso de fuego, se debe parar las bombas, si es posible. Si se interrumpe el caudal de gases incondensable, será necesario bloquear el flujo a y desde el absorbedor. No se podrá abrir los drenajes ni los venteos durante un incendio.

### **23.2.4. RIESGOS ELÉCTRICOS.**

Se define riesgo eléctrico como la posibilidad de que la corriente eléctrica circule a través del cuerpo humano. Las consecuencias sobre el cuerpo humano son muy diversas, desde un leve hormigueo hasta una fibrilación ventricular irreversible, dichas consecuencias dependerá del tipo de corriente, la trayectoria de la corriente y la relación intensidad circulante - tiempo de paso.

El riesgo eléctrico están muy extendido en la unidad proyectada, ya que las bombas, compresores, controladores, etc. consumen energía, estando conectados al centro de control de motores y un mal contacto puede ser fuente de un accidente.

Para evitar que se produzca un accidente se deben tomar las siguientes medidas:

- Medidas informativas, que adviertan sobre la posibilidad de riesgo, son el caso de las señales.
- Medidas de protección, tales como toma de tierra de los equipos mediante una conexión de muy baja resistencia eléctrica, en el caso de que se produzca un fallo en el equipo, la mayor parte de la intensidad derivará a tierra, debido a que ofrece mucha menor resistencia que el cuerpo humano.

Otra medida de protección son los aislamientos de protección, es decir, todos los equipos se recubren con un aislamiento eléctrico suplementario que, en caso de fallo eléctrico, la carcasa del mismo queda sin tensión.

También es imprescindible el uso de tensiones de seguridad, se emplean voltajes pequeños, de forma que si hay un fallo eléctrico, la intensidad que circula por el cuerpo es muy pequeña y no causa daños.

### **23.3. PROTECCIONES COLECTIVAS.**

#### **- Señalización.**

Se deberá utilizar una señalización a fin de:

1. Llamar la atención de los trabajadores sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones u obligaciones.
2. Alertar a los trabajadores cuando se produzca una determinada situación de emergencia que requiera medidas urgentes de protección o evacuación.
3. Facilitar a los trabajadores la localización e identificación de determinados medios o instalaciones de protección, evacuación, emergencia o primeros auxilios.



4. Orientar o guiar a los trabajadores que realicen determinadas maniobras peligrosas.

- Tipos de señales.

a) En forma de panel:

En el siguiente cuadro se expone el tipo de señal, así como su forma y color:

<i>Tipos de señal</i>	<i>Forma</i>	<i>Color de fondo</i>	<i>Color de contraste</i>	<i>Color de símbolo</i>
Advertencia	Triangular	Amarillo	Negro	Negro
Prohibición	Redonda	Blanco	Rojo	Negro
Obligación	Redonda	Azul	-	Blanco
Relativas a lucha contra incendio	Rectangular o cuadrada	Rojo	-	Blanco
Salvamento o socorro	Rectangular o cuadrada	Verde	-	Blanco

b) Cinta de señalización:

En caso de señalar obstáculos, zonas de caída de objetos, caída de personas a distinto nivel, choques, golpes, etc., se señalará con los paneles anteriormente descritos o bien se delimitará la zona de exposición al riesgo con cintas de tela o materiales plásticos con franjas alteradas oblicuas en color amarillo y negro, inclinadas 45°.

c) Cinta de delimitación de zona de trabajo:

Las zonas de trabajo se delimitan con cintas de franjas alternas verticales de colores blancos y rojo.

#### - Iluminación.

La iluminación del lugar de trabajo se llevará a cabo para el cumplimiento de los siguientes requisitos:

a) La iluminación de cada zona o parte de un lugar de trabajo deberá adaptarse a las características de la actividad que se efectúe en ella, teniendo en cuenta:

Los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores dependientes de las condiciones de visibilidad y, las exigencias visuales de las tareas desarrolladas.

b) Siempre que sea posible, los lugares de trabajo tendrán una iluminación natural, que deberá complementarse con una iluminación artificial cuando la primera, por sí sola, no garantice las condiciones de visibilidad adecuadas. En tales casos se utilizará preferentemente la iluminación artificial general, complementada a su vez con una localizada cuando en zonas concretas se requieran niveles de iluminación elevados.

c) Los niveles mínimos de iluminación de los lugares de trabajo serán los establecidos en la siguiente tabla:

<i>Zona o parte del lugar de trabajo (*)</i>		<i>Nivel mínimo de iluminación (lux)</i>
<i>Zonas donde se ejecuten tareas con:</i>		
1)	Bajas exigencias visuales	100
2)	Exigencias visuales moderadas	200
3)	Exigencias visuales altas	500
4)	Exigencias visuales muy altas	1.000
Áreas o locales de uso ocasional		50
Áreas o locales de uso habitual		100
Vías de circulación de uso ocasional		25
Vías de circulación de uso habitual		50

(\*) El nivel de iluminación de una zona en la que se ejecute una tarea se medirá a la altura donde ésta se realice; en el caso de zonas de uso general a 85 cm. del suelo y en el de las vías de circulación a nivel del suelo.

Estos niveles mínimos deberán duplicarse cuando concurren las siguientes circunstancias:

En las áreas o locales de uso general y en las vías de circulación, cuando por sus características, estado u ocupación, existan riesgos apreciables de caídas, choques u otros accidentes.

En las zonas donde se efectúen tareas, cuando un error de apreciación visual durante la realización de las mismas pueda suponer un peligro para el trabajador que las ejecuta o para terceros o cuando el contraste de luminancias o de color entre el objeto a visualizar y el fondo sobre el que se encuentra sea muy débil.

No obstante lo señalado en los párrafos anteriores, estos límites no serán aplicables en aquellas actividades cuya naturaleza lo impida.

d) La iluminación de los lugares de trabajo deberá cumplir, además, en cuanto a su distribución y otras características, las siguientes condiciones:

- La distribución de los niveles de iluminación será lo más uniforme posible.
- Se procurará mantener unos niveles y contrastes de luminancia adecuados a las exigencias visuales de la tarea, evitando variaciones bruscas de luminancia dentro de la zona de operación y entre ésta y sus alrededores.
- Se evitarán los deslumbramientos directos producidos por la luz solar o por fuentes de luz artificial de alta luminancia. En ningún caso éstas se colocarán sin protección en el campo visual del trabajador.
- Se evitarán, asimismo, los deslumbramientos indirectos producidos por superficies reflectantes situadas en la zona de operación o sus proximidades.
- No se utilizarán sistemas o fuentes de luz que perjudiquen la percepción de los contrastes, de la profundidad o de la distancia entre objetos en la zona de trabajo, que produzcan una impresión visual de intermitencia o que puedan dar lugar a efectos estroboscópicos.

e) Los lugares de trabajo, o parte de los mismos, en los que un fallo del alumbrado normal suponga un riesgo para la seguridad de los trabajadores dispondrán de un alumbrado de emergencia de evacuación y de seguridad.

f) Los sistemas de iluminación utilizados no deben originar riesgos eléctricos, de incendio o de explosión, cumpliendo, a tal efecto, lo dispuesto en la normativa específica vigente.

### ***23.4. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL***

Se denomina un equipo de protección individual a cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.

Los operarios de los equipos proyectados deben emplear los equipos de protección que a continuación se citan:

- Cascos de seguridad.
- Gafas de seguridad.
- Calzado de seguridad.
- Ropa de seguridad.

## 24. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL.

### **24.1. LEGISLACIÓN APLICABLE.**

- Ley de Gestión Integrada de la Calidad – Ley 7/07 de 9 de julio de 2007.
- Real Decreto por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación – Real Decreto 100/11 de 28 de enero de 2011.
- Decreto por el que regula la calidad del medio ambiente atmosférico y crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía - Decreto 239/11, de 12 de julio de 2011.
- Decreto por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía- Decreto 326/2003, de 25 de noviembre

### **24.2. EMISIONES ATMOSFÉRICAS.**

El diseño y el funcionamiento de la planta de absorción se ajustan a los requisitos del Real Decreto 100/2011 de 28 de enero y Decreto 239/2011 de 12 de junio.

Este Real Decreto establece las líneas generales de actuación del Gobierno y servicios especializados de la Administración Pública para prevenir, vigilar y corregir las situaciones de contaminación atmosférica, cualesquiera que sean las causas que la produzcan.

### **24.3. VERTIDOS LÍQUIDOS.**

La torre de absorción cuenta con drenajes que verterán los residuos líquidos al sistema de drenaje de refinería, y que dependiendo del tipo de fluidos de que se trate, se dirigirá hacia un punto para su adecuado tratamiento en la EDAR con la que cuenta la refinería o bien, se almacenará para su posterior tratamiento.

### **24.4. RESIDUOS SÓLIDOS.**

Es necesario prevenir la producción de residuos, establecer el régimen jurídico de su producción y gestión y fomentar, por este orden, su reducción, su reutilización, reciclado y otras formas de valorización, así como regular los suelos contaminados, con la finalidad de proteger el medio ambiente y la salud de las personas.

En cuanto a los residuos inertes y los residuos urbanos, se tienen recortes de chapas, electrodos, varillas, etc. procedentes de las actividades de mantenimiento de las instalaciones sobre todo durante los periodos de montajes, paradas y reparaciones (Residuos Inertes Voluminosos) y también se generan restos de embalajes, plásticos, bolsas, palés y cajas procedentes del material empleado en el mantenimiento de las instalaciones.

Los residuos urbanos se recogerán en contenedores adecuados a este uso y posteriormente serán recogidos por una empresa autorizada por la refinería para su traslado al vertedero correspondiente.

Para todos estos residuos, la medida a tomar es el establecido a priori de cuales son los residuos peligrosos y cuales son inertes. Se procederá a una recogida periódica de los no reciclables por un gestor autorizado. Los materiales inertes serán enviados a una empresa destinada a su recogida. Los residuos deberán ser guardados en zonas habilitadas a tal fin y en contenedores adecuados.

Como medida preventiva, se mantendrá limpios el ambiente y el suelo de las instalaciones.

### **24.5. EMISIONES DE RUIDO.**

El ruido emitido en la instalación debe cumplir en la Comunidad Andaluza con las condiciones marcadas por el Decreto 326/2003, de 25 de

noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía y con las Ordenanzas Municipales de San Roque.

Si se supera una transmisión total al exterior de 75 dBA (en horario diurno de 7-23 h) en el exterior de las instalaciones, será necesario adoptar alguna medida correctora. Dicha medida de corrección consiste en instalar un dispositivo que aisle acústicamente la fuente de ruido.

#### ***24.6. EMISIÓN DE OLORES.***

Como consecuencia de las actividades realizadas por la torre de absorción, se puede concluir que los únicos elementos que pueden generar olores son los vapores de gases ácidos que puedan evaporar debido a fallos o fisuras en algún equipo o conducción en la planta, y las producidas por los posibles derrames, para lo cual se deberá proceder a una limpieza regular de las instalaciones y se comprobará periódicamente el correcto sellado de los elementos estancos instalados.

#### ***24.7. IMPACTO VISUAL.***

El entorno visual de los alrededores corresponde al de una refinería con instalaciones de similares características por lo que no se produce ningún tipo de impacto visual.

## 25. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Kenneth J. y el cuerpo de redactores de Chemical (1986) Bombas. Selección, uso y mantenimiento. Editorial McGraw-Hill.
- Martyn S. Ray, David W. Jonhston (1989) Chemical Engineering Design Proyecto. A case Study Approach. Gordon and Breach Science Publishers.
- Stanley M. Walas (1999) Chemical Process Equipment, Selection and Design. Editorial Butterworth-Heinemann.
- Centro de Estudio de la Energía Compresores. Sistema de distribución de aire comprimido.
- Preparado por la división de Ingeniería de CRANE .Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Editorial McGraw-Hill.
- O. Levenspiel (1993) Flujo de Fluidos e Intercambiador de Calor. Editorial Reverté.
- A. Marcilla Gomis (1990) Introducción a las operaciones de separación. Contacto continuo. Publicación de la Universidad de Alicante.
- Octave Levenspiel (1986) Ingeniería de las reacciones químicas.
- Douglas L. Erwin (2002) Industrial Chemical Process Design. McGraw-Hill, 2002.
- Eugene F. Megyesy (1992) Manual de Recipiente a Presión. Diseño y Cálculo. Editorial Limusa.

- Robert E. Treybal (1980) Operaciones de transferencia de masa. Editorial McGraw-Hill.
- McCabe-Smith-Harriot (2001) Operaciones unitarias en Ingeniería Química. Editorial McGraw-Hill.
- Robert H. Perry. Don W. Green (1984) Perry's Chemical Engineers' Handbook. Editorial McGraw-Hill.
- Enrique Parra Iglesias (2003) Petróleo y gas natural: Industria, mercados y precios. Editorial Akal economía actual.
- Donald R. Coughanowr (1991) Process Systems Analysis and Control. Editorial McGraw-Hill.
- P.Buthod & all (1999) Process Components Design. Universidad de Tulsa. Oklahoma.
- Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus (1991) Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Editorial McGraw-Hill.
- Donald Q. Kern (1965) Procesos de transferencia de Calor. Editorial CECSA.
- C. J. Geankoplis (1998) Proceso de transporte y Operaciones Unitarias. Editorial CECSA.
- Claire Soares(2002) Process Engineering Equipment Handbook. Editorial McGraw-Hill.
- J.H. Gary (1980) Refino de Petróleo. Editorial Reverté, S.A.



- J-P Wauquier (2004) El Refino del Petróleo. Petróleo Crudo, Productos Petrolíferos y Esquema de fabricación. Ediciones Díaz Santos, S.A.
- M. A. Ramos Carpio (1997) Refino del Petróleo, Gas Natural y Petroquímica. Impresión EFCA, S.A.
- Lyrons, W. y Plisga, G.J. (2005) Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering. Burlington: Gulf Professional Library.
- Luis García Gutiérrez (1999) Válvulas de Control. AENOR.

**DOCUMENTO N° 2:**

**MEMORIA DE CÁLCULO**

## ÍNDICE DE LA MEMORIA DE CÁLCULO

1. CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN. ....	2
1.1. Cálculo del diámetro de la columna. ....	2
1.2. Cálculo de la altura de la torre.....	6
1.3. Número de lechos.....	15
2. CÁLCULOS MECÁNICOS DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN.....	15
2.1. Cálculo de la presión de diseño. ....	15
2.2. Cálculo de la temperatura de diseño. ....	16
2.3. Cálculo del espesor mínimo de pared. ....	16
2.4. Cálculo de espesor debido a la presión interna. ....	17
2.5. Cálculo de espesores de fondo.....	17
2.6. Peso del equipo. ....	18
2.7. Cálculo de cargas debidas al viento. ....	19
2.8. Cálculo de cargas debidas a seísmos. ....	21
2.9. Espesor del faldón. ....	23
2.10. Cálculo de los pernos. ....	23
3. CÁLCULO TÉRMICO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR. ....	25
3.1. Cálculo de la temperatura media logarítmica. ....	28
3.2. Coeficiente global de transferencia de calor ....	29
3.3. Cálculo de la carga global transferida. ....	31
3.4. Cálculo del factor $f$ .....	32
3.5. Cálculo del área.....	35
3.6. Resumen del equipo.....	38
4. CÁLCULOS HIDRÁULICOS DEL SEPARADOR GAS-LÍQUIDO.....	38
4.1. Consideraciones para el diseño. ....	38
4.2. Diseño hidráulico del separador.....	39
5. BOMBA PARA EL TRANSPORTE DE AMINA POBRE.....	40
6. COMPRESOR PARA EL TRANSPORTE DE LOS GASES INCONDENSABLES.....	44
7. CÁLCULO DE TUBERIAS.....	46

# 1. CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN.

## 1.1. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA COLUMNA.

La determinación del diámetro de la columna de absorción requiere de un cierto número de cálculos que dependen fundamentalmente del tipo de relleno elegido y de la caída de presión a lo largo de la columna. Esos cálculos permitirán saber si la sección de la columna es la adecuada para el buen funcionamiento y garantizar un adecuado entre el líquido y el gas.

Existen multitud de correlaciones en la bibliografía para poder estimar la caída de presión en torres de relleno.

La correlación más utilizada [Robert H. Perry, 1984] aparece recogida en la figura siguiente, en la cual se representa un parámetro de flujo frente a un término que depende de los caudales, viscosidad, densidad, gc.

La gráfica de Eckert es una correlación generalizada de inundación y caída de presión para torres de relleno.

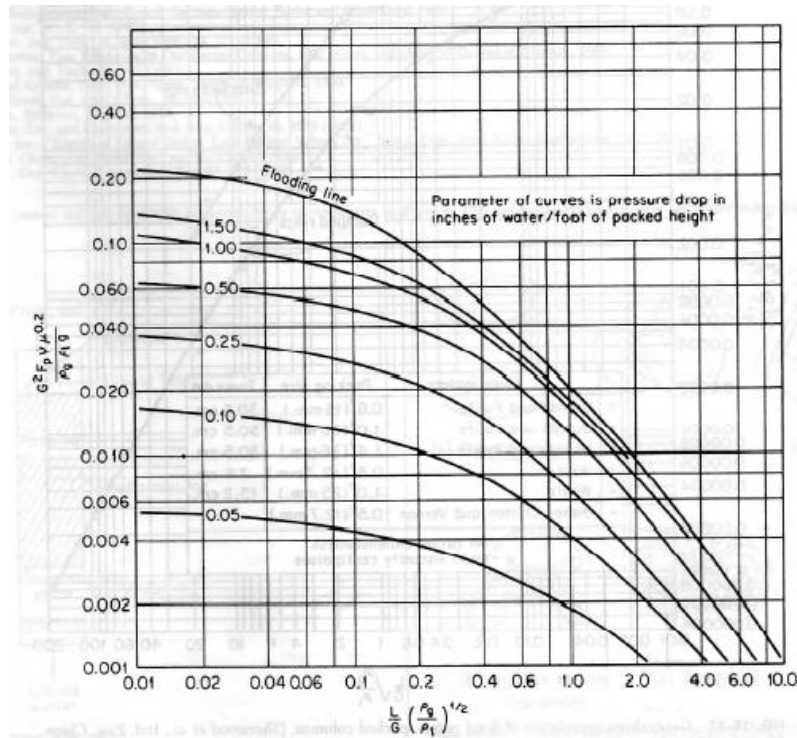


FIG. 18-98 Generalized flooding and pressure-drop correlation for packings. To convert inches of water per foot of packed height to millimeters of water per meter of packed height, multiply by 83.31. [Eckert, Chem. Eng. Prog., 66(3), 39 (1970).]

Este procedimiento permite una aproximación inicial del diámetro de la columna. En primer lugar, se calcula el valor para la expresión  $D_A$  y se introduce en la gráfica en el eje de abcisa.

$$D_A = \frac{L}{G} \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{1/2}$$

Donde:

$L$  = velocidad másica del líquido ( $\text{kg/s}\cdot\text{m}^2$ ).

$G$  = velocidad másica del gas ( $\text{kg/s}\cdot\text{m}^2$ ).

$\rho_g$  = densidad de la fase gas ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_l$  = densidad de la fase líquida ( $\text{kg/m}^3$ )

Se considera para poder realizar el cálculo que la relación entre la velocidad másica de líquido y de gas es igual a uno. Cuando se realicen los cálculos pertinentes para la obtención el diámetro de la columna de absorción y se compare con los resultados obtenidos mediante la simulación en Hysys, se determinará si esta consideración ha sido acertada.

Los valores de densidad se han obtenido a partir de la simulación realizada:

$$\rho_g = 1,4234 \text{ kg/m}^3.$$

$$\rho_l = 1010,8 \text{ kg/m}^3.$$

$$D_A = \frac{L}{G} \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{1/2} = 1 \left( \frac{1,4234 \text{ kg/m}^3}{1010,8 \text{ kg/m}^3} \right)^{1/2} = 0,038$$

Se entra en la gráfica anterior en el eje de abscisa con el valor calculado en la expresión anterior, 0,038 y se traza una paralela al eje de ordenadas obteniéndose el siguiente valor:

$$\frac{G^2 \cdot F_P \cdot \psi \cdot \mu^{0,2}}{\rho_g \cdot \rho_l \cdot g} = 0,19$$

Sabiendo que:

$$F_P \cdot \psi = \frac{a_p}{\varepsilon^3}$$

Donde:

$F_P$  = Factor dependiente del relleno ( $\text{m}^{-1}$ ).

$\psi$  = Fracción de arrastre (moles/mol flujo bruto descendente)

$a_p$  = Superficie total de empaquetamiento ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )

$\varepsilon$  = Fracción de espacio disponible

$\mu$  = Viscosidad del líquido (cP).

$g$  = Fuerza de gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ ).

De acuerdo con la bibliografía anterior, los valores de  $a_p$  y  $\varepsilon$  para el relleno empleado en la columna de absorción son  $130 \text{ m}^2/\text{m}^3$  y  $0,95$ , respectivamente.

El valor de la viscosidad del líquido es un dato aportado por la simulación y es de  $\mu = 0,8616 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ .

$$G = \left( \frac{0,19 \cdot \rho_g \cdot \rho_l \cdot g \cdot \varepsilon^3}{a_p \cdot \mu^{0,2}} \right)^{1/2} = \left( \frac{0,19 \cdot 1,4234 \text{ kg/m}^3 \cdot 1010,8 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,95^3}{130 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot 0,8616^{0,2} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2} \right)^{1/2} = 1,3629 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

A continuación se calcula el área de la sección transversal de la torre de absorción, teniendo en cuenta que la velocidad másica de trabajo es la mitad a la anteriormente calculada.

$$S = \frac{Q_G}{\frac{G}{2}}$$

Donde:

S = Sección transversal (m<sup>2</sup>)

Q<sub>G</sub> = Caudal de gases incondensables (kg/s).

El caudal de gases incondensables es Q<sub>G</sub> = 460,01 kg/h = 0,1278 kg/s.

$$S = \frac{Q_G}{\frac{G}{2}} = \frac{0,1278 \text{ kg/s} \cdot 2}{1,3629 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})} = 0,1875 \text{ m}^2$$

Obtenido el dato de la sección transversal se determina el diámetro de la torre de absorción.

$$D = \left( \frac{4 \cdot S}{\pi} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \cdot 0,1875 \text{ m}^2}{\pi} \right)^{1/2} = 0,49 \text{ m}$$

Finalmente se obtiene que el diámetro de la columna de es 0,5 m.

## 1.2. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA TORRE

Antes de calcular la altura, se ha de definir el tipo de reacción que se lleva a cabo dentro de la torre para que la solución de amina capte el H<sub>2</sub>S de la corriente gaseosa.

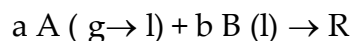
El sistema es heterogéneo, y por tanto habrá una fase líquida y una fase gaseosa. Es una reacción en la que están involucrados el reactivo A (H<sub>2</sub>S) presente en la fase gaseosa y el reactivo B (amina) presente en la fase líquida (amina más agua). Se considera que A es soluble en el líquido pero B no es soluble en el gas, por lo tanto para que ocurra la reacción química el reactante A deberá moverse hasta la interfase entre ambos fluidos y eventualmente penetrar en el líquido. Esto implica que para evaluar la velocidad global del proceso deberá tenerse en cuenta el transporte de materia además de la velocidad de reacción química.

Siguiendo la teoría de la doble película, se determina el tipo de reacción que se lleva a cabo en la columna de absorción, para ello se calcula el módulo de Hatta (M<sub>H</sub>) y el factor de crecimiento (E) de la relación entre ambos factores y a través de la gráfica "Factor de crecimiento en función del módulo de Hatta y el factor de crecimiento instantáneo" se definirá el tipo de reacción.

Una vez determinado el tipo de reacción que ocurre en el seno de la torre, se calcula el coeficiente global de transferencia de masa K<sub>GA</sub> necesario para determinar la altura.

### 1. Tipo de reacción en la torre y su clasificación.

Se centra el análisis en una reacción Gas/Líquido como la siguiente:



Donde se está indicando que el reactivo A (H<sub>2</sub>S) está presente en la corriente gaseosa y debe difundir hacia el líquido (agua/ DEA) para reaccionar con el reactivo B (DEA) que está presente en el líquido.

Concretando, la reacción que tiene lugar es la que a continuación se indica:





La reacción química (con velocidad  $-r_A = k C_A C_B$ ) ocurre en el líquido o bien en la interfase, dependiendo de la relación de las distintas resistencias involucradas.

La teoría de la doble película postula una película entre el seno del gas (que se considera de composición homogénea) y la interfase en la cuál se da la transferencia del reactivo A, descendiendo su concentración en forma lineal, según:

$$(-r_A)'' = k_{AG} (P_A - P_{Ai})$$

donde la velocidad de reacción está expresada por unidad de superficie de interfase,  $P_A$  es la presión del gas en el seno del líquido,  $P_{Ai}$  la presión en la interfase y  $k_{AG}$  el coeficiente de transferencia de masa.

A su vez, del lado del líquido se puede postular también la existencia de una película en la interfase en la que se dará la transferencia de materia hasta el seno del fluido (donde se asume una composición homogénea), con un decaimiento lineal en la concentración según:

$$(-r_A)'' = k_{AL} (C_{Ai} - C_A)$$

$$(-r_B)'' = k_{BL} (C_{BL} - C_{Bi})$$

donde  $k_{AL}$  es el coeficiente de transferencia de masa en el líquido,  $C_{Ai}$  la concentración de A en la interfase,  $C_A$  la concentración en el seno del líquido,  $C_{BL}$  la concentración de B en el líquido y  $C_{Bi}$  la concentración de B en la interfase.

Finalmente se tiene en cuenta la resistencia existente debido a la etapa de reacción química:

$$(-r_A)'' = k C_A C_B$$

donde  $k$  es la constante de velocidad de reacción para una temperatura establecida,  $C_A$  la concentración del líquido y  $C_B$  la concentración del gas.

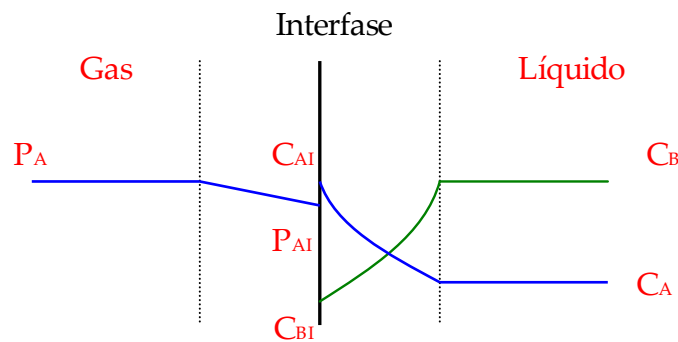
La velocidad global del proceso está determinada por las velocidades de transferencia de materia en el gas y en el líquido y por la velocidad de reacción química. Combinando las expresiones anteriores de  $(-r_A)''$ , ya que en estado estacionario la velocidad debe ser única, y teniendo en cuenta la Ley de Henry

( $P_{Ai} = H_A C_{Ai}$ ) se puede eliminar los valores desconocidos de la interfase, obteniéndose:

$$(-r_A)'' = \frac{P_A}{\frac{1}{k_{AG}} + \frac{H_A}{K_{AL} \cdot E} + \frac{H_A}{k \cdot C_{BL} \cdot f_L}}$$

Donde  $H_A$  es la constante de Henry y  $E$  el factor de crecimiento.

De forma general la transferencia de materia se puede representar de la siguiente forma:



Como anteriormente se ha comentado, para determinar el tipo de reacción que se lleva a cabo en la columna de absorción se calcula el módulo de Hatta y el factor de crecimiento.

$$m^2_H = \frac{K C_B D_A}{K^2_{AL}} \quad E = 1 + \frac{D_B \cdot C_B}{b \cdot D_A \cdot C_{Ai}}$$

Para el cálculo del modulo de Hatta es necesario determinar el valor, a través de ecuaciones o bien mediante datos bibliográficos, de los distintos coeficientes que intervienen en la expresión:

♦ Para el cálculo de la difusividad del ácido sulfhídrico ( $D_A$ ) se emplea la ecuación de Fuller [Robert H. Perry, 1984].

$$D_A = \frac{10^{-7} \cdot T^{1.75} \cdot [(M_A + M_B)/M_A \cdot M_B]^{1/2}}{P \cdot [(\Sigma V)_B^{1.3} + (\Sigma V)_A^{1.3}]^2}$$

Donde:

$T$  = Temperatura media que se alcanza en el absorbedor y que equivale a 323 k.

$P$  = Presión media que se alcanza en el absorbedor y que equivale a 1,18 atm.

$M_A$  = Masa molecular del ácido sulfhídrico y cuyo valor es de 34,08

$M_B$  = Masa molecular del DEA cuyo valor es de 105,14.

$(\Sigma V)_x$  = El volumen de difusión calculados como la suma de los volúmenes atómicos estructurales.

Los valores de  $\Sigma V_A$  y  $\Sigma V_B$  según datos bibliográficos [Robert H. Perry, 1984].

$$\Sigma V_A = 20,96$$

$$\Sigma V_B = 104,43$$

Sustituyendo en la ecuación de Fuller, se obtiene un valor de  $D_A = 1,83 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ .

♦ Por consiguiente el módulo de Hatta, cuyo cuadrado representa la relación entre la máxima conversión posible en la película y el máximo transporte a través de la película toma el valor de:

$$m_{\text{H}}^2 = \frac{K C_B D_A}{K_{\text{AL}}^2} = \frac{9,5 \cdot 10^4 (\text{m}^3/\text{Kmol}\cdot\text{s}) \cdot 46,803 (\text{Kmol}/\text{m}^3) \cdot 1,83 \cdot 10^{-9} (\text{m}^2/\text{s})}{[1,2 \cdot 10^{-3} (\text{m}/\text{s})]^2}$$

$$m_{\text{H}} = 75,17$$

$E_i$  es el factor de crecimiento para una reacción infinitamente rápida y su valor depende de  $D_A$  y  $D_B$  la difusividad del  $\text{H}_2\text{S}$  y de la amina, respectivamente,  $C_B$  la disolución del líquido,  $C_{A_i}$  la concentración de A en la interfase,  $k$  la constante cinética de la reacción,  $k_{\text{AL}}$  el coeficiente de transferencia de masa para el líquido.

$$E_i = 1 + \frac{D_B \cdot C_B}{b \cdot D_A \cdot C_{A_i}}$$

Para determinar el factor de crecimiento es necesario obtener la concentración del ácido sulfhídrico en la interfase y el valor de la difusividad de DEA.

♦ Se calcula la concentración de A, H<sub>2</sub>S, en la interfase, tanto en la cabeza como en el fondo de la columna, pero para ello es necesario primero determinar la constante de Henry.

$$P_A = H_A \cdot C_A$$

donde,

$P_A$  = La presión parcial, valor tomado de la simulación.

$C_A$  = La concentración del gas en la disolución inicial

$H_A$  = La constante de Henry

$$H_A = \frac{P_A}{C_A} = \frac{0,218177 \cdot 1,18 \text{ atm}}{4,5656 \cdot 10^{-2} \text{ kmol/m}^3} = 5,64 \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{kmol}$$

- Cabeza columna

$$C_{Ai} = \frac{P_{Ai}}{H_A} = \frac{0,0091 \cdot 1,18 \text{ atm}}{5,64 \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{kmol}} = 0,0019 \text{ kmol/m}^3$$

- Fondo columna

$$C_{Ai} = \frac{P_{Ai}}{H_A} = \frac{0,2181 \cdot 1,18 \text{ atm}}{5,64 \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{kmol}} = 0,046 \text{ kmol/m}^3$$

♦ Se calcula la difusividad del líquido a través de la correlación de Wilke y Chang [Robert H. Perry, 1984].

$$D_B = \frac{7,4 \cdot 10^{-8} \cdot T \cdot (\mu_B \cdot M_B)^{1/2}}{\mu_B \cdot V_A^{0,6}}$$

Donde:

T = Temperatura media que se alcanza en el absorbedor y que equivale a 323 k.

$\mu_B$  = La viscosidad del disolvente en 0,8616 cP

$M_B$  = Masa molecular del DEA cuyo valor es de 105,14.

$\phi_B$  = Factor de asociación del disolvente B, cuyo valor es 2,6 cuando el disolvente es agua.

$V_A$  = Volumen molar del soluto en el punto de ebullición normal ( $\text{cm}^3/\text{mol} \cdot \text{g}$ )

El valor de  $V_A$  según la bibliografía [Robert H. Perry, 1984] es  $33 \text{ cm}^3/\text{mol} \cdot \text{g}$

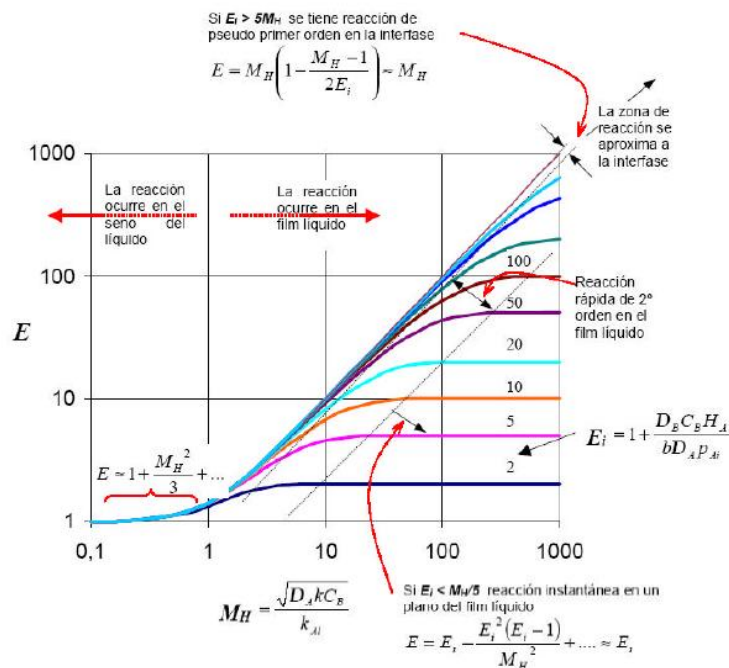
Finalmente, se resuelve la correlación de Wilke y Chang, se obtiene un valor de  $D_B = 5,63 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Con estos valores se calcula el factor de crecimiento tanto para el fondo como la cabeza de la columna.

$$E_i = 1 + \frac{D_B \cdot C_B}{b \cdot D_A \cdot C_{Ai}} = 1 + \frac{5,63 \cdot 10^{-9} (\text{m}^2/\text{s}) \cdot 46,803 (\text{kmol}/\text{m}^3)}{1,83 \cdot 10^{-9} (\text{m}^2/\text{s}) \cdot 0,0019 (\text{kmol}/\text{m}^3)} = 75785 (\text{Cabeza})$$

$$E_i = 1 + \frac{D_B \cdot C_B}{b \cdot D_A \cdot C_{Ai}} = 1 + \frac{5,63 \cdot 10^{-9} (\text{m}^2/\text{s}) \cdot 46,803 (\text{kmol}/\text{m}^3)}{1,83 \cdot 10^{-9} (\text{m}^2/\text{s}) \cdot 0,046 (\text{kmol}/\text{m}^3)} = 3131 (\text{Fondo})$$

Estos valores obtenidos se introducen en la gráfica siguiente [Levenspiel, 1986]



Si la reacción es de pseudo-primer orden en la interfase, se ha de cumplir que  $5 M_H < E_i$ . Comprobando esta afirmación se obtiene:

$$5 \cdot 75,17 = 375,85 < E_i = 3131$$

Por lo tanto, según se aprecia en la figura se puede hacer la aproximación siguiente:

$$E = M_H$$

La reacción, por tanto, es infinitamente rápida y de pseudo-primer orden.

Como anteriormente se detalló se parte de la ecuación de la velocidad global del proceso:

$$(-r_A)'' = \frac{P_A}{\frac{1}{k_{AG}} + \frac{H_A}{K_{AL} \cdot E} + \frac{H_A}{k \cdot C_{BL} \cdot \delta_L}}$$

Cada sumando del denominador representa la resistencia a la película gaseosa, líquida y reacción química, respectivamente.

$$\frac{1}{k_{AG}} = \frac{1}{5,17 \cdot 10^{-3} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar}} = 193,42 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar} / \text{kmol}$$

$$\frac{H_A}{k_{AL} \cdot E} = \frac{5,64 \text{ bar} \cdot \text{m}^3 / \text{kmol}}{1,2 \cdot 10^{-3} (\text{m/s}) \cdot 75,17} = 62,62 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar} / \text{kmol}$$

$$\frac{H_A}{k \cdot C_{BL} \cdot \delta_L} = \frac{5,64 \text{ bar} \cdot \text{m}^3 / \text{kmol}}{9,5 \cdot 10^4 (\text{m}^3 / \text{Kmol} \cdot \text{s}) \cdot 46,803 (\text{kmol/m}^3) \cdot 1 (\text{m})} = 1,37 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar} / \text{kmol}$$

Considerando despreciable la resistencia en el seno de la fase líquida y aunque la resistencia en la película líquida no sea despreciable, en una primera aproximación se va a despreciar. Si el valor de la altura de la torre calculada es un valor aproximado al obtenido por hysys se considerará acertada la simplificación.

La velocidad global queda:

$$(-r_A)'' = k_{AG} \cdot P_A$$

Para determinar la altura de la torre de absorción se ha de combinar la ecuación de la velocidad con una expresión del balance de materia.

El balance de materia aplicado a un elemento diferencial de volumen es:

$$G \cdot d(Y_A) = (-r_A)'' \cdot d(V_T)$$

Como  $Y_A$  es la fracción de moles de A/ moles de inerte en el gas.

$$d(Y_A) = d \left( \frac{P_A}{P_I} \right)$$

Derivando la ecuación anterior:

$$d(Y_A) = d \left( \frac{P_A}{P_I} \right) = \frac{d(P_A) \cdot P_I - d(P_I) \cdot P_A}{(P_I)^2}$$

Sabiendo que la presión total es la suma de la presión de A y la presión de los inertes:

$$\begin{aligned} P_T &= P_A + P_I \\ d(P_I) &= -d(P_A) \end{aligned}$$

Sustituyendo:

$$d(Y_A) = \frac{d(P_A) \cdot P_I - d(P_I) \cdot P_A}{(P_I)^2} = \frac{d(P_A) \cdot (P_T - P_A) + d(P_A) \cdot P_A}{(P_T - P_A)^2}$$

Desarrollando la ecuación anterior:

$$d(Y_A) = \frac{d(P_A) \cdot (P_T - P_A) + d(P_A) \cdot P_A}{(P_T - P_A)^2} = \frac{P_T \cdot d(P_A) - P_A \cdot d(P_A) + d(P_A) \cdot P_A}{(P_T - P_A)^2}$$

$$d(Y_A) = \frac{P_T}{(P_T - P_A)^2} d(P_A)$$

Como la presión de A es muy pequeña comparada con la presión total, se puede considerar que:

$$P_T - P_A \cong P_T$$

Por lo cual:

$$d(Y_A) = \frac{P_T}{(P_T)^2} d(P_A)$$

O lo que es lo mismo:

$$d(Y_A) = \frac{d(P_A)}{P_T}$$

Antes de sustituir en la ecuación principal, se conoce que:

$$(-r_A)^{IV} = (-r_A)^{II} \cdot a$$

Sustituyendo en la ecuación principal:

$$G \frac{d(P_A)}{P_T} = a \cdot (-r_A)^{II} \cdot d(V_T)$$

Despejando de la ecuación anterior el diferencial del volumen:

$$d(V_T) = \frac{G}{P_T \cdot a \cdot (-r_A)^{II}} d(P_A)$$

Integrando la ecuación anterior y sabiendo que  $(-r_A)'' = k_{AG} \cdot P_A$

$$V_T = \int \frac{P_{A2} \cdot G}{P_{A1} \cdot P_T \cdot a \cdot (-r_A)^{II}} d(P_A) = \int \frac{P_{A2} \cdot G}{P_{A1} \cdot P_T \cdot a \cdot k_{AG} \cdot P_A} d(P_A) = \frac{G}{P_T \cdot a \cdot k_{AG}} \int \frac{P_{A2}}{P_{A1} \cdot P_A} d(P_A)$$



$$V_r = \frac{G}{P_T \cdot a \cdot k_{AG}} \ln \frac{P_{A2}}{P_{A1}}$$

Conociendo que el volumen es la sección por la altura

$$h = \frac{G}{S \cdot P_T \cdot a \cdot k_{AG}} \ln \frac{P_{A2}}{P_{A1}}$$

Sustituyendo la ecuación con los valores queda:

$$h = \frac{4,25 \cdot 10^{-3} (\text{Kmol/s})}{5,17 \cdot 10^{-3} (\text{Kmol/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar}) \cdot 1,195 \text{ bar} \cdot 0,1876 (\text{m}^2)} \cdot \ln \frac{0,2181}{0,009110} = 11,65 \text{ m} \cong 12 \text{ m}$$

### 1.3. NÚMERO DE LECHOS

En la literatura [Robert H. Perry, 1984] se recomienda que la altura de un lecho de relleno nunca sobrepase los 6,1 m (20 ft), por ello se opta por una columna de dos lechos con 6 metros cada uno.

## 2. CÁLCULOS MECÁNICOS DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN.

En este equipo, debido a la naturaleza del producto con el que opera, es necesario un tratamiento térmico una vez realizada la soldadura. El código de diseño por el que se rigen los cálculos posteriores es el ASME Sección VIII, División 1.

### 2.1. CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE DISEÑO.

Presión que en todo caso debe ser mayor a la máxima de servicio, su valor de fija como el mayor de [Eugene F. Megyesy, 1992]:

$$P_{\text{DISEÑO}} \geq 1,1 \cdot \text{Presión máxima de operación (kg/cm}^2) = 1,1 \cdot 2,03 \text{ kg/cm}^2 = 2,23 \text{ kg/cm}^2 = 2,16 \text{ atm}$$

$$P_{\text{DISEÑO}} \geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ kg/cm}^2 = 2,03 + 2 = 4,03 \text{ kg/cm}^2 = 3,9 \text{ atm}$$

$$P_{\text{DISEÑO}} \geq 3,5 \text{ kg/cm}^2 = 3,39 \text{ atm}$$

La presión de diseño será en este caso de 3,9 atm.

## **2.2. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE DISEÑO.**

La temperatura de diseño debe ser superior a la máxima que se produzca durante la operación, y es habitual que adopte el siguiente valor [Eugene F. Megyesy, 1992]:

$$T_{\text{DISEÑO}} = T \text{ máxima de operación} + 20 \text{ }^\circ\text{C} = 54,6 + 20 = 74,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

## **2.3. CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE PARED.**

El espesor mínimo de pared se puede estimar a partir de las referencias bibliográficas, estas son el código ASME Sección VIII División 1 por lo que se establece que el espesor mínimo es:

$$t_{\text{min}} = 2,5 + c \text{ ; [código ASME Sección VIII División 1]}$$

donde,  $c$  es el sobreespesor de corrosión y se asume un valor de 6 mm.

Mediante la bibliografía Eugene F. Megyesy, se indica que el espesor mínimo es:

$$t_{\text{min}} = 5 + c \text{ ; para aceros al carbono}$$

En este caso se tomará por motivos de seguridad el espesor mínimo más restrictivo, es decir el que aparece en la bibliografía de Eugene F. Megyesy.

$$t_{\text{min}} = 11 \text{ mm.}$$

## 2.4. CÁLCULO DE ESPESOR DEBIDO A LA PRESIÓN INTERNA.

Para el cálculo del espesor debido a la presión interna se emplea el código de diseño en UG-27 (c) (1).

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C$$

Donde,

P= Presión de diseño = 4,03 kg/cm<sup>2</sup>

S = Esfuerzo del material = 1178,9 kg/cm<sup>2</sup> (ASME II)

E = Eficiencia de la junta = 0,85 (ASME, División 1, Tabla UW-12)

R = Radio interno = 250 mm

D = Diámetro interno = 500 mm

t = Espesor de pared

C= sobreespesor de corrosión = 6 mm

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C = \frac{4,03 \text{ (kg/ cm}^2\text{)} \cdot 250 \text{ (mm)}}{1178,9 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 4,03 \text{ (kg/cm}^2\text{)}} + 6 \text{ (mm)} =$$

$$t = 7,01 \text{ mm}$$

## 2.5. CÁLCULO DE ESPESORES DE FONDO.

Normalmente los fondos de los recipientes a presión son tipo toriesférico, del tipo klopper o fondos toriesféricos del tipo korbogen

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E + 1,8 \cdot P} + C$$

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E + 1,8 \cdot P} + C = \frac{4,03 \text{ (kg/ cm}^2\text{)} \cdot 500 \text{ (mm)}}{2 \cdot 1178,9 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \cdot 1 + 1,8 \cdot 4,03 \text{ (kg/cm}^2\text{)}} + 6 \text{ (mm)} =$$

$$t = 6,9 \text{ mm.}$$

El espesor final es de  $t = 11$  mm.

## 2.6. PESO DEL EQUIPO.

- Peso de la columna vacía sin internos.

- Cálculo de la superficie del cilindro.

$$\text{Superficie cilindro} = \pi \cdot D \cdot h_T = \pi \cdot 0,5 \text{ (m)} \cdot 16 \text{ (m)} = 25,13 \text{ m}^2.$$

La altura de la torre incluyendo los internos y los espacios entre relleno es de 16 m, ver plano constructivo del absorbedor.

- Cálculo del volumen de acero del cilindro.

$$\text{Volumen Ac. Cilindro} = \text{Superficie cilindro} \cdot \text{espesor} = 25,13 \text{ (m}^2\text{)} \cdot 0,011 \text{ (m)} = 0,27 \text{ m}^3.$$

- Cálculo del volumen de fondo toriesférico [Robert H. Perry, 1984].

$$\text{Volumen Ac. Fondo} = 0,0809 \cdot D^3 = 0,0809 \cdot 0,5^3 \text{ (m}^3\text{)} = 0,010 \text{ m}^3.$$

- Cálculo del volumen total de acero de la torre de absorción.

$$\begin{aligned} \text{Volumen Acero} &= \text{Volumen Ac. Cilindro} + 2 \cdot \text{Volumen Ac. Fondo} = \\ &= 0,27 \text{ (m}^3\text{)} + 2 \cdot 0,10 \text{ (m}^3\text{)} = 0,47 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

- Cálculo del peso de la torre de absorción vacío.

$$\begin{aligned} \text{Peso torre absorción} &= \text{Volumen Acero} \cdot \text{Densidad Acero} = \\ &= 0,47 \text{ (m}^3\text{)} \cdot 7900 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 3713 \text{ kg}. \end{aligned}$$

- Peso de los internos de la columna.

- Cálculo del peso del relleno.

Mediante datos bibliográficos [Robert H. Perry, 1984] se puede estimar de forma aproximada el peso del relleno.

$$\text{Peso Relleno} = \text{Peso aproximado por m}^3 \cdot \text{volumen de relleno}$$

Donde,

La densidad aproximada es de 415 kg/ m<sup>3</sup> [Robert H. Perry, 1984] para el relleno seleccionado.

$$\text{Volumen de relleno} = \text{Altura de relleno} \cdot \text{Sección torre} = 12 \text{ (m)} \cdot 0,1876 \text{ (m}^2\text{)} = 2,2512 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso Relleno} = 415 \text{ kg/ m}^3 \cdot 2,2512 \text{ m}^3 = 934,25 \text{ kg.}$$

- Peso de los dispositivos interiores de la columna.

El peso aproximado de los dispositivos interiores de la columna de absorción es un dato aproximado obtenido a partir de la bibliografía [Robert H. Perry, 1984].

$$\text{Peso Dispositivos Internos} = 1700 \text{ kg.}$$

- Cálculo de peso de los internos de la columna.

$$\begin{aligned} \text{Peso Total Internos} &= \text{Peso Relleno} + \text{Peso Dispositivos Internos} = \\ &= 934,25 \text{ (kg)} + 1700 \text{ (kg)} = 2634,25 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Peso de la columna vacía.

El peso de la columna vacía es la suma del peso de la columna sin internos más el peso del total de internos de la columna:

$$\text{Peso Total Columna Vacía} = 3713 \text{ kg} + 2634,25 \text{ kg} = 6347,25 \text{ kg} \cong 6400 \text{ kg}$$

## 2.7. CÁLCULO DE CARGAS DEBIDAS AL VIENTO.

Las cargas debida a la acción del viento, se calculan de acuerdo con la Norma NBE- AE-88 "Acciones en la Edificación". Se considera para ello que la situación topográfica es expuesta, debido a que se encuentra en zona costera. La presión calculada se obtendrá de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$P_v = p \cdot c \cdot k \cdot m$$

Donde,

$P_v$  = Presión del viento.

$p$  = Presión dinámica del viento (NBE- AE-88).

$c$  = Coeficiente eólico (NBE- AE-88).

$k$  = Factor eólico de esbeltez (NBE-AE-88).

$m$  = Coeficiente de tubería, plataformas y escaleras de acuerdo con la siguiente tabla:

Diámetro exterior (mm) (Incluyendo calorifugado)	Coficiente m
$D \leq 500$	1,50
$500 < D \leq 1000$	1,40
$1000 < D \leq 1500$	1,30
$1500 < D \leq 2000$	1,25

Altura de coronación del edificio sobre el terreno en m, cuando la situación topográfica es		Velocidad del viento $v$		Presión dinámica $w$
Normal	Expuesta	m/s	km/h	kg/m <sup>2</sup>
De 0 a 10	—	28	102	50
De 11 a 30	—	34	125	75
De 31 a 100	De 0 a 30	40	144	100
Mayor de 100	De 31 a 100	45	161	125
—	Mayor de 100	49	176	150

Clase de construcción	Coficiente eólico $c$
<b>Construcciones prismáticas</b>	
De planta rectangular o combinación de rectángulos .....	1,2
De planta octogonal o análoga .....	1,0
<b>Construcciones cilíndricas</b>	
De superficie rugosa o nervada .....	0,8
De superficie muy lisa .....	0,6
<b>Construcciones esféricas</b>	
Esferas o semiesferas. ....	0,4
Casquetes esféricos de relación altura: diámetro $\leq 1:4$ .....	0,2

Tabla 5.5 Factor eólico de esbeltez			
Esbeltez: $\frac{h}{b}$ si $h > b$ $\frac{b}{h}$ si $b > h$	1 a 5	10	60 o mayor
Factor eólico de esbeltez $k$	1	1,25	1,50
Valores intermedios pueden interpolarse linealmente.			

\* h es la altura y b es el diámetro

$$p = 100 \text{ kg/m}^2 \text{ (de 0 a 30 expuesta)}$$

$$c = 0,6 \text{ (superficie cilíndrica lisa)}$$

$$h/b = 34 \rightarrow k = 1,37$$

$$m = 1,4$$

$$P_v = p \cdot c \cdot k \cdot m = 100 \text{ (kg/m}^2) \cdot 0,6 \cdot 1,37 \cdot 1,4 = 115,08 \text{ kg/m}^2$$

## 2.8. CÁLCULO DE CARGAS DEBIDAS A SEÍSMOS.

Las cargas sísmicas se calculan de acuerdo con la Norma ASCE-7.

Los recipientes se diseñan considerando que el efecto del terremoto es una carga estática lateral cuyo valor viene dado por:

$$V = Z \cdot K \cdot C \cdot S \cdot W$$

Donde,

Z = Factor sísmico. Es función de la zona sísmica donde está localizado la torre. Su valor viene dado de acuerdo a la Norma Sismoresistente NCSE-94 por el mapa de peligrosidad sísmica. La torre de absorción se encuentra en zona sísmica número 2 por lo que el valor de Z es 0,3750

<u>Zona sísmica</u>	<u>Valor de Z</u>
Primera	0,1875
Segunda	0,3750
Tercera	0,7500

K = Coeficiente de estructura. Es función de la resistencia inherente del tipo de estructura a las fuerzas dinámicas debidas al seísmo. Para torre como la diseñada se toma un valor de  $K = 2$ .

S = Factor de suelo y cimentación. Se toma  $S = 1,5$  que estará limitado por:  $C \cdot S \leq 0,14$

W = Peso del recipiente.

C = Factor de Flexibilidad. C está limitado por  $0,04 < C \leq 0,12$ . Su valor viene dado por la expresión:

$$C = \frac{1}{15 \cdot [T]^{1/2}}$$

Donde,

T = Periodo fundamental de la vibración en segundos.

$$V = Z \cdot K \cdot C \cdot S \cdot W = 0,3750 \cdot 2 \cdot 0,12 \cdot 1,15 \cdot 6400 \text{ kg} = 662,4 \text{ kg}$$

- Análisis vibratorios.

Se llevará a cabo un análisis vibratorio siempre y cuando se den de acuerdo a la norma anteriormente citada simultáneamente las siguientes circunstancias:

- Altura total de la columna sea superior a 30 m. En este caso la altura de la torre de absorción es menor a 30 m, concretamente es de 17 metros.
- $W / (L \cdot D)^2 \leq 25$ . Esta condición si se cumple (1,7).

Donde,

L = Altura total de la columna, en pies

D = Diámetro medio de la mitad superior de la columna, en pies.

W = Peso total de la columna, en libras.

Debido a que no se cumplen las dos circunstancias simultáneamente, no es necesario realizar un análisis vibratorio.



## 2.9. ESPESOR DEL FALDÓN.

Un faldón es el soporte de uso más frecuente y el más satisfactorio para las columnas y recipientes verticales. Se une por soldadura continua a la cabeza y por lo general, el tamaño requerido de esta soldadura determina el espesor del faldón.

Para el cálculo del tamaño de soldadura requerido se usan los valores de eficiencia de junta dados por el Código (UW 12).

Donde,

D = Diámetro del faldón.

E = Eficiencia de la junta del faldón a la cabeza (0,6 para soldaduras a tope).

M = Momento en la junta del faldón a la cabeza

S = Valor de esfuerzo del material en la cabeza

t = Espesor requerido del faldón

P<sub>v</sub> = Carga por viento

$$E_F = P_v \cdot D \cdot h = 115,08 \text{ (kg/m}^2\text{)} \cdot 0,5 \text{ (m)} \cdot 17 \text{ (m)} = 978,18 \text{ kg}$$

$$M = E_F \cdot h = 978,18 \text{ (kg)} \cdot (17/2) \text{ (m)} = 8314,53 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$M_T = M - h_T (E_F - 0,5 \cdot P_v \cdot D \cdot h_T) = 8314,53 \text{ (kg} \cdot \text{m)} - 0,45 \text{ (m)} \cdot [978,18 \text{ (kg)} - 0,5 \cdot 115,08 \text{ (kg/m}^2\text{)} \cdot 0,5 \text{ (m)} \cdot 0,45 \text{ (m)}] = 7880,17 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$t = \frac{12 \cdot M_T}{D^2 \cdot \pi \cdot S \cdot E} = \frac{12 \cdot 7880,17 \text{ (kg} \cdot \text{m)}}{0,5^2 \text{ (m}^2\text{)} \cdot \pi \cdot 1178,9 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \cdot (100^2 \text{ cm}^2\text{/m}^2\text{)} \cdot 0,6} = 0,017 \text{ m} = 17 \text{ mm}$$

Se tomará un faldón de chapa de 17 mm.

## 2.10. CÁLCULO DE LOS PERNOS.

Las columnas, los recipientes verticales y las chimeneas deben anclarse a la cimentación por medio de pernos de anclaje y anillo de la base (portante).

Los pernos de anclaje deben instalarse en múltiples de cuatro y para torres altas es preferible instalar un mínimo de ocho pernos.

En una cimentación si los pernos son anclados demasiado próximo su efectividad se ve reducida. Es aconsejable situar los pernos a distancias no menores de 18 pulgadas. Para mantener esta separación, en el caso de recipientes de diámetro pequeño, puede ser necesario agrandar el círculo localización de los pernos usando un faldón cónico o un anillo de base más ancho con placas angulares de refuerzo.

Al calcular el tamaño de los pernos que se requieren sólo debe tomarse en consideración el área comprendida dentro del fondo. Las áreas de los pernos se indican en la siguiente tabla.

TABLA A			
Tamaño del perno	Área en la raíz del perno, pulg <sup>2</sup>	Dimensión, pulg	
		$l_2$	$l_3$
$\frac{1}{2}$	0.126	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{8}$
$\frac{5}{8}$	0.202	1	$\frac{3}{4}$
$\frac{3}{4}$	0.302	$1\text{-}\frac{1}{8}$	$\frac{13}{16}$
$\frac{7}{8}$	0.419	$1\text{-}\frac{1}{4}$	$\frac{15}{16}$
1	0.551	$1\text{-}\frac{3}{8}$	$1\text{-}\frac{1}{16}$
$1\frac{1}{8}$	0.693	$1\text{-}\frac{1}{2}$	$1\text{-}\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	0.890	$1\text{-}\frac{3}{4}$	$1\text{-}\frac{1}{4}$
$1\frac{3}{8}$	1.054	$1\text{-}\frac{7}{8}$	$1\text{-}\frac{3}{8}$
$1\frac{1}{2}$	1.294	2	$1\text{-}\frac{1}{2}$
$1\frac{5}{8}$	1.515	$2\text{-}\frac{1}{8}$	$1\text{-}\frac{5}{8}$
$1\frac{3}{4}$	1.744	$2\text{-}\frac{1}{4}$	$1\text{-}\frac{3}{4}$
$1\frac{7}{8}$	2.049	$2\text{-}\frac{3}{8}$	$1\text{-}\frac{7}{8}$
2	2.300	$2\text{-}\frac{1}{2}$	2
$2\frac{1}{4}$	3.020	$2\text{-}\frac{3}{4}$	$2\text{-}\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{2}$	3.715	$3\text{-}\frac{1}{16}$	$2\text{-}\frac{3}{8}$
$2\frac{3}{4}$	4.618	$3\text{-}\frac{3}{8}$	$2\text{-}\frac{5}{8}$
3	5.621	$3\text{-}\frac{5}{8}$	$2\text{-}\frac{7}{8}$

Como margen por corrosión debe aumentarse un octavo de pulgada el diámetro calculado de los pernos.

Para el cálculo de los pernos de anclajes de la torre de absorción se supondrá el número mínimo de pernos permitidos, con ello se realizarán los cálculos necesarios y se comprobará si es suficiente o no.

$$B = \frac{4 \cdot M}{N \cdot D} - W = \frac{4 \cdot 8314,53 \text{ (kg} \cdot \text{m)}}{8 \cdot 0,5 \text{ (m)}} - 6400 \text{ kg} = 1914,53 \text{ kg}$$

$$T = \frac{B}{A_p} = \frac{1914,53 \text{ kg}}{1,95 \text{ cm}^2} = 981,81 \text{ kg/cm}^2 < 1178,9 \text{ kg/cm}^2.$$

Donde,

$A_p$  = Area en la raíz del perno =  $0,302 \text{ pulgadas}^2 = 1,95 \text{ cm}^2$ .

El número de pernos de anclaje necesario es de 8 y cada uno tiene un tamaño de  $3/4'' = 19,05 \text{ mm}$

### 3. CÁLCULO TÉRMICO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.

Para el diseño del intercambiador de calor se empleará el método LMTD (método de la diferencia media logarítmica), debido a que desde la bibliografía [Douglas L. Erwin, 2002] se aconseja emplear este método cuando es conocida las temperaturas de entrada y salida de las dos corrientes.

El intercambiador empleado es de carcasa y tubos debido a que es ampliamente utilizado en la industria y que es más compacto y menos caros de construir para la finalidad dada.

Entre las principales ventajas de los intercambiadores de carcasa y tubos se encuentran:

- Configuración que proporciona una relación área de intercambio/volumen de fluido a tratar muy favorables.
- Buena disposición mecánica.
- Medidas de fabricación estándares.
- Gran variedad de materiales de construcción.
- Fácil de limpiar.
- Técnicas de diseño bien establecidas.

El diseño del cambiador de calor se efectuará siguiendo las recomendaciones de la norma TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association).

Para el cálculo de la superficie total requerida para el intercambiador de calor, se empleará la expresión general de diseño para el flujo de calor intercambiado a través de la pared de los tubos que se encuentran en el interior de la carcasa.

$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD} \cdot F$$

Donde;

Q = Flujo de calor intercambiado entre el fluido frío y el caliente.

U = Coeficiente global de intercambio de calor, que tiene en cuenta la resistencia global a la transferencia.

A = Superficie total de intercambio.

LMTD = Fuerza impulsora de temperatura media logarítmica.

F = Factor de corrección de LMTD.

Dicha ecuación se utiliza suponiendo las siguientes hipótesis:

- No hay gradientes de temperatura a lo largo de la trayectoria de flujo de ambos fluidos.
- El área de transmisión de calor es la misma para cada paso.
- El valor del coeficiente global de transferencia de materia es constante a través del intercambiador.
- El calor específico es constante y sin cambio de fase en los fluidos, es decir, sin vaporización o condensación dentro del intercambiador,
- Pérdidas de calor hacia el entorno despreciables.
- No hay conducción a lo largo de las paredes del intercambiador en las direcciones de flujo de los fluidos.

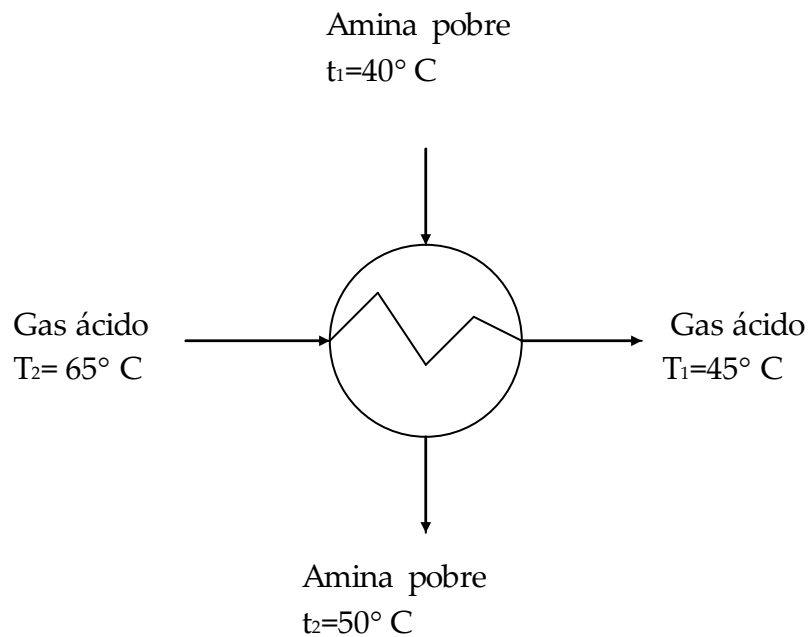
Para poder determinar el área del intercambiador de la ecuación de Fourier anteriormente escrita se empleará un conjunto de ecuaciones que a continuación se resumen en el siguiente cuadro.

Ecuaciones	Significado
$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln [\Delta T_1 / \Delta T_2]}$	Media logarítmica de temperaturas.
$m_e = m_s$	Conservación de la material entre la entrada y salida de los tubos.
$m_e = m_s$	Conservación de la material entre la entrada y salida de la carcasa.
$Q = m_1 C_{p1} \cdot (T_2 - T_1)$	Balance de energía en los tubos.
$Q = m_2 C_{p2} \cdot (t_2 - t_1)$	Balance de energía en la carcasa.
$U = U (m_1, m_2, T_1, T_2 \dots)$	Coefficiente global de transferencia de calor de intercambiador.

Para el diseño del cambiador de calor se debe de identificar el fluido que va a través de la carcasa y el fluido que se encuentra en el interior de los tubos, en este caso el fluido más caliente circulará por los tubos y el fluido más frío lo hará por la carcasa, es decir, la amina pobre (DEA+ H<sub>2</sub>O) circula por la carcasa y el gas ácido lo hará por los tubos.

### 3.1. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA LOGARÍTMICA.

Para el cálculo de la media logarítmica solo hay que sustituir en la ecuación los valores de la temperatura de entrada y salida de las corrientes y obtener el LMTD.



En el siguiente cuadro se recogen las temperaturas de entrada y salida del cambiador de calor:

Intercambiador	Fluido caliente	Fluido frío
Temperatura alta ( $^\circ\text{C}$ )	65	50
Temperatura baja ( $^\circ\text{C}$ )	45	40

$\Delta T_2$	15
$\Delta T_1$	5
$\Delta T_2 - \Delta T_1$	10

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln [\Delta T_1 / \Delta T_2]} = 9,10^\circ \text{C}$$

### 3.2. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se realiza una serie de hipótesis que a continuación se detallan.

- En el estudio del intercambiador de calor se supone que el tubo exterior, la carcasa está perfectamente aislada térmicamente, es decir, no existe intercambio de calor con el exterior. Entonces se puede considerar que, a efectos de transferencia de calor, el intercambiador se comporta como una pared cilíndrica (el tubo o tubos interiores) bañada por dos fluidos a diferente temperatura, y cuyo coeficiente global de transferencia tiene la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{\left( \frac{1}{2\pi r_1 L h_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_o} \right)} A$$

O lo que es lo mismo:

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{A_i h_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k} + \frac{1}{A_o h_o}$$

Donde:

$A_i$  = Área de la superficie interior.

$A_o$  = Área de la superficie exterior de transferencia de calor.

$h_i$  = Coeficiente de película interior.

$h_o$  = Coeficiente de película exterior.

- Se considera que la pared del tubo interior es lo suficientemente delgada para establecer que  $A_i = A_o = A$ .
- De igual modo se considera que el tubo es un buen conductor de calor, por lo que la resistencia térmica debida a la conducción es despreciable, entonces:

$$\frac{\text{Ln}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k} = 0$$

Quedando:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

A esta expresión, se le añade el factor de incrustación que se detalla en el párrafo siguiente.

Con el paso del tiempo se acumulan depósitos sobre las superficies de transferencia de calor de los intercambiadores que incrementan la resistencia térmica y hacen que disminuya la velocidad de transferencia de calor. El efecto neto de la acumulación de depósitos se cuantifica mediante el llamado factor de incrustación,  $R_f$ , que está tabulado para los diferentes fluidos. La acumulación puede producirse en la pared interior, en la exterior o en las dos simultáneamente lo cual se reflejará en el coeficiente global de transferencia de calor cuya expresión general quedará:

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{A_i h_i} + \frac{R_{fi}}{A_i} + \frac{\text{Ln}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k} + \frac{R_{fo}}{A_o} + \frac{1}{A_o h_o}$$

Y cuya expresión simplificada tiene la siguiente forma:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + R_{fi} + R_{fo} + \frac{1}{h_o}$$

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el dato de coeficiente de transferencia global de energía se tomará de la siguiente tabla [Robert H. Perry, 1984].



$U = \text{Btu}/(\text{°F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h})$

Shell side	Tube side	Design U	Includes total dirt	Shell side	Tube side	Design U	Includes total dirt
Liquid-liquid media				Dowtherm vapor	Dowtherm liquid	80-120	.0015
Aroclor 1248	Jet fuels	100-150	0.0015	Gas-plant tar	Steam	40-50	.0055
Cutback asphalt	Water	10-20	.01	High-boiling hydrocarbons V	Water	20-50	.003
DeminerIALIZED water	Water	300-500	.001	Low-boiling hydrocarbons A	Water	80-200	.003
Ethanol amine (MEA or DEA) 10-25% solutions	Water or DEA, or MEA solutions	140-200	.003	Hydrocarbon vapors (partial condenser)	Oil	25-40	.004
Fuel oil	Water	15-25	.007	Organic solvents A	Water	100-200	.003
Fuel oil	Oil	10-15	.008	Organic solvents high NC, A	Water or brine	20-60	.003
Gasoline	Water	60-100	.003	Organic solvents low NC, V	Water or brine	50-120	.003
Heavy oils	Heavy oils	10-40	.004	Kerosene	Water	30-65	.004
Heavy oils	Water	15-50	.005	Kerosene	Oil	20-30	.005
Hydrogen-rich reformer stream	Hydrogen-rich reformer stream	90-120	.002	Naphtha	Water	50-75	.005
Kerosene or gas oil	Water	25-50	.005	Naphtha	Oil	20-30	.005
Kerosene or gas oil	Oil	20-35	.005	Stabilizer reflux vapors	Water	80-120	.003
Kerosene or jet fuels	Trichlorethylene	40-50	.0015	Steam	Feed water	400-1000	.0005
Jacket water	Water	230-300	.002	Steam	No. 6 fuel oil	15-25	.0055
Lube oil (low viscosity)	Water	25-50	.002	Steam	No. 2 fuel oil	60-90	.0025
Lube oil (high viscosity)	Water	40-80	.003	Sulfur dioxide	Water	150-200	.003
Lube oil	Oil	11-20	.006	Tall-oil derivatives, vegetable oils (vapor)	Water	20-50	.004
Naphtha	Water	50-70	.005	Water	Aromatic vapor-stream azeotrope	40-80	.005
Naphtha	Oil	25-35	.005	Gas-liquid media			
Organic solvents	Water	50-150	.003	Air, N <sub>2</sub> , etc. (compressed)	Water or brine	40-80	.005
Organic solvents	Brine	35-90	.003	Air, N <sub>2</sub> , etc., A	Water or brine	10-50	.005
Organic solvents	Organic solvents	20-60	.002	Water or brine	Air, N <sub>2</sub> (compressed)	20-40	.005
Tall oil derivatives, vegetable oil, etc.	Water	20-50	.004	Water or brine	Air, N <sub>2</sub> , etc., A	5-20	.005
Water	Caustic soda solutions (10-30%)	100-250	.003	Water	Hydrogen containing natural-gas mixtures	80-125	.003
Water	Water	200-250	.003	Vaporizers			
Wax distillate	Water	15-25	.005	Anhydrous ammonia	Steam condensing	150-300	.0015
Wax distillate	Oil	13-23	.005	Chlorine	Steam condensing	150-300	.0015
Condensing vapor-liquid media				Chlorine	Light heat-transfer oil	40-60	.0015
Alcohol vapor	Water	100-200	.002	Propane, butane, etc.	Steam condensing	200-300	.0015
Asphalt (450°F)	Dowtherm vapor	40-60	.006	Water	Steam condensing	250-400	.0015
Dowtherm vapor	Tall oil and derivatives	60-80	.004				

NC = noncondensable gas present.  
 V = vacuum.  
 A = atmospheric pressure.  
 Dirt (or fouling factor) units are  $(\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{°F})/\text{Btu}$ .

Tabla: Coeficientes global de transferencia de calor típicos para intercambiadores de carcasa y tubos.

Se opta por tomar un valor medio del coeficiente global de transferencia de calor  $U = 85 \text{ BTU}/\text{h} \cdot \text{°F} \cdot \text{ft}^2$ . o lo que es lo mismo  $U = 107,32 \text{ W}/\text{°C} \cdot \text{m}^2$ .

### 3.3. CÁLCULO DE LA CARGA GLOBAL TRANSFERIDA.

Para el cálculo de la carga total térmica o carga global transferida será necesario conocer los datos de caudal másico de las corrientes, el calor específico y las temperaturas de las corrientes.

El dato de caudal másico se puede obtener fácilmente conociendo la densidad y el caudal volumétrico de dichas corrientes.

Se comienza calculando la carga global transferida para el fluido que circula por el interior de los tubos, es decir para la DEA y H<sub>2</sub>O.

$$Q = m_1 C_{p1} \cdot (T_2 - T_1)$$

El cálculo del caudal másico se realiza mediante la fórmula:

$$m_1 = \rho \cdot Q_v$$

Los siguientes datos se tomarán a 45°C, siendo este valor la media de temperaturas de entrada y salida del fluido.

La densidad a 45°C es de  $\rho=1013,2 \text{ kg/m}^3$ .

El caudal volumétrico es un dato conocido de  $Q_v= 6,0145 \text{ m}^3/\text{h}$

Sustituyendo en la expresión anterior se obtiene que el caudal másico  $m_1= 6094 \text{ kg/h}$  o lo que es lo mismo  $1,6928 \text{ kg/s}$ .

Como la proporción de agua es de un 80%, se considerará para el cálculo del calor específico que el fluido que circula por el interior de los tubos es agua.

A partir de datos bibliográficos se obtiene lo siguiente [Douglas L. Erwin, 2002]:

$$C_p (\text{H}_2\text{O}, 40 \text{ }^\circ\text{C}) = 4,1822 \text{ J/g}\cdot\text{K}$$

$$C_p (\text{H}_2\text{O}, 50 \text{ }^\circ\text{C}) = 4,1806 \text{ J/g}\cdot\text{K}$$

Extrapolando estos dos valores, se obtiene un  $C_p (\text{H}_2\text{O}, 45 \text{ }^\circ\text{C}) = 4,1814 \text{ J/g}\cdot\text{K}$  o lo que es lo mismo  $C_p = 4181,4 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Con estos datos se sustituye en la ecuación de carga transferida

$$Q = m_1 C_{p1} \cdot (T_2 - T_1) = 1,6928 \text{ (kg/s)} \cdot 4181,4 \text{ (J/kg}\cdot\text{ }^\circ\text{C)} \cdot (65-50) \text{ ( }^\circ\text{C)} = 106174,11 \text{ J/s} =$$

$$Q=106,17 \text{ KW}$$

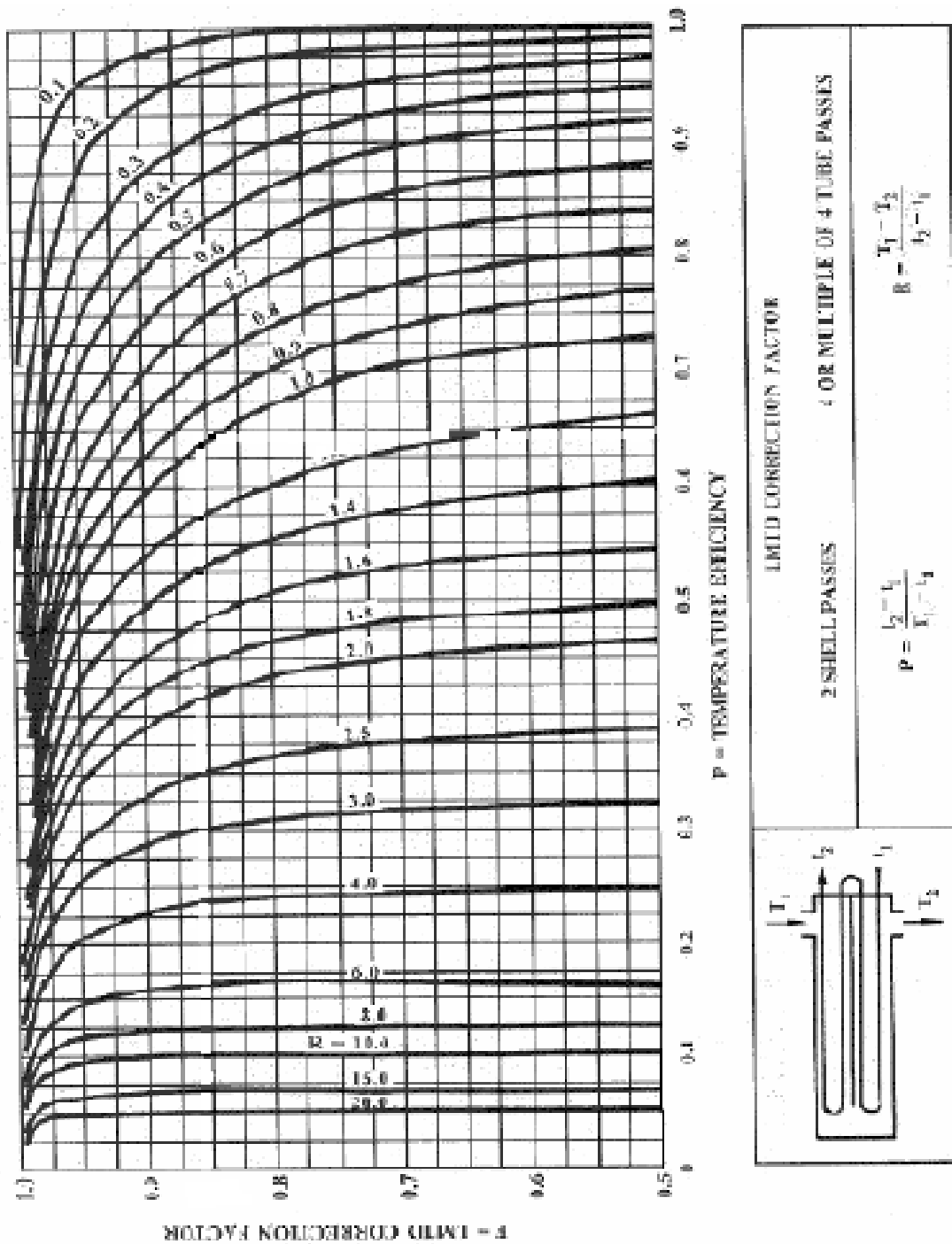
### 3.4. CÁLCULO DEL FACTOR F

Para el cálculo de dicho factor se empleará una gráfica encontrada en la bibliografía [Robert H. Perry, 1984] que proporciona un valor aceptable, al hacerlo se aceptan las siguientes suposiciones:

- Igual área de transmisión de calor por paso.
- Coeficiente global de transferencia de calor constante en cada paso.

- La temperatura del fluido que discurre por la carcasa es constante para cada sección transversal.
- No existen fugas del fluido entre los pasos de carcasa.

Una vez supuesto lo anterior se calcula los parámetros de R (cociente entre la diferencia de temperaturas del fluido en la carcasa y en los tubos) y P (cociente entre la diferencia de temperatura del fluido de los tubos y la máxima diferencia de temperaturas), obteniéndose:



Por lo tanto, para  $R=1,5$  y  $P=0,33$  se obtiene un valor de  $F=0,97$ . Sabiendo que el cambiador de carcasa y tubos está conformado por 2 cambiadores en serie, es decir, dos pasos por carcasa del fluido y 4 pasos por tubos (de un extremo a otro), los tubos se disponen según el siguiente gráfico:



Placas de partición en los cabezales

### 3.5. CÁLCULO DEL ÁREA

Todos los valores necesarios para el cálculo del área son conocidos por lo que solo despejando el área de la ecuación de Fourier se obtiene el valor.

$$A = \frac{Q}{U \cdot \text{MLDT} \cdot F} = \frac{106170 \text{ (W)}}{107,32 \text{ (W/}^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2) \cdot 9,10 \text{ (}^\circ\text{C)} \cdot 0,97} = 112,07 \text{ m}^2.$$

A continuación es necesario conocer el diámetro de cada carcasa así como las diferentes características del cambiador, para ello se realiza los cálculos que a continuación se exponen:

Área por carcasa:

Teniendo en cuenta que el número de carcasas ( $N_s$ ) es de 2, se obtiene que:

$$A_s = A/N_s = 112,07/2 = 56,04 \text{ m}^2.$$

Características del intercambiador de calor:

Considerando el servicio que realiza este intercambiador y del tipo de cambiador diseñado, intercambiador de carcasa y tubos, los valores típicos y que se adoptan para varias de sus características geométricas son las siguientes:

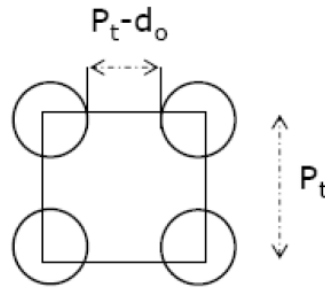
L; Longitud de los tubos=4 m.

$D_o$ ; Diámetro de tubo=19 mm.

Pt; Pitch o espaciado entre tubos=1,25· $d_o$  inches.

Disposición cuadrada, debido a su disposición la limpieza es más fácil por el lado de la carcasa.

BWRG; Espesor de pared de tubo=2,1 mm.



Características geométricas de la disposición cuadrada.

Para las sucesivas formulaciones se ha tenido en cuenta la bibliografía de Donald Q. Kern, 1994.

Número de tubos en cada carcasa ( $N_T$ ):

$$N_T = \frac{3,82 \cdot A_s}{(L-0,5) \cdot d_o} = \frac{3,82 \cdot 603,18 \text{ ft}^2}{(13,12 - 0,5) \text{ ft} \cdot 0,748 \text{ ft}} = 244,09 \cong 244 \text{ tubos.}$$

NTC (para la disposición cuadrangular):

$$NTC = 1,19 \cdot (N_T)^{1/2} = 1,19 \cdot (244)^{1/2} = 18,59 \cong 19$$

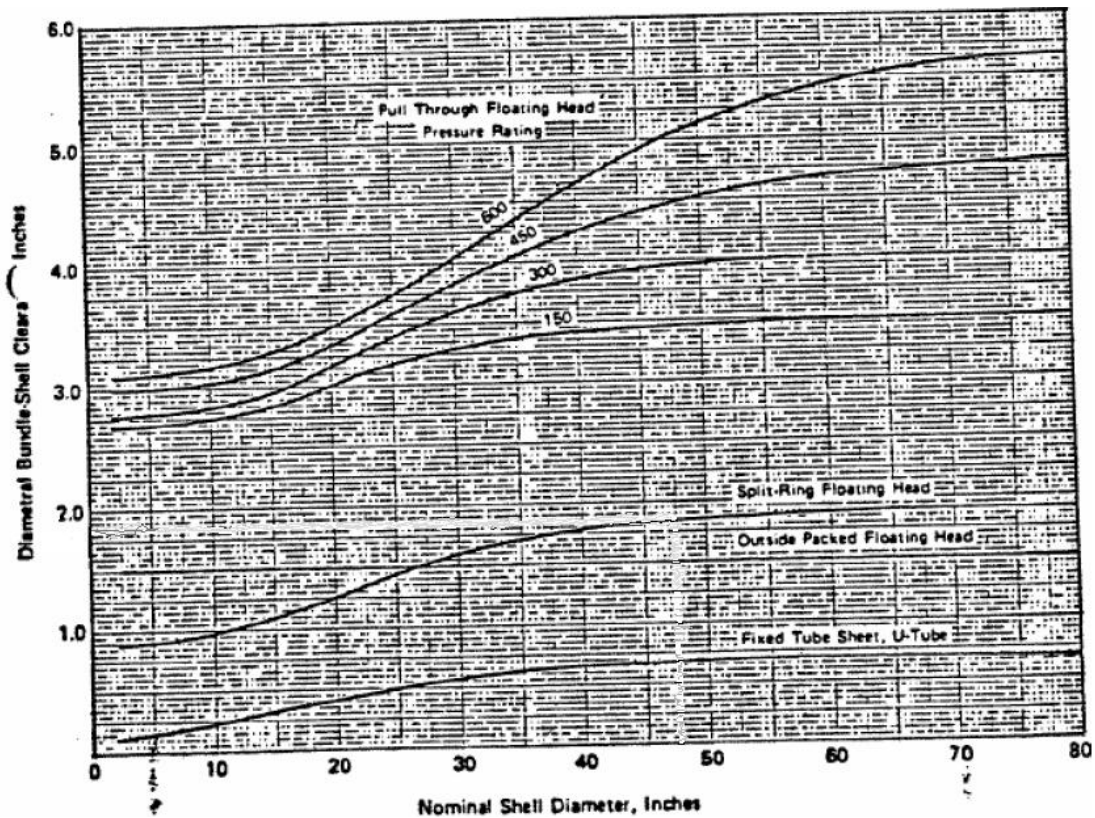
Diámetro nominal de carcasa (DOT):

$$DOT = (NTC-1) \cdot P_t + d_o = (19-1) \cdot 0,935 + 0,748 = 17,578 \text{ inches} = 446,48 \text{ mm.}$$

Diámetro interno de la carcasa (DIS)

$$DIS = DOT + LCDD$$

Donde; LCDD la holgura entre carcasa y el haz de tubos, interesa que su valor sea pequeño para evitar by-pass. Dicho valor se obtiene de la gráfica que relaciona DOT con LCDD y el tipo de fijación de los tubos, así que entrando en la gráfica que a continuación se observa con el valor de DOT obtenido previamente y con el tipo de tubo, cabezal flotante con soporte, se obtiene un valor de LCDD de 1,2 inches.

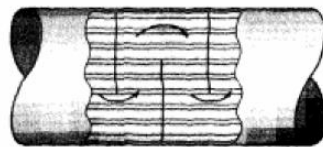


Obteniéndose:

$$DIS = 17,578 + 1,2 = 18,778 \text{ inches} = 477 \text{ mm.}$$

Número de deflectores:

Los deflectores son imprescindibles en el intercambiador para poder redireccionar el flujo de la carcasa, aumentando de esa manera la turbulencia y poder conseguir así un flujo transversal a los tubos y no un flujo paralelo, contribuyendo a mejorar la transferencia de calor. Considerando que los deflectores del intercambiador son de tipo segmentado sencillo se tiene que:



Placa deflectoras de tipo de segmentado sencillo

$$N^{\circ} \text{ deflectores} = L \cdot 12 / DIS = 13,12 \cdot 12 / 18,778 = 8,38 \cong 9 \text{ deflectores.}$$

### 3.6. RESUMEN DEL EQUIPO

Intercambiador de calor	Tubos	Carcasa
Fluido	Gas incondensable	Amina pobre
Temperatura de entrada (°C)	65	40
Temperatura de salida (°C)	45	50
Tipo de intercambiador según TEMA	AES	
Coeficiente U (W/m <sup>2</sup> ·°C)	107,32	
Longitud de tubos (m)	4	
Diámetro de tubos (Pulgadas)	0,748	
Pitch (pulgadas)	0,935	
Disposición de tubos	Cuadrada	
BWRG (Pulgadas)	0,082	

La designación del tipo de cambiador por normativa TEMA consiste en un conjunto de tres letras que describen, en este orden, el tipo de cabezal de distribución o entrada, el tipo de carcasa y tipo de cabezal de retorno. En este caso es de tipo AES, la letra A aparece porque el canal y la cabeza son desmontables, la letra E se debe a que la carcasa es de un solo paso, se consideran dos carcasas en serie) y por último, la S, cabezal flotante con dispositivo de apoyo, significa que el diámetro del cabezal es mayor que el del casco y hay que desmontarlo para sacarlo.

El nombre completo con el que se designa al intercambiador de calor es (incluyendo el diámetro de la carcasa y la longitud de los tubos ambos en pulgadas):

SIZE 19-158 TYPE AES

## 4. CÁLCULOS HIDRÁULICOS DEL SEPARADOR GAS-LÍQUIDO

### 4.1. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO.

1. La relación óptima de longitud/diámetro (L/D) es de 3 pero es común un rango de 2,5 a 5 en función de la presión de trabajo. [ Stanley M. Walas,1990]



P (bar)	0-15	15-30	> 300
L/D	3	4	5

2. El tiempo de retención determina el volumen del depósito. Los valores estimados son: [Stanley M. Walas,1990]

- 5 minutos para depósitos de reflujos.
- De 10 a 20 minutos para un depósito que alimenta a una torre de absorción.
- 30 minutos para depósitos que alimentan a un horno.

Es necesario tener en cuenta que los volúmenes calculados son siempre la mitad del volumen total del depósito. [Stanley M. Walas,1990]

## 4.2. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SEPARADOR

El depósito se ha diseñado para albergar el caudal máximo de fluido proveniente del intercambiador de calor.

Para el diseño hidráulico del separador gas-líquido es necesario calcular el diámetro del mismo teniendo en cuenta un tiempo de residencia de 20 minutos y una relación longitud/ diámetro de 4.[ Stanley M. Walas,1990]

$$D = \left( \frac{Q \cdot t}{(L/D) \cdot (\pi/4)} \right)^{(1/3)} = \left( \frac{0,88004 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 20 \text{ min}}{4 \cdot (\pi/4) \cdot 60 \text{ min} / 1 \text{ hora}} \right)^{(1/3)} = 0,45 \text{ m}$$

Como se ha citado anteriormente para la presión de trabajo la relación  $(L/D) = 4$ , por lo tanto  $L = 1,8 \text{ m}$ .

Una vez conocido el diámetro calculado y la longitud del separador gas-líquido, se determina el volumen del mismo.

$$\text{Volumen calculado} = L \cdot A = L \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1,8 \text{ m} \cdot \frac{\pi \cdot 0,45^2}{4} = 0,29 \text{ m}^3.$$

Tal como se expone en el apartado anterior de consideraciones del diseño, es necesario tener en cuenta que los volúmenes calculados son siempre la mitad del volumen total del depósito.

Por lo que el nuevo volumen real del separador gas-líquido es el doble del calculado.

$$\text{Volumen real} = 2 \cdot \text{Volumen calculado} = 0,29 \cdot 2 = 0,58 \text{ m}^3.$$

A partir del volumen real se determina de nuevo el diámetro y la longitud del separador.

$$\text{Volumen} = L \cdot A = 4 \cdot D \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \pi \cdot D^3$$

$$D = \left( \frac{\text{Volumen}}{\pi} \right)^{(1/3)} = 0,57 \text{ m}$$

$$L = 4 \cdot D = 4 \cdot 0,57 \text{ m} = 2,28 \text{ m}$$

## 5. BOMBA PARA EL TRANSPORTE DE AMINA POBRE.

En este documento se va a determinar la potencia requerida en el equipo de impulsión, para permitir una circulación óptima del flujo.

La misión de la bomba es transportar la amina pobre, es decir la DEA y el H<sub>2</sub>O desde el tanque de almacenamiento hasta la zona superior de la torre de absorción.

Para determinar la potencia absorbida por la bomba es necesario disponer de las presiones de aspiración y de impulsión de la misma, así como también será necesario conocer las pérdidas de carga en cada una de las conducciones y el caudal a bombear.

La manera de estimar la altura que suministra la bomba es utilizando la ecuación de Bernoulli. Esta ecuación expresada en "cargas" queda de la siguiente forma:

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g} + \Delta z + h_f = \eta \cdot \Delta h$$

Donde cada término significa lo siguiente:

$\frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$  → Carga debida a la diferencia de presión

$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot g}$  → Carga cinéticas debidas a la diferencia de velocidades

$\Delta z$  → Carga potencial debida a la diferencia de altura

$h_f$  → Pérdida de carga en tuberías y accesorios

$\eta \cdot \Delta h$  → Altura teórica que suministra la bomba.

La ecuación de Bernoulli se aplica entre dos puntos, entre los cuales se encuentra situada la bomba. Las diferencias de presión, velocidades y altura son entre estos dos puntos.

Ahora bien, el término de  $h_f$  que representa las pérdidas de carga se calcula con la ecuación de Fanning, la cual tiene la siguiente expresión:

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde, el término de  $L$  representa la longitud de la tubería desde el punto 1 hasta el punto 2 en metros; a la que se le suma la longitud de tubo recto de igual diámetro que el accesorio que produciría una pérdida de energía análoga a la producida por éste, esta última se conoce como  $L_{equ}$  (longitud equivalente).

La  $D$  es el diámetro de la tubería en cuestión y  $v$  es la velocidad del fluido que circula por la tubería.

El término  $(4f)$  se llama factor de Darcy y es un factor de fricción que se calcula empírica o gráficamente. Para el cálculo gráfico se utiliza el gráfico de Moody, que depende del Reynolds del fluido y de un factor adimensional  $(\varepsilon/D)$ , el cual representa la altura media de las rugosidades de la tubería dividido por el diámetro de la misma. Este factor a su vez depende del tipo de material empleado para construir la tubería.

Una vez que se resuelva las ecuaciones se extrae la altura teórica que suministra la tubería, la cual hay que dividirla por el rendimiento de la bomba

para obtener la altura real. Por último, se obtiene la potencia necesaria de la bomba para transportar el fluido indicado entre los dos puntos que se han tomado en el cálculo de la ecuación de Bernoulli.

Se comienza de nuevo escribiendo la ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + (Z_2 - Z_1) + h_f = \eta \cdot \Delta h$$

El término de las presiones se anulan ya que la presión en el punto uno y dos son las mismas.

En el segundo término la velocidad en el punto uno es igual a cero.

Para el cálculo de las pérdidas de carga es necesario como anteriormente se ha explicado resolver la ecuación de Fanning.

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

La única incógnita que es necesario determinar de esta ecuación es el factor de Darcy (4f). Este factor es función de la rugosidad del material ( $\epsilon$ ) y del número de Reynolds. La rugosidad ( $\epsilon$ ) es de 0,0457 mm [Robert H. Perry, 1984] y el número de Reynolds es de 7810,96. Entrando en la gráfica de Moody [Robert H. Perry, 1984] con estos valores se obtiene un valor de (4f) = 0,008.

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,008 \cdot \frac{229,6 \text{ (m)}}{0,0508 \text{ (m)}} \cdot \frac{1,84^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} = 6,246 \text{ m}$$

$$L = L_{\text{Tubería}} + L_{\text{Equivalente}} = 6 + 64,5 + 16,9 + 87,9 + 25 + 29,3 = 229,6 \text{ m.}$$

Los valores de la longitud han sido obtenidos a partir de las isométricas existentes en los planos y la tabla de pérdida de carga existente en el apartado de tuberías de la memoria de cálculo.

Se resuelve la ecuación de Bernoulli para obtener la potencia de la bomba.

$$\eta \cdot \Delta h = \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + (Z_2 - Z_1) + h_f = \frac{1,84^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2)} + 16 \text{ (m)} + 6,246 \text{ (m)} = 22,42 \text{ m}$$

Esta es la altura teórica, para conseguir la altura real se divide por el rendimiento que será de un 35%. De esta forma, al tomar un rendimiento tan bajo se engloban todas las pérdidas mecánicas que pudieran ocurrir en la bomba.

$$\Delta h = \frac{22,42 \text{ m}}{0,35} = 64,05 \text{ m}$$

Finalmente se obtiene la potencia real necesaria de la bomba (P).

$$P = \Delta h \cdot g \cdot \rho \cdot Q = 64,05 \text{ (m)} \cdot g \text{ (m/s}^2) \cdot 1017,4 \text{ (kg/m}^3) \cdot 1,67 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)} = 1060 \text{ W}$$

$$P = 1,06 \text{ KW}$$

A continuación se procede a calcular la Columna de Succión Positiva Neta disponible (NPSH<sub>Disponible</sub>) para ello se emplea la expresión que seguidamente se expone [Robert H. Perry, 1984].

$$\text{NPSH}_{\text{Disponible}} = \frac{P_1}{\rho \cdot g} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} + h - h_f$$

Donde:

$P_1$  = Presión en el punto 1.  $P_1 = 199,39 \text{ KPa}$

$P_v$  = Presión de vapor del líquido a la temperatura de entrada en la bomba.  $P_v = 200 \text{ mm Hg}$

$h$  = Altura desde el punto 1 al punto 2

$h_f$  = Pérdida de carga entre los dos puntos, incluyendo la longitud equivalente.

$$\text{NPSH}_{\text{Disponible}} = \frac{199090 \text{ bar}}{1017,4 \text{ (kg/m}^3) \cdot g} - \frac{26664,47 \text{ bar}}{1017,4 \text{ (kg/m}^3) \cdot g} - 6,246 \text{ m} = 11,05 \text{ m}$$

En resumen los resultados se presentan en la siguiente tabla:

<b>Bomba de DEA (P1-A/B)</b>	
NPSH Disponible (metros)	11,05
Caudal de bombeo (m <sup>3</sup> /h)	5,9981
Potencia real de la bomba (KW)	1,06
Altura real de impulsión (metros)	64,05

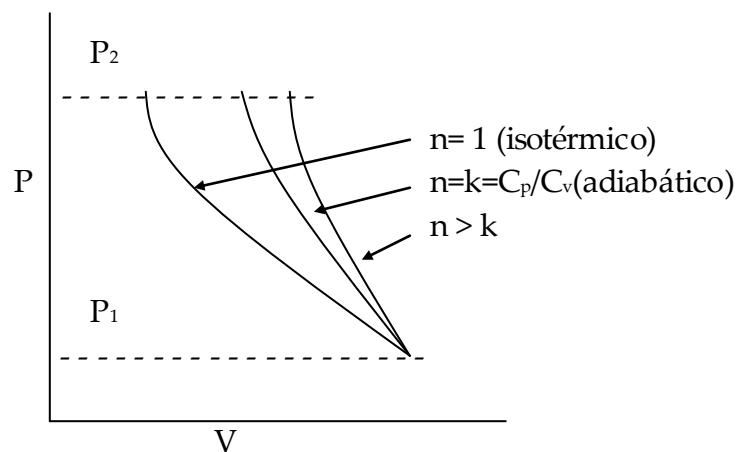
## 6. COMPRESOR PARA EL TRANSPORTE DE LOS GASES INCONDENSABLES

La teoría de la compresión [Robert H. Perry, 1984]. En cualquier proceso de compresión continua la relación entre la presión absoluta y el volumen se expresa por la fórmula:

$$P \cdot V^n = C = \text{Constante}$$

La presión frente al volumen para cada valor del exponente  $n$  se conoce como la curva politrópica. El trabajo realizado es el proceso desde  $P_1$  a  $P_2$  a lo largo de la curva politrópica.

$$W = \int_1^2 P dV$$



La cantidad de trabajo requerido es dependiente de la curva politrópica involucrada y aumenta con valores crecientes de n.

La menor cantidad de trabajo es n=1, lo que equivale a una compresión isotérmica. Para compresiones adiabáticas n=k = relación de calor específico a presión constante y volumen constante.

Compresión adiabática:

$$P = \frac{K}{k-1} \cdot \frac{W \cdot R \cdot T_1}{9806} \left( \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right)$$

$$P = 2,78 \cdot 10^{-3} \frac{K}{k-1} \cdot Q_1 \cdot P_1 \left( \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right)$$

Donde:

P= Potencia

R= Constante de los gases

T<sub>1</sub>= Temperatura de entrada del gas

P<sub>1</sub>= Presión absoluta de entrada

P<sub>2</sub>= Presión absoluta de salida

W= Flujo másico

Q<sub>1</sub>= caudal de gas

Si el ciclo de compresión se aproxima a la condición isotérmica, PV= constante, una aproximación de la potencia es obtenida de la siguiente fórmula:

$$P = 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot Q_1 \cdot P_2 \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Para el proyecto fin de carrera se decide calcular la potencia para un compresor isotérmico.

$$P = 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot Q_1 \cdot P_2 \cdot \ln \frac{P_2}{P_1} =$$

$$=2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 0,88 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 119,96 \text{ KPa} \cdot \ln \frac{119,96 \text{ KPa}}{2,67 \text{ KPa}} = 0,112 \text{ KW}$$

El valor de 2,67 KPa es la presión a la que se encuentra los gases incondensables, este dato es de diseño.

Para obtener la potencia real se divide por el rendimiento del compresor que en este caso se opta por tomar un valor bajo, es decir, el compresor tendrá un rendimiento del 30%. Por lo que la potencia necesaria será la siguiente:

$$P = \frac{0,112 \text{ KW}}{0,3} = 0,37 \text{ KW}$$

En resumen los resultados se presentan en la siguiente tabla:

<b>Compresor de gases incondensable (CO-01)</b>	
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	0,88
Rendimiento (%)	30
Potencia real de la bomba (KW)	0,37

## 7. CÁLCULO DE TUBERIAS.

Los cálculos relacionados con las líneas de tuberías tienen como objetivo hallar la caída de presión o pérdida de carga total, es decir, incluyendo tanto las líneas como los accesorios asociados a ellas, así como el dimensionamiento de la misma. Entendiéndose por dimensionado el espesor, el Schedule y el diámetro externo de cada una de las tuberías principales de la unidad, dado que las tuberías se identifican por su diámetro externo y su espesor.

Se comienza describiendo cada una de las tuberías:

Tubería 1: Disolución de amina desde la bomba P-01-A hasta el intercambiador de calor E-01

Tubería 2: Disolución de amina desde la bomba P-01-B hasta la tubería 1.



Tubería 3: Disolución de amina desde el intercambiador de calor E-01 hasta el absorbedor C-01

Tubería 4: Gas ácido desde compresor CO-01 hasta intercambiador de calor E-01

Tubería 5: Gas ácido desde intercambiador de calor E-01 hasta separador S-01

Tubería 6: Gas ácido desde separador S-01 hasta absorbedor C-01

Para el diseño del sistema de tubería se seguirá la siguiente sistemática:

1. Se estima el diámetro interior de la conducción. Para ello se emplearán las velocidades medias de circulación recomendada para los distintos fluidos en tuberías.

En función de la velocidad elegida y del caudal del fluido se tendrá un diámetro teórico de la tubería, des despejando de la ecuación que a continuación se expone:

$$Q = (v \cdot s)/3600$$

Donde,

Q= Caudal ( $m^3/h$ )

v= Velocidad de circulación en la tubería ( $m/s$ )

s= Sección de la tubería,  $\pi \cdot R^2(m^2)$

2. El diámetro interior hallado no es el definitivo. Se empleará como referencia para determinar el diámetro exterior de la conducción en estudio. Para ello se empleará una tabla [Robert H. Perry, 1984] que muestra los diferentes diámetros nominales existentes para las conducciones comerciales de manera que a cada uno de ellos le corresponde un único diámetro exterior. Se seleccionará como diámetro exterior al comercial inmediatamente superior al diámetro interior, salvo que ambos diámetros estén muy próximos entre sí, en cuyo caso se seleccionará el siguiente. Este diámetro será el diámetro externo definitivo de la tubería.

3. Se determinará el espesor. El cálculo del espesor de pared requerido por presión se realiza teniendo en cuenta el Código ASME B31.3. En dicho código se encuentra la siguiente expresión:

$$t = \frac{P D_o}{2 (SE + PY)} + C$$

Donde:

t= espesor del tubo requerido por presión en pulgadas.

P= presión de diseño (psi). Es normal añadir aproximadamente el 10% sobre el máximo anticipado.

Do= diámetro externo de la tubería en pulgadas.

S= coeficiente básico de trabajo o tensión admisible del material a la temperatura de diseño. Se ha tomado un valor de 15000 psi.

E= es el Joint efficiency o quality factor, factor de eficiencia de la soldadura (en tuberías soldadas) o factor de calidad. Este valor viene indicado para cada tipo de tubería. Para las tuberías necesarias se toma E= 1.

SE, es el máximo coeficiente de trabajo que el código permite para la tensión circunferencial debido a presión interna.

Y= es el coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura, sus valores vienen dados en la norma. Para este caso el adecuado es de Y= 0.40.

4. Finalmente, a partir del espesor comercial de la tubería y el diámetro exterior calculado en el punto 2 quedarán asignado el diámetro interno, pudiendo calcular la velocidad real que llevará el fluido mediante la siguiente expresión.

$$V = \frac{Q \cdot 3600}{\pi \cdot D^2}$$

Tubería N° 1: Disolución de amina desde la bomba P-01-A hasta el intercambiador de calor E-01.

## 1) Diámetro interior inicial.

Para estimar el diámetro de la disolución de amina, se tomará la velocidad de las mismas como la correspondiente a la velocidad recomendada para el agua en servicios normales, es decir, de 1,8 a 2 m/s.

$$D_i = \left( \frac{4 \cdot 5,9981 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot 1,5 \text{ m/s}} \right)^{1/2} = 0,037 \text{ m} = 1,48 \text{ in}$$

## 2) Diámetro exterior

Acudiendo a la tabla sobre propiedades en tubería de acero [Robert H. Perry, 1984]

$$0,037 \text{ m} = 1,48 \text{ in} \longrightarrow D_{o1} = 1,9 \text{ in} = 0,04826 \text{ m}$$

## 3) Espesor.

El material seleccionado para esta conducción es de acero al carbono, y como ya se comentó anteriormente  $S = 15000 \text{ psi}$ .

$$T_{\min} = \left( \frac{28,919 \text{ psi} \cdot 1,9 \text{ in}}{2 \cdot (1500 \text{ psi} + 28,919 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,2362 \right) \cdot \frac{1}{1 - (12,5 / 100)} = 0,272 \text{ in}$$

Acudiendo a la tabla de propiedades en tuberías de acero [Robert H. Perry, 1984]:

$$\text{Schedule n}^\circ: 160 \rightarrow t_{\text{comercial}} = 0,344 \text{ in} = 8,74 \text{ mm}$$

## 4) Diámetro interior y velocidad.

$$D_i = 1,338 \text{ in} = 0,03398 \text{ m}$$

$$V = \frac{5,9981 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot \pi \cdot (0,01699 \text{ m})^2} = 1,84 \text{ m/s}$$

Tubería N° 2: Disolución de amina desde la bomba P-01-B hasta la tubería 1.

1) Diámetro interior inicial.

Para estimar el diámetro de la disolución de amina, se tomará la velocidad de las mismas como la correspondiente a la velocidad recomendada para el agua en servicios normales, es decir, de 1,8 a 2 m/s.

$$D_i = \left( \frac{4 \cdot 5,9981 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot 1,5 \text{ m/s}} \right)^{1/2} = 0,037 \text{ m} = 1,48 \text{ in}$$

2) Diámetro exterior

Acudiendo a la tabla sobre propiedades en tubería de acero [Robert H. Perry, 1984]

$$0,037 \text{ m} = 1,48 \text{ in} \longrightarrow D_{o1} = 1,9 \text{ in} = 0,04826 \text{ m}$$

3) Espesor.

El material seleccionado para esta conducción es de acero al carbono, y como ya se comentó anteriormente  $S = 15000 \text{ psi}$ .

$$T_{\min} = \left( \frac{28,919 \text{ psi} \cdot 1,9 \text{ in}}{2 \cdot (1500 \text{ psi} + 28,919 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,2362 \right) \cdot \frac{1}{1 - (12,5 / 100)} = 0,272$$

Acudiendo a la tabla de propiedades en tuberías de acero [Robert H. Perry, 1984]:

$$\text{Schedule n}^\circ: 160 \rightarrow t_{\text{comercial}} = 0,344 \text{ in} = 8,74 \text{ mm}$$

4) Diámetro interior y velocidad.

$$D_i = 1,338 \text{ in} = 0,03398 \text{ m}$$

$$V = \frac{5,9981 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot \pi \cdot (0,01699 \text{ m})^2} = 1,84 \text{ m/s}$$

Tubería Nº 3: Disolución de amina desde el intercambiador de calor E-01 hasta el absorbedor C-01.

1) Diámetro interior inicial.

Para estimar el diámetro de la disolución de amina, se tomará la velocidad de las mismas como la correspondiente a la velocidad recomendada para el agua en servicios normales, es decir, de 1,8 a 2 m/s.

$$D_i = \left( \frac{4 \cdot 5,9981 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot 1,5 \text{ m/s}} \right)^{1/2} = 0,037 \text{ m} = 1,48 \text{ in}$$

2) Diámetro exterior

Acudiendo a la tabla sobre propiedades en tubería de acero [Robert H. Perry, 1984]

$$0,037 \text{ m} = 1,48 \text{ in} \longrightarrow D_{o1} = 1,9 \text{ in} = 0,04826 \text{ m}$$

3) Espesor.

El material seleccionado para esta conducción es de acero al carbono, y como ya se comentó anteriormente  $S = 15000 \text{ psi}$ .

$$T_{\min} = \left( \frac{28,919 \text{ psi} \cdot 1,9 \text{ in}}{2 \cdot (1500 \text{ psi} + 28,919 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,2362 \right) \cdot \frac{1}{1 - (12,5 / 100)} = 0,272$$

Acudiendo a la tabla de propiedades en tuberías de acero [Robert H. Perry, 1984]:

$$\text{Schedule nº: 160} \rightarrow t_{\text{comercial}} = 0,344 \text{ in} = 8,74 \text{ mm}$$

4) Diámetro interior y velocidad.

$$D_i = 1,338 \text{ in} = 0,03398 \text{ m}$$

$$V = \frac{5,9981 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot \pi \cdot (0,01699 \text{ m})^2} = 1,84 \text{ m/s}$$

Tubería N° 4: Gas ácido desde compresor CO-01 hasta intercambiador de calor E-01.

### 1) Diámetro interior inicial.

Para estimar el diámetro de la disolución de amina, se tomará la velocidad de las mismas como la correspondiente a la velocidad recomendada para el agua en servicios normales, es decir, de 1,5 m/s.

$$D_i = \left( \frac{4 \cdot 0,88 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot 1,5 \text{ m/s}} \right)^{1/2} = 0,025 \text{ m} = 0,984 \text{ in}$$

### 2) Diámetro exterior

Acudiendo a la tabla sobre propiedades en tubería de acero [Robert H. Perry, 1984]

$$0,025 \text{ m} = 0,984 \text{ in} \longrightarrow D_{oi} = 1,660 \text{ in} = 0,042164 \text{ m}$$

### 3) Espesor.

El material seleccionado para esta conducción es de acero al carbono, y como ya se comentó anteriormente  $S = 15000 \text{ psi}$ .

$$T_{\min} = \left( \frac{17,398 \text{ psi} \cdot 1,660 \text{ in}}{2 \cdot (15000 \text{ psi} + 17,398 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,2362 \right) \cdot \frac{1}{1 - (12,5 / 100)} = 0,207 \text{ in}$$

Acudiendo a la tabla de propiedades en tuberías de acero [Robert H. Perry, 1984]:

$$\text{Schedule n}^\circ: 160 \rightarrow t_{\text{comercial}} = 0,250 \text{ in} = 6,37 \text{ mm}$$

### 4) Diámetro interior y velocidad.

$$D_i = 1,160 \text{ in} = 0,029464 \text{ m}$$

$$V = \frac{0,88 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot \pi \cdot (0,01473 \text{ m})^2} = 0,36 \text{ m/s}$$

Tubería N° 5: Gas ácido desde intercambiador de calor E-01 hasta separador S-01

1) Diámetro interior inicial.

Para estimar el diámetro de la disolución de amina, se tomará la velocidad de las mismas como la correspondiente a la velocidad recomendada para el agua en servicios normales, es decir, de 1,5 m/s.

$$D_i = \left( \frac{4 \cdot 0,88 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot 1,5 \text{ m/s}} \right)^{1/2} = 0,025 \text{ m} = 0,984 \text{ in}$$

2) Diámetro exterior

Acudiendo a la tabla sobre propiedades en tubería de acero [Robert H. Perry, 1984]

$$0,025 \text{ m} = 0,984 \text{ in} \longrightarrow D_{oi} = 1,660 \text{ in} = 0,042164 \text{ m}$$

3) Espesor.

El material seleccionado para esta conducción es de acero al carbono, y como ya se comentó anteriormente  $S = 15000 \text{ psi}$ .

$$T_{\min} = \left( \frac{17,398 \text{ psi} \cdot 1,660 \text{ in}}{2 \cdot (15000 \text{ psi} + 17,398 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,2362 \right) \cdot \frac{1}{1 - (12,5/100)} = 0,207 \text{ in}$$

Acudiendo a la tabla de propiedades en tuberías de acero [Robert H. Perry, 1984]:

$$\text{Schedule n}^\circ: 160 \rightarrow t_{\text{comercial}} = 0,250 \text{ in} = 6,37 \text{ mm}$$

4) Diámetro interior y velocidad.

$$D_i = 1,160 \text{ in} = 0,029464 \text{ m}$$

$$V = \frac{0,88 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot \pi \cdot (0,01473 \text{ m})^2} = 0,36 \text{ m/s}$$

Tubería N° 6: Gas ácido desde separador S-01 hasta absorbedor C-01

1) Diámetro interior inicial.

Para estimar el diámetro de la disolución de amina, se tomará la velocidad de las mismas como la correspondiente a la velocidad recomendada para el agua en servicios normales, es decir, de 1,5 m/s.

$$D_i = \left( \frac{4 \cdot 0,88 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot 1,5 \text{ m/s}} \right)^{1/2} = 0,025 \text{ m} = 0,984 \text{ in}$$

2) Diámetro exterior

Acudiendo a la tabla sobre propiedades en tubería de acero [Robert H. Perry, 1984]

$$0,025 \text{ m} = 0,984 \text{ in} \longrightarrow D_{oi} = 1,660 \text{ in} = 0,042164 \text{ m}$$

3) Espesor.

El material seleccionado para esta conducción es de acero al carbono, y como ya se comentó anteriormente  $S = 15000 \text{ psi}$ .

$$T_{\min} = \left( \frac{17,398 \text{ psi} \cdot 1,660 \text{ in}}{2 \cdot (15000 \text{ psi} + 17,398 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,2362 \right) \cdot \frac{1}{1 - (12,5 / 100)} = 0,207 \text{ in}$$

Acudiendo a la tabla de propiedades en tuberías de acero [Robert H. Perry, 1984]:

$$\text{Schedule n}^\circ: 160 \rightarrow t_{\text{comercial}} = 0,250 \text{ in} = 6,37 \text{ mm}$$



4) Diámetro interior y velocidad.

$$D_1 = 1,160 \text{ in} = 0,029464 \text{ m}$$

$$V = \frac{0,88 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \cdot \pi \cdot (0,01473 \text{ m})^2} = 0,36 \text{ m/s}$$

◇ Determinación de la pérdida de carga en tuberías.

La pérdida de carga en tuberías se calcula mediante la expresión:

$$hf = f \cdot \frac{L v^2}{2 D g}$$

En la siguiente tabla se recoge el modo de obtener el factor de fricción o factor de fanning (f):

Para flujo Laminar (Re < 2000)	Ecuación de Poseuille  $f = \frac{64}{Re}$
Para flujo Turbulento (Re > 2000)	Ecuación de Colebrook y White (buena aproximación para evitar iteración)  $f = \frac{0,25}{[\log (0,27027 \frac{e}{D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}})]^2}$ e, la rugosidad del material para tuberías de acero al carbono, se encuentra en la bibliografía y es de e= 0.00015.

Número de Reynolds.

Es una ecuación adimensional que indica el grado de turbulencia del movimiento de un fluido.

$$Re = \frac{D v}{\nu} = \frac{D v d}{g \mu}$$

Donde:

- D = diámetro interno de la tubería (m)
- V = velocidad de flujo (m/s)
- $\mu$  = viscosidad dinámica (Ns/ m<sup>2</sup>)
- g = aceleración de la gravedad (m<sup>2</sup>/s)
- $\nu$  = viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)
- d = densidad del fluido (kg/ m<sup>3</sup>)

Tubería 1: Disolución de amina desde la bomba P-01-A hasta el intercambiador de calor E-01

1) Número de Reynolds

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{g \cdot \mu} = \frac{0,0508 \text{ (m)} \cdot 1,84 \text{ (m/s)} \cdot 1017,4 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{g \cdot 0,012175 \text{ (Pa.s)}} = 7810,96$$

2) Factor de fricción.

$$f \text{ (Re} > 2000\text{)} = 0,0374$$

3) Finalmente se calcula la pérdida de carga en la tubería.

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,0374 \cdot \frac{37 \text{ (m)}}{0,0508 \text{ (m)}} \cdot \frac{1,84^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} = 4,705 \text{ m}$$

Tubería 2: Disolución de amina desde la bomba P-01-B hasta la tubería 1.

1) Número de Reynolds

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{g \cdot \mu} = \frac{0,0508 \text{ (m)} \cdot 1,84 \text{ (m/s)} \cdot 1017,4 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{g \cdot 0,012175 \text{ (Pa.s)}} = 7810,96$$

2) Factor de fricción.

$$f \text{ (Re} > 2000\text{)} = 0,0906$$

3) Finalmente se calcula la pérdida de carga en la tubería.

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,0906 \cdot \frac{3 \text{ (m)}}{0,0508 \text{ (m)}} \cdot \frac{1,84^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2)} = 0,9229 \text{ m}$$

Tubería 3: Disolución de amina desde el intercambiador de calor E-01 hasta el absorbedor C-01

1) Número de Reynolds

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{g \cdot \mu} = \frac{0,0508 \text{ (m)} \cdot 1,84 \text{ (m/s)} \cdot 1010,8 \text{ (kg/m}^3)}{g \cdot 0,008616 \text{ (Pa.s)}} = 10964,44$$

2) Factor de fricción.

$$f \text{ (Re} > 2000) = 0,0350$$

3) Finalmente se calcula la pérdida de carga en la tubería.

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,0350 \cdot \frac{25 \text{ (m)}}{0,0508 \text{ (m)}} \cdot \frac{1,84^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2)} = 2,9722 \text{ m}$$

Tubería 4: Gas ácido desde compresor CO-01 hasta intercambiador de calor E-01

1) Número de Reynolds

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{g \cdot \mu} = \frac{0,04 \text{ (m)} \cdot 0,36 \text{ (m/s)} \cdot 1,35 \text{ (kg/m}^3)}{g \cdot 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ (Pa.s)}} = 1615,70$$

2) Factor de fricción.

$$f \text{ (Re} < 2000) = 0,0396$$

3) Finalmente se calcula la pérdida de carga en la tubería.

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,0396 \cdot \frac{42,5 \text{ (m)}}{0,0508 \text{ (m)}} \cdot \frac{0,36^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2)} = 0,2919 \text{ m}$$

$$D \quad 2 \cdot g \quad 0,04 \text{ (m)} \quad 2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Tubería 5: Gas ácido desde intercambiador de calor E-01 hasta separador S-01

1) Número de Reynolds

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{g \cdot \mu} = \frac{0,04 \text{ (m)} \cdot 0,36 \text{ (m/s)} \cdot 1,4543 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{g \cdot 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ (Pa.s)}} = 1738,32$$

2) Factor de fricción.

$$f \text{ (Re} < 2000\text{)} = 0,0368$$

3) Finalmente se calcula la pérdida de carga en la tubería.

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,0368 \cdot \frac{15 \text{ (m)}}{0,04 \text{ (m)}} \cdot \frac{0,36^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} = 0,0989 \text{ m}$$

Tubería 6: Gas ácido desde separador S-01 hasta absorbedor C-01

1) Número de Reynolds

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{g \cdot \mu} = \frac{0,04 \text{ (m)} \cdot 0,36 \text{ (m/s)} \cdot 1,4543 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{g \cdot 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ (Pa.s)}} = 1738,32$$

2) Factor de fricción.

$$f \text{ (Re} < 2000\text{)} = 0,0368$$

3) Finalmente se calcula la pérdida de carga en la tubería.

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,0368 \cdot \frac{3,75 \text{ (m)}}{0,04 \text{ (m)}} \cdot \frac{0,36^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} = 0,0239 \text{ m}$$

◇ Determinación de la pérdida de carga en accesorios.

Existen dos métodos que posibilitan el cálculo de la pérdida de carga en los diferentes accesorios de las líneas.

- Por medio de la longitud equivalente ( $L_e$ ) de tubería. Se entiende por longitud equivalente a la longitud de tubería recta que produciría la misma caída de presión que un accesorio si lo reemplazara por este. Este método se basa en estimar el valor de  $L_e$ , utilizando tablas que relacionan el diámetro interior del tubo con el accesorio del que se trate, se obtiene la pérdida de carga expresada en longitud equivalente.
- Por medio del coeficiente de resistencia ( $K$ ) o método de las cargas de velocidad. Consiste en asignar a cada accesorio un valor de  $K$  tal que al multiplicarlo por la carga de velocidad circulante por la tubería sea igual a la pérdida de carga debida al accesorio. Luego se suman todos los valores para el conjunto de accesorios presentes en cada tubería.

La carga de velocidad se define como la energía cinética por unidad de masa circulante, es decir.

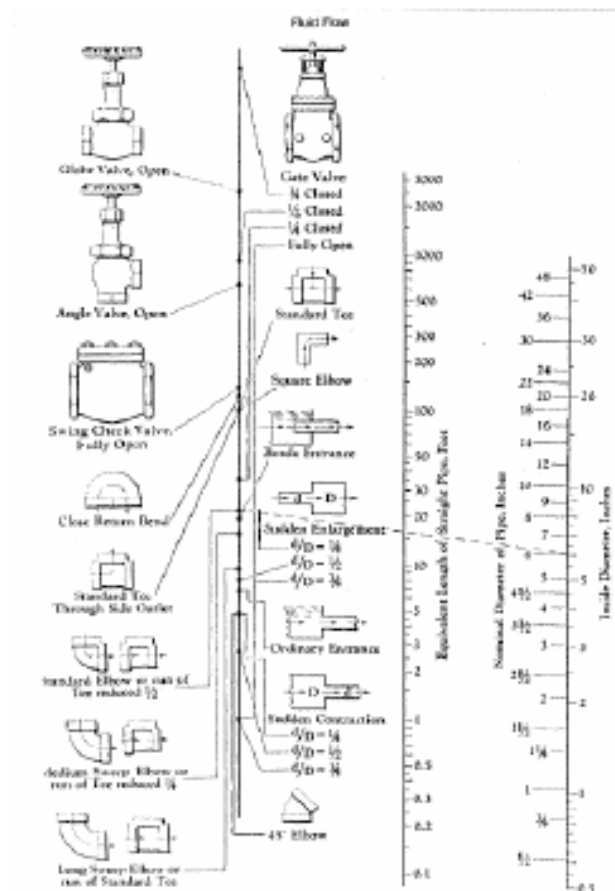
$$h_{fa} = K \frac{v^2}{2g}$$

Al igual que para el caso de la longitud equivalente, el valor de  $K$  se puede obtener empleando tablas presentes en la bibliografía donde se requiere el diámetro del tubo y el tipo de accesorio, obteniéndose el coeficiente de resistencia para los diferentes accesorios empleados.

Para obtener la pérdida de carga en los accesorios, se utiliza el método de cálculo de la longitud equivalente de tubería, dicho valor se estima utilizando la siguiente tabla, en la que se obtiene los valores aproximados, ya que el valor específico variará con el tipo de accesorio, las dimensiones geométricas reales y el sistema de construcción. En particular, esta tabla se emplea para diámetros superiores a 2 pulgadas (5,08 cm), además debe de tenerse en cuenta que dichos valores son empíricos.

$\phi$ interior del tubo en pulgadas Accesorios	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Codo de 90°	4-5	6-7	9-10	12-14	18	21	26	31	35	40	45	62
Codo largo de 90°	2.5-4	5	6-7	9-11	12-14	16-17	20	23	27	30	34	40
Codo de 45°	2.5	3.5	4.5	7.5	10	12.5	15	17	19	21	23	28
Codo largo de 45°	1.5	2	2.7	4	5	6	7	9	10	12	14	16
Curva de 180°				36	36	60	75					
Curva de 90°, soldadas 0.5	7	10	12	19	25	32	38	44	50	56		
Curva de 90°, Soldadas 1.0	3	5	6	8	11	14	17	20	23	26		
Curva de 90°, Soldadas 1.5	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18		
Curva de 90°, Soldadas 2.0	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16		
Curva de 90°, Soldadas 3.0	1	1.5	2.5	4	6	7	9	11	13	15		
Tes	10	15	20	32	41	55	65	75	85	100	115	130
Válvula de compuerta abierta	1.25	1.7	2.3	3.5	4.5	6	7	8	9	10	12	14
Válvula de compuerta cerrada $\frac{1}{4}$	7	10	13	19	26	33	40					
Válvula de compuerta cerrada $\frac{1}{2}$	33	50	70	100	130	160	190					
Válvula de compuerta cerrada $\frac{3}{4}$	140	200	28'	400	540	700	800					
Válvula de globo	56	80	107	160	215	270	320	375	430	480	540	640
Válvula de retención	13	20	27	40	53	67	80	93	107	120	135	160
Válvula de pie	4	6	8	12	16	20	24	28	32	36	40	48
Entrada típica	3	4.5	6	9	12	15	18	21	24	27	30	35

Cuando la pérdida de carga se produce en accesorio con diámetro menor a dos pulgadas, se determina con la gráfica que a continuación se expone.



◇ Determinación de la pérdida de carga total.

La pérdida de carga total será la resultante de sumar la pérdida de carga en las tuberías y la producida en los accesorios que se encuentran en dicha tubería (para mayor información es necesario ver las isométricas existente de las tuberías en los planos del proyecto).

$$h_f(\text{total}) = h_f + h_{fa}$$

Los resultados se muestran a continuación:

<b>Nombre</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Espesor</b>	<b><math>\Delta P</math> Accesorios (m)</b>	<b><math>\Delta P</math> Total (m)</b>
Tubería 1	2"	0,344 in	29,3	34,005
Tubería 2	2"	0,344 in	2,3	3,223
Tubería 3	2"	0,344 in	73,5	76,472
Tubería 4	1 ¼ "	0,250 in	24,25	24,542
Tubería 5	1 ¼ "	0,250 in	87,25	87,357
Tubería 6	1 ¼ "	0,250 in	21,6	21,624

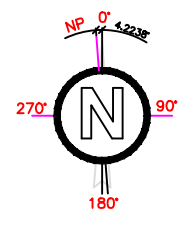


**DOCUMENTO N° 3:**

**PLANOS**

## ÍNDICE DE LOS PLANOS

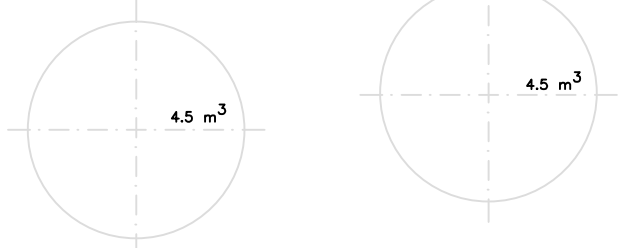
1. PLANO DE IMPLANTACIÓN.
  2. P&ID.
  3. PLANO CONSTRUCTIVO DEL ABSORBEDOR C-01.
  4. PLANO CONSTRUCTIVO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR E-01.
  5. PLANO CONSTRUCTIVO DEL SEPARADOR GAS-LÍQUIDO S-01.
  6. PLANO CONSTRUCTIVO DE BOMBAS P-01-A/B.
  7. ISOMÉTRICO ASPIRACIÓN BOMBAS P-01-A/B.
  8. ISOMÉTRICO IMPULSIÓN BOMBAS P-01-A/B.
  9. ISOMÉTRICO DESDE INTERCAMBIADOR DE CALOR A ABSORBEDOR.
  10. ISOMÉTRICO IMPULSIÓN COMPRESOR.
  11. ISOMÉTRICO DESDE INTERCAMBIADOR DE CALOR A SEPARADOR.
  12. ISOMÉTRICO DESDE SEPARADOR A ABSORBEDOR.
- Anexo
13. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.
  14. DIAGRAMA DE FLUJO.
  15. SIMBOLOGÍA.



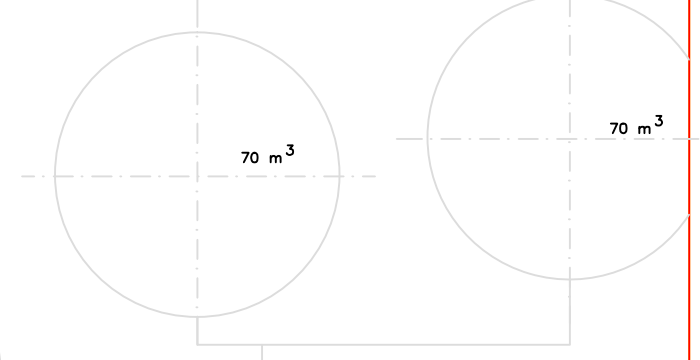
CASETA OPERADORES

TREN DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

TANQUES PREPARACIÓN DISOLUCIÓN DE AMINA



TANQUES ALMACENAMIENTO DE DISOLUCIÓN DE AMINA

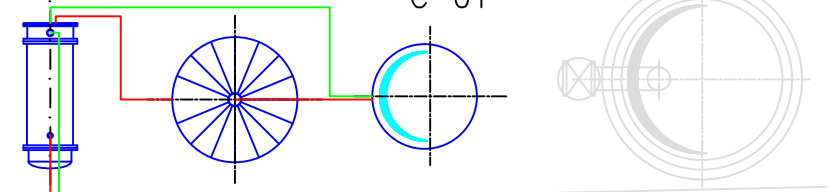


INTERCAMBIADOR DE CALOR E-01

SEPARADOR S-01

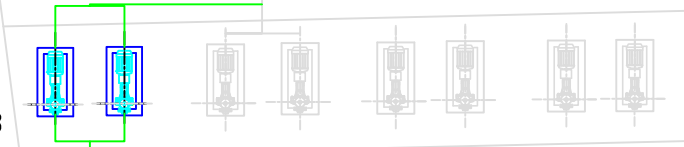
ABSORBEDOR C-01

COLUMNA DE VACIO



BOMBAS P-01-A/B

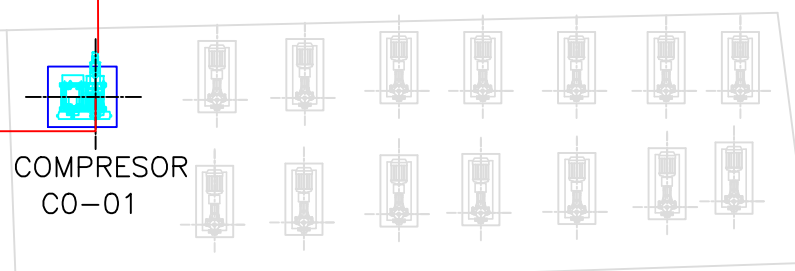
ZONA DE BOMBEO



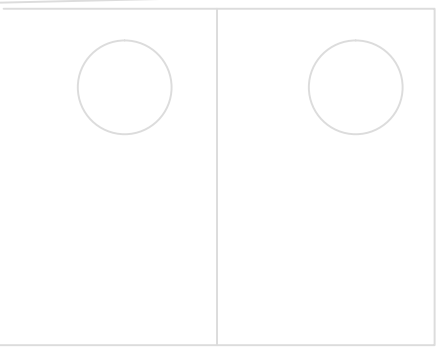
RACK DE TUBERÍAS

COMPRESOR CO-01

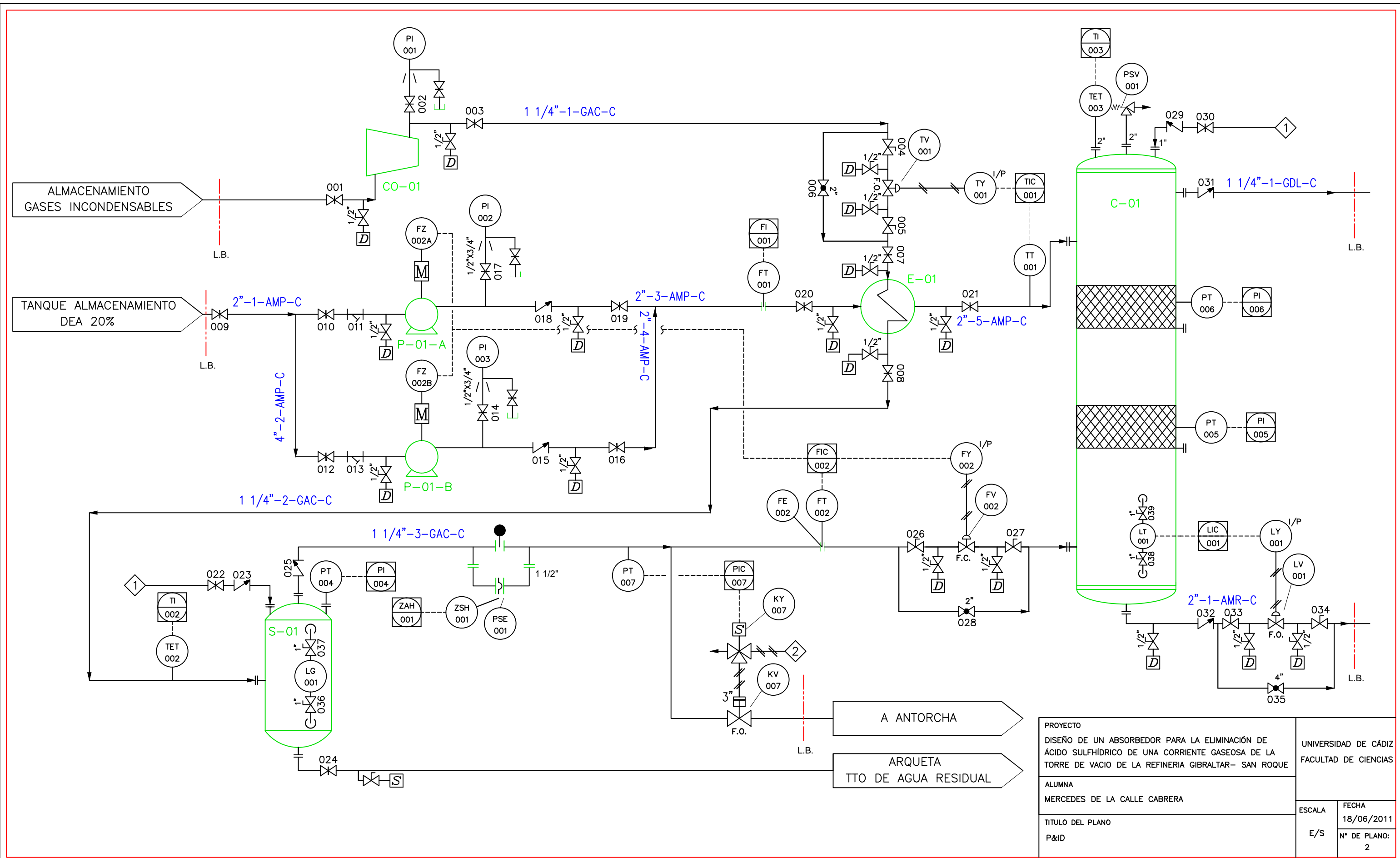
ZONA DE BOMBEO



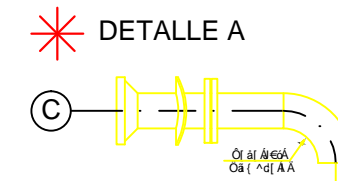
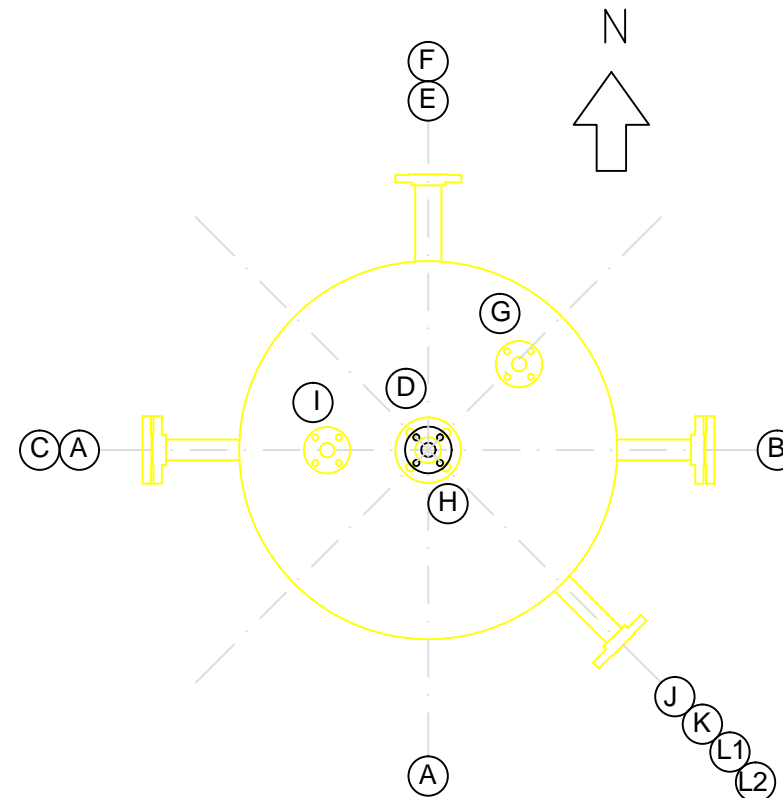
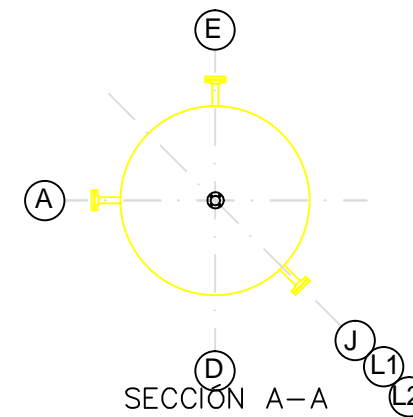
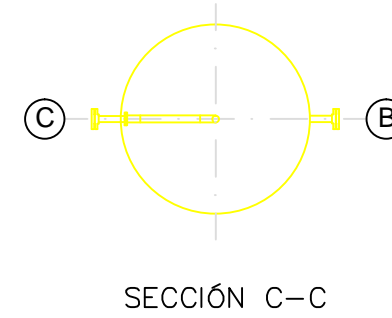
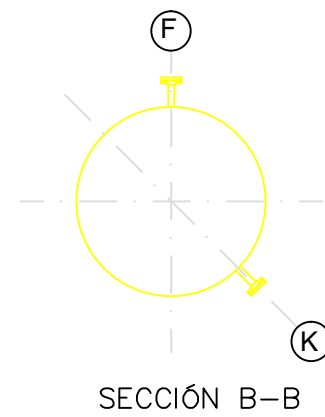
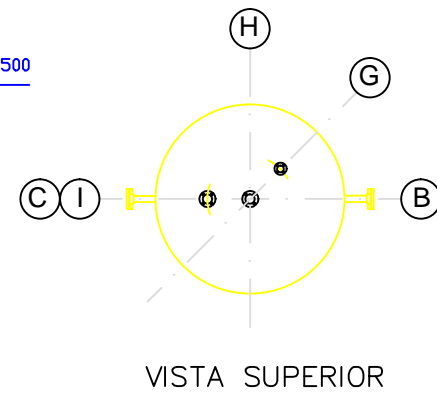
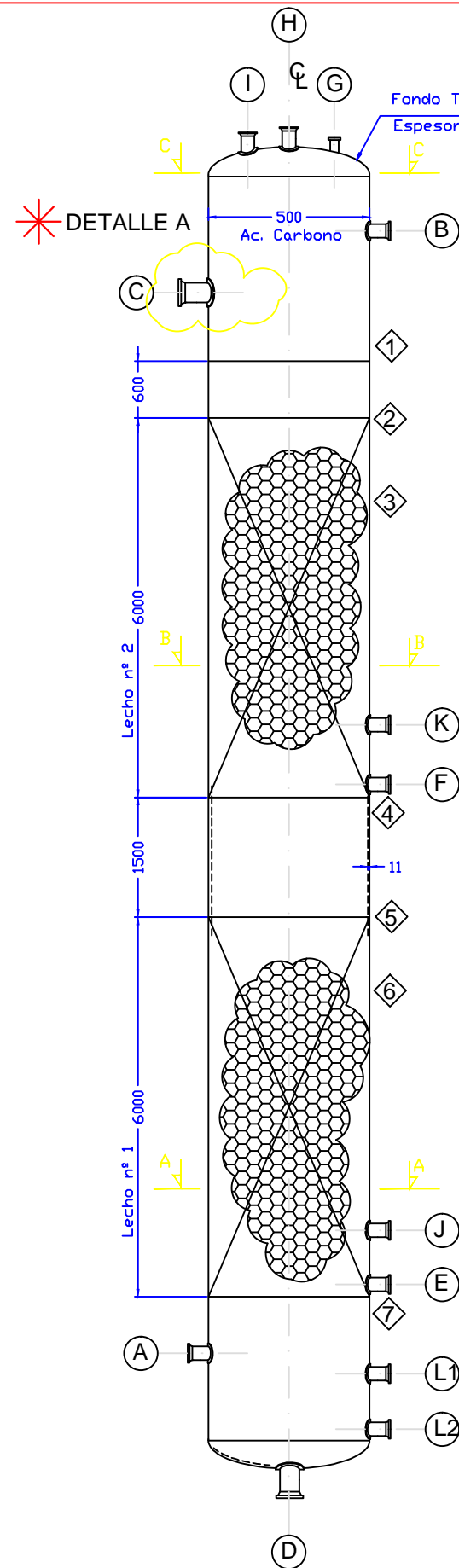
HORNOS



PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACIO DE LA REFINERIA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		ESCALA 1/100	FECHA 18/06/2011
TITULO DEL PLANO PLANO DE IMPLANTACIÓN		N° DE PLANO: 1	



PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚDRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACIO DE LA REFINERIA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		ESCALA E/S	FECHA 18/06/2011 N° DE PLANO: 2
TITULO DEL PLANO P&ID			



### CONEXIONES

MARCA	DESCRIPCIÓN	ELEVACIÓN
A	Entrada gas incondensable	EL.+1000
B	Salida gas incondensable	EL.+16500
C	Entrada disolución de amina	EL.+16000
D	Salida disolución de amina	EL.+0
E	Retirada de relleno lecho número 1	EL.+1500
F	Retirada de relleno lecho número 2	EL.+9000
G	Entrada nitrógeno	EL.+17000
H	Válvula de seguridad	EL.+17000
I	Tubuladura bridada control de temperatura	EL.+17000
J	Tubuladura bridada contro de presión en lecho número 1	EL.+1500
K	Tubuladura bridada control de presión en lecho número 2	EL.+9000
L1/L2	Tubuladura bridada control de nivel	EL.+D, EL.+800

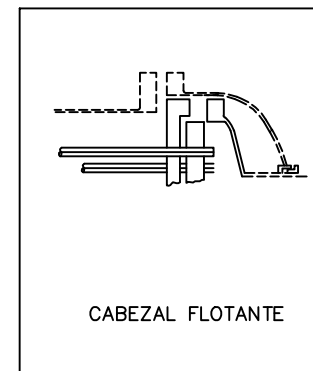
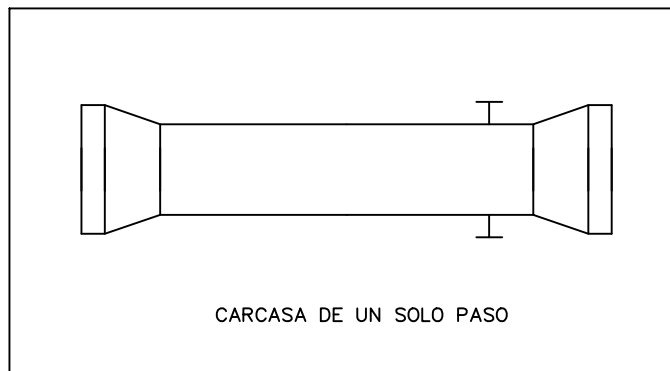
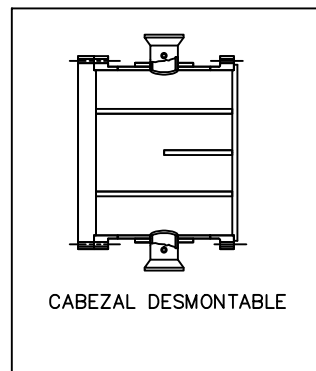
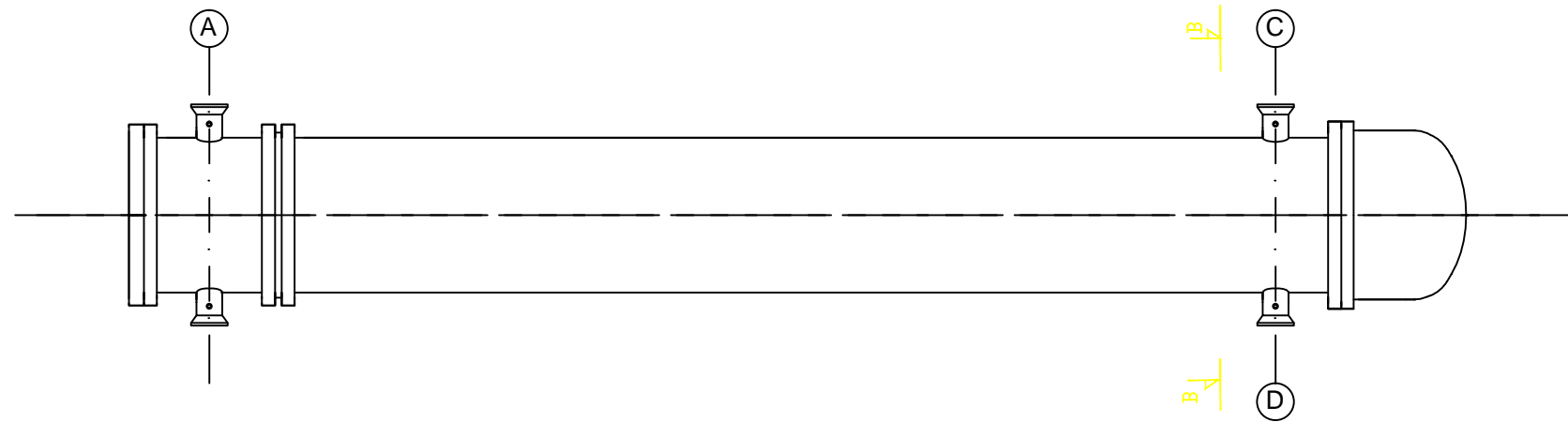
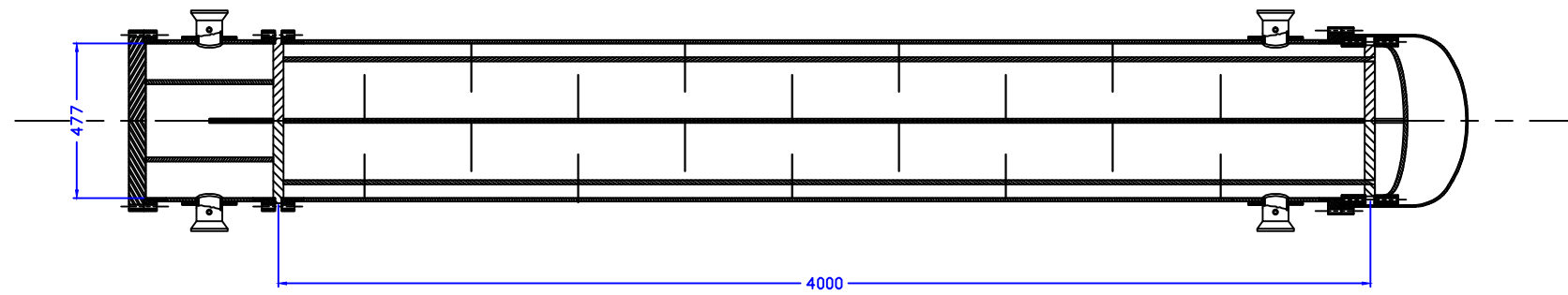
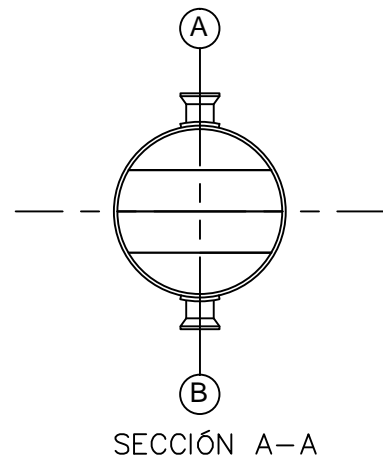
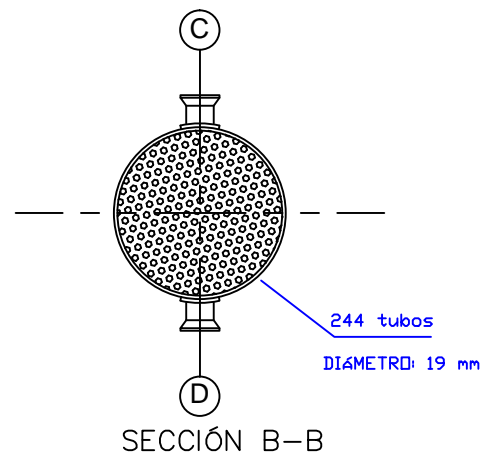
### INTERNOS DE LA COLUMNA

MARCA	DESCRIPCIÓN	ELEVACIÓN
1	Distribuidor de líquido	EL.+15600
2	Plato limitador de lecho número 2	EL.+15000
3	Relleno anillos Pall lecho número 2	EL.+9000
4	Plato soporte de relleno número 2	EL.+9000
5	Plato limitador de lecho número 1	EL.+7500
6	Relleno anillos Pall lecho número 1	EL.+1500
7	Plato soporte de relleno número 1	EL.+1500

### DATOS DE DISEÑO

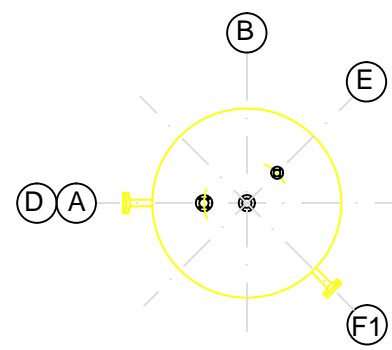
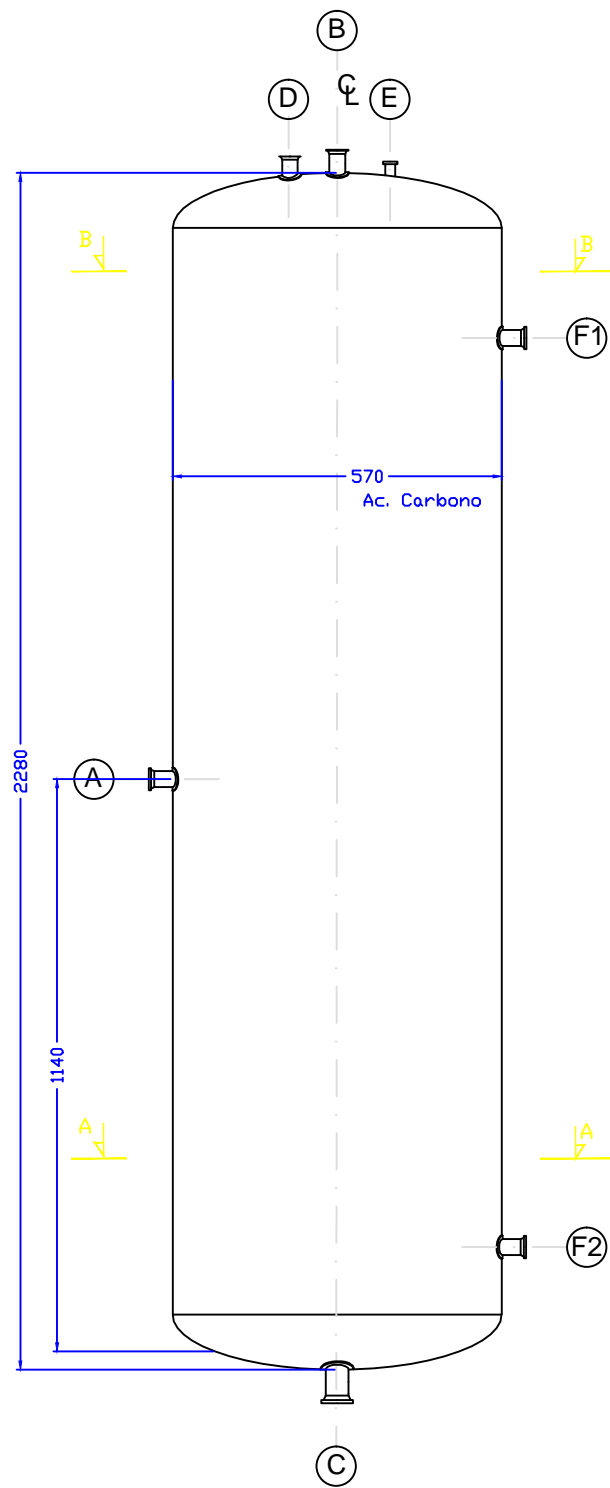
Material	Ac. Carbono	Espesor de corrosión (mm)	6
Relleno	Anillos Pall	Peso Vacío (kg)	4800
Código	ASME VIII Div.1	Tratamiento Térmico	SI
Temperatura Operación (°C)	54,6	Aislamiento	SI
Temperatura diseño (°C)	74,6	Pintura imprimación	SI
Presión operación (Kg/cm <sup>2</sup> )	2,03	Ignifugado Exterior	SI
Presión diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,03	Ignifugado Interior	SI

PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACÍO DE LA REFINERÍA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		
TÍTULO DEL PLANO	PLANO CONSTRUCTIVO. ABSORBEDOR GAS-LÍQUIDO	ESCALA E/S
		FECHA 18/06/2011 N° DE PLANO: 3

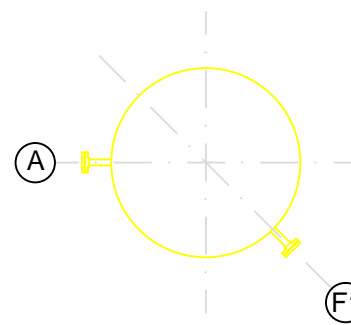


CONEXIONES	
MARCA	DESCRIPCIÓN
A	Entrada de amina pobre
B	Salida de amina pobre
C	Entrada gas incondensable
D	Salida ges incondensable

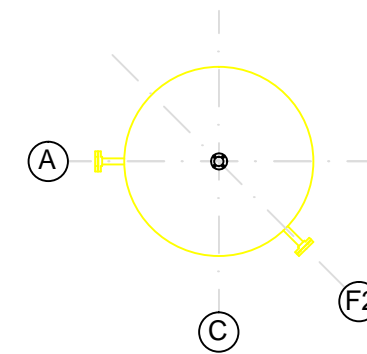
PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACÍO DE LA REFINERÍA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		ESCALA E/S	FECHA 18/06/2011 N° DE PLANO: 4
TÍTULO DEL PLANO PLANO CONSTRUCTIVO. INTERCAMBIADOR DE CALOR			



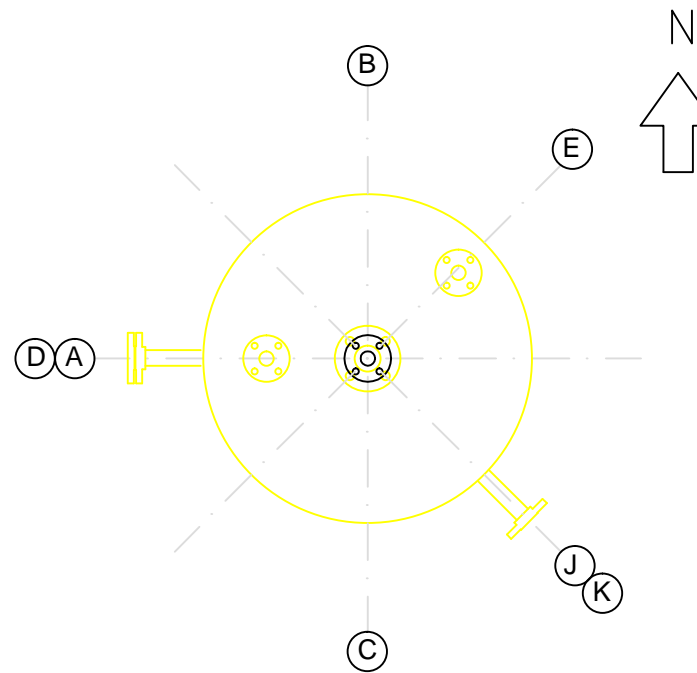
VISTA SUPERIOR



SECCIÓN B-B

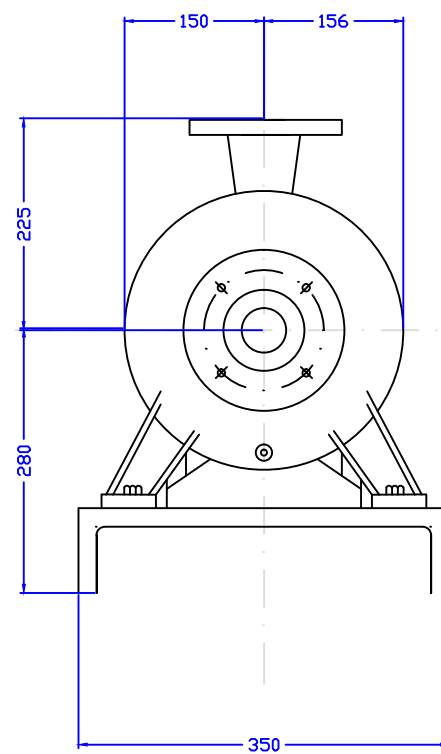
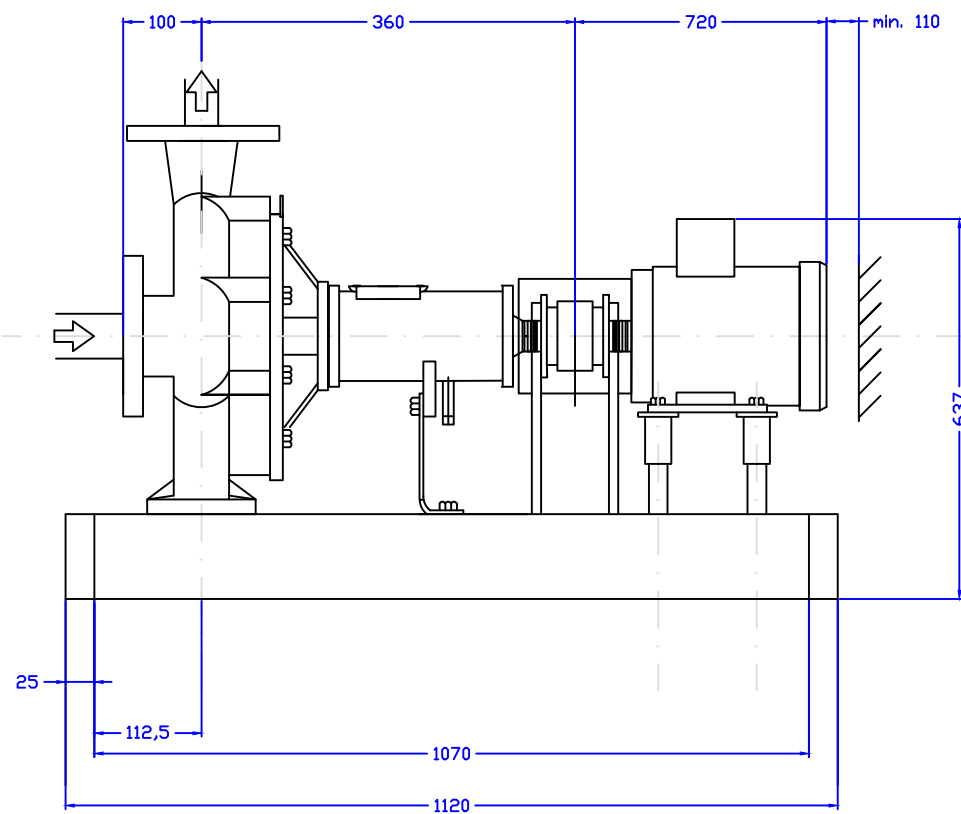


SECCIÓN A-A



CONEXIONES		
MARCA	DESCRIPCIÓN	ELEVACIÓN
A	Entrada gas Incondensable	EL.+1140
B	Salida gas incondensable	EL.+2280
C	Salida a efluente	EL+0
D	Entrada nitrógeno	EL.+2280
E	Tubuladura bridada control de presión	EL.+2280
F1	Tubuladura Nivel visual	EL.+2180
F2	Tubuladura Nivel Visual	EL.+100

PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚDRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACIO DE LA REFINERIA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		ESCALA E/S	FECHA 18/06/2011 N° DE PLANO: 5
TITULO DEL PLANO PLANO CONSTRUCTIVO. SEPARADOR GAS-LÍQUIDO			



#### DATOS DE DISEÑO

FLUIDO	20% DIETANOLAMINA 80% AGUA
CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	5,9981
SOLIDOS (% Peso)	0
ALTURA DE IMPULSIÓN (m)	64,05
PRESIÓN DE ENTRADA/SALIDA (KPa)	119,39
TEMPERATURA DE TRABAJO (°C)	65
DENSIDAD (Kg/cm <sup>3</sup> )	1010,8
PRESIÓN DE VAPOR (mm Hg)	200
NPSH disponible (m)	11,05
POTENCIA DE LA BOMBA (KW)	1,06
TIPO DE RODETE	RODETE RADIAL
DISEÑO	HORIZONTAL
AUTOASPIRANTE	NO
NÚMERO DE FASES	1
RENDIMIENTO (%)	35

PROYECTO  
DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE  
ÁCIDO SULFÚDRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA  
TORRE DE VACIO DE LA REFINERIA GIBRALTAR- SAN ROQUE

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ  
FACULTAD DE CIENCIAS

ALUMNA  
MERCEDES DE LA CALLE CABRERA

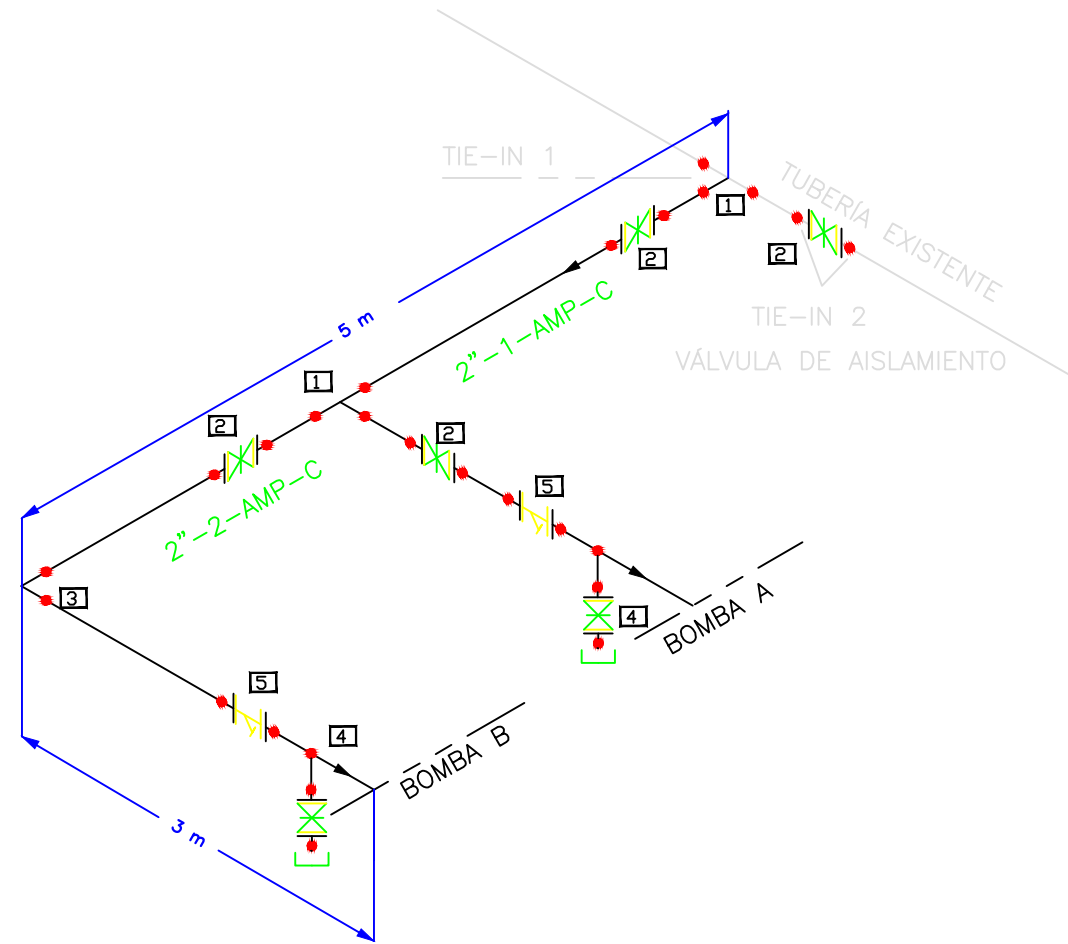
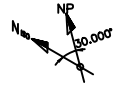
ESCALA  
E/S

FECHA  
18/06/2011

TÍTULO DEL PLANO  
PLANO CONSTRUCTIVO. BOMBAS CENTRIFUGAS

Nº DE PLANO:  
6





**TABLA DETALLE:**

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	TES	2
2	VÁLVULA DE COMPUERTA	4
3	CODO 90°	1
4	DRENAJE	2
5	FILTRO EN Y	2

PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACÍO DE LA REFINERÍA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		ESCALA E/S	FECHA 18/06/2011 N° DE PLANO: 7
TÍTULO DEL PLANO ISOMÉTRICO. ASPIRACIÓN BOMBAS			

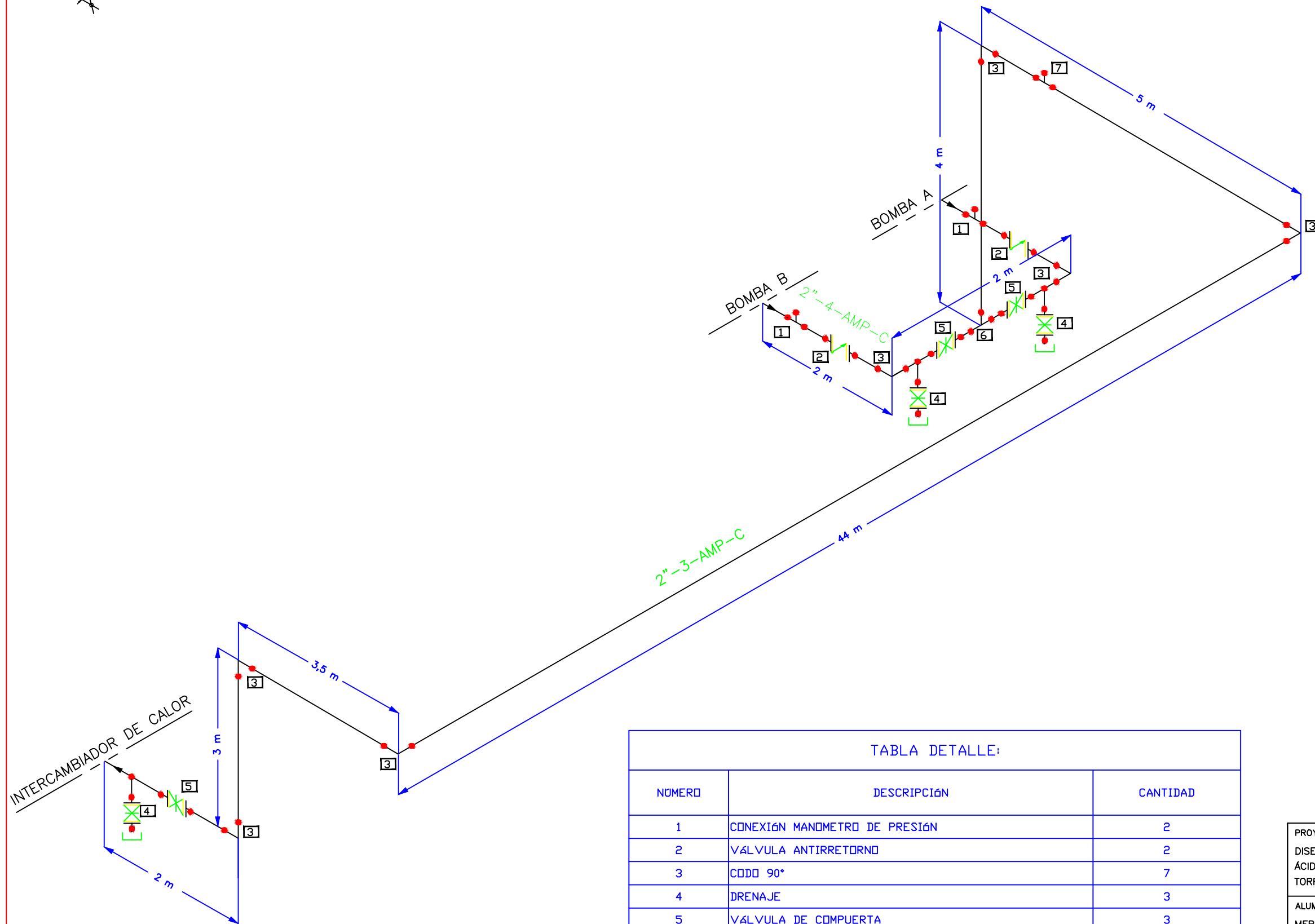


TABLA DETALLE:

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CONEXIÓN MANOMETRO DE PRESIÓN	2
2	VÁLVULA ANTIRRETORNO	2
3	CODO 90°	7
4	DRENAJE	3
5	VÁLVULA DE COMPUERTA	3
6	TES	1
7	CONEXIÓN PLACA DE ORIFICIO	1

PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACIO DE LA REFINERIA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		ESCALA E/S	FECHA 18/06/2011 N° DE PLANO: 8
TITULO DEL PLANO ISOMETRICO. IMPULSIÓN BOMBAS			

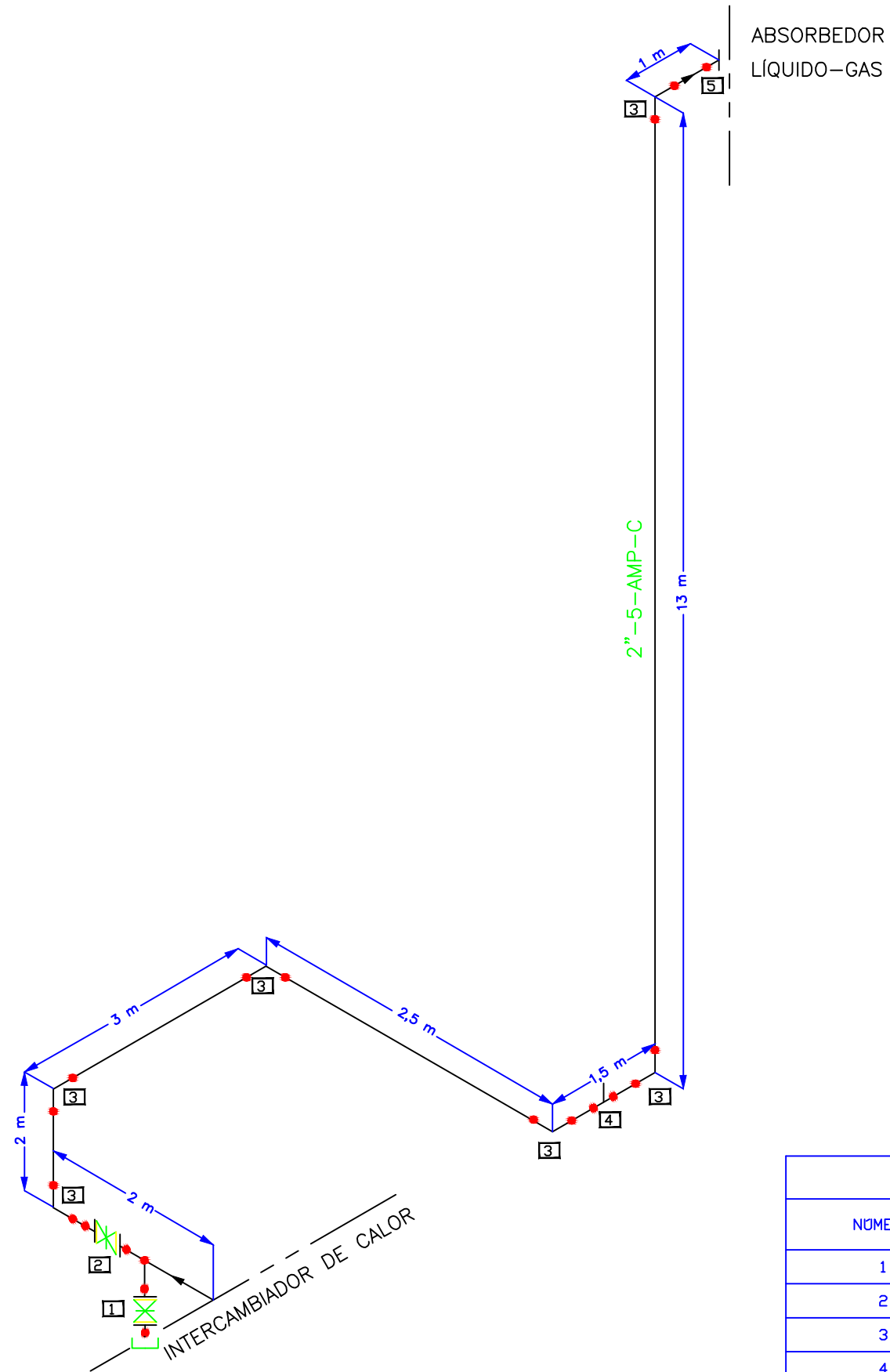


TABLA DETALLE:		
NÚMERO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	DRENAJE	1
2	VÁLVULA DE COMPUERTA	1
3	CODO 90°	6
4	CONEXIÓN TRANSMISOR DE TEMPERATURA	1
5	CONEXIÓN TUBULADURA BRIDADA	1

PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACIO DE LA REFINERIA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		ESCALA E/S	FECHA 18/06/2011 N° DE PLANO: 9
TÍTULO DEL PLANO ISOMETRICO. DESDE SALIDA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR A ENTRADA ABSORBEDOR GAS- LÍQUIDO			

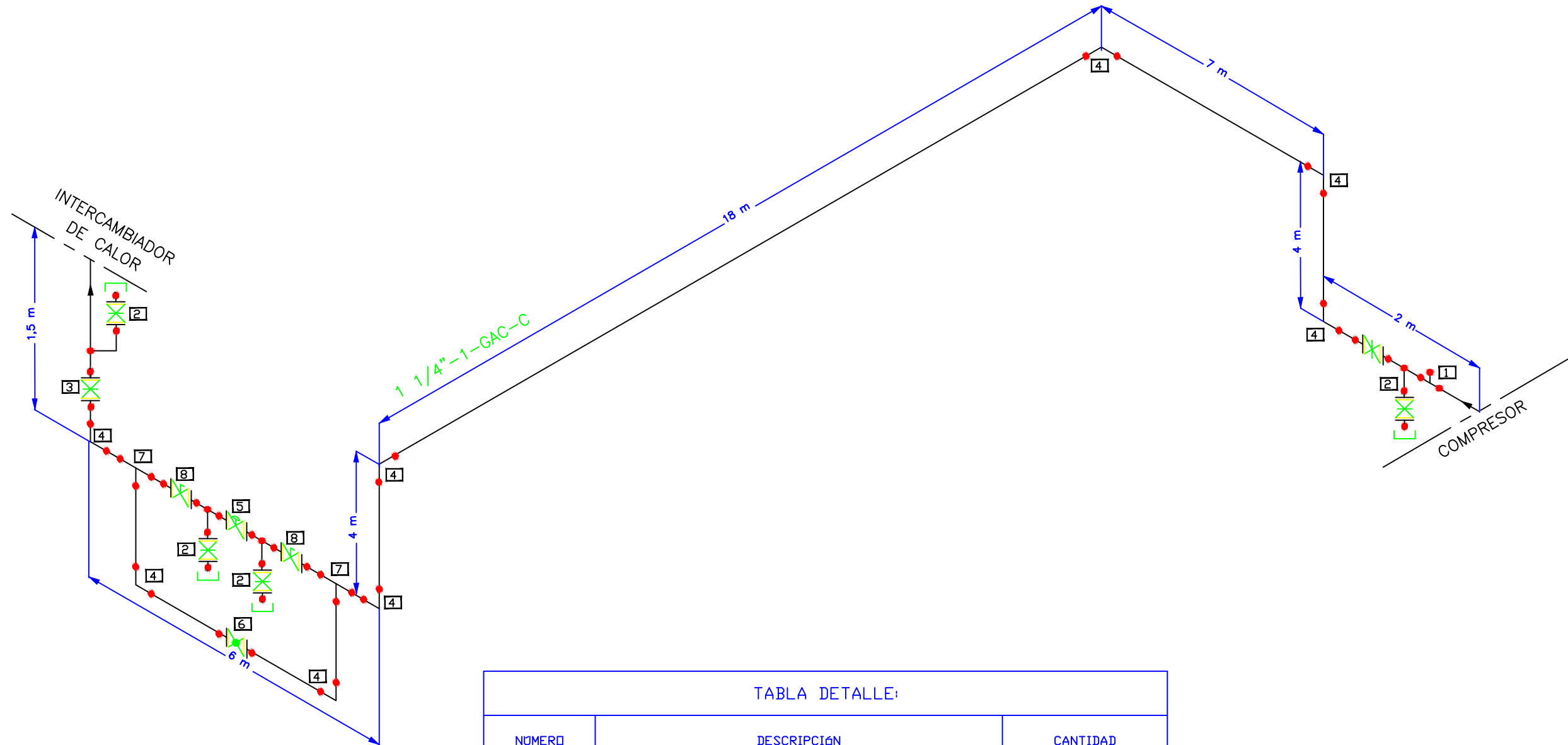
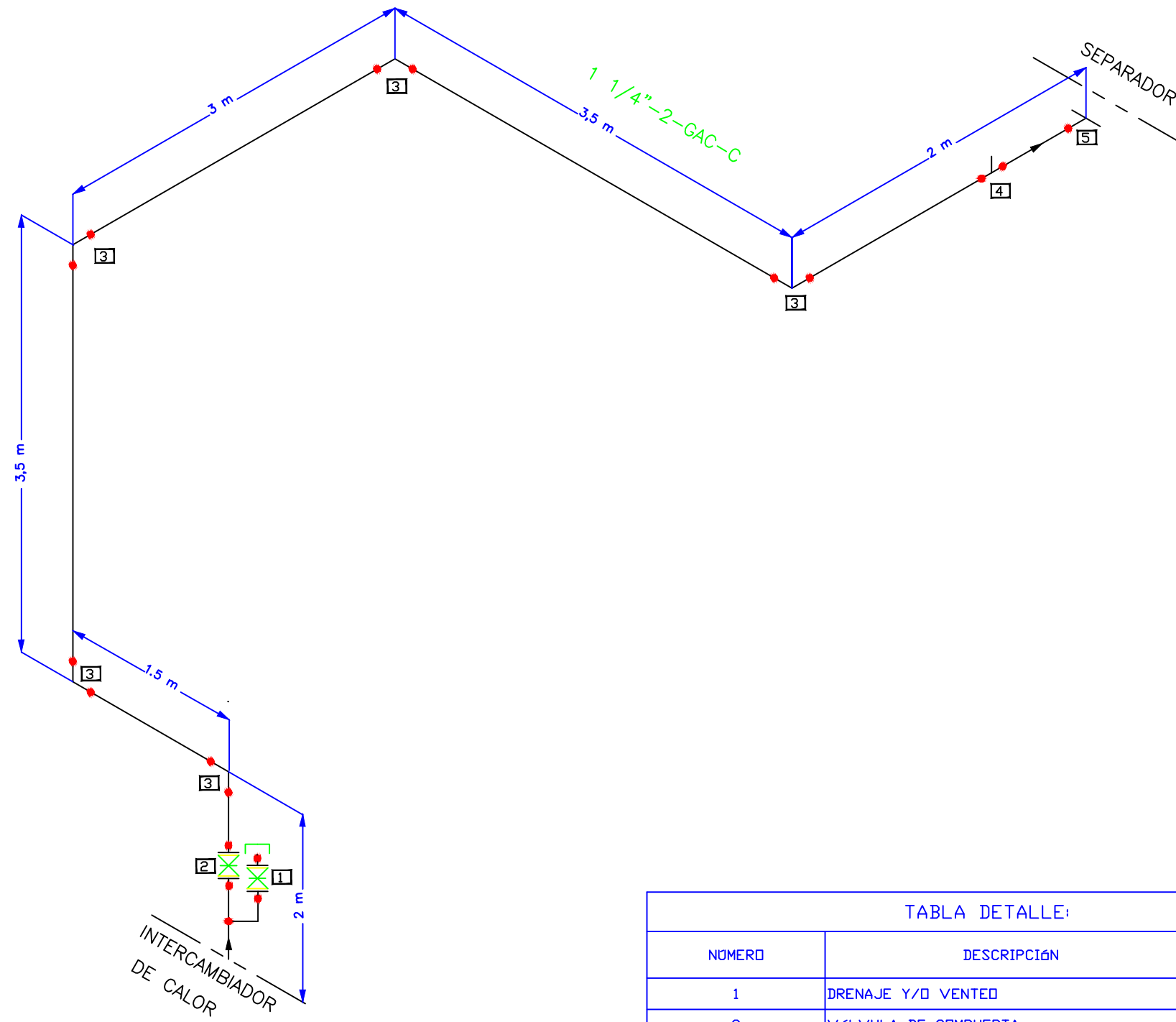
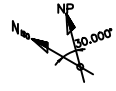


TABLA DETALLE:

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CONEXIÓN MANÓMETRO DE PRESIÓN	1
2	DRENAJE Y/O VENTEO	4
3	VÁLVULA DE COMPUERTA	2
4	CODO 90°	8
5	VÁLVULA DE CONTROL	1
6	VÁLVULA DE GLOBO	1
7	TES	2
8	VÁLVULA DE BOLA	2

PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACÍO DE LA REFINERÍA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		ESCALA E/S	FECHA 18/06/2011 N° DE PLANO: 10
TÍTULO DEL PLANO ISOMÉTRICO. IMPULSIÓN COMPRESOR			



**TABLA DETALLE:**

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	DRENAJE Y/O VENTED	1
2	VÁLVULA DE COMPUERTA	1
3	CODO 90°	5
4	CONEXIÓN TRANSMISOR DE TEMPERATURA	1
5	CONEXIÓN TUBULADURA BRIDADA	1

PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACÍO DE LA REFINERÍA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		ESCALA E/S	FECHA 18/06/2011 N° DE PLANO: 11
TÍTULO DEL PLANO ISOMÉTRICO. DESDE SALIDA DE INTERCAMBIADOR DE CALOR A ENTRADA DE SEPARADOR			

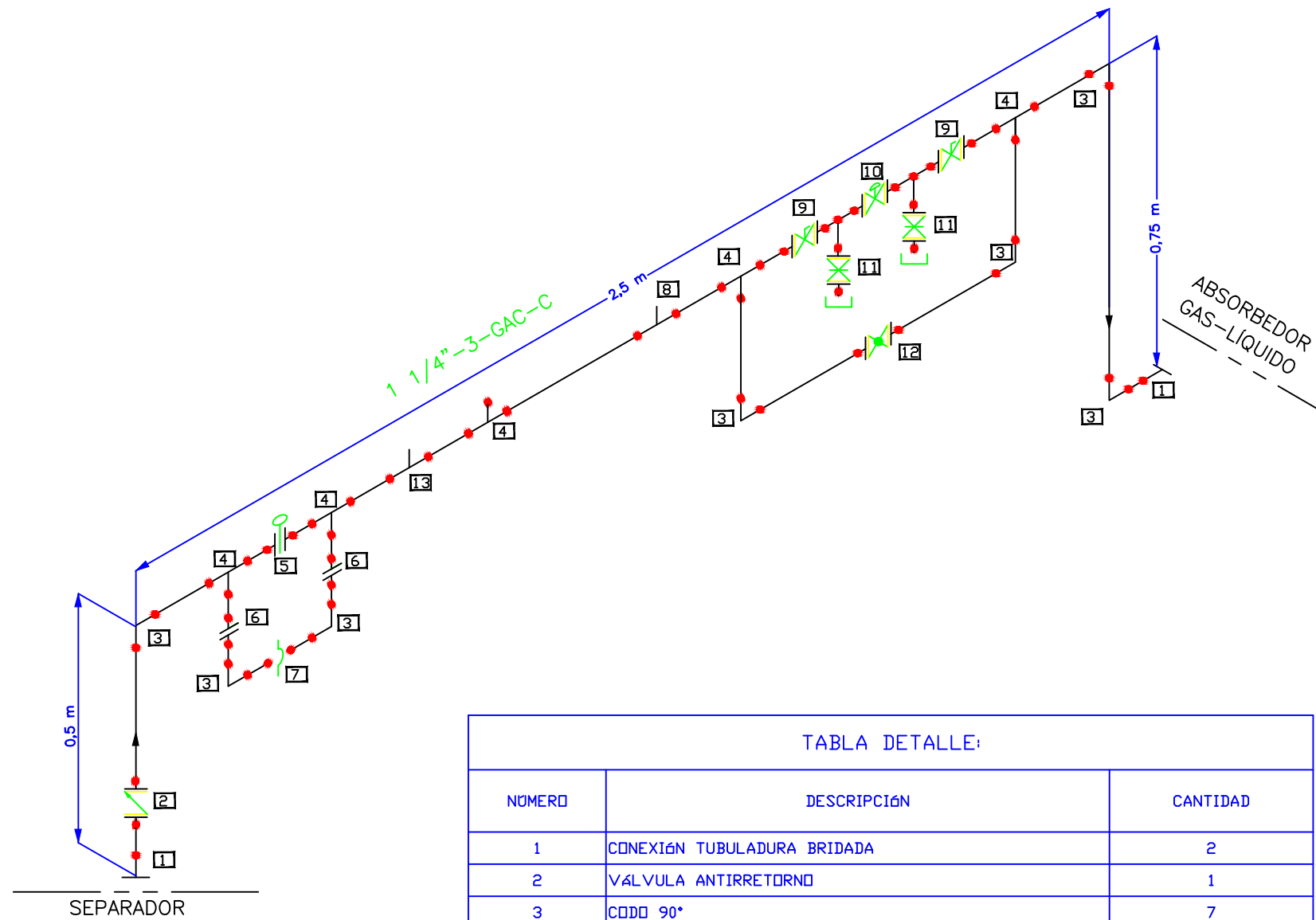


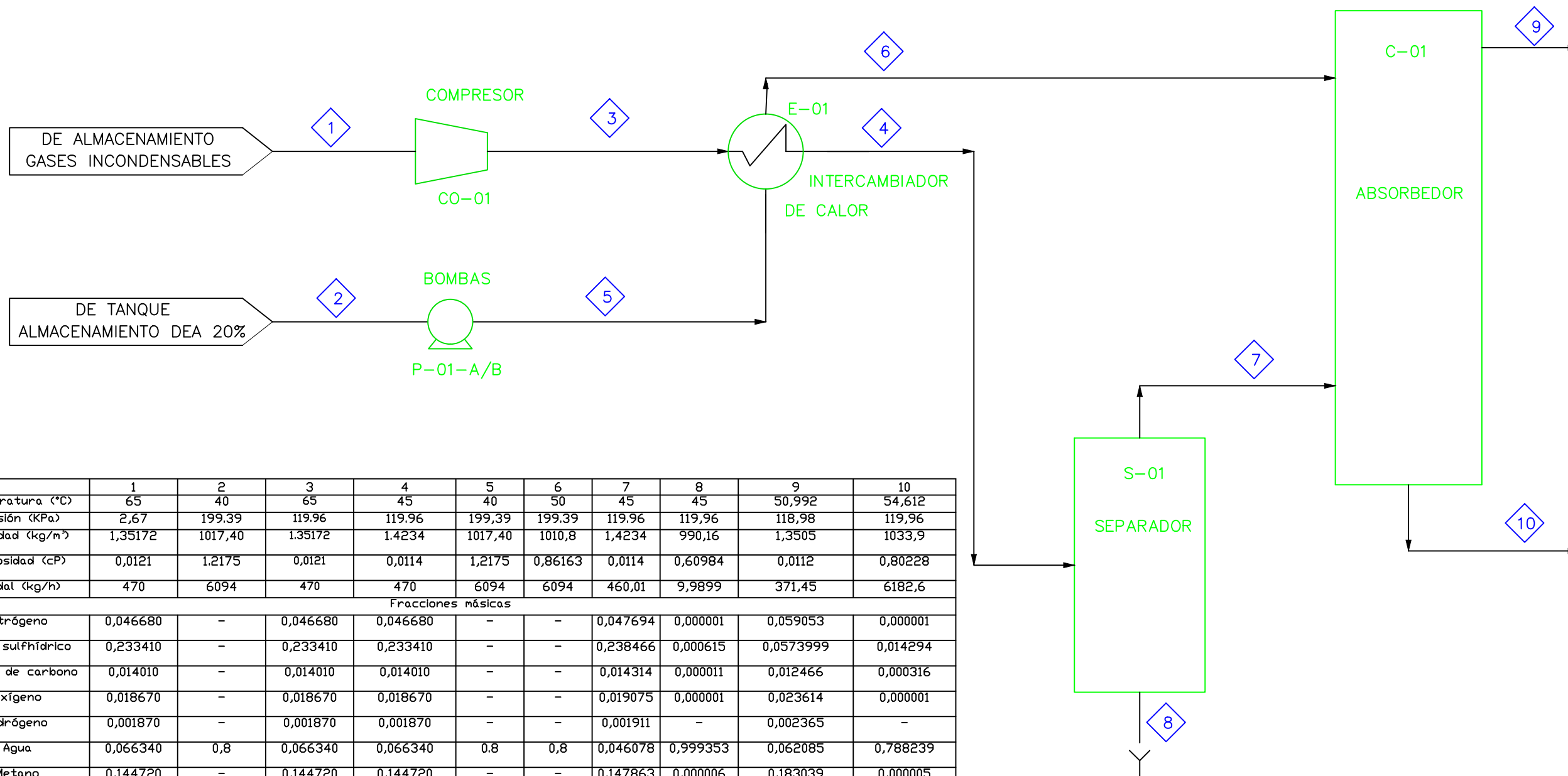
TABLA DETALLE:

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CONEXIÓN TUBULADURA BRIDADA	2
2	VÁLVULA ANTIRRETORNO	1
3	CODO 90°	7
4	TES	5
5	CONEXIÓN BRIDADA CON DISCO CIEGO	1
6	CONEXIÓN BRIDADA	2
7	DISCO DE ROTURA	1
8	CONEXIÓN TRANSMISOR DE CAUDAL	1
9	VÁLVULA DE BOLA	2
10	VÁLVULA DE CONTROL	1
11	DRENAJE	2
12	VÁLVULA DE GLOBO	1
13	CONEXIÓN TRANSMISOR DE PRESIÓN	1

PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACÍO DE LA REFINERÍA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		ESCALA E/S	FECHA 18/06/2011
TÍTULO DEL PLANO ISOMÉTRICO. DESDE LA SALIDA DEL SEPARADOR A LA ENTRADA DEL ABSORBEDOR GAS-LÍQUIDO		N.º DE PLANO: 12	



<b>PROYECTO</b> DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACÍO DE LA REFINERÍA GIBRALTAR- SAN ROQUE		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
<b>ALUMNA</b> MERCEDES DE LA CALLE CABRERA		<b>ESCALA</b> 1/20000	<b>FECHA</b> 18/06/2011
<b>TÍTULO:</b> SITUACIÓN GEOGRÁFICA		<b>Nº DE ANEXOS:</b> 1	



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	65	40	65	45	40	50	45	45	50,992	54,612
Presión (kPa)	2,67	199,39	119,96	119,96	199,39	199,39	119,96	119,96	118,98	119,96
Densidad (kg/m³)	1,35172	1017,40	1,35172	1,4234	1017,40	1010,8	1,4234	990,16	1,3505	1033,9
Viscosidad (cP)	0,0121	1,2175	0,0121	0,0114	1,2175	0,86163	0,0114	0,60984	0,0112	0,80228
Caudal (kg/h)	470	6094	470	470	6094	6094	460,01	9,9899	371,45	6182,6
Fracciones másicas										
Nitrógeno	0,046680	-	0,046680	0,046680	-	-	0,047694	0,000001	0,059053	0,000001
Ácido sulfhídrico	0,233410	-	0,233410	0,233410	-	-	0,238466	0,000615	0,0573999	0,014294
Dióxido de carbono	0,014010	-	0,014010	0,014010	-	-	0,014314	0,000011	0,012466	0,000316
Oxígeno	0,018670	-	0,018670	0,018670	-	-	0,019075	0,000001	0,023614	0,000001
Hidrógeno	0,001870	-	0,001870	0,001870	-	-	0,001911	-	0,002365	-
Agua	0,066340	0,8	0,066340	0,066340	0,8	0,8	0,046078	0,999353	0,062085	0,788239
Metano	0,144720	-	0,144720	0,144720	-	-	0,147863	0,000006	0,183039	0,000005
Etileno	0,018670	-	0,018670	0,018670	-	-	0,019075	0,000002	0,023594	0,000002
Etano	0,065360	-	0,065360	0,065360	-	-	0,066779	0,000003	0,082667	0,000002
Propileno	0,009340	-	0,009340	0,009340	-	-	0,009543	0,000002	0,011794	0,000001
Propano	0,102700	-	0,102700	0,102700	-	-	0,104930	0,000004	0,129903	0,000003
1-Buteno	0,009340	-	0,009340	0,009340	-	-	0,009543	0,000001	0,011806	0,000001
Iso-Butano	0,037340	-	0,037340	0,037340	-	-	0,038151	-	0,047246	-
n-Butano	0,084030	-	0,084030	0,084030	-	-	0,085855	-	0,108322	-
Iso-Pentano	0,032680	-	0,032680	0,032680	-	-	0,033390	-	0,041349	-
n- Pentano	0,060690	-	0,060690	0,060690	-	-	0,062008	-	0,076790	-
n-Hexano	0,028010	-	0,028010	0,028010	-	-	0,028618	0,000001	0,035432	0,000001
n-Heptano	0,026140	-	0,026140	0,026140	-	-	0,026708	-	0,033074	-
Dietanolamina	-	0,2	-	-	0,2	0,2	-	-	0,000001	0,197135

PROYECTO  
 DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFHÍDRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACIO DE LA REFINERIA GIBRALTAR- SAN ROQUE

ALUMNA  
 MERCEDES DE LA CALLE CABRERA

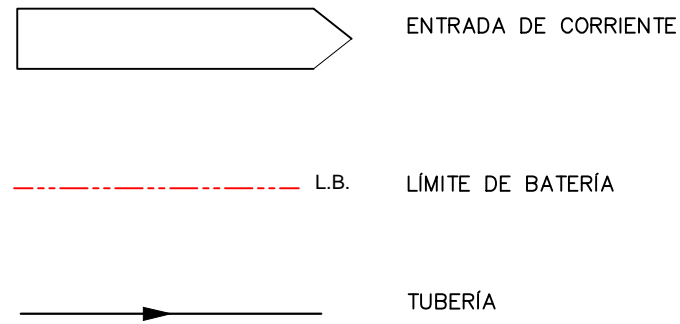
TITULO:  
 DIAGRAMA DE FLUJO

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ  
 FACULTAD DE CIENCIAS

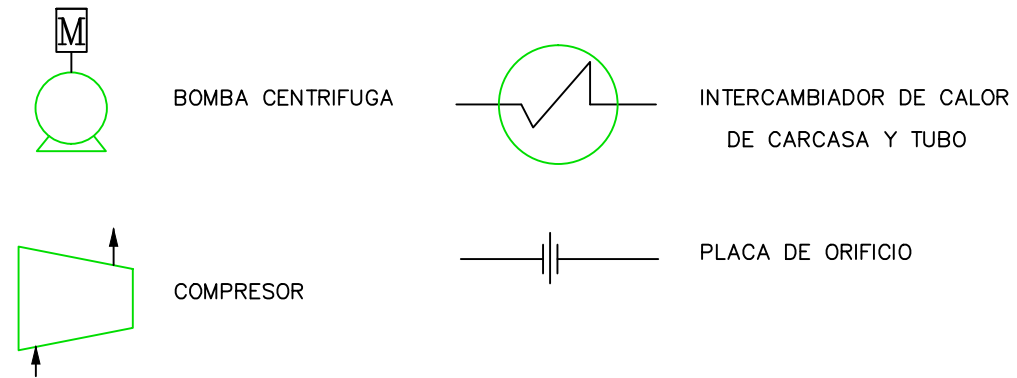
ESCALA	FECHA
E/S	18/06/2011
	Nº DE ANEXO:
	2



## SÍMBOLOS DE TUBERÍAS



## EQUIPOS E INSUTRUMENTOS



## FUNCIONES DEL INSTRUMENTO

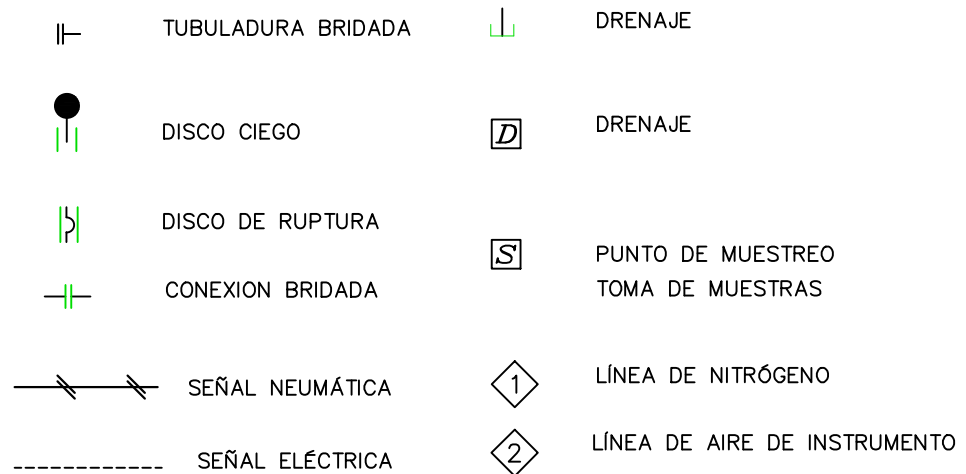
	1º Letra	2º Letra	3º Letra	4º Letra	5º Letra
A	ANALIZADOR	ALARMA	ALARMA	-	-
B	-	-	-	-	-
C	CONDUCTIVIDAD	CONTROL	CONTROL	-	-
D	DENSIDAD	DIFERENCIAL	-	-	-
E	-	SENSOR	-	-	-
F	CAUDAL	FALLO	-	-	-
G	-	CRISTAL	-	-	-
H	CONTROL MANUAL	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
I	CORRIENTE	INDICADOR	INDICADOR	-	-
J	CONTROL	PANEL LOCAL	-	-	-
K	NIVEL	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
L	HUMEDAD	-	-	-	-
M	-	ORIFICIO	-	-	-
N	PRESIÓN	-	-	-	-
O	-	TOTALIZADOR	-	-	-
P	RATIO	REGISTRADOR	REGISTRADOR	-	-
Q	VELOCIDAD	INTERRUPTOR	SOLENOIDE	SOLENOIDE	-
R	TEMPERATURA	TRANSMISOR	TRANSMISOR	TRANSMISOR	-
S	-	PANEL	-	-	-
T	VIBRACIÓN	VALVULA	VALVULA	VALVULA	-
U	MOTOR DE ESTADO	CONVERTIDOR O RELÉ	-	-	-
V	POSICIÓN	VARIADOR DE VELOCIDAD	-	-	-
W	PESO	-	-	-	-

I/P = CONVERTIDOR DE SEÑAL ELÉCTRICA A SEÑAL NEUMÁTICA

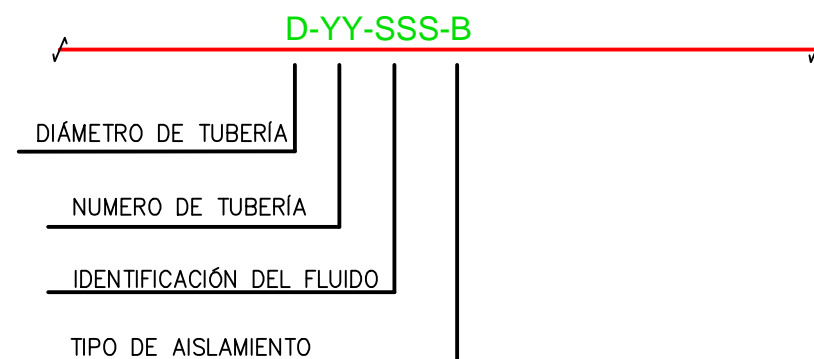
## VÁLVULAS Y FILTROS



## OTROS SIMBOLOS



## IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS



## TIPO DE AISLAMIENTO

N	NINGUNO
C	CONSERVACION DEL CALOR
P	PROTECCIÓN PERSONAL

PROYECTO DISEÑO DE UN ABSORBEDOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ÁCIDO SULFHÍDRICO DE UNA CORRIENTE GASEOSA DE LA TORRE DE VACIO DE LA REFINERIA GIBRALTAR- SAN ROQUE	UNIVERSIDAD DE CÁDIZ FACULTAD DE CIENCIAS	
ALUMNA MERCEDES DE LA CALLE CABRERA	ESCALA E/S	FECHA 18/06/2011
TITULO DESCRIPCIÓN DE SIMBOLOGÍA	N° DE ANEXO: 3	

**DOCUMENTO N° 4:**

**PLIEGO DE CONDICIONES**

## ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1. DISPOSICIONES GENERALES.....	3
1.1. Objetivo del pliego de condiciones. ....	3
1.2. Documentos del proyecto que definen las obras. ....	3
1.3. Contradicciones, omisiones o errores. ....	3
1.4. Normativa de aplicación.....	4
2. CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA. ....	4
2.1. Dirección facultativa.....	4
2.2. Contratista.....	5
2.3. Obras y ejecución. ....	7
2.3.1. Comprobación del replanteo.....	7
2.3.2. Fijación de los puntos de replanteo.....	7
2.3.3. Programas de los trabajos.....	8
2.3.4. Plazos de ejecución.....	8
2.3.5. Maquinaria.....	8
2.3.6. Ensayos.....	9
2.3.7. Materiales.....	9
2.3.8. Acopios.....	11
2.3.9. Trabajos nocturnos.....	11
2.3.10. Accidentes de trabajo.....	12
2.3.11. Descanso en días festivos.....	12
2.3.12. Trabajos defectuosos o no autorizados.....	12
2.3.13. Señalización de las obras.....	13
2.3.14. Precauciones especiales.....	13
3. CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA.....	14
3.1. Percepción económica del contratista.....	14
3.2. Garantías de cumplimiento.....	14
3.3. Fianzas.....	14
3.4. Penalizaciones y bonificaciones.....	15
3.5. Precios.....	15
3.5.1. Composición de los precios unitarios.....	15
3.5.2. Precios no contratados.....	15
3.5.3. Variaciones en los precios unitarios.....	16
3.6. Valoración y abono de los trabajos.....	16
3.6.1. Valoración de la obra.....	16
3.6.2. Valoración de obras incompletas.....	17
3.6.3. Abono de unidades de obra ejecutada.....	17
3.6.4. Liquidaciones parciales.....	17

---

3.6.5. Liquidaciones generales.....	17
3.6.6. Carácter provisional de las liquidaciones parciales.....	17
3.6.7. Pagos.....	17
3.6.8. Suspensión por retraso de pagos.....	18
3.7. Seguros.....	18
<b>4. CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL.....</b>	<b>18</b>
4.1. Adjudicación.....	18
4.2. Contrato.....	18
4.3. Seguridad.....	19
4.4. Licencias, permisos e impuestos.....	19
4.5. Causas para rescindir el contrato.....	19
4.6. Recepción provisional.....	20
4.7. Plazo de garantía.....	21
4.8. Recepción definitiva.....	21
4.9. Prescripciones particulares.....	21
<b>5. CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA.....</b>	<b>22</b>
5.1. Condiciones para los materiales.....	22
5.1.1. Origen de los materiales.....	22
5.1.2. Referencias y normativas.....	22
5.1.3. Control de calidad.....	23
5.1.4. Equipos de medida.....	23
5.1.5. Materiales a emplear.....	23
5.2. Control de calidad.....	25
5.3. Obras o instalación no especificada.....	25

## 1. DISPOSICIONES GENERALES.

### ***1.1. OBJETIVO DEL PLIEGO DE CONDICIONES.***

El objetivo del presente pliego de condiciones es definir el conjunto de directrices, requisitos y normas aplicables al desarrollo de las obras a las que se refiere el proyecto del que forma parte. Contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y equipos, el modo de ejecución, medición de las unidades de obra y, en general, cuantos aspectos han de regir en las obras comprendidas en el presente proyecto.

El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones.

Del mismo modo, la administración podrá conocer de forma detallada las diferentes tareas que se desarrollarán durante la ejecución del proyecto.

### ***1.2. DOCUMENTOS DEL PROYECTO QUE DEFINEN LAS OBRAS.***

Los documentos del proyecto que definen las obras y que la propiedad entrega al contratista pueden tener carácter contractual o meramente informativo. Se entiende por documentos contractuales aquellos que estén incorporados al contrato y que sean de obligado cumplimiento, excepto modificaciones debidamente autorizadas.

El presente proyecto consta de los siguientes documentos:

- Documento 1: Memoria descriptiva
- Documento 2: Memoria de cálculo
- Documento 3: Planos
- Documento 4: Pliego de condiciones
- Documento 5: Presupuesto.

### ***1.3. CONTRADICCIONES, OMISIONES O ERRORES.***

En caso de contradicción entre los planos y el pliego de condiciones, prevalecerá lo indicado en este último. Lo mencionado en el pliego de condiciones y omitido en los planos o viceversa, siempre que, a juicio del director de obras, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y esta tenga precio en el contrato.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos por el director o contratista deberán reflejarse en el acta de comprobación.

### ***1.4. NORMATIVA DE APLICACIÓN.***

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales vigentes del M.O.P.U.
- Normas Básicas y Tecnológicas de la Edificación
- Reglamento de Aparatos a Presión, aprobado por decreto 842/2002 de Agosto, y sus Instrucciones técnicas Complementarias.
- 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.

## **2. CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA.**

### ***2.1. DIRECCIÓN FACULTATIVA.***

La dirección facultativa de las obras e instalaciones recaerá sobre el ingeniero técnico o superior nombrado por la propiedad en su representación, sobre quién recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente proyecto.

Las funciones del ingeniero director de obra serán las siguientes:

- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.

- Definir aquellas condiciones técnicas que en el presente Pliego de Condiciones se dejen a su decisión.
- Resolver aquellas condiciones técnicas que surjan en cuanto a la interpretación de los planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconseje su modificación, tramitando en su caso, las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras y ocupaciones de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con la misma.
- Asumir personalmente bajo su responsabilidad, en caso de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, por lo cual, el contratista deberá poner a su disposición y servidumbre relacionados con la misma.
- Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.
- Participar en las recepciones provisionales y definitivas y redactar la liquidación de las obras conforme a las normas legales.

El director de obras no será responsable ante la propiedad de la tardanza de los organismos competentes en la tramitación del proyecto. Una vez conseguidos todos los permisos, el director de obra dará orden de comenzar las mismas.

## **2.2. CONTRATISTA.**

- Desde que se den principio las obras, hasta su recepción provisional, el contratista designará un jefe de obras como representante suyo autorizado que cuidará de los trabajos. Este jefe estará expresamente autorizado por el contratista y para recibir notificaciones escritas o verbales emitidas por la dirección facultativa.

Cualquier cambio que el contratista desee realizar respecto a sus representaciones y personal cualificado, y en especial, del jefe de obras, deberá comunicárselo a la dirección facultativa.

- El contratista estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará a la dirección facultativa en las visitas que haga a la obra. Así mismo, 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.

- Será por cuenta del contratista los gastos que a continuación se enumeran:

1.Los gastos de construcción y retirada de toda clase de construcciones auxiliares.

2.Los gastos de alquiler o adquisición de terreno para depósito de materiales y maquinaria.

3.Los gastos de protección de acopio y de la propia obra contra deterioro, daño o incendio, cumpliendo con los requisitos vigentes para proporcionar seguridad dentro de las obras.

4.Los gastos de limpieza y evacuación de desperdicios de basura.

5.Los gastos de suministro, colocación y conservación de señales de tráfico, balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de las obras.

6.Los gastos de montaje, conservación y retirada de instalaciones para el suministro de agua y la energía eléctrica necesaria para las obras.

7.Los gastos de demolición y desmontaje de las instalaciones provisionales

8.Los gastos de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.

- El contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales sin perjuicio de sus obligaciones como contratista general de la obra.

- El contratista tendrá siempre en la oficina de la obra y a disposición de la dirección facultativa, un "libro de órdenes", con sus hojas foliadas por triplicado y visado por el colegio oficial.



- Se considera causa de despido del contratista, el incumpliendo de las instrucciones dadas por el director de obra, la manifiesta incapacidad de realización de sus cometidos y la realización de actos que comprometan o perturben la marcha de los trabajos.

## **2.3. OBRAS Y EJECUCIÓN.**

### **2.3.1. COMPROBACIÓN DEL REPLANTEO.**

En el plazo de quince días a partir de la adjudicación definitiva se comprobarán, en presencia del adjudicatario o de su representante, el replanteo de las obras efectuadas antes de la licitación, extendiéndose la correspondiente acta de comprobación del replanteo.

El acta de comprobación del replanteo reflejará la conformidad o la disconformidad del replanteo respecto a los documentos contractuales del proyecto, refiriéndose expresamente a las características geométricas de los trabajos, así como a cualquier punto que en caso de disconformidad pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Cuando el acta de comprobación del replanteo refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto, valorado a los precios del contrato.

### **2.3.2. FIJACIÓN DE LOS PUNTOS DE REPLANTEO.**

La comprobación del replanteo deberá incluir como mínimo los datos y referencias previstos para poder materializar las obras, así como los puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalles y de otros elementos que puedan estimarse precisos.

Los puntos de referencia para los sucesivos replanteos se marcarán con los medios adecuados para evitar su desaparición.

Los datos, cotas y puntos fijados se anotarán en un anexo al acta de comprobación del replanteo, el cual se unirá al expediente de las obras, entregándose una copia al contratista.

El contratista se responsabilizará de la conservación de las señales de los puntos que hayan sido entregados.

### **2.3.3. PROGRAMAS DE LOS TRABAJOS.**

En el plazo que se determine en días hábiles a partir de la aprobación de acta de comprobación del replanteo, el adjudicatario presentará el programa de trabajos de las obras. Dicho programa de trabajo incluirá los siguientes datos:

- Fijación de las clases de obras y trabajos que integran al proyecto e indicación de las mismas.
- Determinación de los medios necesarios (instalación, equipos y materiales).
- Valoración mensual y acumulada de la obra, programada sobre la base de los precios unitarios de adjudicación.
- Representación gráfica de las diversas actividades, en un gráfico de barras o en un diagrama espacio-tiempo.

Cuando del programa de trabajos se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado por el adjudicatario y por la dirección técnica de las obras, acompañándose de la correspondiente propuesta de modificación para su tramitación reglamentaria.

### **2.3.4. PLAZOS DE EJECUCIÓN.**

El contratista empezará las obras al día siguiente de la fecha del acta de comprobación de replanteo, debiendo quedar terminado en la fecha acordada en dicho acta.

### **2.3.5. MAQUINARIA.**

El contratista quedará obligado a situar en las obras los equipos de la maquinaria que se comprometa a aportar en la licitación, y que el director de las obras considere necesario para el correcto desarrollo de las mismas. Dichos equipos de maquinaria deberán ser aprobados por el director.

La maquinaria y demás de trabajo deberán estar en perfectas condiciones de funcionamiento y quedar adscritos a la obra durante el curso de ejecución de las unidades en las que deban utilizarse. No podrán retirarse sin el consentimiento del director.

### **2.3.6. ENSAYOS.**

El número de ensayos y su frecuencia, tanto sobre materiales como unidades de obras terminadas, será fijado por el ingeniero director, y se efectuarán con arreglo a las normas afectadas a cada unidad de obra, o, en su defecto, con arreglo a las instalaciones que dicte el director.

El adjudicatario abonará el costo de los ensayos que se realicen, que no podrán superar el 1% del presupuesto de adjudicación.

El contratista está obligado a realizar su autocontrol de cotas, tolerancias y geométrico en general, así como el de calidad, mediante ensayos materiales, densidades de compactación, etc. Se entiende que no se comunicará a la dirección de obra que una unidad de obra está terminada a juicio del contratista para su comprobación hasta que el mismo contratista, mediante su personal facultativo para el caso, haya hecho sus propias comprobaciones y ensayos, y se haya asegurado de cumplir las especificaciones.

Así, el contratista está obligado a disponer de los equipos necesarios para dichas mediciones y ensayos.

### **2.3.7. MATERIALES.**

Todos los materiales que se utilicen en las obras deberán cumplir las condiciones que se establecen en el pliego de condiciones, pudiendo ser rechazadas en caso contrario por el ingeniero director. Por ello, todos los materiales que se propongan ser utilizados en obra deben ser examinados y ensayados antes de su aceptación en primera instancia mediante el autocontrol del contratista y, eventualmente, con el control de dirección de obra.

Cuando la procedencia de los materiales no esté fijada en el pliego de prescripciones técnicas, los materiales requeridos para la ejecución del contrato serán fijados por el contratista de las fuentes de suministro que este estime oportuno.

El contratista notificará al director, con la suficiente antelación, los materiales que propone utilizar y su procedencia, aportando, cuando así lo solicite el director, las muestras y los datos necesarios para su posible aceptación, tanto en lo que se refiere a su cantidad como a su calidad.

El no rechazo de un material implica su aceptación. El no rechazo o la aceptación de una procedencia no impide al posterior rechazo de cualquier partida de material de ella que no cumpla las prescripciones, ni incluso la eventual prohibición de dicha procedencia.

En ningún caso podrán ser acoplados y utilizados en los trabajos materiales cuya procedencia no haya sido aprobada por el director.

- Manipulación de materiales.

Todos los materiales se manipularán con cuidado, y de tal modo que mantengan su calidad y actitud para la obra.

- Inspección de unidad.

Si el volumen de la obra, la marcha de la construcción y otras consideraciones lo justifican, el ingeniero puede proceder a la inspección del material o de los artículos manufacturados en sus respectivas fuentes.

- Inspección de los materiales

Con objeto de facilitar la inspección y prueba de los materiales, el contratista notificará al ingeniero como mínimo con dos semanas de antelación a la entrega.

- Materiales defectuosos.

Todos los materiales que no se ajusten a los requisitos del pliego de condiciones se considerarán defectuosos y, por tanto, se retirarán inmediatamente del lugar de la obra, a menos que el ingeniero ordene lo contrario.

Los materiales rechazados, cuyos defectos se hayan corregido sustancialmente, no se utilizarán mientras no se les haya otorgado la aprobación.

### **2.3.8. ACOPIOS.**

Quedará terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del director, efectuar acopio de materiales, cualesquiera que sea su naturaleza, sobre la plataforma de obra en aquellas zonas marginales que defina el director.

Se considera especialmente prohibido el depositar materiales, herramientas, máquinas, escombros o cualquier otro elemento no deseable, en las siguientes zonas:

-  reas de procesos adyacentes o limítrofes con la zona donde se realizan los trabajos.
- Desagües y zonas de trabajo en general.
- Vías de acceso a casetas de operación, puntos de reunión para estados de emergencia y puntos de situación de extintores.
- De modo general, cualquier lugar en el que la presencia de materiales, herramientas o utensilios pueda entorpecer las labores de mantenimiento y operación de las unidades de proceso, o pueda dificultar el proceso de emergencia de la planta.

Los materiales se almacenarán en forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en la obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de su utilización.

Las superficies empleadas en la zona de acopios deberán acondicionarse de forma que, una vez terminada su utilización, recuperen su aspecto original. Todos los gastos que de ello se deriven correrán por cuenta del contratista.

### **2.3.9. TRABAJOS NOCTURNOS.**

Los trabajos nocturnos deberán ser previamente autorizados por el director, y solamente realizados en aquellas zonas de obra que así lo requieran. El contratista deberá instalar los equipos de iluminación y mantenerlos en perfecto estado mientras duren los trabajos nocturnos.

### **2.3.10. ACCIDENTES DE TRABAJO.**

El contratista viene obligado a cumplir lo dispuesto en las disposiciones vigentes en materia laboral, social y de seguridad social en el trabajo, garantizando las situaciones y contingencias que regulan, respecto a todos los trabajadores que empleará en la realización del contrato y, en especial, el Seguro de Accidentes de trabajo contra riesgo de incapacidad o muerte, advirtiendo que no puede resultar responsabilidad alguna para la Corporación por incumplimiento de dichas normas por parte del contratista.

El contratista y la dirección de obra fijarán de antemano las condiciones de seguridad en las que se llevarán a cabo los trabajos objeto del presente proyecto, así como las pruebas, ensayos, inspecciones y verificaciones necesarias, que en cualquier caso deberán ser, como mínimo, las prescritas por los reglamentos actuales vigentes.

No obstante, en aquellos casos en el que el contratista o la dirección consideren que se deben tomar disposiciones adicionales de seguridad, podrán tomarse éstas sin reserva alguna.

Por otra parte, el contratista será responsable de suministrar al personal a su cargo los equipos necesarios para que éste trabaje en las condiciones de seguridad adecuadas, tales como cascos, botas reforzadas, gafas de protección, etc.

Asimismo, serán responsabilidad del contratista los posibles daños causados en las instalaciones, tanto terminadas o aún en construcción, ocasionados por personas ajenas a la obra dentro del horario establecido de trabajo, así como de los accidentes personales que puedan ocurrir.

### **2.3.11. DESCANSO EN DÍAS FESTIVOS.**

En los trabajos concedidos a la contrata se cumplirá puntualmente el descanso en días festivos, de modo que se señale en las disposiciones vigentes.

En casos excepcionales, en los que fuera necesario trabajar en dichos días, se procederá como indican las citadas disposiciones.

### **2.3.12. TRABAJOS DEFECTUOSOS O NO AUTORIZADOS.**

Los trabajos defectuosos no serán de abono, debiendo ser demolidos por el contratista y reconstruidos en el plazo de acuerdo con las prescripciones del proyecto.

Si alguna obra no se hallase ejecutada con arreglo a las condiciones del contrato y fuera, sin embargo, admisible a juicio del ingeniero director de obras, podrá ser recibida provisionalmente, y definitivamente en su caso, quedando el adjudicatario obligado a conformarse, sin derecho a reclamación, con la rebaja económica que el ingeniero director estime, salvo en el caso de que el adjudicatario opte por la demolición a su costa y las rehaga con arreglo a las condiciones del contrato.

### **2.3.13. SEÑALIZACIÓN DE LAS OBRAS.**

El contratista queda obligado a señalar a su costa las obras objeto del contrato, con arreglo a las instrucciones y uso de aparatos que prescriba el director.

### **2.3.14. PRECAUCIONES ESPECIALES.**

- Lluvias.

Durante las fechas de construcción, montaje e instalación de obra y equipos, estos se mantendrán en todo momento en perfectas condiciones de drenaje. Las cunetas y demás desagües se mantendrán de modo tal que no produzcan daño en las instalaciones.

El equipo que no necesite revisión o inspección previa a su instalación no será desembalado hasta el momento de la misma. Se protegerá el equipo desembalado de la lluvia mediante cubiertas y protectores adecuados.

- Incendios.

El contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes para la prevención y control de incendios, y a las recomendaciones u órdenes que reciba del director.

En todo caso, adoptará las medidas necesarias para evitar que se enciendan fuegos innecesarios, y será responsable de evitar la propagación de

los que se requiera para la ejecución de las obras, así como de los daños y perjuicios que se pudieran producir.

No obstante, el contratista podrá exigir el asesoramiento de un técnico de seguridad competente, elegido por la dirección, en todos los casos en los que lo estime conveniente, y particularmente, en aquellos en los que el riesgo de producción de incendios sea más elevado (soldadura, corte con soplete, etc.).

### 3. CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA.

#### ***3.1. PERCEPCIÓN ECONÓMICA DEL CONTRATISTA.***

El contratista debe percibir el importe de los trabajos realizados, siempre que éstos se hayan ejecutado con arreglo y sujeción al proyecto.

El importe de los trabajos afectados se acreditará mensualmente al contratista por medio de certificaciones expedidas por el director en la forma legalmente establecida.

#### ***3.2. GARANTÍAS DE CUMPLIMIENTO.***

El director de obra podrá exigir al contratista la presentación de referencias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato. Dichas referencias, si le son pedidas, las presentará al contratista antes de la firma del contrato.

#### ***3.3. FIANZAS.***

El contratista deberá abonar una fianza del 5% del presupuesto de las obras adjudicadas, con vistas a responder el cumplimiento de lo contratado.

La fianza podrá ser depositada mediante cheque o aval bancario.

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para terminar la obra en las condiciones contratadas, el director de obra en nombre y representación de la propiedad, los ordenará ejecutar a un tercero, abonando su



importe con la fianza depositada por el contratista, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el propietario.

La fianza depositada, o lo que quede de ella, será devuelta al contratista una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra en un plazo que no excederá de treinta días.

### **3.4. PENALIZACIONES Y BONIFICACIONES.**

Contratista, director de obra y propiedad firmarán un documento donde se especifique la cuantía de la penalización debidas a retrasos en la ejecución de las obras. Del mismo modo, se especificará la cuantía y las condiciones de bonificación en beneficio del contratista, debidas a adelantos en la ejecución de las mismas.

No se considerará causa de penalización, los retrasos en la ejecución de las obras debidos a:

- Incendios provocados por electricidad atmosférica.
- Daños producidos por terremotos o maremotos.
- Daños producidos por vientos huracanados.
- Destrozos causados en tiempo de guerra.

### **3.5. PRECIOS.**

#### **3.5.1. COMPOSICIÓN DE LOS PRECIOS UNITARIOS.**

Una vez adjudicadas las obras, el Contratista ha de presentar dentro de los quince días siguientes los precios descompuestos de las unidades solicitadas. La no presentación indica que acepta los precios unitarios indicados en el presupuesto del presente proyecto.

#### **3.5.2. PRECIOS NO CONTRATADOS.**

Los precios de las unidades de obra, de los materiales, así como la mano de obra que no figuran entre los contratados, se fijarán contradictoriamente entre la dirección facultativa y el contratista.

El contratista formulará por escrito, bajo su firma, el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad de obra. Por su parte, el director de obra fijará el precio que, a su juicio, debe aplicarse a dicha unidad. Si ambos son coincidentes se formulará por parte del director de obra el Acta de Avenencia, quedando así formalizado el precio contradictorio. Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, el director de obra propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente.

### **3.5.3. VARIACIONES EN LOS PRECIOS UNITARIOS.**

En el caso de altas o bajas oficiales en el precio de los materiales, mano de obra o de cualquier otro concepto que modifique los precios unitarios base, el contratista tiene la obligación de comunicar en la fecha de dicha variación, por duplicado, al director de obra y al propietario dichas valoraciones, así como una valoración exacta hasta el día citado de la obra de la ejecutada con su importe.

El contratista sólo tendrá derecho a las alzas oficiales de mano de obra del personal que intervenga directamente en la obra o instalación, no afectando a la mano de obra de preparación de materia prima o detalles.

## **3.6. VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS.**

### **3.6.1. VALORACIÓN DE LA OBRA.**

Las mediciones de la obra se harán por el tipo de unidad fijada en el correspondiente presupuesto.

La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra el precio que tuviese asignado en el presupuesto, añadiendo a este importe el de los tantos por ciento que corresponda al beneficio industrial.

Las valoraciones se realizarán mensualmente. Las llevará a cabo el director de obra en presencia del contratista. De dicho acto se levantará un acta por duplicado, que se firmará por ambas partes.

### **3.6.2. VALORACIÓN DE OBRAS INCOMPLETAS.**

Cuando a consecuencia de rescisión u otras causas, fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola de forma distinta a la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

### **3.6.3. ABONO DE UNIDADES DE OBRA EJECUTADA.**

El contratista deberá percibir el importe de todas aquellas unidades de obra que haya ejecutado con arreglo y sujeción a los documentos del proyecto, a las condiciones de la contrata y a las órdenes e instrucciones que por escrito entregue la dirección facultativa, siempre dentro de las cifras a que ascienden los presupuestos aprobados.

### **3.6.4. LIQUIDACIONES PARCIALES.**

Mensualmente el contratista tendrá derecho a percibir una cantidad proporcional a la obra ejecutada en el periodo.

### **3.6.5. LIQUIDACIONES GENERALES.**

Terminadas las obras se procederá a hacer la liquidación general, que constará de las mediciones y valoraciones de todas las unidades que constituyen la obra.

### **3.6.6. CARÁCTER PROVISIONAL DE LAS LIQUIDACIONES PARCIALES.**

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujeto a certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final.

### **3.6.7. PAGOS.**

Los pagos se efectuarán por el propietario al contratista en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las

certificaciones de obra expedidas por el director de obra, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

### **3.6.8. SUSPENSIÓN POR RETRASO DE PAGOS.**

El contratista no podrá retrasar o suspender trabajos debido a retrasos en los pagos. Cuando el contratista proceda de dicha forma, podrá el propietario rescindir el contrato.

### **3.7. SEGUROS.**

El contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure la ejecución, hasta la recepción definitiva.

De igual modo, el contratista deberá tener contratado un seguro de responsabilidad civil que cubran las indemnizaciones causadas por accidentes o perjuicios derivados de las obras, quedando la propiedad eximida de dicha responsabilidad.

## **4. CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL.**

### **4.1. ADJUDICACIÓN.**

La adjudicación de las obras se realizará mediante concurso. Las ofertas presentes a dicho concurso deberán incluir como mínimo, una estimación del precio de ejecución de las obras, el tiempo de ejecución y las calidades empleadas en las mismas.

### **4.2. CONTRATO.**

Se formalizará mediante un documento privado o público, según convenga a las partes, promotor y contratista, y en él se especificarán las particularidades que convengan a ambos.

El contratista y el promotor previamente firmarán el presente pliego de condiciones obligándose a su cumplimiento, siendo anuladas las cláusulas que se opongan o anulen disposiciones del mismo.

La ejecución de las obras se contratará por unidad 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.

#### ***4.3. SEGURIDAD.***

El contratista esta obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes exijan para evitar los accidentes.

#### ***4.4. LICENCIAS, PERMISOS E IMPUESTOS.***

El contratista esta obligado a tramitar todas las licencias, permisos e impuestos necesarios para la normal ejecución de las obras.

#### ***4.5. CAUSAS PARA RESCINDIR EL CONTRATO.***

- El incumplimiento, por parte del contratista, de las condiciones fijadas en el presente Pliego de Condiciones, tanto por negligencias como por cualquier otra causa.
- Las modificaciones del proyecto en tal forma que presenten alteraciones fundamentales del mismo a juicio del director de obra y en cualquier caso siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, representen, mas o menos, un 25 % como mínimo del importe de aquel.
- Las modificaciones de unidades de obra, siempre que estas modificaciones representen variaciones, mas o menos, del 40 % como mínimo de las unidades del proyecto modificadas.
- Cuando se llevara en el desarrollo de la obra una lentitud perjudicial para la buena marcha y terminación de las mismas.

- No dar comienzo la contrata a los trabajos dentro de los plazos establecidos.
- No dar comienzo a la obra 3 meses a partir de la adjudicación.
- Cuando el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas. En este caso el director de obra nombrará a un tercero para que las ejecute con cargo a la fianza depositada.
- Cuando sea probado por el director de obra que el contratista hubiera procedido de mala fe o por ignorancia de sus competencias acerca del suministro de materiales o en la ejecución de las obras.
- El incumplimiento por parte del contratista de las instrucciones dadas por el director de obra.
- Muerte o incapacidad del contratista.
- La quiebra del contratista.

#### ***4.6. RECEPCIÓN PROVISIONAL.***

Una vez terminados los trabajos, se procederá al examen global por parte del director, el cual, si los considera aptos para ser recibidos, extenderá un acta donde así lo haga constar, procediéndose inmediatamente a la puesta en marcha y entrada en funcionamiento de las instalaciones.

En ningún caso la recepción provisional tendrá lugar antes de las siguientes operaciones:

- Inspección visual de todos los equipos y líneas, así como de los equipos auxiliares.
- Prueba hidrostática de las áreas que así lo requieran.
- Comprobación de servicios auxiliares.

Si el ingeniero director apreciase en las obras defectos de calidad u otras imperfecciones que, a su juicio, pudieran resultar perjudiciales o poco

convenientes, el contratista deberá reparar o sustituir, a su costa, dichas partes o elementos no satisfactorios.

#### ***4.7. PLAZO DE GARANTÍA.***

Será de un año, contando a partir de la fecha de recepción provisional, salvo indicación contraria expresa en el pliego de contratación de la obra. Durante dicho periodo, las posibles obras de reparación, conservación y sustitución serán por cuenta del contratista, siendo este responsable de las faltas que puedan existir.

En caso de existir defectos o imperfecciones, no servirá de disculpa ni le dará derecho alguno al contratista el que el director o subalterno hayan examinado durante la construcción, reconocido los materiales o hecho su valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, si se observan vicios o imperfecciones antes de efectuarse la recepción, se dispondrá que el contratista demuela y reconstruya, o bien repare, de su cuenta, las partes defectuosas.

#### ***4.8. RECEPCIÓN DEFINITIVA.***

Transcurrido el plazo de garantía y previo a los trámites reglamentarios, se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras, una vez realizado el oportuno reconocimiento de las mismas y en el supuesto de que todas ellas se encuentren en las condiciones debidas.

En caso de que, al proceder con el reconocimiento de las obras, estas no se encontrasen en estado de ser recibidas, se aplazará su recepción hasta que estén en condiciones de serlo.

Al proceder a la recepción definitiva de las obras, se extenderá por cuadruplicado el acta correspondiente.

#### ***4.9. PRESCRIPCIONES PARTICULARES.***

En todos aquellos casos en que, a juicio del director de las obras, se haga aconsejable para la ejecución de los trabajos previstos la fijación de determinadas condiciones específicas, se procederá a la redacción por este del oportuno pliego de prescripciones particulares, que ha de ser aceptado por el contratista, quedando obligado a su cumplimiento.

## 5. CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA.

### 5.1. CONDICIONES PARA LOS MATERIALES.

#### 5.1.1. ORIGEN DE LOS MATERIALES.

Todos los materiales necesarios para la ejecución serán suministrados por el Contratista, quien será el único responsable de su manipulación, almacenamiento, conservación y buen empleo.

#### 5.1.2. REFERENCIAS Y NORMATIVAS.

Se tendrán como de obligado cumplimiento las siguientes normas y estándares:

- Código de construcción de recipientes a presión ASME, Sección VIII, División I. Se aplicarán las prescripciones de este código en los aspectos referentes a presiones y temperaturas de diseño, espesores de cuerpos y fondos, presiones de prueba, test hidrostáticos y soldaduras. Se aplicarán también las prescripciones de este código a las juntas.
- Norma ANSI B.36.10 para dimensiones de tuberías de acero al carbono y aleado, soldadas y sin soldadura.
- Norma ANSI B.16.5 para clasificación presión-temperatura, bridas, espárragos para bridas, válvulas bridadas y accesorios bridados de acero.
- Norma ANSI B.18.2 para espárragos y tuercas.
- Norma ANSI B.16.9 para accesorios de acero para soldar a tope.
- Norma ANSI B.16.11. para accesorios de acero para soldar a enchufes y roscados.



- Norma ASTM A-234 WPB para accesorios de acero al carbono obtenidos de tubos para soldar a tope.
- Norma ASTM A-105 para bridas y accesorios de acero al carbono forjado roscados y para soldar a enchufe.
- Norma ASTM A-193 B7 para espárragos.

### **5.1.3. CONTROL DE CALIDAD.**

Todos los materiales en las obras deberán cumplir con la normativa correspondiente y serán objeto de un control de calidad, cuya definición y alcance se expresa más adelante y que el contratista realizará a su costa, sometiendo los resultados a conocimiento y aprobación de la Dirección de Obra con antelación suficiente al momento de uso de los materiales.

La dirección de obra podrá ordenar la realización de los ensayos de recepción, para alguno o todos de los componentes de las mismas.

### **5.1.4. EQUIPOS DE MEDIDA.**

El contratista dispondrá del personal y medios precisos para realizar mediciones y comprobaciones de coordenadas y cotas de cualquier elemento de la estructura de los diferentes equipos.

### **5.1.5. MATERIALES A EMPLEAR.**

- Condiciones para las bridas.

Las bridas serán de acero al carbono, del tipo de cuello soldado con cara elevada.

Estarán libres de defectos, irregularidades, rebabas, etc. que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso. Las bridas han de ser planas y paralelas, o presentar rigidez suficiente contra deformaciones debidas a la presión de los espárragos. Estos deberán de apretarse en cruz con llave dinamométrica para controlar el par de apriete.

Los espárragos de unión estarán en consonancia con lo marcado en la norma ANSI B.16.5. Sus diámetros serán los correspondientes a la línea en la que vayan a ser instaladas.

- Condiciones para los accesorios soldables.

Los accesorios para las tuberías (codos, tes, reducciones, etc.) serán de acero al carbono para soldar a tope o para roscar o soldar a enchufe, según corresponda, siendo su diámetro el correspondiente a las líneas en las que vayan instalados. Estarán libres de defectos, irregularidades, etc. que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

- Condiciones para juntas.

Las juntas serán espiro metálicos o de amianto encamisadas. Estarán libres de defectos, irregularidades, etc. que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

- Condiciones para soldaduras.

En las partes de la instalación en que deban llevarse a cabo procesos de soldadura a tope, se instalarán durante el proceso de soldado anillos de protección, y se evitará en todo momento que penetren en el interior de las partes a soldar cascarillas y salpicaduras de soldaduras.

La soldadura se hará mediante cordones finos, limpiando e inspeccionando después de cada cordón, evitando así que los defectos de un cordón puedan ser enmascarados por el siguiente.

- Condiciones para la instrumentación.

Las válvulas de control serán las adecuadas para las condiciones del proyecto.

Se procurará que los márgenes de medición de presión en los manómetros en los que vaya a trabajar el aparato en condiciones normales queden en el tercio central de la escala.

- Condiciones de equipos a presión.

Dado que el equipo diseñado contemplado en el presente proyecto trabaja a baja presión, se fijan las condiciones generales de fabricación, prueba, operación y funcionamiento del mismo, teniendo en cuenta el Reglamento de Aparatos a Presión.

### ***5.2. CONTROL DE CALIDAD.***

Previamente al inicio de las obras, el contratista deberá presentar al Director facultativo, para su aprobación, el Plan de Control de Calidad y el de Puntos de Inspección y Control de la obra, que será de aplicación tanto a la obra civil como a los equipos eléctricos y mecánicos a instalar.

Para la ejecución de todas las unidades de obra, estas se someterán a los controles establecidos por la normativa legal de vigente aplicación o los que por cualquier motivo considerase necesario la Dirección Facultativa.

En los mencionados planes se recogerá de forma clara la identificación de cada unidad de obra, el tipo de ensayo a realizar y la normativa de aplicación, la frecuencia de realización de cada tipo de ensayo, y las condiciones de aceptación o rechazo. Para materiales y equipos definirá los certificados de origen, pruebas y garantías que deberá aportar el proveedor de los mismos, así como las pruebas y ensayos a realizar en obra, la frecuencia de los mismos y las condiciones de aceptación o rechazo.

### ***5.3. OBRAS O INSTALACIÓN NO ESPECIFICADA.***

Si en el transcurso de los trabajos fuera necesario ejecutar alguna clase de obra no regulada en el presente Pliego de Condiciones, el contratista queda obligado a ejecutarla con arreglo a las instrucciones que reciba del ingeniero director quien, a su vez, cumplirá la normativa vigente sobre el particular. El contratista no tendrá derecho a reclamación.

Puerto Real, Septiembre de 2011

Fdo: Mercedes De la Calle Cabrera.

**DOCUMENTO N° 5:**

**PRESUPUESTO**

## ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1.OBJETIVOS .....	2
2.PRESUPUESTO PARCIALES .....	3
2.1.Equipos.....	3
2.2.Tuberías y accesorios.....	5
2.3.Válvulas.....	7
2.4.Instrumentación. ....	8
3.PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL .....	9
4.PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA .....	10

## 1.OBJETIVOS

El objeto del presente documento es recoger el presupuesto general de ejecución del proyecto “Diseño de un absorbedor para la eliminación de ácido sulfhídrico de una corriente gaseosa procedente de la torre de vacío de la refinería Gibraltar-San Roque”, teniendo en cuéntale presupuesto de los equipos, conducciones y accesorios del sistema de control e instrumentación de la instalación diseñada.

Para el cálculo de dicho presupuesto se determina el Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.) que incluye el precio de los equipos, a este precio se le añade el Beneficio Industrial y los Gastos Generales obteniéndose el Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.). Sumándole el IVA del 18% al Presupuesto de Ejecución por Contrata se obtiene el presupuesto final del sistema proyectado.

## 2.PRESUPUESTO PARCIALES

## 2.1.EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Absorbedor gas-líquido C-01 fabricado en acero al carbono A-516 cuyas principales características son: Diámetro: 0,5 m Altura: 17 m Geometría:Cilíndrica Cubierta:Toriesférica	Ud.	20500,00 €	1	20500,00 €
Separador gas-líquido S-01 fabricado en acero al carbono A-516 cuyas principales características son (incluyendo relleno): Volumen: 0,58 m <sup>3</sup> Diámetro: 0,57 m. Altura: 2,28 m Geometría:Cilíndrica	Ud.	15200,00 €	1	15200,00 €
Intercambiador de calor horizontal de carcasa y tubo fabricado en acero al carbono A-516 cuyas principales características son:  Intercambiador: AES Nº de tubos:244 Longitud tubos: 4 m Diámetro tubos: 19 mm Espesor pared tubos: 2,1 mm Número de deflectores: 9 Disposición cuadrada	Ud.	25264,50 €	1	25264,50 €



<p>Bombas centrífugas Acero inoxidable cuyas principales características son:</p> <p>Altura real de impulsión: 53,45 m Potencia: 0,89 KW NPSH disponible: 17,29 m</p>	<p>Ud.</p>	<p>925,50 €</p>	<p>2</p>	<p>1851 €</p>
<p>Compresor de pistón, semihermético, de inducción y exento de lubricación.</p> <p>Potencia: 0,37 KW</p>	<p>Ud.</p>	<p>1200 €</p>	<p>1</p>	<p>1200 €</p>
<p>TOTAL.....</p>				<p>64.015,50 €</p>

**2.2.TUBERÍAS Y ACCESORIOS**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Tubería 4"-1-AMP-C de acero al carbono de 8 mm de sobreespesor de corrosión.	m	26,02 €	6,00	156,12 €
Tubería 4"-2-AMP-C de acero al carbono de 8 mm de sobreespesor de corrosión.	m	26,02 €	6,00	156,12 €
Tubería 4"-3-AMP-C de acero al carbono de 8 mm de sobreespesor de corrosión.	m	26,02 €	37	962,74 €
Tubería 4"-4-AMP-C de acero al carbono de 8 mm de sobreespesor de corrosión.	m	26,02 €	3	78,06 €
Tubería 4"-5-AMP-C de acero al carbono de 8 mm de sobreespesor de corrosión.	m	26,02 €	25,00	650,50 €
Tubería 2"-1-GAC-C de acero al carbono de 7 mm de sobreespesor de corrosión.	m	11,38 €	42,50	483,65 €
Tubería 2"-2-GAC-C de acero al carbono de 7 mm de sobreespesor de corrosión.	m	11,38 €	15,50	176,39 €

Tubería 2"-3-GAC-C de acero al carbono de 7 mm de sobreespesor de corrosión.	m	11,38 €	3,75	42,68 €
Tubería 4"-1-AMR-C de acero al carbono de 8 mm de sobreespesor de corrosión.	m	26,02 €	44,00	1144,88 €
Tubería 2"-1-GDL-C de acero al carbono de 7 mm de sobreespesor de corrosión.	m	11,38 €	22,00	250,36 €
Codos de 90° de acero al carbono de 4"	Ud.	38,22 €	14	535,08 €
Codos de 90° de acero al carbono de 2"	Ud.	14,86 €	20	377,20 €
Te de acero al carbono de 4"	Ud.	21,30 €	3	63,90 €
Te de acero al carbono de 2"	Ud.	18,45 €	7	129,15 €
Drenajes de ½ " de acero inoxidable	Ud.	72,30 €	16	1156,8 €
Disco de ruptura 2" acero inoxidable	Ud.	25,34 €	1	25,34 €
Disco ciego 2" acero inoxidable	Ud.	17,60 €	1	17,60 €
TOTAL.....				6406,57 €

### 2.3.VÁLVULAS

VÁLVULA	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Válvula de compuerta de 4" de acero inoxidable	Ud.	242,00 €	9	2178,00 €
Válvula de compuerta de 2" de acero inoxidable	Ud.	140,00 €	3	420,00 €
Válvula de compuerta de 1" de acero al carbono	Ud.	92,00 €	2	184,00 €
Válvula antirretorno de 4" de acero inoxidable	Ud.	214,00 €	3	642,00 €
Válvula antirretorno de 2" de acero inoxidable	Ud.	110,00 €	2	220,00 €
Válvula antirretorno de 1" de acero al carbono	Ud.	75,50 €	2	151,00 €
Válvula de globo de 4" de acero inoxidable	Ud.	1054,30 €	1	1054,30 €
Válvula de globo de 2" de acero inoxidable	Ud.	867,00 €	2	1734,00 €
Válvula de bola de 2" de acero inoxidable	Ud.	910,00 €	3	2730,00 €
Válvula de control de temperatura de 2"	Ud.	1540,25 €	1	1540,25 €
Válvula de control de caudal de 2"	Ud.	1124,45 €	1	1124,45 €
Válvula de control de nivel de 4"	Ud.	1034,50 €	1	1034,50 €
Válvula todo-nada acero inoxidable de 3"	Ud.	734,00 €	1	734,00 €
Válvula de tres vías acero al carbono	Ud.	421,34 €	1	421,34 €
Válvula de seguridad y alivio de presión de acero inoxidable	Ud.	965,20 €	1	965,20 €
TOTAL.....				15133,04 €

**2.4. INSTRUMENTACIÓN.**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Sonda de temperatura	Ud.	37,74 €	1	37,74 €
Sonda de temperatura ( en tubería)	Ud.	32,29 €	2	64,58 €
Controlador de temperatura	Ud.	41,32 €	1	41,32 €
Medidor de caudal	Ud.	793,40 €	2	1586,80 €
Controlador de caudal	Ud.	170,38 €	1	170,38 €
Medidor de presión	Ud.	128,98 €	3	386,94 €
Medidor de presión (en tubería)	Ud.	76,50 €	1	76,50 €
Controlador de presión	Ud.	254,00 €	1	254,00 €
Medidor de nivel visual	Ud.	50,35 €	1	50,35 €
Medidor de nivel	Ud.	98,74 €	1	98,74 €
Controlador de nivel	Ud.	120,36 €	1	120,36 €
Variador de velocidad	Ud.	1010,80 €	2	2021,60 €
Manómetros	Ud.	7,50 €	3	22,50 €
Convertidor de señal eléctrica a neumática	Ud.	246,00 €	3	738,00 €
TOTAL.....				5669,81 €

### 3.PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

- Equipos.....	64015,50 €
- Conducciones y accesorios.....	6406,57 €
- Válvulas.....	15133,04 €
- Instrumentación.....	5669,81 €

---

Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.) .....91224,92 €

El PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL del proyecto “Diseño de un absorbedor para la eliminación de ácido sulfhídrico de una corriente gaseosa procedente de la torre de vacío de la refinería Gibraltar-San Roque” asciende a la cantidad de “NOVENTA Y UN MIL DOSCIENTAS VEINTICUATRO EUROS CON NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS”

#### 4.PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

- Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.).....91224,92 €
- Gastos generales ( 13%).....11859,24 €
- Beneficios Industriales ( 6%).....5473,50 €
- IVA (18%).....16420,49 €

---

Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.) .....124978,15 €

EL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA del proyecto “Diseño de un absorbedor para la eliminación de ácido sulfhídrico de una corriente gaseosa procedente de la torre de vacío de la refinería Gibraltar-San Roque” asciende a la cantidad de “CIENTO VEINTICUATRO MIL NOVECIENTOS SETENTA Y OCHO EUROS CON QUINCE CÉNTIMOS”

Puerto Real, Septiembre de 2011

Fdo: Mercedes De la Calle Cabrera

