



Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales
etsii UPCT

DISEÑO DE LA SECCIÓN DE PURIFICACIÓN DE UNA PLANTA DE HIDRODEALQUILACIÓN DE TOLUENO

Titulación: *Ingeniería Técnica
Industrial*

Intensificación: *Química Industrial*

Alumno/a: *Sonia Olivas García*

Director/a/s: *Beatriz Miguel Hernández
Antonia Pérez de los Ríos*

Cartagena, 28 de Febrero de 2012

Contenido

MEMORIA DESCRIPTIVA	5
1. MEMORIA DESCRIPTIVA	6
1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO.	6
1.2 ANTECEDENTES.	6
1.2.1 TOLUENO	6
1.2.2 HIDROGENO	9
1.2.3 METANO	9
1.2.4 BENCENO	10
1.2.5 USOS Y APLICACIONES. TOXICIDAD	13
1.3 PROCESO INDUSTRIAL	14
1.4 MÁQUINARIA E INSTALACIONES.	16
1.5 PRODUCTOS UTILIZADOS.	17
1.6 PRODUCTOS OBTENIDOS.	17
1.7 DESCRIPCION DE LAS UNIDADES	18
1.7.1 DESTILACION FLASH	18
1.7.2 COLUMNAS DE DESTILACIÓN.	22
1.7.3 INTERCAMBIADORES DE CALOR.	27
1.8 NORMATIVA Y LEGISLACIÓN	31
1.9 SEGURIDAD Y ALMACENAJE	37
CÁCULOS JUSTIFICATIVOS	40
2. CALCULOS JUSTIFICATIVOS	41
2.1 DESTILADOR V-102	41
2.1.1 INTRODUCCIÓN	41
2.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO	41
2.1.3 CONDICIONES DE DISEÑO	42
2.1.4 PARAMETROS DE DISEÑO	43
2.1.5 EVALUACION DEL DISEÑO	46
2.1.6 HOJA DE ESPECIFICACIONES	47
2.2 DESTILADOR V-103	48
2.2.1 INTRODUCCIÓN	48
2.2.2 CRITERIOS DE DISEÑO	48
2.2.3 CONDICIONES DE DISEÑO	49
2.2.4 PARAMETROS DE DISEÑO	50
2.2.5 EVALUACION DEL DISEÑO	52
2.2.6 HOJA DE ESPECIFICACIONES	53
2.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR E-103	55
2.3.1 INTRODUCCIÓN	55
2.3.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN	55
2.3.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS FLUIDOS	57
2.3.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR	57
2.3.5 DISEÑO DE LA CARCASA.	59
2.3.6 DISEÑO DE LOS TUBOS	60

2.3.7	DEFLECTORES	60
2.3.8	EVALUACION DEL DISEÑO	61
2.3.9	HOJA DE ESPECIFICACIONES	62
2.4	INTERCAMBIADOR DE CALOR E-105	64
2.4.1	INTRODUCCIÓN	64
2.4.2	CONDICIONES DE OPERACIÓN	64
2.4.3	DISTRIBUCIÓN DE LOS FLUIDOS	66
2.4.4	SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR	66
2.4.5	DISEÑO DE LA CÁRCASA	68
2.4.6	DISEÑO DE LOS TUBOS	69
2.4.7	DEFLECTORES	69
2.4.8	EVALUACION DEL DISEÑO	70
2.4.9	HOJA DE ESPECIFICACIONES	71
2.5	COLUMNA DE DESTILACIÓN T-101	73
2.5.1	INTRODUCCIÓN	73
2.5.2	CONDICIONES DE OPERACIÓN	73
2.5.3	DISEÑO HIDRODINAMICO.	74
2.5.4.	DISEÑO MECANICO	79
2.5.5	HOJA DE ESPECIFICACIONES	82
2.6	REHERVIDOR	83
2.6.1	INTRODUCCIÓN	83
2.6.2	CONDICIONES DE OPERACIÓN	83
2.6.3	DISTRIBUCIÓN DE LOS FLUIDOS	84
2.6.4	TIPO DE INTERCAMBIADOR.	84
2.6.5	DISEÑO DE LA CÁRCASA	86
2.6.6	DISEÑO DE LOS TUBOS	87
2.6.7	EVALUACION DEL DISEÑO	88
2.6.8	HOJA DE ESPECIFICACIONES	89
2.7	CONDENSADOR	91
2.7.1	INTRODUCCIÓN	91
2.7.2	CONDICIONES DE OPERACIÓN	92
2.7.3	DISTRIBUCIÓN DE LOS FLUIDOS	92
2.7.4	SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR	93
2.7.5	DISEÑO DE LA CÁRCASA	93
2.7.6	DISEÑO DE LOS TUBOS	94
2.7.7	EVALUACION DEL DISEÑO	95
2.7.8	HOJA DE ESPECIFICACIONES	96
PRESUPUESTOS		97
3	PRESUPUESTOS	98
3.1	INTRODUCCIÓN	98
3.2	CÁLCULO DEL COSTE BASE DEL EQUIPO	98
3.3	CALCULO DE LA CORRECCION POR PRESIÓN	99
3.4	CALCULO DEL COSTE DE REFERENCIA	99
3.5	CALCULO DEL FACTOR DE ACTUALIZACION	100
3.6	CALCULO COSTE FINAL DEL EQUIPO	101
3.7	COSTE TOTAL DE LA PLANTA	101
3.8	ESTIMACION DE COSTES DE LAS UNIDADES.	102
3.9	COSTE TOTAL	103

ANEXOS	104
4 ANEXOS	105
4.1 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DE LA PLANTA	105
4.2 CALCULO DE LAS PROPIEDADES	107
<i>4.3 SERVICIOS DISPONIBLES EN LA PLANTA</i>	<i>115</i>

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO.

El objetivo del proyecto es realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la sección de purificación de una planta de hidrodealquilación de tolueno.

La obtención del benceno del 97.5% w/w de pureza es de gran interés industrial podemos destacar que se utiliza como constituyente de combustibles para motores, disolventes de grasas, aceites, pinturas y nueces en el grabado fotográfico de impresiones. También se utiliza como intermediario químico.

El Benceno también se usa en la manufactura de detergentes, explosivos, productos farmacéuticos y tinturas.

1.2 ANTECEDENTES.

1.2.1 Tolueno

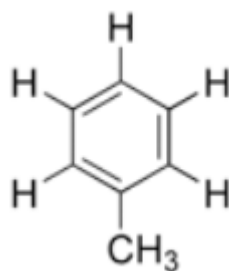


Fig. Tolueno

Fórmula semidesarrollada: $C_6H_5CH_3$

Fórmula molecular: C_7H_8

El tolueno es la materia prima a partir de la cual se obtienen derivados del benceno, el ácido benzoico, el fenol, la caprolactama, la sacarina, el TDI (diisocianato de tolueno) materia prima para la

elaboración de poliuretano, medicamentos, colorantes, perfumes, TNT y detergentes.

A temperatura y presión ambiente el Tolueno es un líquido transparente, volátil e inflamable que forma mezclas explosivas con el aire.

Es un hidrocarburo de la serie aromática. Posee olor dulce e irritante característico en compuestos con anillos bencénicos.

Está presente en el petróleo crudo, que es por mucho la fuente principal de donde se obtiene; también se genera en el proceso de manufactura del coque a partir de carbón formando parte del alquitrán y como producto del metabolismo del árbol de Tolú donde se encuentra formando resinas.

El Tolueno está clasificado como un compuesto orgánico volátil. Los vapores de esta sustancia son peligrosos para la salud humana; además sus propiedades de inflamabilidad a temperaturas mayores de 5 ° C representan un alto peligro para la generación de fuego en condiciones atmosféricas de presión y temperatura.

El Tolueno es un solvente de muchos productos aromáticos, pero es muy poco soluble en agua, de donde se separa y asciende gracias a su menor densidad. Es soluble en alcohol, Benceno y Éter.

Es un químico muy usado en la fabricación de una gran diversidad de productos como el Trinitrotolueno, el Ácido Benzoico, colorantes y muchos otros. Los mayores usuarios de Tolueno en el mundo son

compañías que se dedican a la preparación de **Benceno**, que es su producto principal.

- **Propiedades Físicas.**

PROPIEDAD	VALOR
Gravedad Específica (Agua = 1)	0,87
Densidad del Vapor (Aire = 1)	3,14
pH	No Reportado
Solubilidad en Agua	0,07%; 23 °C
Kow	2,69
Koc	176
Límites de Inflamabilidad (% vol)	1,2%-7,1%
Temperatura de Auto Ignición (°C)	480
Punto de Inflamación (°C)	4,4 copa cerrada

- **Propiedades Químicas.**

El Tolueno no reacciona con Ácidos o bases diluidos. No es una sustancia corrosiva. En la atmósfera reacciona rápidamente con radicales Hidroxilo y forma una gran variedad de productos de oxidación.

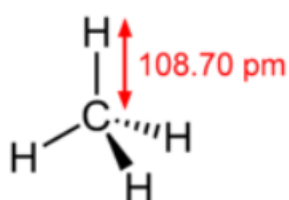
También cabe destacar que reacciona vigorosamente con agentes oxidantes fuertes y puede generar calor o hacer ignición y explotar. Los contenedores de Tolueno pueden explotar por causa de un aumento no controlado en la temperatura de almacenamiento.

Cuando el Tolueno se ve envuelto en fuego o existe Tolueno en combustión se pueden generar gases y vapores tóxicos como monóxido o Dióxido de Carbono. Debido a sus buenas propiedades como solvente, puede atacar algunos tipos de plástico, caucho y la mayoría de recubrimientos.

1.2.2 Hidrogeno

En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico (H_2) incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. Con una masa atómica de 1,00794(7) u, el hidrógeno es el elemento químico más ligero y es, también, el elemento más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia visible del universo

1.2.3 Metano



El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH_4 .

Cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente. Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro e inodoro y apenas soluble en agua en su fase líquida.

En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. Muchos microorganismos anaeróbicos lo generan utilizando el CO_2 como aceptor final de electrones.

Constituye hasta el 97% del gas natural. En las minas de carbón se le llama grisú y es muy peligroso ya que es fácilmente inflamable y explosivo.

El metano es un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra ya que tiene un potencial de calentamiento global de 23.2. Esto significa que en una media de tiempo de 100 años cada kg de CH_4 calienta la

Tierra 23 veces más que la misma masa de CO₂, sin embargo hay aproximadamente 220 veces más dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra que metano por lo que el metano contribuye de manera menos importante al efecto invernadero.

- **Toxicidad del metano**

El metano no es tóxico. Su principal peligro para la salud son las quemaduras que puede provocar si entra en ignición. Es altamente inflamable y puede formar mezclas explosivas con el aire. El metano reacciona violentamente con oxidantes, halógenos y algunos compuestos halogenados. El metano es también un asfixiante y puede desplazar al oxígeno en un espacio cerrado. La asfixia puede sobrevenir si la concentración de oxígeno se reduce por debajo del 19,5% por desplazamiento.

1.2.4 Benceno

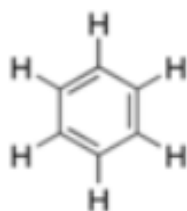


Fig. Benceno

Otros nombres: Benzol

Formula desarrollada: C₆H₆

A temperatura ambiente, el Benceno es un líquido incoloro o amarillo claro con olor dulce y aromático. Es altamente inflamable. Se volatiliza muy rápido en el aire y se disuelve poco en agua por sus características no polares, aunque es muy soluble en la mayoría de solventes orgánicos. Debido a su volatilidad, puede esparcirse por el aire hasta cualquier fuente de ignición distante.

El Benceno está presente en el aire, agua y suelo, y como su densidad es menor a la del agua, en medio acuático, permanece en la superficie de ésta. El Benceno que se encuentra en el ambiente

proviene tanto de procesos naturales como de actividades humanas. Las fuentes naturales incluyen volcanes e incendios forestales; el Benceno también es componente natural del petróleo crudo y la gasolina además del humo de cigarrillos.

La mayoría de las personas pueden percibir el olor del Benceno en el aire a concentraciones de 1.5 –4.7 ppm y percibir su sabor en el agua a 0.5 – 4.5 ppm.

- **Propiedades Físicas.**

PROPIEDAD	VALOR
Peso Molecular (g/mol)	78,11
Estado Físico	Líquido
Punto de Ebullición (°C)	5,5
Punto de Fusión (°C)	80,1; 760 mmHg
Presión de Vapor (mmHg)	75; 20 °C
Gravedad Específica (Agua = 1)	0,8787
Densidad del Vapor (Aire = 1)	2,7
pH	No Reportado
Solubilidad en Agua (% peso)	Insoluble
Koc	60 - 83
Constante de la Ley de Henry	$5,5 \times 10^{-3} \text{ atm/m}^3 \cdot \text{mol}$
Límites de Inflamabilidad (% vol)	1,2 – 7.8
Temperatura de Autoignición (°C)	498
Punto de Inflamación (°C)	-11; copa cerrada

- **Propiedades Químicas.**

El Benceno es una sustancia altamente inflamable, y sus vapores forman mezclas explosivas con gran facilidad.

Cuando se quema Benceno, se liberan vapores y gases tóxicos como Monóxido de Carbono, entre otros. La sustancia ataca algunas formas de plástico, cauchos y recubrimientos.

El Benceno reacciona de forma explosiva con oxidantes fuertes como percloratos, Ácido Nítrico, Cloro, Bromo con Hierro, Oxígeno y muchos fluoruros.

- **Obtención.**

Hay diversos métodos para obtener benceno a continuación enumeramos los más importantes desde un punto de vista industrial:

En la actualidad, el Benceno se recupera de las fuentes de carbón y petróleo. La gran mayoría del Benceno producido en el mundo se deriva de las industrias petroquímicas y de refinación de petróleo. Estas fuentes incluyen corrientes de refinerías (reformado catalítico), pirolisis de gasolina e hidrodealquilación de tolueno; no obstante, el reformado catalítico constituye su mayor fuente de producción. Durante este proceso, las cicloparfinas (también conocidas como “naftenos”) como el ciclo hexano, metil ciclo hexano y el dimetil ciclo hexano se convierten a Benceno mediante isomerización, deshidrogenación y desalquilación y las parafinas se convierten a Benceno por ciclodeshidrogenación. Las condiciones del proceso y el catalizador determinan cuál reacción predomina. De estas corrientes, el Benceno se recupera mediante extracción con un solvente (tetra etilen glicol).

Para la obtención de Benceno a partir de gasolina, se emplea un tipo de gasolina subproducto obtenido del craqueo de parafinas o hidrocarburos pesados. La gasolina de pirolisis contiene hidrocarburos alifáticos insaturados (como etileno y propileno) y aromáticos. Se encuentran disponibles muchos procesos de tratamiento de gasolina de pirolisis, incluyendo la hidrogenación parcial y la destilación extractiva; hidrogenación, hidrodesulfurización

y extracción con un solvente; o hidrogenación parcial, desulfurización, hidrocraqueado hidrodesalquilación y destilación para la optimización del rendimiento del Benceno y la recuperación del mismo.

En el proceso de hidrodesalquilación, el tolueno o las mezclas tolueno / xileno reaccionan con el hidrógeno produciendo Benceno y metano.

En la producción de Benceno, también se usa la transalquilación del tolueno. Se producen pequeñas cantidades de Benceno mediante la destilación destructiva del carbón usado en la producción de coque.

1.2.5 Usos y aplicaciones. Toxicidad

El Benceno se utiliza como constituyente de combustibles para motores, disolventes de grasas, aceites, pinturas y nueces en el grabado fotográfico de impresiones. También se utiliza como intermediario químico.

El Benceno también se usa en la manufactura de detergentes, explosivos, productos farmacéuticos y tinturas.

Además de estas aplicaciones el benceno tiene más aplicaciones pero menos relevantes.

- **Toxicidad.**

Respirar niveles de benceno muy altos puede causar la muerte, mientras que niveles bajos pueden causar somnolencia, mareo y aceleración del latido del corazón o taquicardia. Comer o tomar altos niveles de benceno puede causar vómitos, irritación del estómago, mareo, somnolencia o convulsiones, y en último extremo la muerte.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que el benceno es un reconocido carcinógeno en seres

humanos y otros mamíferos lactantes. La exposición de larga duración a altos niveles de benceno en el aire puede producir leucemia así como cáncer de colon.

Los efectos nocivos del benceno aumentan con el consumo de bebidas alcohólicas

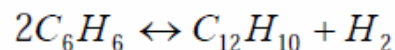
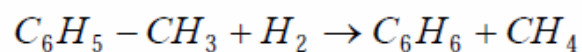
1.3 PROCESO INDUSTRIAL

Nuestro proceso industrial tiene como fin purificar benceno para conseguir el grado de pureza deseado, 97.5 % v/v de una planta de hidrodealquilación de Tolueno.

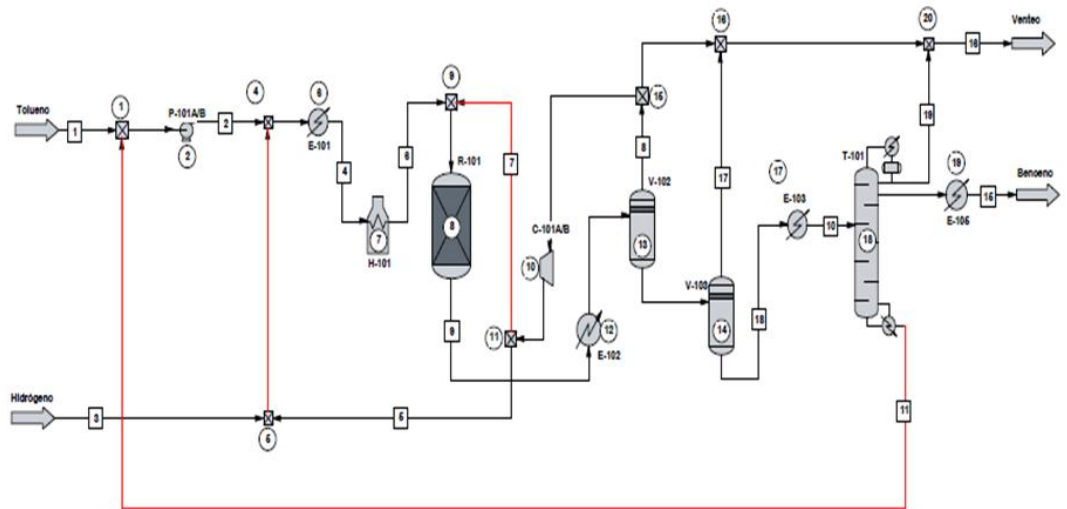
Este proceso requiere una sección de purificación ya que a la salida del reactor hay una mezcla de componentes: metano, hidrogeno, tolueno y benceno.

La purificación se consigue mediante dos columnas de destilación flash y una columna de relleno.

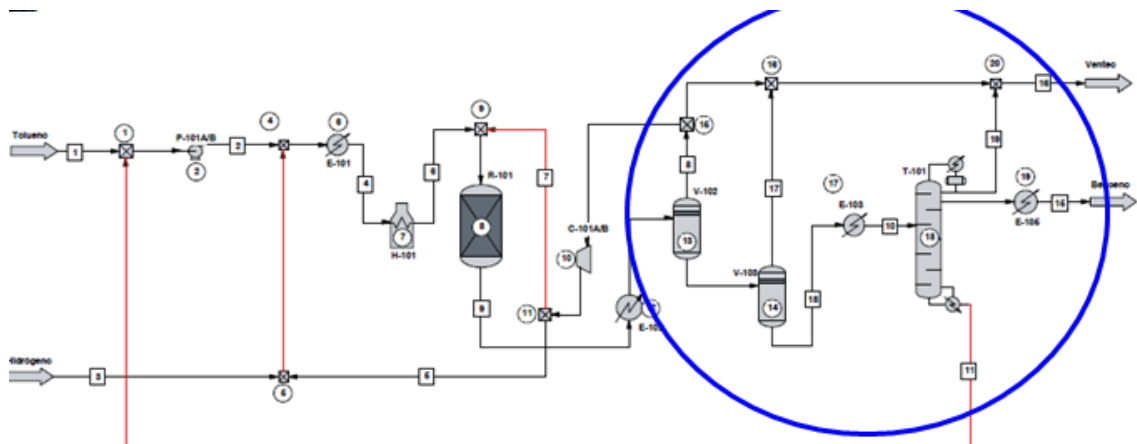
La reacción que tiene lugar es la siguiente:



El diagrama de flujo del proceso es el siguiente:



Siendo el objeto de nuestro proyecto el siguiente detalle del diagrama de flujo, la parte que abarca la circunferencia:



En el **Anexo 2** están los modelos que utiliza ChemCad para calcular las propiedades termodinámicas y físicas que utilizamos en este proceso industrial.

En el **Anexo 3** vemos los servicios disponibles para operar la planta de hidrodealquilación de tolueno.

1.4 MÁQUINARIA E INSTALACIONES.

La sección de purificación consta de los siguientes equipos:

- Dos columnas Flash: V-102 y V-103
- Dos intercambiadores de calor: E-103 y E-106
- Y una columna de destilación: T-101.

A la entrada de la primera columna Flash, V-102, se hace una destilación en la cual el producto de cabeza es mayoritariamente Hidrogeno y Metano, y los de cola Tolueno y Benceno quedando aún pequeñas cantidades de H_2 y CH_4 .

En la segunda columna Flash V-103 se vuelve a hacer la misma separación que anteriormente pero intentando dejar en la corriente de cola la mínima proporción de H_2 y CH_4 .

Antes de entrar en la columna de destilación T-101, la corriente pasa por el intercambiador de calor, E-103, que calienta la corriente desde $38^\circ C$ hasta $90^\circ C$.

Ya en el último equipo de la instalación, el destilador T-101, se consigue el grado de pureza especificado para el benceno.

En la columna de destilación T-101 tendremos un condensador E- en cabeza de columna y un reboiler en cola de columna.

En la corriente de cola, el Tolueno no reaccionado se recircula hasta la entrada. En la corriente de cabeza se encuentra el H_2 y CH_4 que se eliminan por venteo, uniéndose las demás corrientes de cabeza de los dos anteriores destiladores Flash.

1.5 PRODUCTOS UTILIZADOS.

En el **Anexo 1** se encuentra recogido los balances de materia y de energía de la planta de hidrodealquilación de tolueno.

Como materias primas tenemos el Tolueno que entra al reactor a 38^o C y a 108.7 Kmol/h. Con presión de 1.87 atm.

E Hidrogeno a 25 ^o C y con una presión de 25 atm. A 287 Kmol/h.

1.6 PRODUCTOS OBTENIDOS.

En la columna de destilación obtenemos los siguientes productos:

- **Por Cabeza:**

Componentes: Kmol/ h

Hydrogen	0.01844445
Methane	0.2275786
Benzene	0.05941965
Toluene	0.0004238871
Water	0

- **Por Cola:**

Componentes: Kmol/h

Hydrogen	1.021919e-019
Methane	5.622036e-020
Benzene	0.9929968
Toluene	32.10693
Water	0

- **Por el lateral de la columna:**

Hydrogen	0.005424923
Methane	0.4147876
Benzene	103.2551
Toluene	2.10977
Water	0

1.7 DESCRIPCION DE LAS UNIDADES

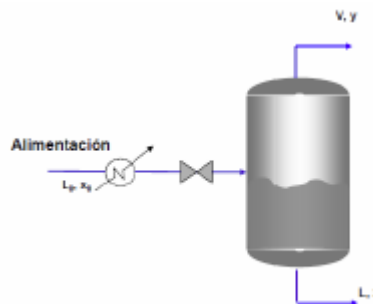
1.7.1 DESTILACION FLASH

- **INTRODUCCION**

La destilación flash es una técnica de separación de una sola etapa.

El procedimiento consiste en introducir una mezcla a un recipiente de volumen suficientemente grande (tambor de separación) donde se reduce su presión y se separan una fracción líquida y una fracción gaseosa. Como el vapor y el líquido están en un estrecho contacto, ocurre que las dos fases se aproximan al equilibrio.

Los procesos de separación flash son muy comunes en la industria, particularmente en la refinación de petróleo. Aunque se utilicen otros métodos de separación, no es raro encontrar destilaciones flashes preliminares para reducir la carga de entrada a los otros procesos.



• **COMPONENTES DEL DESTILADOR FLASH**

Tipos:

Forma cilíndrica:

- Más fácil construcción
- Menores espesores para resistir una = P

* **Cubierta**

- Cuando el diámetro de cubierta es menor de 24 pulgadas (60.9 cm) se utiliza, normalmente, tubería, y en diámetros superiores se realiza a partir de chapa arrollada y soldada

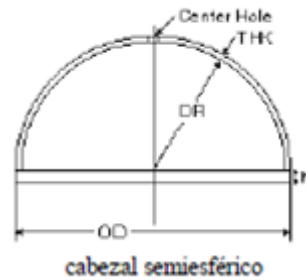
Las cubiertas pueden ser simples o estar compuestas de un metal y un revestimiento interno o externo, de diversa naturaleza y función:

- **Vitrificados:** Para el contacto con atmósferas corrosivas reduciendo el coste respecto de si todo el recipiente se hubiera construido de un metal resistente a la corrosión.
- **Refractarios:** Permiten reducir costes cuando la temperatura excede la del uso de los metales comunes. Se refrigeran externamente bien con aire o con camisas de agua.

Cabezales:

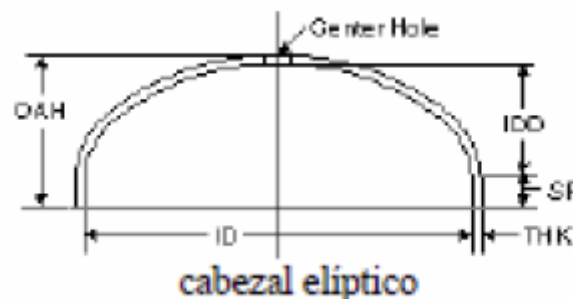
Semiesféricos (Hemispherical)

Ventajas	Inconvenientes
Más económicos para altas presiones	Más costosos se restringe a casos específicos de grandes espesores o materiales especiales.



Elipsoidales (Elipsoidal)

Más utilizados para bajas y medias presiones



Este es el tipo de cabezal que utilizaremos a la hora de diseñar las columnas de flash que constan en nuestra planta química.

Policéntricos o torisféricos (Torispherical)

- Pseudoelíptico o Korbogen: $R = 0.8De$ y $r = De/6.5$ – P bajas y medias.
- Policéntrico 10:1 o Klopper: $R = De$ y $r = De/10$ – P muy bajas.

Además de estos dos tipos de cabezales más utilizado se encuentran los: Cónicos (menos empleado) y Planos (menos empleado).

Toberas:

Se deben considerar todas las toberas necesarias:

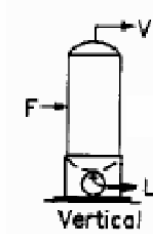
- Alimentación
- Extracción de productos

- Venteos de gases y dispositivos de alivio de presión
- Purgas
- Instrumentación (temperatura, nivel, presión, pH)

Cada tobera de entrada o salida del recipiente incrementa su coste - no sólo por el precio de la misma-, sino porque es necesario reforzar las paredes del recipiente en las proximidades de la misma.

Dispositivos de sujeción y apoyo:

Recipientes verticales:



- **Patas:**

- altura no superior a 5 m y diámetros no superiores a 2.4 m, siempre que el peso no sea muy grande

- **Faldón cilíndrico o cónico**

- más utilizado para torres, reactores y recipientes de tamaño medio y grande

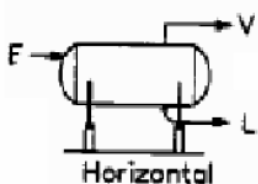
- **Ménsulas**

- cuando las dimensiones y pesos no son muy grandes

Recipientes horizontales:

- **Cunas** (normalmente 2)

* **Materiales de construcción:** de acero son las más habituales y de cemento para casos especiales.



1.7.2 COLUMNAS DE DESTILACIÓN.

INTRODUCCIÓN

La destilación es una operación unitaria cuya finalidad es separar dos o más componentes de una mezcla líquida aprovechando las diferencias en sus presiones de vapor.

Poniendo en contacto una fase gaseosa y una fase líquida, la fase gaseosa se va enriqueciendo en el componente más volátil (más ligero), mientras que la fase líquida descendiente se va enriqueciendo en el componente menos volátil (más pesado).

- **TIPOS DE COLUMNAS DE DESTILACION**

La destilación industrial tiene lugar en dos tipos de columnas de destilación: la columna de platos y la columna de relleno.

Brevemente describiremos ambas unidades. Cabe destacar que en el presente proyecto se ha elegido la columna de platos por ser la que mejor resultados nos ofrece.

- **Columna de relleno**

En las columnas de relleno la operación de transferencia de masa se lleva a cabo de manera continua. La función principal del relleno consiste en aumentar la superficie de contacto entre el líquido y el vapor, aumentar la turbulencia y por tanto mejorar la eficacia. A medida que aumenta el tamaño del relleno disminuye la eficiencia de la transferencia de materia y aumenta la pérdida de carga, por tanto

para determinar el tamaño óptimo de relleno habrá que llegar a un compromiso entre estos dos factores.

La selección del material de relleno se basa en criterios como resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, resistencia térmica y características de mojado. Además, es necesario disponer un distribuidor de líquido en la parte superior de la columna para asegurar que el líquido moje de manera uniforme todo el relleno y no se desplace hacia las paredes.

En general las columnas de relleno encuentran mayor aplicación en absorción de gases, donde es frecuente la presencia de reacciones químicas corrosivas, así como también en el laboratorio, plantas piloto y operación de alto vacío

Se tienen varios tipos de relleno:

- **Al azar:** este tipo de relleno es bastante económico y suelen ser de materiales resistentes a la corrosión (metálicos, cerámicos o de plástico). Los rellenos más empleados eran los anillos Raschig y las sillas o monturas Berl, pero ahora han sido reemplazados por otros más eficientes como los anillos Pall, las monturas Intalox y los anillos Bialecki.



Anillos Rasching



Anillos Pall

Estructurado: es bastante más caro por unidad de volumen que el relleno al azar, pero ofrece mucha menos pérdida de carga por etapa y tiene mayor eficiencia y capacidad.

- **Columna de platos**

En las columnas de platos la operación se lleva a cabo en etapas. El plato va a proporcionar una mezcla íntima entre las corrientes de líquido y vapor. El líquido pasa de un plato a otro por gravedad en sentido descendente, mientras que el vapor fluye en sentido ascendente a través de las ranuras de cada plato, burbujeando a través del líquido.

Al plato se le exige que sea capaz de tratar las cantidades adecuadas de líquido y vapor sin una inundación o un arrastre excesivos, que sea estable en su funcionamiento y resulte relativamente simple en cuanto a instalación y mantenimiento. También es importante conseguir que la caída de presión en el plato sea mínima.

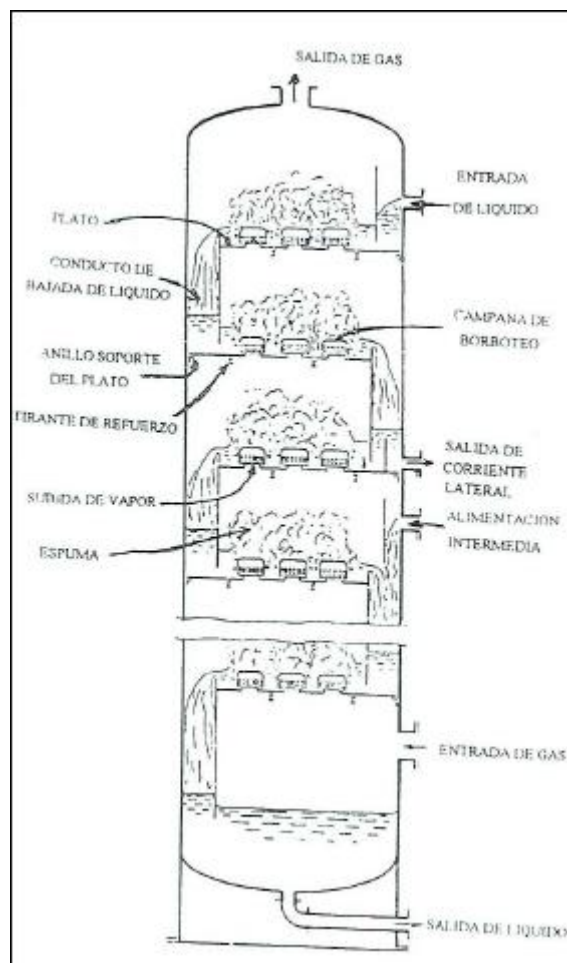
El número de platos necesarios para efectuar una separación dada vendrá determinado por distintos factores, que se analizarán a continuación. Por lo general cuanto mayor sea el número de platos de la torre, mayor será la separación conseguida.

Se pueden encontrar diferentes tipos de platos:

Platos de campanas de borboteo: ha sido el plato más ampliamente utilizado, las campanas están colocadas sobre unos conductos de subida.

Platos perforados: su construcción es mucho más sencilla, requiriendo la perforación de pequeños agujeros en la bandeja.

Platos de válvulas: es un intermedio entre los de campanas de borboteo y los platos perforados. La construcción es similar a los de campanas, cada agujero tiene por encima una válvula que se eleva ante el paso del vapor.



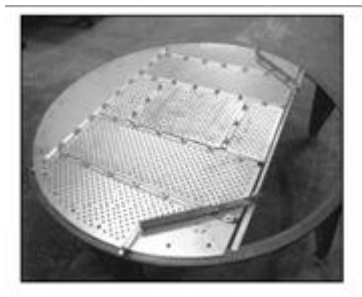
borboteo

Columna Platos de campana de

Las columnas de platos son las más empleadas en procesos de destilación. Se utilizan sobre todo cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- Grandes diámetros y torres con más de 20 ó 30 etapas.
- Cargas variables de líquido y/o vapor.
- Facilidad de limpieza.
- Elevados tiempos de residencia del líquido (por ejemplo, en procesos en los que se produce reacción química y se requiere un tiempo mínimo de reacción).
- Necesidad de utilizar serpentines de refrigeración en la columna.
- Presiones superiores a la atmosférica.
- Bajas velocidad de líquido.
- Posible ensuciamiento.
- Existencia de esfuerzos térmicos o mecánicos que podrían provocar la ruptura del relleno.

Tipos de platos:





1.7.3 INTERCAMBIADORES DE CALOR.

- **INTRODUCCION**

Los equipos donde se intercambia energía entre fluidos calientes y fríos se denominan intercambiadores de calor. Su diseño es de gran importancia económica, pues la óptima recuperación de la energía y el óptimo tamaño y peso del cambiador de calor suelen ser factores fundamentales que afectan a la economía del proceso.

En general, los mecanismos fundamentales de transmisión de calor que intervienen en un intercambiador de calor son los de convección y conducción. Esto no implica que el mecanismo de radiación no tenga importancia en algunos casos concretos pero, en general, y no tratándose de temperaturas elevadas su papel es poco relevante.

La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos.

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

Intercambiador de Calor: Realiza la función doble de calentar y enfriar dos fluidos.

Condensador: Condensa un vapor o mezcla de vapores.

Enfriador: Enfría un fluido por medio de agua.

Calentador: Aplica calor sensible a un fluido.

Rehervidor: Conectado a la base de una torre fraccionadora proporciona el calor de reebulición que se necesita para la destilación. (Los hay de termosifón, de circulación forzada, de caldera,...)

Vaporizador: Un calentador que vaporiza parte del líquido.

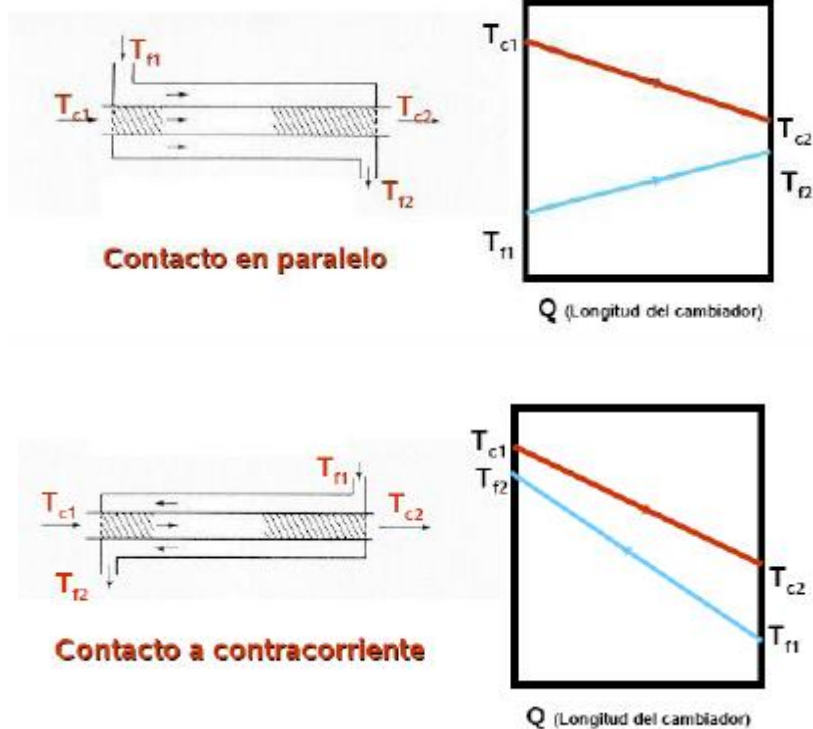
Recuperar la energía de corrientes residuales con fines económicos y/o medioambientales.

• TIPOS DE CONTACTO

En un intercambiador de calor se pueden distinguir dos tipos de configuraciones según sea el sentido del flujo de las corrientes entre sí: así tenemos el **flujo en paralelo** cuando los dos fluidos entran por el mismo extremo del cambiador y fluyen en el mismo sentido desde uno a otro extremo del mismo y el **flujo en contracorriente** cuando los dos fluidos entran por extremos opuestos del cambiador y circulan dentro de la unidad en sentidos opuestos.

Se pueden visualizar gráficamente mediante los diagramas T-Q donde se representan las temperaturas de las corrientes como rectas cuya pendiente es inversamente proporcional al producto de los caudales másicos y las capacidades caloríficas. Siendo el balance de energía.

A continuación mostramos los citados diagramas acompañados de un dibujo esquemático de un intercambiador:



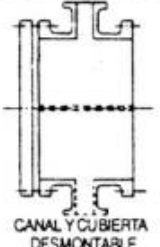
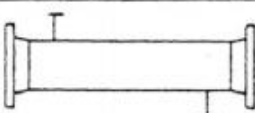

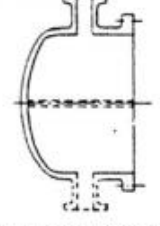
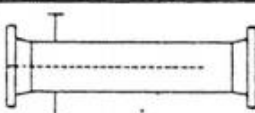


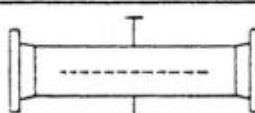


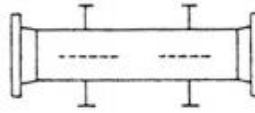
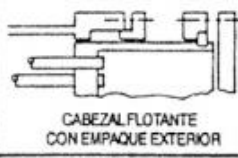
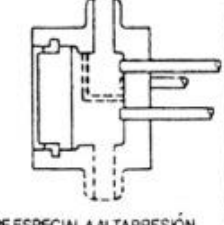
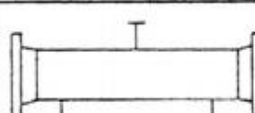

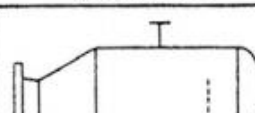
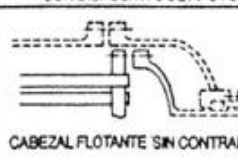
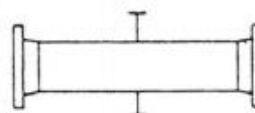
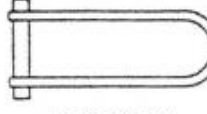

• INTERCAMBIADOR DE CARCASA Y TUBO

El intercambiador de carcasa y tubo es el elegido en cada uno de los intercambiadores del presente proyecto por ser el que más ampliamente son utilizados en la industria química y con las consideraciones de diseño mejor definidas. Consisten en una estructura de tubos pequeños colocados en el interior de un casco de mayor diámetro.

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

En este tipo de disposición uno o los dos fluidos realizan múltiples recorridos o pasos por el intercambiador. Así, si el fluido pasa una sola vez por los tubos y el caliente una sola vez por la carcasa bañando exteriormente los tubos, el intercambiador se denomina 1-1. Si el fluido frío pasa dos veces por la longitud de los tubos a lo largo del cambiador, este se denomina 1-2.

A continuación se muestra una tabla de TEMA:

TIPOS DE CABEZAL ESTACIONARIO, EXTREMO FRONTAL		TIPOS DE CORAZAS		TIPOS DE CABEZALES, EXTREMO POSTERIOR	
A	 CANAL Y CUBIERTA DESMONTABLE	E	 CORAZA DE UN PASO	L	 DE ESPEJO FUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "A"
B	 CASQUETE (CUBIERTA INTEGRADA)	F	 CORAZA DE DOS PASOS CON DEFLECTOR LONGITUDINAL	M	 DE ESPEJO FUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "B"
C	 SOLÓ HAZ DE TUBOS DESMONTABLE CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	G	 DE FLUJO PARTIDO	N	 DE ESPEJO FUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "N"
N	 CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	H	 DE FLUJO PARTIDO DOBLE	P	 CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR
D	 CIERRE ESPECIAL A ALTA PRESIÓN	J	 DE FLUJO DIVIDIDO	S	 CABEZAL FLOTANTE CON DISPOSITIVO DE APOYO
		K	 REHEVIDOR DE CALDERA	T	 CABEZAL FLOTANTE SIN CONTRABRIDA
		X	 FLUJO CRUZADO	U	 HAZ DE TUBO EN U
				W	 ESPEJO FLOTANTE SELLADO EXTERNAMENTE

1.8 NORMATIVA Y LEGISLACIÓN

En la redacción del presente Proyecto, se ha observado el cumplimiento de la Normativa Vigente que le es de aplicación, y en especial, la siguiente:

- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria (BOE núm. 176, de 23 de julio de 1992).
- Real Decreto 2135/1980, de 26 de septiembre, sobre liberalización industrial (BOE núm. 247, de 14 de octubre de 1980).
- Orden de 19 de diciembre de 1980 sobre normas de procedimientos y desarrollo del Real Decreto 2135/1980, de 26 de septiembre, de liberalización industrial (BOE núm. 308, de 24 de diciembre de 1980).
- Orden de 9 de septiembre de 2002 de la Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio por la que se adoptan medidas de normalización en la tramitación de expedientes en materia de Industria, Energía y Minas (BORM núm. 218, de 19 de septiembre de 2002, con corrección de errores en BORM núm. 235, de 9 de octubre de 2002).
- Resolución de 4 de noviembre de 2002, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se desarrolla la Orden de 9 de septiembre de 2002 de la Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio por la que se adoptan medidas de normalización en la tramitación de expedientes en materia de Industria, Energía y Minas (BORM núm. 284, de 10 de diciembre de 2002, con corrección de errores en BORM núm. 85, de 12 de abril de 2003).
- Resolución de 3 de julio de 2003, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se aprueban los contenidos esenciales de determinados proyectos y el modelo de certificado como consecuencia de la aprobación por el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, del reglamento electrotécnico para baja tensión (BORM núm. 171, de 26 de julio de 2003).

- Decreto 20/2003, de 21 de marzo, sobre criterios de actuación en materia de seguridad industrial y procedimientos para la puesta en servicio de instalaciones en el ámbito territorial de la Región de Murcia (BORM núm. 75, de 1 de abril de 2003, con corrección de errores en BORM núm. 79, de 5 de abril de 2003).
- Real Decreto 697/1995, de 28 de abril por el que se aprueba el Reglamento del Registro de Establecimientos Industriales de ámbito estatal (BOE núm. 128, de 30 de mayo de 1995).
- Real Decreto 2526/1998, de 27 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento de Establecimientos Industriales de Ámbito Estatal, aprobado por Real Decreto 697/1995, de 28 de abril, (BOE núm. 304, de 21 de diciembre de 1998).
- Resolución de 28 de mayo de 2003, de la Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio, por la que se ordena la nueva publicación del texto íntegro del Decreto nº 47/2003, de 16 de mayo, por el que se aprueba el reglamento del Registro de Establecimientos Industriales de la Región de Murcia (BORM núm. 128, de 5 de junio de 2003, con corrección de errores en BORM núm. 181, de 7 de agosto de 2003).
- Resolución de 22 de septiembre de 2003, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se aprueban los modelos de los impresos del Registro de Establecimientos Industriales de la Región de Murcia, creado por el Decreto 47/2003 de 16 de mayo (BORM núm. 257, de 6 de noviembre de 2003).
- Real Decreto 1560/1992, de 18 de diciembre, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-93) (BOE núm. 306, de 22 de diciembre de 1992).
- Real Decreto 330/2003, de 14 de marzo por el que se modifica el Real Decreto 1560/1992, de 18 de diciembre, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-93) (BOE núm. 79, de 2 de abril de 2003).

- Real Decreto 475/2007, de 13 de abril, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 2009 (CNAE -2009) (BOE núm. 102, de 28 de abril de 2007).
- Real Decreto 331/2003, de 14 de marzo, por el que se deroga el Real Decreto 81/1996, de 26 de enero, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Productos por Actividades 1996 (CNPA-96), y se establecen las normas aplicables sobre el uso de la clasificación CPA-2002 (BOE núm. 79, de 2 de abril de 2003).
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización, por los trabajadores, de los equipos de trabajo. (BOE núm. 188, de 7 de agosto de 1997).
- Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre, por el que dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembro sobre maquinaria (BOE núm. 297, de 11 de diciembre de 1992).
- Real Decreto 56/1995, de 20 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1435/1992, de 27 de diciembre por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembro sobre maquinaria (BOE núm. 33, de 8 de febrero de 1995).
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7 (BOE núm. 112, de 10 de mayo de 2001, con corrección de errores en BOE núm. 251, de 19 de octubre de 2001).
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (BOE núm. 303, de 17 de diciembre de 2004 con corrección de errores en BOE núm. 55, de 5 de marzo de 2005).
- Real Decreto 312/2005, de 18 de marzo, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos

constructivos en función de sus propiedades de reacción y resistencia frente al fuego (BOE núm. 79, de 2 de abril de 2005).

- Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios (BOE núm. 298, de 14 de diciembre de 1993, con corrección de errores en BOE núm. 109, de 7 de mayo de 1994).
- Orden de 16 de abril de 1998, sobre Normas de Procedimiento y Desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, y se revisa el anexo I y los apéndices del mismo (BOE núm. 101, de 28 de abril de 1998).
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de baja tensión (BOE núm. 224, de 18 de septiembre de 2002).
- Decreto 2443/1969, de 16 de agosto, Reglamento de Recipientes a Presión (BOE núm. 258, de 28 de octubre de 1969), modificado por Decreto 516/1972, de 17 de febrero de 1972 (BOE de 15 de marzo de 1972).
- Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión (BOE núm. 128, de 29 de mayo de 1979), y sobre todo sus ITC-MIE-AP1 relativas a “Calderas, Economizadores, Precalentadores, Sobrecalentadores y Recalentadores” (Orden de 17 de marzo de 1982, BOE núm. 84, de 8 de abril de 1981 y Orden de 28 de marzo de 1985, BOE núm. 89, de 13 de abril de 1985) e ITC-MIE-AP2 “Tuberías para fluidos relativos a calderas” (Orden de 6 de octubre de 1980, BOE núm.265, de 4 de noviembre de 1980), y modificaciones posteriores.
- Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativas a los equipos de presión y se modifica el Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, que aprobó el Reglamento de Aparatos a Presión (BOE núm. 129, de 31 de mayo de 1999).



- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico (BOE núm. 285, de 28 de noviembre de 1997).
- Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (BOE núm. 288, de 1 de diciembre de 1982; con corrección errores en BOE núm. 15, de 18 de enero de 1983).
- Orden de 6 de julio de 1984 por la que se aprueban las Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (BOE núm. 183, de 1 de agosto de 1984), y modificaciones posteriores.
- Orden de 10 de marzo de 2000, por la que se modifican las Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-RAT 01, MIE-RAT 02, MIE-RAT 06, MIE-RAT 14, MIE-RAT 15, MIE-RAT 16, MIE-RAT 17, MIE-RAT 18 y MIE-RAT 19 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (BOE núm. 72, de 24 de marzo de 2000; con corrección de errores en BOE núm. 250, de 18 de octubre de 2000).
- Real Decreto 2819/1998, de 23 de diciembre, por el que se regula las actividades de transporte y distribución de energía eléctrica (BOE núm. 321, de 30 de diciembre de 1998).
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (BOE núm. 310, de 27 de diciembre de 2000; con corrección de errores en BOE núm. 62, de 13 de marzo de 2001).
- Orden de 25 de abril de 2001, de la Consejería de Tecnología, Industria, Trabajo y Turismo, por la que se establecen procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica de tensión superior a 1 kV (BORM núm. 102, de 4 de mayo de 2001).


- Resolución de 5 de julio de 2001, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se desarrolla la Orden de 25 de abril de 2001, sobre procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica de tensión superior a 1kV (BORM núm. 173, de 27 de julio de 2001).
- Orden de 8 de marzo de 1996, de la Consejería de Industria, Trabajo y Turismo sobre mantenimiento de instalaciones eléctricas de Alta Tensión (BORM núm. 65, de 18 de marzo de 1996).
- Orden de 19 de junio de 1996, de la Consejería de Industria, Trabajo y Turismo, por la que se modifica la Orden de 8 de marzo de 1996, de la misma Consejería, sobre mantenimiento de instalaciones eléctricas de alta tensión (BORM núm. 153, de 3 de julio de 1996).
- LEY 34/2007 de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- LEY 1/95, de protección del medio ambiente.
- LEY 37/2003 de 17 de noviembre, de control del nivel de Ruido.
- LEY 10/1998 de 21 de abril, de control de Residuos industriales.
- LEY del Suelo de la Comunidad Autónoma de Murcia.
- Plan General de Ordenamiento Urbano.
- REAL DECRETO 919/2006 de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.
- Resolución de 14 de febrero de 1980: Diámetros y espesores mínimos de tubos de cobre para instalaciones interiores de suministro de agua.
- REAL DECRETO 485/97 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

- REAL DECRETO 47/2007 de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.
- LEY 31/95 de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales (incluye las modificaciones realizadas por la LEY/54/03 de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales).

1.9 SEGURIDAD Y ALMACENAJE

Fichas Internacionales de Seguridad Química

BENCENO		ICSC: 0015 Mayo 2003	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	71-43-2 CY1400000 1114 601-020-00-8 200-753-7	Ciclohexatrieno Benzol C_6H_6 Masa molecular: 78.1	 
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas. Riesgo de incendio y explosión: véanse Peligros Químicos.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas. Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra).	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
Inhalación	Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Jadeo. Convulsiones. Pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	PUEDA ABSORBERSE! Piel seca. Enrojecimiento. Dolor. (Además, véase Inhalación).	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Pantalla facial, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Dolor de garganta. Vómitos. (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo al alcantarillado. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: F, T R: 45-46-11-36/38-48/23/24/25-65 S: 53-45 Nota: E Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1114/30GF1-II Código NFPA: H 2; F 3; R 0;	A prueba de incendio. Separado de alimentos y piensos, oxidantes y halógenos.
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea @ CE, IPCS, 2005	
	

DATOS IMPORTANTES

<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS Reacciona violentamente con oxidantes, ácido nítrico, ácido sulfúrico y halógenos, originando peligro de incendio y explosión. Ataca plásticos y caucho.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 0.5 ppm como TWA; 2.5 ppm como STEL; (piel): A1; BEI establecido (ACGIH 2004). MAK: H; Cancerígeno clase: 1; Mutágeno clase: 3A; (DFG 2004).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y la consiguiente neumonitis química. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, dando lugar a disminución de la consciencia. La exposición muy por encima del OEL puede producir pérdida del conocimiento y muerte.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar a la médula ósea y al sistema inmune, dando lugar a una disminución de células sanguíneas. Esta sustancia es carcinógena para los seres humanos.</p>
---	--

PROPIEDADES FÍSICAS

<p>Punto de ebullición: 80°C Punto de fusión: 6°C Densidad relativa (agua = 1): 0.88 Solubilidad en agua, g/100 ml a 25°C: 0.18 Presión de vapor, kPa a 20°C: 10 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.7</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.2 Punto de inflamación: -11°C c.c. Temperatura de autoignición: 498°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.2-8.0 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 2.13</p>
---	--

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos.

NOTAS

El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. La alerta por el olor es insuficiente. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2004: ver Clasificación UE.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 1 ppm; 3,25 mg/m³

C1A (Sustancia carcinogénica de categoría 1A). M1B (Sustancia mutagénica de categoría 1B).

Notas: vía dérmica. Es de aplicación el RD 1124/2000, por el que se modifica el RD 665/1997 de agentes cancerígenos. Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH.

VLB: 0,045 mg/g creatinina en orina de ácido S-Fenilmercaptúrico; 2 mg/L en orina de ácido t,t-Mucónico; 5 µg/L en sangre de benceno total.

NOTA LEGAL

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, auto de la versión española.

© IPCS, CE 2005

En la ficha de seguridad del benceno nos indica cómo debe efectuarse el almacenaje siendo obligatorio separarlo de los alimentos, piensos, oxidantes y halógenos.

Dada su reconocida peligrosidad que se vio en el apartado que se explicaba el benceno debemos dotar a los trabajadores de EPI's según la normativa vigente sobre productos químicos peligrosos y cancerígenos.

CÁCULOS JUSTIFICATIVOS

2. CALCULOS JUSTIFICATIVOS

2.1 DESTILADOR V-102

2.1.1 INTRODUCCIÓN

En la columna de destilación tendremos como objeto el separar todos los componentes procedentes del reactor, es decir, el metano, tolueno, hidrogeno y benceno.

Siendo nuestro cometido el extraer por cola todo el benceno. Es inevitable que en dicha corriente siga habiendo cantidades de los otros componentes.

Las características del proceso son las siguientes:

A la entrada tendremos una temperatura de 38 ° C y una presión de 23. 58 atm.

2.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO

- **Criterios técnicos**

Las dimensiones del recipiente dependerán de la velocidad de separación de líquido y vapor (tiempo de residencia).

- **Criterios normativos**

Los recipientes a presión deben cumplir unos reglamentos e incluso unas normas de cálculo de obligado cumplimiento.

- **CÓDIGO ASME Sección VIII (Divisiones 1 y 2)**

- **DIRECTIVA 97/23/CE DE APARATOS A PRESIÓN**

- **RD 769/1999**

Selección de la configuración flash.

Para ello nos basaremos en criterios económicos para optimizar la planta que estamos diseñando.

Como tenemos caudales alrededor de 2.5 m³/h utilizaremos una orientación vertical que para estos casos es más eficaz que la horizontal.

2.1.3 CONDICIONES DE DISEÑO

Las condiciones de diseño para esta configuración Flash son las siguientes:

- **Corriente de entrada destilador flash V-102**

Temp C	38
Pres atm	23.58747
Vapor Fraction	0.8939751
Enthalpy MJ/h	-28386.02
Total flow	1341.957
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen	715.5056
Methane	475.4937
Benzene	115.5334
Toluene	35.42409
Water	0

- **Corriente de cabeza**

Temp C	38
Pres atm	23.58747
Vapor Fraction	1
Enthalpy MJ/h	-34010
Total flow	1199.676
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen	714.8712
Methane	472.5868
Benzene	11.03153
Toluene	1.186624
Water	0

La corriente de cabeza va hacia los gases de venteo.

- **Corriente de cola**

Temp C	38
Pres atm	23.58747
Vapor Fraction	0
Enthalpy MJ/h	5623.962
Total flow	142.2805
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen	0.6343219
Methane	2.906859
Benzene	104.5019
Toluene	34.23747
Water	0

La salida del destilador flash V-102 se envía directamente al siguiente destilador flash V-103.

2.1.4 PARAMETROS DE DISEÑO

- **Material de diseño.**

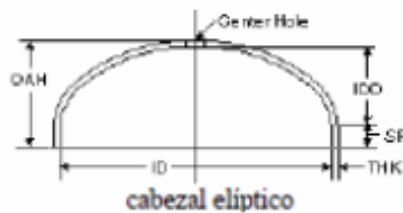
La selección de los materiales debe atender a dos factores:

1. La resistencia a los esfuerzos.
2. La resistencia a la corrosión.

En cuanto a la resistencia a los esfuerzos, esta depende de la naturaleza del material y de la temperatura de operación. Por ello, hemos elegido acero al carbono ya que cumple las pautas de diseño y se considera un material relativamente económico y con muy buenas prestaciones. Además, de que en nuestra planta no se superan los 440 ° C.

- **Tipo de cabezal.**

Una vez, elegida la disposición horizontal tendremos que elegir el tipo de cabezal siendo nuestra elección el Elipsoidal (Elipsoidal) más utilizados para P bajas y medias.



- **Factor Kv**

En ChemCad el factor Kv lo calcula a raíz de los datos introducidos.

- **Esfuerzo máximo admisible (S)**

Depende de material de construcción y T (Tabulado).

Al haber elegido como material de construcción acero al carbono tendremos que;

$$S=15150 \text{ psia}$$

- **Eficiencia de soldaduras cubierta/cabezal (E)**

Dependen del tipo de soldadura y de la inspección realizada.

Consideramos junta con soldadura doble radiografiada.

Por lo tanto, $E=1$.

- **Sobre-espesor de corrosión**

Al espesor hay que añadirle un sobre-espesor debido a la futura corrosión. Como la mayoría de los parámetros dependen del tipo de material elegido,

$(\Delta t)_{\text{corr}} = 1/8''$ para aceros al carbono y aleaciones bajas

Teniendo en cuenta una pérdida de 0.015 pulg. /año.

- **Porcentaje de sobre-peso (WPA)**

Se estima $WPA=0.20$

Teniendo en cuenta el peso de accesorios y toberas.

- **Densidad del recipiente (ρ_s)**

Al ser acero al carbono la densidad del recipiente tiene un valor de

$\rho_s = 7833.41 \text{ Kg/m}^3$

- **Espesor de la pestaña de unión de cubierta y cabezal (SF)**

Estimar $h = 0.0508 \text{ m}$

- **Diámetro mínimo (D)**

$D_{\text{min}} = 0.1016 \text{ m}$


2.1.5 EVALUACION DEL DISEÑO

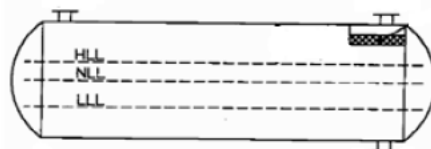
Para la evaluación del diseño tendremos en cuenta el tiempo de residencia en el destilador flash.

Para productos que van a ser posteriormente purificados en una torre de destilación, el rango de tiempo más adecuado es de 5-10 minutos.

En nuestro caso el tiempo de residencia es de 10.10 minutos. Por lo tanto, podemos concluir que el diseño es aceptable.

2.1.6 HOJA DE ESPECIFICACIONES

	HOJA DE ESPECIFICACIONES DESTILACION FLASH V-102		Item N°: V-102
Cliente: Universidad Politécnica de Cartagena			
Referencia:			
Descripción del equipo: columna de destilación flash			
PROPIEDADES DE LA CORRIENTE CIRCULANTE			
	Vapor	Líquido	
Flujo (Kg)	9993.80	11365.64	
Flujo (m³/h)	1298.91	13.53	
Densidad (Kg/m³)	7.69	840.11	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
Tiempo de residencia (min)	10.10		
Presión de diseño (atm)	28.30		
Máxima presión permisible (atm)	1021.71		
Velocidad máxima de flujo (m/s)	1.55		
Eficacia de las juntas de la carcasa	1		
Constante K (m/s)	0.14		
DATOS DE DISEÑO			
Volumen total del recipiente (m³)	3.32		
Longitud (m)	2.44		
Diámetro interior (m)	1.22		
Relación longitud/diámetro	2		
Espesor de la carcasa (m)	0,02		
Peso de la carcasa (Kg)	1655.65		
Tipo de cabezal	Elipsoidal		
Eficacia de las juntas del material	1		
Peso del cabezal (Kg)	761.3394		
Densidad del recipiente (Kg/m³)	7833.41		
Peso total vacío (Kg)	5207.11	Coefficiente de seguridad en peso (%)	20



Peso total lleno (Kg)	5690.52	Permeabilidad a la corrosión (m)	0,0032
Peso máximo lleno permitido (Kg)	5690.52	Espesor del cabezal (m)	0,022
MATERIALES			
Carcasa	Acero al carbono	Tubos	Acero al carbono
Cabezales	Acero al carbono	Faldones	Acero al carbono
Departamento de Ingeniería Química Ambiental			
Nº Rev.	Fecha	Revis. por	Aprobado
001	9/2011		
			Comprobado
			Firma

2.2 DESTILADOR V-103

2.2.1 INTRODUCCIÓN

En la columna de destilación tendremos como objeto el separar todos los componentes procedentes del reactor, es decir, el metano, tolueno, hidrogeno y benceno.

Siendo nuestro cometido el extraer por cola todo el benceno. Es inevitable que en dicha corriente siga habiendo cantidades de los otros componentes.

Las características del proceso son las siguientes:

A la entrada tendremos una temperatura de 38 ° C y una presión de 23. 58 atm.

2.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO

- **Criterios técnicos**

Las dimensiones del recipiente dependerán de la velocidad de separación de líquido y vapor (tiempo de residencia)

- **Criterios normativos**

Los recipientes a presión deben cumplir unos reglamentos e incluso unas normas de cálculo de obligado cumplimiento.

- **CÓDIGO ASME Sección VIII (Divisiones 1 y 2)**

- **DIRECTIVA 97/23/CE DE APARATOS A PRESIÓN**

- **RD 769/1999**

Para ello nos basaremos en criterios económicos para optimizar la planta que estamos diseñando.

Como tenemos caudales mayores de 25 m³/h utilizaremos una orientación horizontal que para estos casos es más eficaz que la vertical.

2.2.3 CONDICIONES DE DISEÑO

A continuación detallaremos las condiciones de las corrientes que entran y salen del destilador flash V-103.

- **Para la corriente de entrada**

Temp C	38
Pres atm	23.58747
Vapor Fraction	0
Enthalpy MJ/h	5623.962
Total flow	142.2805
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen	0.6343219
Methane	2.906859
Benzene	104.5019
Toluene	34.23747
Water	0

- **Para la corriente de cabeza**

Temp C	38
Pres atm	2.763386
Vapor Fraction	1
Enthalpy MJ/h	-150.9869
Total flow	3.089688
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen	0.6104525
Methane	2.264493
Benzene	0.1943915
Toluene	0.02035115
Water	0

La corriente de cabeza va hacia los gases de venteo.

- **Para la corriente de cola**

Temp C	38
Pres atm	2.763386
Vapor Fraction	0
Enthalpy MJ/h	5765.257
Total flow	139.1908
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen	0.02386937
Methane	0.6423662
Benzene	104.3075
Toluene	34.21712
Water	0

La corriente de cola va directamente al intercambiador E-013.

2.2.4 PARAMETROS DE DISEÑO

- **Material de diseño.**

La selección de los materiales debe atender a dos factores:

1. La resistencia a los esfuerzos.
2. La resistencia a la corrosión.

En cuanto a la resistencia a los esfuerzos, esta depende de la naturaleza del material y de la temperatura de operación. Por ello, hemos elegido acero al carbono ya que cumple las pautas de diseño y se considera un material relativamente económico y con muy buenas prestaciones. Además, de que en nuestra planta no se superan los 440 ° C.

- **Tipo de cabezal.**

Una vez, elegida la disposición horizontal tendremos que elegir el tipo de cabezal siendo nuestra elección el Elipsoidal (Elipsoidal) más utilizados para P bajas y medias.

- **Factor Kv**

En ChemCad el factor Kv lo calcula a raíz de los datos introducidos.

- **Esfuerzo máximo admisible (S)**

Depende de material de construcción y T (Tabulado).

Al haber elegido como material de construcción acero al carbono tendremos que;

$$S=15150 \text{ psia}$$

- **Eficiencia de soldaduras cubierta/cabezal (E)**

Dependen del tipo de soldadura y de la inspección realizada.

Consideramos junta con soldadura doble radiografiada. Por lo tanto, E=1.

- **Sobre-espesor de corrosión**

Al espesor hay que añadirle un sobre-espesor debido a la futura corrosión. Como la mayoría de los parámetros dependen del tipo de material elegido,

$(\Delta t)_{\text{corr}} = 1/8''$ para aceros al carbono y aleaciones bajas

Teniendo en cuenta una pérdida de 0.015 pulg./año.

- **Porcentaje de sobre-peso (WPA)**

Se estima $WPA=0.20$

Teniendo en cuenta el peso de accesorios y toberas.

- **Densidad del recipiente (ρ_s)**

Al ser acero al carbono la densidad del recipiente tiene un valor de

$\rho_s = 7833.41 \text{ Kg/m}^3$

- **Espesor de la pestaña de unión de cubierta y cabezal (SF)**

Estimar $h = 0.0508 \text{ m}$

- **Diámetro mínimo (D)**

$D_{\min} = 0.1016 \text{ m}$


2.2.5 EVALUACION DEL DISEÑO

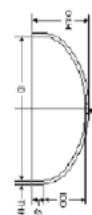
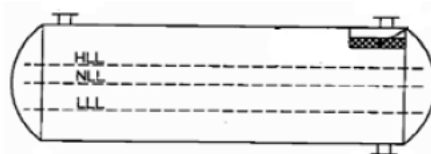
Para la evaluación del diseño tendremos en cuenta el tiempo de residencia en el destilador flash.

Para productos que van a ser posteriormente purificados en una torre de destilación, el rango de tiempo más adecuado es de 5-10 minutos.

En nuestro caso el tiempo de residencia es de 6.53 minutos. Por lo tanto, podemos concluir que el diseño es aceptable.

2.2.6 HOJA DE ESPECIFICACIONES

	HOJA DE ESPECIFICACIONES CONDENSADOR FLASH V-103		Item N°: V-103
Cliente: <i>Universidad Politécnica de Cartagena</i>			
Referencia:			
Descripción del equipo: <i>columna de destilación flash</i>			
PROPIEDADES DE LA CORRIENTE CIRCULANTE			
	Vapor	Líquido	
Flujo (Kg)	54.62	11311.03	
Flujo (m³/h)	28.41	13.24	
Densidad (Kg/m³)	1.93	854.14	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
Tiempo de residencia (min)	6.53		
Presión de diseño (atm)	3.3		
Máxima presión permisible (atm)	1021,71		
Velocidad máxima de flujo (m/s)	57,78		
Eficacia de las juntas de la carcasa	1		
Constante K (m/s)	0.01		
DATOS DE DISEÑO			
Volumen total del recipiente (m³)	2.01		
Longitud (m)	2.74		
Diámetro interior (m)	0.92		
Relación longitud/diámetro	3		
Espesor de la carcasa (m)	0,02		
Peso de la carcasa (Kg)	394.71		
Tipo de cabezal	Elipsoidal		
Eficacia de las juntas del material	1		
Peso del cabezal (Kg)	122.32		
Densidad del recipiente (Kg/m³)	7833.41		
Peso total vacío (Kg)	517.02	Coefficiente de	20



		seguridad en peso (%)	
Peso total lleno (Kg)	517.02	Permeabilidad a la corrosión (m)	0,0032
Peso máximo lleno permitido (Kg)	517.02	Espesor del cabezal (m)	0,022
MATERIALES			
Carcasa	Acero al carbono	Tubos	Acero al carbono
Cabezales	Acero al carbono	Faldones	Acero al carbono
Departamento de Ingeniería Química Ambiental			
	Nº Rev.	Fecha	Revis. por
	001	9/2011	
			Aprobado
			Comprobado
			Firma

INTERCAMBIADORES DE CALOR.

2.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR E-103

2.3.1 INTRODUCCIÓN

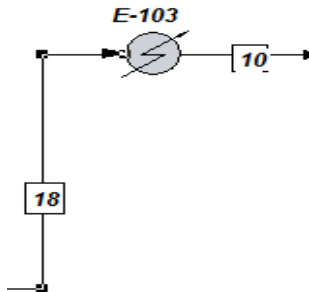
El intercambiador de calor E-103 es el primero que aparece en nuestra sección de purificación está a continuación de la salida del segundo destilador flash, V-103.

El E-103 tiene como objeto el aumentar la temperatura desde 38 ° C hasta alcanzar a su salida 90 ° C.

2.3.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

Por ello, utilizamos **vapor de media presión**:

- 11.2 atm, saturado.



Los datos de las corrientes N° 18 y N° 10 que entran y salen respectivamente del intercambiador de calor, E-103, son las siguientes:

- Para la corriente N° 18:

Stream No.	18
Stream Name	
Temp C	38
Pres atm	2.763386
Vapor Fraction	0
Enthalpy MJ/h	5765.257
Total flow	139.1908
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen	0.02386937
Methane	0.6423662
Benzene	104.3075
Toluene	34.21712
Water	0

- Para la corriente N° 10:

Stream No.	10
Stream Name	
Temp C	90
Pres atm	2.566001
Vapor Fraction	0.004209249
Enthalpy MJ/h	6812.456
Total flow	139.1909
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen	0.02386937
Methane	0.6423662
Benzene	104.3075
Toluene	34.21712
Water	0

Haremos una reseña al **ANEXO 1** ya que de forma detallada se encuentran los balances de materia y de energía del proceso.

2.3.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS FLUIDOS

Por la carcasa circulará el proceso mediante que por los tubos el vapor de agua ya que lo que se intenta es calentar la corriente que entra.

2.3.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR

Vamos a elegir un intercambiador de carcasa y tubos, ya que es el más utilizado en la industria, debido a las ventajas que dicho intercambiador posee. Enumeradas a continuación:

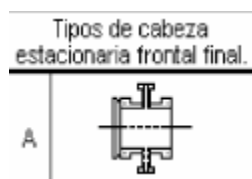
1. Diseños robustos y extremadamente flexibles
2. Fáciles de mantener y reparar
3. Pueden diseñarse para desmantelarse por mantenimiento
4. Existen muchos suministradores
5. Existen pocas limitaciones de fluidos ya que pueden construirse de muchos materiales.

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

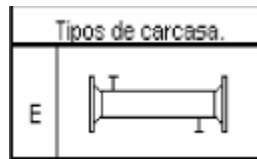
En el diseño de esta unidad se ha optado por la configuración **AEL**.

Dónde:

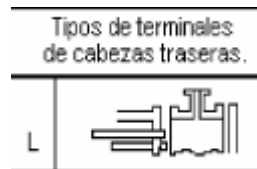
A → Es el tipo de cabezal. Este tipo de cabezal permite una limpieza más fácil de los tubos, puesto que basta con desmontar únicamente la tapa.



E → Es una carcasa donde el fluido entra por un extremo y sale por el otro, es la carcasa más común.

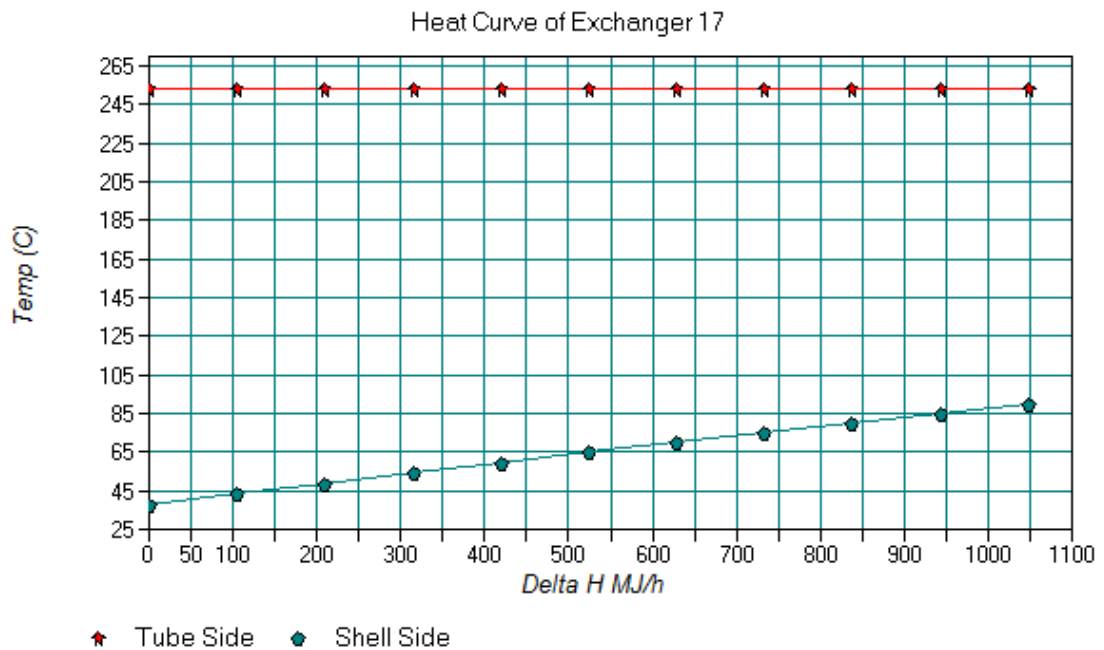


L → Para el cabezal de retorno se ha determinado el tipo L. Los cabezales tipo L se consideran iguales en cuanto a condiciones de diseño se refiere al cabezal tipo A. Su principal ventaja es el bajo coste que tiene debido a su sencillez.



El proceso va por la carcasa y el agua va por los tubos.

La siguiente representación de la distribución de temperaturas de ambos fluidos, del proceso y del vapor saturado de servicio, nos muestra como las curvas no se cruzan y por tanto, el proceso se puede realizar con este tipo de fluido. Esta gráfica muestra la siguiente distribución de temperaturas:

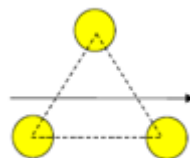


2.3.5 DISEÑO DE LA CARCASA.

Los parámetros de diseño de la carcasa son:

Diámetro exterior carcasa	0.18 m
Diámetro interior carcasa	0.15 m
Orientación	Horizontal

La colocación de los tubos en la placa tubular se conoce como “arreglo”. Pueden considerarse 4 tipos de “arreglos” en nuestro caso hemos escogido el arreglo triangular:



Ya que la distribución triangular permite la colocación de un mayor número de tubos que la cuadrada, para una misma carcasa.

En cambio, la limpieza debe realizarse por medios químicos

En el “arreglo” triangular las diferencias entre un “arreglo” normal o rotado son muy pequeñas y si bien la colocación normal produce un coeficiente de transmisión de calor ligeramente superior, también ocasiona una pérdida de carga superior.

2.3.6 DISEÑO DE LOS TUBOS

A continuación mostramos en una tabla nuestros resultados:

Número de Tubos	23
Longitud (m)	0.91
Diámetro exterior (m)	0.019
Diámetro interior (m)	0.016
Nº de pasos	1

El material de construcción de los tubos ha sido también acero al carbono debido a su buena relación calidad/precio.

2.3.7 DEFLECTORES

Aumentando la turbulencia en el líquido se aumenta el coeficiente de transferencia de calor. Para inducir esta turbulencia fuera de los tubos, es costumbre emplear deflectores que hacen que el líquido fluya a través de la coraza en ángulo recto con el haz de tubos. Esto causa una considerable turbulencia aun cuando por la coraza fluya una cantidad pequeña de líquido. Los deflectores también son utilizados como soporte del haz de tubos a fin de que estos no se pandeen a lo largo del intercambiador.

El tipo de deflectores instalados en el intercambiador E-103 son del tipo Single Segmental.

Corte (%)	17
Nº de deflectores	9

2.3.8 EVALUACION DEL DISEÑO


Una manera de comprobar que dicho diseño se ajusta a las prestaciones que buscamos es fijándonos en el sobredimensionamiento siendo este aceptable cuando se encuentra entre el 5-20%.


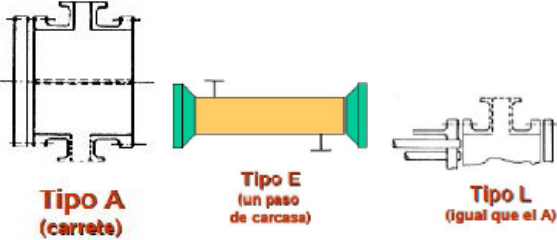
$$\%S = \frac{A_{disp} - A_{req}}{A_{req}} \cdot 100 \leq 20\%$$

En este intercambiador el sobredimensionamiento ha sido de 6.68%. Por lo tanto, podemos concluir que se encuentra en un valor aceptable.

Siendo además interesante por si en futuras ampliaciones de la planta dicho intercambiador podría ser válido para su ampliación.

2.3.9 HOJA DE ESPECIFICACIONES

	HOJA DE ESPECIFICACIONES CONDENSADOR E-103		Item N° : E-103
Cliente: <i>Universidad Politécnica Cartagena</i>			
Referencia n°:			
Descripción del equipo : <i>condensador de carcasa y tubo</i>			
Localización de la planta: 2011		Fecha:	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
	Carcasa	Tubos	
Nombre del fluido circulante	Proceso	Carcasa	
Flujo (kg/h)	11311.0	618.6	
Líquido (Kg/h)	11311.0	0	
Vapor (kg/h)	0	618.6	
No condensable	0	0	
Vapor de agua (kg/h)	0	618.6	
Evap./Cond.	26.2	618.6	
Temperatura (entrada/salida)(°C)	38/90	253.339/252.844	
Presión de operación (atm)	2.76	41.25	
Velocidad (m/s)	0.80	0.41	
Pérdida de Presión	0.272/0.232	0.340/0.008	
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS			
Densidad (Kg/m³)	2.05/854.14/ 3.93/801.76	20.11/789.05/ 19.95/789.75	
Conductividad (W/m·K)	0.04/0.14 / 0.03/0.12	0.04/0.61 / 0.04/0.62	
Calor específico (KJ/Kg·K)	2.09/1.65 / 1.56/1.89	3.91/4.98 / 3.90/4.97	
Viscosidad (cP)	0	0	
Factor de ensuciamiento (m²·K/W)	0.000176	0.000176	
Calor latente (KJ/Kg)	403.76	1691.23	

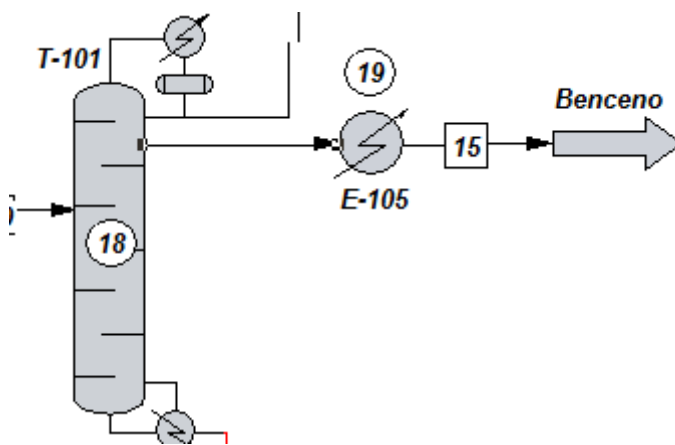
	HOJA DE ESPECIFICACIONES INTERCAMBIADOR DE CALOR E-101	Item N°: E-103			
Cliente: <i>Universidad Politécnica de Cartagena</i>		Solicitud n°:			
Referencia:					
Descripción del equipo: <i>Intercambiador de carcasa y tubos</i>					
DATOS DE DISEÑO					
Calor intercambiado (MJ/h)	1.05E+003				
LMTD (corregido)	187.23				
Área requerida(m²)	1.04				
TEMA	AEL				
Deflectores	9				
Corte (%)	17				
Disposición	Horizontal				
Sobredimensionado (%)	6.68				
Área disponible (m²)	1.11				
DISEÑO TUBOS			DISEÑO CARCASA		
Tipo de tubo	Bare	Tipo carcasa	A - 285 - C		
Material	Acero al carbono	Tipo de cabezal	A - 285 - C		
Número de tubos	23	Tipo de cubierta	A - 285 - C		
Diámetro exterior (m)	0.019	Disposición	Horizontal		
Diámetro interior (m)	0.016	Diámetro exterior (m)	0.18		
N° de pasos	1	Diámetro interior (m)	0.15		
Espesor (mm)	0.0016	N° pasos	1		
Longitud (m)	0.91	Presión de diseño (atm)	2.76		
Espaciado (mm)	0.002	Velocidad (m/s)	0.80		
Presión de diseño	41.25	N° intercambiadores	1		
Velocidad (m/s)	0.41				
MATERIALES					
carcasa	<i>Acero carbono</i>	tubos	<i>Acero carbono</i>		
cabezales	<i>Acero carbono</i>	deflectores	<i>Acero carbono</i>		
NOTAS					
Departamento de Ingeniería Química Ambiental	N° Ref.	Fecha	Rev. por	Aprobado	Firma
	001	9/2011			

2.4 INTERCAMBIADOR DE CALOR E-105

2.4.1 INTRODUCCIÓN

El intercambiador E-105 es el que se encuentra justamente después de la salida de la torre de destilación tiene como objetivo el enfriar la corriente desde los 58.5 ° C que sale de la torre de destilación hasta los 38 ° C.

Detalle de situación de dicho intercambiador:



2.4.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

Las composiciones de las corrientes de entrada y salida del intercambiador son las siguientes:

Para la corriente de entrada, N° 12:

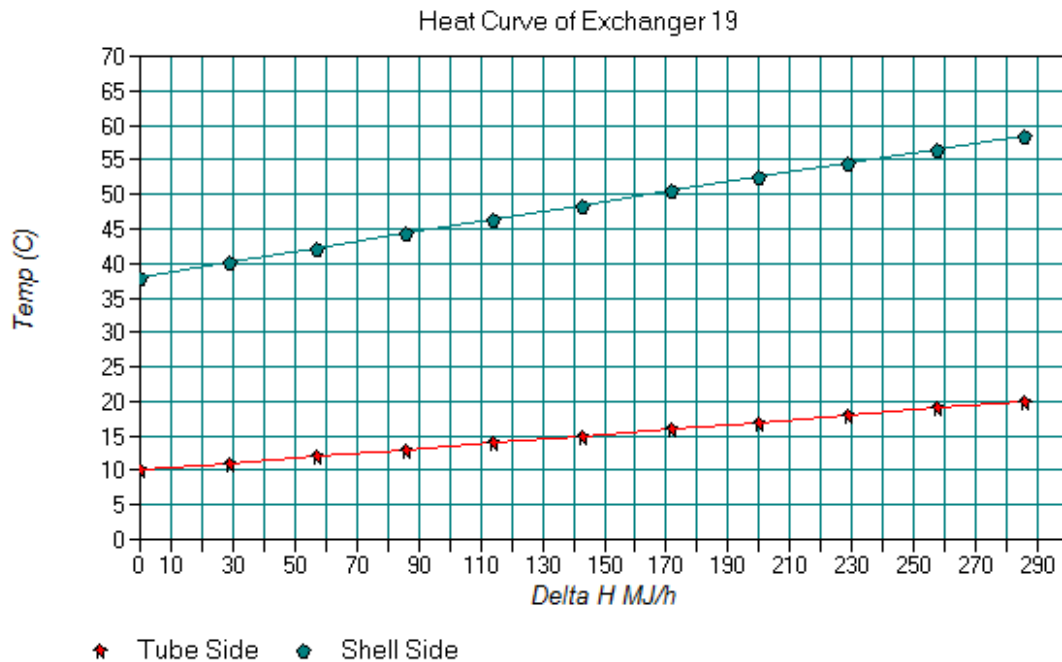
Stream No.	12
Stream Name	
Temp C	58.55291
Pres atm	2.566001
Vapor Fraction	0
Enthalpy MJ/h	5561.093
Total flow	105.785
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen	0.005424923
Methane	0.4147876
Benzene	103.2551
Toluene	2.10977
Water	0

Para la corriente de salida, N° 15:

Stream No.	15
Stream Name	
Temp C	38
Pres atm	2.269924
Vapor Fraction	0
Enthalpy MJ/h	5275.403
Total flow	105.785
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen	0.005424923
Methane	0.4147876
Benzene	103.2551
Toluene	2.10977
Water	0

La siguiente representación de la distribución de temperaturas de ambos fluidos, del proceso y del agua de refrigeración de servicio, nos muestra como las curvas no se cruzan y por tanto, el proceso se

puede realizar con este tipo de fluido. Esta gráfica muestra la siguiente distribución de temperaturas:

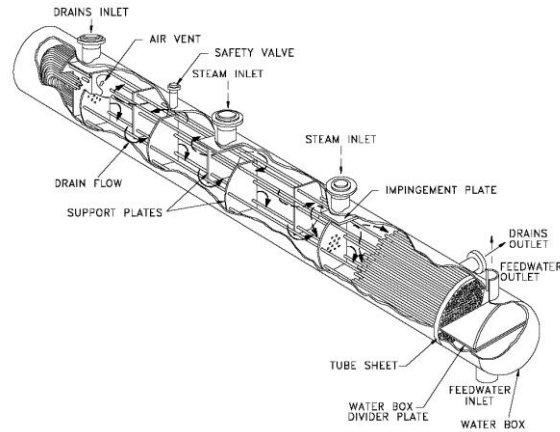


2.4.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS FLUIDOS

Por la carcasa del intercambiador E-105 circulará el proceso. En cambio, por los tubos el agua.

2.4.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR

Elegimos en este caso también un **intercambiador de carcasa y tubos** ya que como anteriormente hemos justificado son los que mejores prestaciones ofrecen.



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

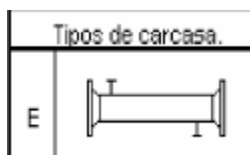
En el diseño de esta unidad se ha optado por la configuración **AEL**.

Dónde:

A → Es el tipo de cabezal. Este tipo de cabezal permite una limpieza más fácil de los tubos, puesto que basta con desmontar únicamente la tapa.



E → Es una carcasa donde el fluido entra por un extremo y sale por el otro, es la carcasa más común.



L → Para el cabezal de retorno se ha determinado el tipo L. Los cabezales tipo L se consideran iguales en cuanto a condiciones

de diseño se refiere al cabezal tipo A. Su principal ventaja es el bajo coste que tiene debido a su sencillez.



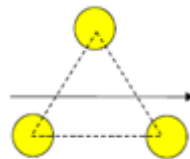
Como material de diseño se ha empleado acero al carbono, debido a su buena relación calidad/precio

2.4.5 DISEÑO DE LA CÁRCASA

La carcasa es el recipiente contenedor del fluido que circula por el exterior de los tubos que dispone además de las toberas de entrada y salida del fluido.

Normalmente es de sección circular, estando su diámetro limitado solamente por la necesidad de extraer el haz de tubos.

La colocación de los tubos en la placa tubular se conoce como "arreglo". Pueden considerarse 4 tipos de "arreglos" en nuestro caso hemos escogido el arreglo triangular:



Ya que la distribución triangular permite la colocación de un mayor número de tubos que la cuadrada, para una misma carcasa.

En cambio, la limpieza debe realizarse por medios químicos

En el "arreglo" triangular las diferencias entre un "arreglo" normal o rotado son muy pequeñas y si bien la colocación normal produce un

coeficiente de transmisión de calor ligeramente superior, también ocasiona una pérdida de carga superior.

Diámetro exterior carcasa	0.23 m
Diámetro interior carcasa	0.20 m
Orientación	Horizontal

2.4.6 DISEÑO DE LOS TUBOS

A continuación mostramos en una tabla nuestros resultados:

Número de Tubos	47
Longitud (m)	3.05
Diámetro exterior (m)	0.019
Diámetro interior (m)	0.016
Nº de pasos	1

El material de construcción de los tubos ha sido también acero al carbono debido a su buena relación calidad/precio.

2.4.7 DEFLECTORES

Aumentando la turbulencia en el líquido se aumenta el coeficiente de transferencia de calor. Para inducir esta turbulencia fuera de los tubos, es costumbre emplear deflectores que hacen que el líquido fluya a través de la coraza en ángulo recto con el haz de tubos. Esto causa una considerable turbulencia aun cuando por la coraza fluya una cantidad pequeña de líquido. Los deflectores también son utilizados como soporte del haz de tubos a fin de que estos no se pandeen a lo largo del intercambiador.

Corte (%)	17
Nº de deflectores	41

El tipo de deflectores utilizados son Single Segmental.

2.4.8 EVALUACION DEL DISEÑO


Una manera de comprobar que dicho diseño se ajusta a las prestaciones que buscamos es fijándonos en el sobredimensionamiento siendo este aceptable cuando se encuentra entre el 5-20%.


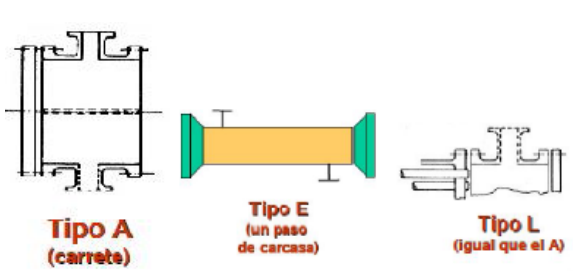
$$\%S = \frac{A_{disp} - A_{req}}{A_{req}} \cdot 100 \leq 20\%$$

En este intercambiador el sobredimensionamiento ha sido de 19.56%. Por lo tanto, podemos concluir que se encuentra en un valor aceptable.

Siendo además interesante por si en futuras ampliaciones de la planta dicho intercambiador podría ser válido para su ampliación.

2.4.9 HOJA DE ESPECIFICACIONES

	HOJA DE ESPECIFICACIONES CONDENSADOR E-105		Item Nº : E-105
Cliente: Universidad Politécnica Cartagena			
Referencia nº:			
Descripción del equipo : condensador de carcasa y tubo			
Localización de la planta:		Fecha:	
28/09/2011			
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
	Carcasa	Tubos	
Nombre del fluido circulante	Corriente del proceso	Agua	
Flujo (kg/h)	8266.7	6824.5	
Líquido (Kg/h)	8266.7	6824.5	
Vapor (kg/h)	0	0	
No condensable	0	0	
Vapor de agua (kg/h)	0	0	
Evap./Cond.	0	0	
Temperatura (entrada/salida)(°C)	58/38	10/20	
Presión de operación (atm)	2.57	5	
Velocidad (m/s)	0,35	0.21	
Pérdida de Presión (atm)	0.276/0.215	0.500/0.036	
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS			
Densidad (Kg/m³)	0./835.43/ 0/856.62	0/999.37/ 0. /997.84	
Conductividad (W/m·K)	0/0.13 / 0/0.14	0/0.58 / 0/0.60	
Calor específico (KJ/Kg·K)	0. /1.73 / 0/1.63	0/4.19 / 0/4.19	
Viscosidad (cP)	0	0	
Factor de ensuciamiento (m²·K/W)	0.000176	0.000176	
Calor latente (KJ/Kg)	0	0	

		HOJA DE ESPECIFICACIONES INTERCAMBIADOR DE CALOR E-105			Item N°: E-105	
Cliente: <i>Universidad Politécnica de Cartagena</i>				Referencia:		
Descripción del equipo: <i>Intercambiador de carcasa y tubos</i>				Solicitud n°:		
DATOS DE DISEÑO						
Calor intercambiado (MJ/h)	2.86E+002					
LMTD (corregido)	33.00					
Área requerida(m ²)	6.66					
TEMA	AEL					
Deflectores	41					
Corte (%)	17					
Disposición	Horizontal					
Sobredimensionado (%)	19.56					
Área disponible (m ²)	7.96					
DISEÑO TUBOS						
Tipo de tubo	Bare	Tipo carcasa	A - 285 - C			
Material	Acero carbonó	Tipo de cabezal	A - 285 - C			
Número de tubos	47	Tipo de cubierta	A - 285 - C			
Diámetro exterior (m)	0.019	Disposición	Horizontal			
Diámetro interior (m)	0,016	Diámetro exterior (m)	0.23			
N° de pasos	1	Diámetro interior (m)	0,20			
Espesor (mm)	1,6	N° pasos	1			
Longitud (m)	2,74	Presión de diseño (atm)				
Espaciado (mm)	0,024	Velocidad (m/s)	0.35			
Presión de diseño	25	N° intercambiadores	1			
Velocidad (m/s)	0,21					
MATERIALES						
carcasa	Acero carbonó	tubos	Acero carbonó			
cabezales	Acero carbonó	deflectores	Acero carbonó			
NOTAS						
Departamento de Ingeniería Química Ambiental	N° Ref.	Fecha	Rev. por	Aprobado	Firma	
	002	9/2011				

2.5 COLUMNA DE DESTILACIÓN T-101

2.5.1 INTRODUCCIÓN

La torre de destilación T-101 tiene la labor de realizar la separación de los reactivos sobrantes a la salida de la columna de destilación Flash V-103, de hidrogeno, metano, tolueno y benceno. Para obtener la pureza de benceno 97.5 % v/v requerida en el presente proyecto.

2.5.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

- **Corriente de entrada.**

Temperatura (° C)	90
Presión (atm)	2.56
Fracción molar vapor	0
Flujo molar (kmol/h)	139.19

Composiciones de las corrientes de entrada (kmol/h)	
Benceno	104.31
Tolueno	34.22
Agua	0
Metano	0.64
Hidrogeno	0.0238

- **Corrientes de salida**

En las corrientes de salida de la torre de destilación, T-101, podemos distinguir tres salidas.

La salida por cabeza donde los productos van hacia al venteo:

Composiciones de las corrientes de entrada (kmol/h)	
Benceno	0.059419
Tolueno	0.000423
Agua	0
Metano	0.227578
Hidrogeno	0.018444

1. La salida de fondo, donde podemos observar que todo el tolueno no reaccionado se recirculará hacia la entrada para su aprovechamiento. Estando la mayor parte del tolueno en dicha corriente de salida. Como cabía de esperar, siempre quedará aunque en pequeñas proporciones de los demás productos.

Composiciones de las corrientes de entrada (kmol/h)	
Benceno	0.992996
Tolueno	32.10693
Agua	0
Metano	≈ 0
Hidrogeno	≈ 0

2. La salida lateral contiene la mayor parte del benceno siendo el producto que deseamos obtener con un 987.5% v/v de pureza.

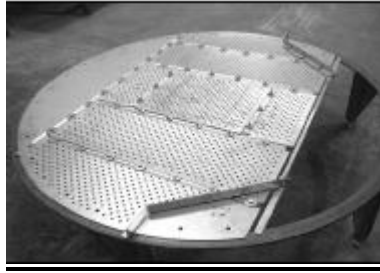
Composiciones de las corrientes de entrada (kmol/h)	
Benceno	103.25
Tolueno	2.11
Agua	0
Metano	0.41
Hidrogeno	≈ 0

2.5.3 DISEÑO HIDRODINAMICO.

Tipo de columna

Como en la destilación es esencial asegurar un adecuado contacto entre el vapor y el líquido. Para proporcionar una buena superficie de contacto entre fases, hemos elegido la columna de platos ya que el contacto entre el líquido y el vapor se produce de forma localizada en determinados puntos del equipo.

Tipo de platos



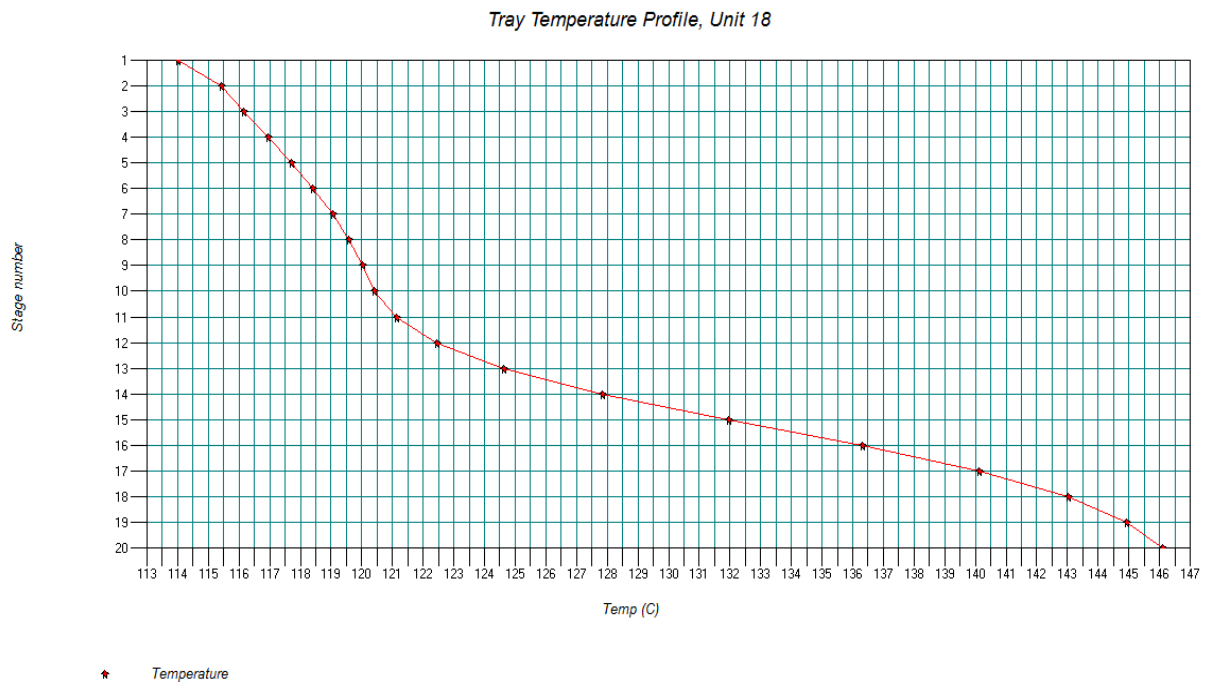
Plato perforado

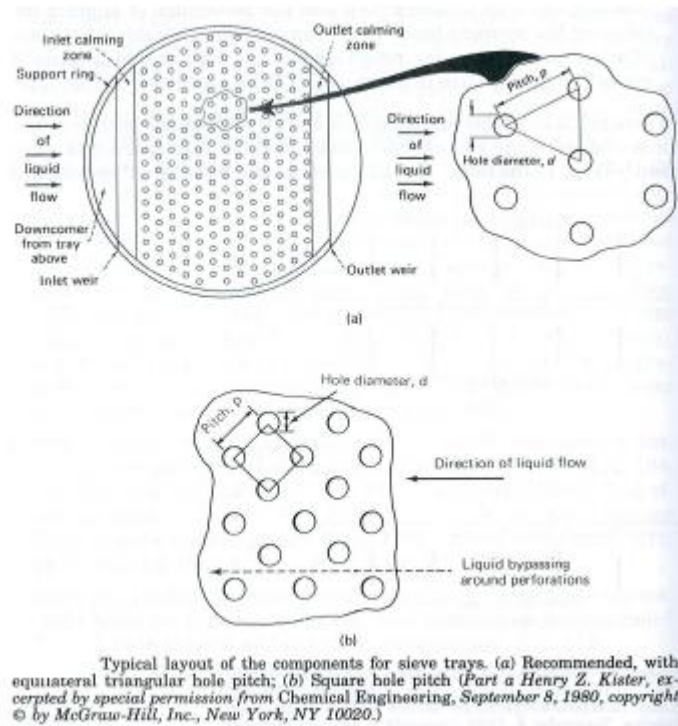
Hemos elegido platos perforados, ya que son menos caros que los platos de campana. Y además se puede decir que han sustituido a estos en las nuevas instalaciones y tiene una superficie interfacial muy grande.

Nuestra columna de destilación tiene las siguientes características:

El número de platos = 20

La alimentación entra por el plato N° 10.





La distribución geométrica de las perforaciones en los platos es la de situar las perforaciones en los vértices de un triángulo equilátero como muestra la figura anterior ya que proporciona una disposición de las perforaciones respecto al flujo de líquido que minimiza el Bypass alrededor de las perforaciones.

El área de las perforaciones con respecto al área total es de 0.1 m.

- **Vertederos.**

El vertedero utilizado es de tipo cuerda al ser uno de los más usados en columnas de destilación. Posee una buena área, además de que presenta notables ventajas económicas debido a su simplicidad.

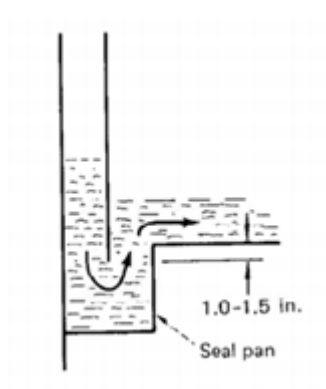
En la siguiente figura se muestra su geometría:



Vertedero tipo cuerda

- **Sello hidráulico.**

El extremo del vertedero debe estar lo suficientemente próximo a la superficie del plato inferior como para conseguir que el líquido haga de cierre –sello hidráulico- y así se evite que las burbujas del gas suban por el vertedero en cortocircuito con el plato superior.



La altura del rebosadero es de 0.0508 m.

- **Altura de la columna.**

La altura de la columna se calcula:

$$H = Z + S + T ;$$

Donde,

H, es la altura total de la columna.

Z, es la altura neta.

S, es la altura de la base (aprox. 1.8 m).

T, es la altura de la parte superior (de 0.5 a 1 m).

Por lo tanto nuestra columna tiene una altura de 10.97 metros.

Diseño para alimentaciones intermedias a las columnas

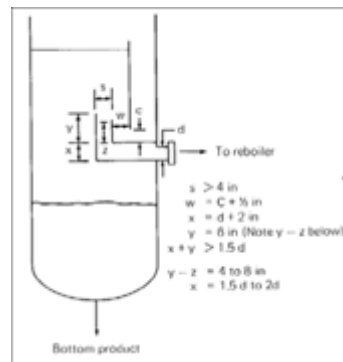
Existen diferentes dispositivos para la introducción de una alimentación intermedia a la columna de platos, eligiendo el dispositivo que se muestra en la figura siguiente por ser el más adecuado. Este tipo de dispositivo es usado para columnas donde la longitud del rebosadero excede los 5 ft. La distancia recomendada entre el distribuidor y el vertedero varía entre 3 y 4 in. Las aperturas del distribuidor deben estar orientadas 45° desde la vertical hacia el vertedero. Se requiere un aislante en la pared del vertedero para evitar posibles evaporaciones en el vertedero, ya que la alimentación entra a una temperatura superior a la del plato.

Dispositivos de fondo de columna

Se va a utilizar un dispositivo con deflector y de un paso por el rehervidor, estos equipos se utilizan normalmente con hervidores

termosifonados en grandes columnas. Estos dispositivos proporcionan un flujo constante de líquido al rehervidor.

El retorno del rehervidor está ubicado, teniendo en cuenta que nunca se puede situar por debajo del nivel de líquido del fondo de la columna, ni estar muy próximo a este para no crear problemas de arrastre y turbulencias, a 0.38 m por debajo del plato. Además, es necesario que la parte opuesta a la entrada se encuentre protegida contra la erosión y la corrosión.



2.5.4. DISEÑO MECANICO

Envolvente.

Es la estructura metálica que forma el recipiente, está formada por dos elementos:

- La cubierta: formada por varios cilindros de 1.82 metros de diámetro.
- Los cabezales empleados en esta torre son del tipo elíptico, ya que la presión de operación no es muy alta. Los ejes guardan la relación de 2:1.

Dispositivos de sujeción o apoyo.

Los dispositivos de sujeción elegidos son los de faldón cilíndrico o cónico descrito a continuación:

En los recipientes que no pueden ser soportados por patas, bien sea por su tamaño o por tener que transmitir esfuerzos grandes, se utilizan los faldones cilíndricos, consistentes en un cilindro soldado al fondo. Con este tipo de apoyo la carga se reparte uniformemente a lo largo del perímetro de la circunferencia de soldadura, evitando concentraciones de esfuerzos en la envolvente y disminuyendo la presión transmitida al suelo.

Al diseñar los faldones debe tener en cuenta que ha de incluirse un acceso a su interior (dimensiones mínimas de 600 mm de diámetro) y unas ventilaciones para evitar la acumulación de gases en su parte interna.

Conexiones.

Todo recipiente debe tener como mínimo una conexión de entrada del fluido y otra de salida, aunque siempre tienen muchas más. Seguidamente se indican los servicios más comunes que precisan conexiones en el recipiente:

- De entrada y salida de fluidos.
- Para instrumentos, como manómetros, termómetros, indicadores o reguladores de nivel.
- Para válvula de seguridad
- Para servicios tales como drenaje, venteo, de limpieza, paso de hombre, paso de mano, etc.

Salvo en casos excepcionales, las conexiones se realizan embridadas, ya que permiten su montaje y desmontaje sin tener que realizar ningún corte ni soldadura. Solamente en casos de fluidos extremadamente tóxicos, o altamente explosivos en contacto con el aire, se realizan las conexiones soldadas.


Se ha utilizado en el diseño conexiones embridadas. Las diversas partes que conforman la conexión embridada son las siguientes:

- Tubuladura.
- Placas de refuerzo.
- Brida.
- Pernos y turcas.
- Juntas o guarniciones.
- Tapas o bridas ciegas para las conexiones de servicios.

Material

El material de diseño escogido ha sido acero al carbono, tanto para la envolvente como para los platos. Es un material económico que se adapta perfectamente a las condiciones de nuestra operación.

2.5.5 HOJA DE ESPECIFICACIONES

		HOJA DE ESPECIFICACIONES COLUMNA DE DESTILACIÓN		Item n°: T-101		
CLIENTE: Universidad Politécnica de Cartagena SOLICITUD N°:						
PLANTA:			FECHA:			
DESCRIPCIÓN EQUIPO: columna de platos						
CONDICIONES DE OPERACIÓN						
Caudal total entrada	<i>Kg/h</i>	139.19				
Caudal líquido	<i>Kg/h</i>					
Caudal vapor	<i>Kg/h</i>					
Temperatura cabeza	<i>° C</i>	58.45				
Temperatura fondo	<i>° C</i>	146.25				
Presión operación	<i>atm</i>	0.13				
Densidad del líquido	<i>Kg/m³</i>	774.53				
Densidad vapor	<i>Kg/m³</i>	6.71				
Viscosidad	<i>cP</i>	0.0234				
Conductividad	<i>W/mK</i>	0.0827				
DISEÑO DEL PLATO						
N° de platos	-	20				
Tipo de plato	-	Plato de válvulas				
Espaciado entre platos	<i>m</i>	0.61				
Longitud del rebosadero	<i>m</i>	0.082				
Altura del vertedero	<i>m</i>	0.051				
Diámetro perforaciones	<i>mm</i>	35				
Espesor del plato	<i>m</i>	1.98				
N° de pasos	-	1				
Caída de presión	<i>atm</i>	0.049				
DIMENSIONES COLUMNA						
Diámetro interior cubierta	<i>m</i>					
Altura total columna	<i>m</i>	10.97				
Caída presión total	<i>atm</i>	0.13				
Espesor cubierta	<i>m</i>					
Cabezales	-	Elípticos				
Espesor cabezal	<i>m</i>					
Apoyo y sujeciones	-	Faldón				
MATERIALES						
Cubierta	Acero al carbono	Toberas	Acero al carbono			
Cabezales	Acero al carbono	Soportes internos	Acero al carbono			
NOTAS						
Departamento de Ingeniería Química y Ambiental		N° rev: 001	Fecha: 9/2011	Revisado por:	Comprobado	Aprobado



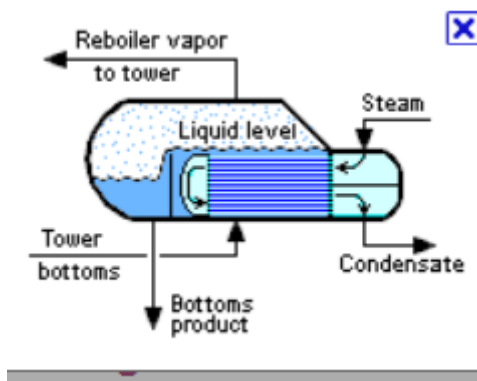
2.6 REHERVIDOR

2.6.1 INTRODUCCIÓN

Dentro de nuestra columna de destilación tenemos el rehervidor.

Un reboiler o rehervidor es un intercambiador de calor que se emplea para calentar el líquido de interés. Normalmente se emplea vapor de agua como flujo que cede calor al fluido a calentar. Este se hace pasar por los tubos y la temperatura de salida de la corriente de líquido al que se ha transferido calor se suele controlar con una sonda. El caudal de vapor se regulará en función de que la temperatura sea inferior o superior a la deseada.

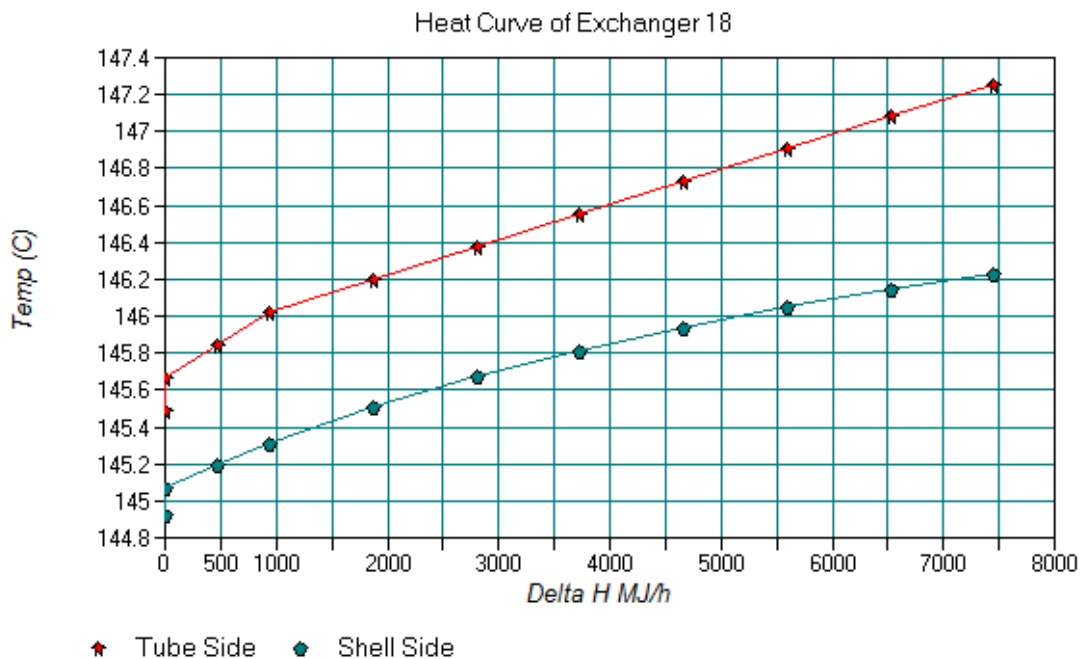
En las torres de destilación, los reboilers se sitúan en los fondos para calentar la mezcla líquida que va a ser destilada.



2.6.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

Como fluido térmico se ha elegido una corriente de servicio de vapor de agua saturado de baja presión, es decir, de 5 atm.

La siguiente representación de la distribución de temperaturas de ambos fluidos en el rehervidor, del proceso y de la corriente de vapor de servicio, nos muestra como las curvas no se cruzan y por tanto, el proceso se puede realizar con este tipo de fluido. Esta gráfica muestra la siguiente distribución de temperaturas:



Dónde:

El proceso va por la carcasa y el vapor de agua por los tubos.

2.6.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS FLUIDOS

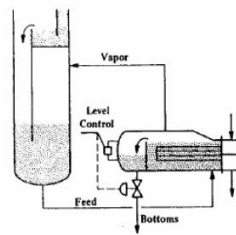
En la carcasa va el proceso y en los tubos circulará el vapor de agua a baja presión.

También es de interés el comentar que el contacto se produce a contracorriente.

2.6.4 TIPO DE INTERCAMBIADOR.

El intercambiador utilizado en el reboiler es de tipo Kettle.

En el tipo Kettle el haz de tubos es en "U" y está dentro de una carcasa de diámetro aumentado para facilitar la separación del vapor. Un rebosadero mantiene el nivel de líquido por encima del haz de tubos. El vaporizador interno no tiene carcasa y la longitud del haz de tubos está limitada por el diámetro de la columna.



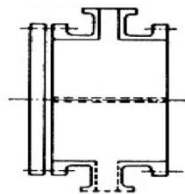
**VAPORIZADOR DE MARMITA
("TIPO KETTLE")**

Brevemente detallaremos las condiciones de operación de este tipo de intercambiador:

	Transmisión de calor	Coste del equipo y de la instalación	Operación	Mantenimiento
Kettle	Altos flujos de transmisión de calor	Intermedio. El aumento de coste por la mayor carcasa se compensa por el menor coste en tuberías	Muy estable. Insensible a grandes cambios en los caudales y condiciones de proceso	Tiene mayor tendencia al ensuciamiento. No recomendables para servicios sucios

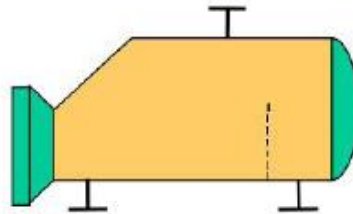
El tipo de intercambiador seleccionado se rige mediante TEMA. Siendo la configuración la AKT que a continuación mostraremos:

A → Es el tipo de cabezal. Este tipo de cabezal permite una limpieza más fácil de los tubos, puesto que basta con desmontar únicamente la tapa.

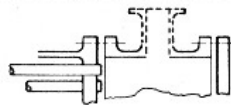


**Tipo A
(carrete)**

K → La carcasa seleccionada es una carcasa tipo K, de flujo cruzado. Este tipo de carcasa se emplea en los evaporadores de marmita (Kettle). Se caracteriza por presentar un espacio superior para la separación del vapor en forma de una carcasa de mayor diámetro.

**Tipo K**

L→ Para el cabezal de retorno se ha determinado el tipo L. Los cabezales tipo L se consideran iguales en cuanto a condiciones de diseño se refiere al cabezal tipo A. Su principal ventaja es el bajo coste que tiene debido a su sencillez.

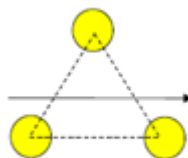
**Tipo L**
(igual que el A)

2.6.5 DISEÑO DE LA CÁRCASA

La carcasa es el recipiente contenedor del fluido que circula por el exterior de los tubos que dispone además de las toberas de entrada y salida del fluido.

Normalmente es de sección circular, estando su diámetro limitado solamente por la necesidad de extraer el haz de tubos.

La colocación de los tubos en la placa tubular se conoce como "arreglo". Pueden considerarse 4 tipos de "arreglos" en nuestro caso hemos escogido el arreglo triangular:



Ya que la distribución triangular permite la colocación de un mayor número de tubos que la cuadrada, para una misma carcasa.

En cambio, la limpieza debe realizarse por medios químicos

En el “arreglo” triangular las diferencias entre un “arreglo” normal o rotado son muy pequeñas y si bien la colocación normal produce un coeficiente de transmisión de calor ligeramente superior, también ocasiona una pérdida de carga superior.

Diámetro exterior carcasa	3.84 m
Diámetro interior carcasa	3.81 m
Orientación	Horizontal

2.6.6 DISEÑO DE LOS TUBOS

A continuación mostramos en una tabla nuestros resultados:

Número de Tubos	7517
Longitud (m)	6.12
Diámetro exterior (m)	0.019
Diámetro interior (m)	0.016
Nº de pasos	1

El material de construcción de los tubos ha sido también acero al carbono debido a su buena relación calidad/precio.

2.6.7 EVALUACION DEL DISEÑO


Una manera de comprobar que dicho diseño se ajusta a las prestaciones que buscamos es fijándonos en el sobredimensionamiento siendo este aceptable cuando se encuentra entre el 5-20%.


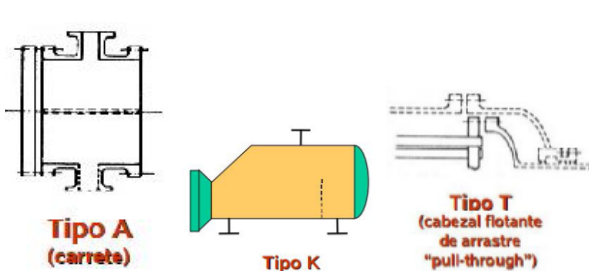
$$\%S = \frac{A_{disp} - A_{req}}{A_{req}} \cdot 100 \leq 20\%$$

En este intercambiador el sobredimensionamiento ha sido de 18.36 %. Por lo tanto, podemos concluir que se encuentra en un valor aceptable.

Siendo además interesante por si en futuras ampliaciones de la planta dicho intercambiador podría ser válido para su ampliación.

2.6.8 HOJA DE ESPECIFICACIONES

	HOJA DE ESPECIFICACIONES REHERVIDOR E-107		Item N° : E-107
Cliente: <i>Universidad Politécnica Cartagena</i>			
Referencia n°:			
Descripción del equipo: <i>Intercambiador de carcasa y tubos</i>			
Localización de la planta:			Fecha:
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
	Carcasa	Tubos	
Nombre del fluido circulante	Proceso	Vapor de agua	
Flujo (kg/h)	22967.3	3501.3	
Líquido (Kg/h)	22967.3	0	
Vapor (kg/h)	0	3501.3	
No condensable	0	0	
Vapor de agua (kg/h)	0	3501.3	
Evav./Cond.	21451.5	3501.3	
Temperatura (entrada/salida)(° C)	144.926/146.233	147.257/145.487	
Presión de operación (atm)	2.57	4.34	
Velocidad (m/s)	0.03	0.01	
Pérdida de Presión	0.257/0.145	0.434/0.008	
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS			
Densidad (Kg/m³)	7.25/742.43/ 7.28/741.05	2.33/919.21/ 2.24/920.66	
Conductividad (W/m·K)	0.02/0.10 / 0.02/0.10	0.03/0.69 / 0.03/0.69	
Calor específico (KJ/Kg·K)	1.62/2.16 / 1.63/2.17	2.35/4.33 / 2.34/4.32	
Viscosidad (cP)	0	0	
Factor de ensuciamiento (m²·K/W)	0.000176	0.000176	
Calor latente (KJ/Kg)	344.82	2121.24	

	HOJA DE ESPECIFICACIONES REHERVIDOR E-107	Item N°: E-107			
Cliente: <i>Universidad Politécnica de Cartagena</i>					
Referencia:		Solicitud n°:			
Descripción del equipo: <i>Intercambiador de carcasa y tubos</i>					
DATOS DE DISEÑO					
Calor intercambiado (MJ/h)	7.45E+003				
LMTD (corregido)	0.78				
Área requerida(m ²)	2288.14				
TEMA	AKT				
Deflectores					
Corte (%)					
Disposición	Horizontal				
Sobredimensionado (%)	18.36				
Área disponible (m ²)	2708.14				
DISEÑO TUBOS		DISEÑO CARCASA			
Tipo de tubo	Bare	Tipo carcasa	A - 285 - C		
Material	Acero carbono	Tipo de cabezal	A - 285 - C		
Número de tubos	7517	Tipo de cubierta	A - 285 - C		
Diámetro exterior (m)	0.019	Disposición	Horizontal		
Diámetro interior (m)	0,016	Diámetro exterior (m)	3.84		
N° de pasos	1	Diámetro interior (m)	3.81		
Espesor (mm)	1,6	N° pasos	1		
Longitud (m)	6.12	Presión de diseño (atm)	2.57		
Espaciado (mm)	0,024	Velocidad (m/s)	0.03		
Presión de diseño	4,34	N° intercambiadores	1		
Velocidad (m/s)	0.01				
MATERIALES					
carcasa	Acero carbono	tubos	Acero carbono		
cabezales	Acero carbono	deflectores	Acero carbono		
NOTAS					
Departamento de	N° Ref.	Fecha	Rev. por	Aprobado	Firma

Ingeniería Química Ambiental	007	9/2011			
---------------------------------	-----	--------	--	--	--

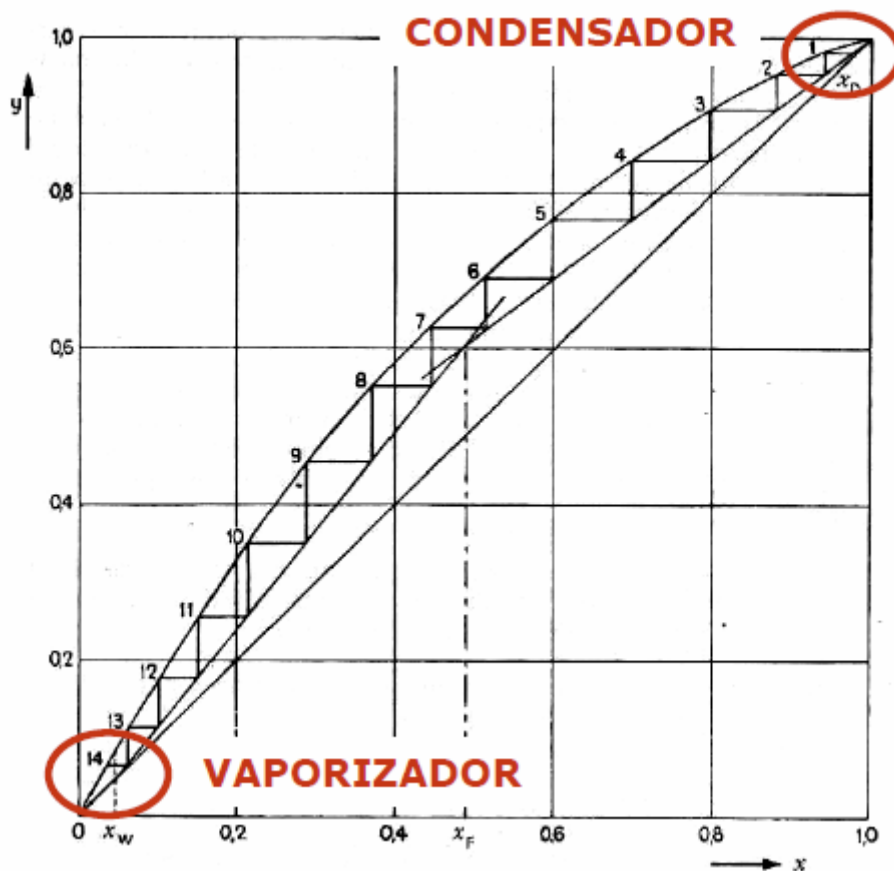
2.7 CONDENSADOR

2.7.1 INTRODUCCIÓN

El condensador y el vaporizador son la primera y última etapa ideal en el cálculo de las columnas de destilación. La composición local de estos platos y la entalpía de las corrientes determina la capacidad que va a necesitarse en estas unidades.

En el condensador se va extrayendo los gases de venteo que no son de interés en este proyecto.

El benceno también es extraído.

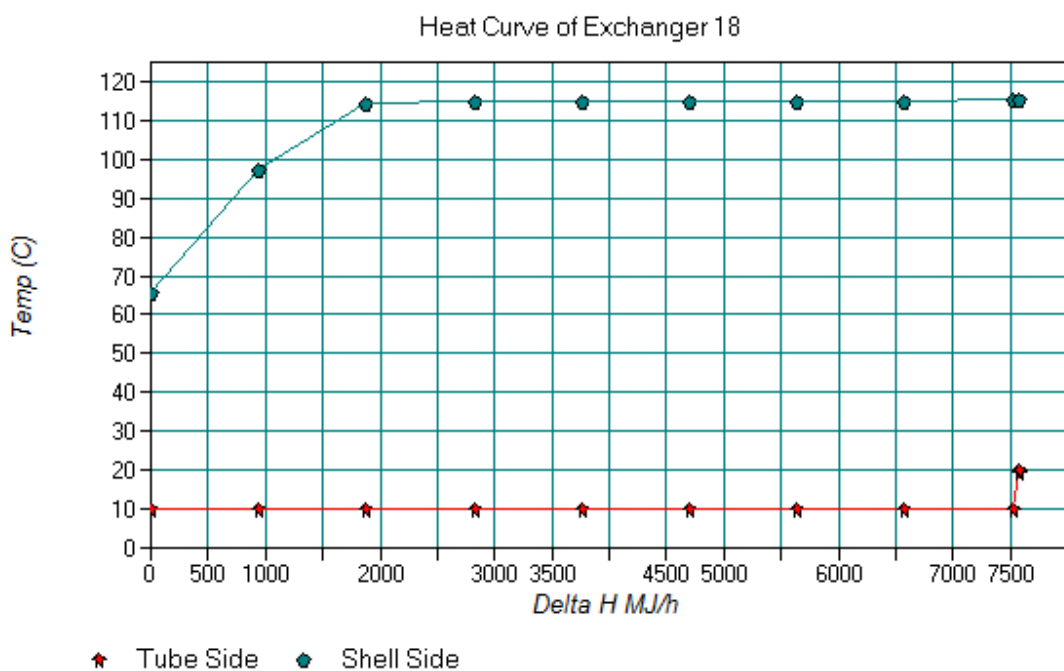


2.7.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

En esta ocasión se ha utilizado agua de refrigeración para poder condensar los componentes que van saliendo de la torre de destilación T-101.

Las características del agua de refrigeración son las siguientes:

- 2 Agua de refrigeración 2 (a 10°C/5 atm, retorno a 20°C)



Dónde:

El proceso va por la carcasa y el vapor de agua por los tubos.

2.7.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS FLUIDOS

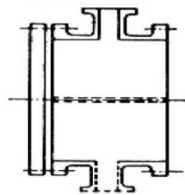
En la carcasa va el proceso y en los tubos circulará el agua de refrigeración.

También es de interés el comentar que el contacto se produce a contracorriente.

2.7.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR

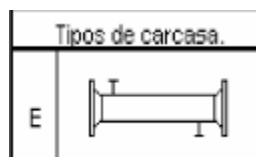
El tipo de intercambiador seleccionado se rige mediante TEMA.
Siendo la configuración la AEL que a continuación mostraremos:

A → Es el tipo de cabezal. Este tipo de cabezal permite una limpieza más fácil de los tubos, puesto que basta con desmontar únicamente la tapa.



Tipo A
(carrete)

E → Es una carcasa donde el fluido entra por un extremo y sale por el otro, es la carcasa más común.



L → Para el cabezal de retorno se ha determinado el tipo L. Los cabezales tipo L se consideran iguales en cuanto a condiciones de diseño se refiere al cabezal tipo A. Su principal ventaja es el bajo coste que tiene debido a su sencillez.

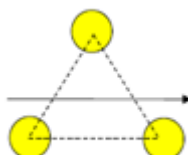


2.7.5 DISEÑO DE LA CÁRCASA

La carcasa es el recipiente contenedor del fluido que circula por el exterior de los tubos que dispone además de las toberas de entrada y salida del fluido.

Normalmente es de sección circular, estando su diámetro limitado solamente por la necesidad de extraer el haz de tubos.

La colocación de los tubos en la placa tubular se conoce como “arreglo”. Pueden considerarse 4 tipos de “arreglos” en nuestro caso hemos escogido el arreglo triangular:



Ya que la distribución triangular permite la colocación de un mayor número de tubos que la cuadrada, para una misma carcasa.

En cambio, la limpieza debe realizarse por medios químicos

En el “arreglo” triangular las diferencias entre un “arreglo” normal o rotado son muy pequeñas y si bien la colocación normal produce un coeficiente de transmisión de calor ligeramente superior, también ocasiona una pérdida de carga superior.

Diámetro exterior carcasa	2.46 m
Diámetro interior carcasa	2.44 m
Orientación	Horizontal

2.7.6 DISEÑO DE LOS TUBOS

A continuación mostramos en una tabla nuestros resultados:

Número de Tubos	8560
Longitud (m)	6.10
Diámetro exterior (m)	0.019
Diámetro interior (m)	0.016
Nº de pasos	1

El material de construcción de los tubos ha sido también acero al carbono debido a su buena relación calidad/precio.

2.7.7 EVALUACION DEL DISEÑO


Una manera de comprobar que dicho diseño se ajusta a las prestaciones que buscamos es fijándonos en el sobredimensionamiento siendo este aceptable cuando se encuentra entre el 5-20%.

$$\%S = \frac{A_{disp} - A_{req}}{A_{req}} \cdot 100 \leq 20\%$$

En este intercambiador el sobredimensionamiento ha sido de 5.54 %. Por lo tanto, podemos concluir que se encuentra en un valor aceptable.

Siendo además interesante por si en futuras ampliaciones de la planta dicho intercambiador podría ser válido para su ampliación.

2.7.8 HOJA DE ESPECIFICACIONES

	HOJA DE ESPECIFICACIONES condensador E-108		Item N° : E-108
Cliente: <i>Universidad Politécnica Cartagena</i>			
Referencia n°:			
Descripción del equipo: <i>Intercambiador de carcasa y tubos</i>			
Localización de la planta:			Fecha:
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
	Carcasa	Tubos	
Nombre del fluido circulante	Proceso	Agua de refrigeración	
Flujo (kg/h)	16337.0	3036.8	
Líquido (Kg/h)	0	3036.8	
Vapor (kg/h)	16337.0	0	
No condensable	0.07701	0	
Vapor de agua (kg/h)	0	0	
Evav. /Cond.	16337.0	3036.8	
Temperatura (entrada/salida)(°C)	115.410/65.959	10.00/20.00	
Presión de operación (atm)	2.57	0,01	
Velocidad (m/s)	0.82	27.63	
Pérdida de Presión	0.340/0.039	0.340/0.008	
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS			
Densidad (Kg/m³)	6.70/774.65/ 0.00/830.39	0.01/999.37/ 0.01/999.37	
Conductividad (W/m·K)	0.02/0.12 / 0.02/0.13	0.02/0.58 / 0.02/0.58	
Calor específico (KJ/Kg·K)	1.44/2.00 / 1.44/1.76	1.88/4.19 / 2.02/4.19	
Viscosidad (cP)	0	0	
Factor de ensuciamiento (m²·K/W)	0.000176	0.000176	
Calor latente (KJ/Kg)	370.95	2475.60	

PRESUPUESTOS

3 PRESUPUESTOS

3.1 INTRODUCCIÓN

El cálculo del coste de un equipo comprende el cálculo de un coste básico al que luego se le aplican unos factores de corrección (por material y por presión) y un factor de actualización al año de compra.

- 1.-Calcular el coste base del equipo
- 2.-Calcular el factor de corrección por material
- 3.-Calcular el factor de corrección por presión
- 4.-Calcular el coste de referencia
- 5.-Calcular el factor de actualización al 2011
- 6.-Calcular el coste definitivo del equipo

3.2 CÁLCULO DEL COSTE BASE DEL EQUIPO

El cálculo del coste base (C_p) se hace supuesto que este es de acero al carbono y que opera a presión atmosférica. Se obtiene mediante correlaciones que son función de una propiedad clave del aparato:

$$\log C_p = K_1 + K_2 \log A + K_3 (\log A)^2$$

K_1 , K_2 , K_3 = Son constantes que dependen del equipo. Consultar el libro de R. Turton "Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes (Anexo 1)

A = parámetro clave del equipo. En un reactor es el volumen, en un cambiador el área, en una columna el diámetro o el número de platos, etc...

3.3 CALCULO DE LA CORRECCION POR PRESIÓN

La corrección del coste base por efecto de la diferente presión de trabajo (F_p) se obtiene mediante la fórmula:

$$\log F_p = C_1 + C_2 \log P + C_3 (\log P)^2$$

C1, C2, C3= Son constantes que dependen del equipo.

Consultar el libro de R. Turton "Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes (Anexo 1)

P = presión de operación real del equipo (bar). Para algunos equipos esta expresión puede tomar una forma ligeramente diferente.

3.4 CALCULO DEL COSTE DE REFERENCIA

El coste de referencia se obtiene mediante:

$$C_{eq}^0 = C_p (B_1 + B_2 F_M F_P)$$

Las constantes B1y B2se obtienen de tablas (ver Turton).

Equipo	B1	B2
Cambiador de doble tubo y en espiral	1.74	1.55
Cambiador de carcasa y tubo	1.63	1.66
Cambiador de placas y aerorefrigerantes	0.96	1.21
Recipiente horizontal	1.49	1.52
Recipiente vertical	2.25	1.82
Bomba recíprocante	1.89	1.35
Bomba de desplazamiento positivo	1.89	1.35
Bomba centrífuga	1.89	1.35

3.5 CALCULO DEL FACTOR DE ACTUALIZACION

Cuando el coste base está referenciado a un año distinto del cual queremos calcularlo hay que obtener un factor de actualización para tener en cuenta el efecto de la inflación.

Teniendo en cuenta la inflación, se debe actualizar el coste calculado al año presente.

Existen varios índices de costes para los equipos en la industria química:

- 1.- Índice de Costes de Equipos de Marshall & Swift.
- 2- Índice de Costes de plantas de Ingeniería Química (CEPCI).

En nuestro caso se ha utilizado este último, el cual, en función del año toma los valores tabulados a continuación:

Año	CEPCI
1980	261.2
1981	297
1982	314
1983	316.9
1984	322.7
1985	325.3
1986	318.4
1987	323.8
1988	342.5
1989	355.4
1990	357.6
1991	361.3
1992	358.2
1993	359.2
1994	368.1
1995	381.1
1996	381.7
1997	386.5
1998	389.5
1999	390.6
2000	394.1
2001	394.3

3.6 CALCULO COSTE FINAL DEL EQUIPO

Se obtiene el coste final actualizando el coste del año de referencia al actual mediante la fórmula:

$$\frac{C_{eq}}{C_{eq}^0} = \frac{I_2}{I_1}$$

Los datos de costes base del libro de Turton se refieren al año 1996 (CEPCI = 387.7).

3.7 COSTE TOTAL DE LA PLANTA

Para estimar finalmente el coste total de la planta hay que sumar el coste individual todos los equipos. Si se trata de una ampliación relativamente pequeña de una planta ya existente el coste estima mediante:

$$C_{Planta} = 1.18 \sum_{i=1}^n C_{eq,i}$$

Si en cambio la planta es totalmente nueva (“grassroots”) incluye los costes de acondicionamiento del terreno, edificios, servicios auxiliares (CTM):

$$C_{planta} = C_{TM} + 0.35 \sum_{i=1}^n C_{eq,i}$$

3.8 ESTIMACION DE COSTES DE LAS UNIDADES.

- **DEL DESTILADOR FLASH V-102**

Antes de ver el coste del destilador flash V-102 tenemos que meter una serie de parámetros en ChemCad que a continuación mostraremos:

Year/month for the cost index:	
Year	<input type="text" value="2011"/>
Month	<input type="text" value="January"/>
Type	Cost Index
CE INDEX	<input type="text" value="564.8"/>
Equipment	<input type="text" value="681.7"/>
Heat exchangers and tanks	<input type="text" value="635.8"/>
Process machinery	<input type="text" value="642.5"/>
Pipe, valves, and fittings	<input type="text" value="859.2"/>
Process instruments	<input type="text" value="431"/>
Pump and compressors	<input type="text" value="876.5"/>
Electrical equipment	<input type="text" value="495.2"/>
Structural supports and misc.	<input type="text" value="707.4"/>
Construction labor	<input type="text" value="326.7"/>
Buildings	<input type="text" value="505.6"/>
Engineering and supervision	<input type="text" value="334.8"/>

Con estos datos sacaremos el coste de cada equipo.

Coste del equipo destilador Flash V-102: 44590.4 \$

Coste del equipo una vez instalado en la planta: 75803.7 \$

- **ESTIMACION DE COSTES DEL DESTILADOR
FLASH V-103**

Coste del equipo destilador Flash V-102: 20538.7 \$

Coste del equipo una vez instalado en la planta: 34915.7 \$

- **ESTIMACION DE COSTES DEL INTERCAMBIADOR
E-103**

Coste del equipo intercambiador de calor E-103: 3315.46 \$

Coste del equipo una vez instalado en la planta: 6630.91 \$

- **ESTIMACION DE COSTES DEL INTERCAMBIADOR E-105**

Coste del equipo intercambiador de calor E-105: 6121.56 \$

Coste del equipo una vez instalado en la planta: 12243.1 \$

- **ESTIMACION DE COSTES DE LA COLUMNA DE DESTILACION T-101**

Coste del equipo torre de destilación: 57234\$

Coste del equipo una vez instalado en la planta: 171702\$

3.9 COSTE TOTAL

Coste de todos los equipos:

$$\mathbf{Total} = 20538.7 + 3315.46 + 6121.56 + 57234 + 44590.40 = \mathbf{131800.12\$}$$

Coste de todos los equipos instalados:

$$\mathbf{Total} = 75803.7 + 34915.7 + 6630.91 + 12243.1 + 171702 = \mathbf{301295.4 Dolares}$$

ANEXOS

4 ANEXOS

ANEXO 1

4.1 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DE LA PLANTA

CHEMCAD 6.0.1

Page 1

Job Name: benceno Date: 03/14/2011 Time: 13:18:52

FLOW SUMMARIES

Stream No.	1	2	3	4
Stream Name				
Temp C	25.0000	56.8981	25.0000	225.0000
Pres bar	1.9000	25.8000	25.5000	25.2000
Enth MJ/h	1310.6	2480.8	-1121.8	-6973.0
Vapor mole fraction	0.00000	0.00000	1.0000	1.0000
Total kmol/h	108.7000	141.8000	301.0000	1297.0000
Flowrates in kmol/h				
Hydrogen	0.0000	0.0000	286.0000	794.9889
Methane	0.0000	0.0000	15.0000	351.5103
Benzene	0.0000	0.9930	0.0000	8.8477
Toluene	108.7000	140.8070	0.0000	141.6519
Stream No.	5	6	7	8
Stream Name				
Temp C	44.9842	600.0000	44.9842	38.0000
Pres bar	25.5000	25.0000	25.5000	23.9000
Enth MJ/h	-24039.	21314.	-1265.2	-34010.
Vapor mole fraction	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Total kmol/h	854.7692	1297.0000	44.9879	1199.6761
Flowrates in kmol/h				
Hydrogen	509.3457	794.9889	26.8077	714.8712
Methane	336.7181	351.5103	17.7220	472.5868
Benzene	7.8600	8.8477	0.4137	11.0315
Toluene	0.8455	141.6519	0.0445	1.1866
Stream No.	9	10	11	12
Stream Name				
Temp C	649.7430	90.0000	146.2470	58.5529
Pres bar	25.0000	2.6000	2.8000	2.6000
Enth MJ/h	20050.	6812.5	1132.8	5561.1
Vapor mole fraction	1.0000	0.0042092	0.00000	0.00000
Total kmol/h	1341.9568	139.1908	33.0999	105.7850
Flowrates in kmol/h				
Hydrogen	715.5056	0.0239	0.0000	0.0054
Methane	475.4937	0.6424	0.0000	0.4148
Benzene	115.5334	104.3075	0.9930	103.2551
Toluene	35.4241	34.2171	32.1069	2.1098
Stream No.	13	14	15	16
Stream Name				
Temp C	38.0000	35.4748	38.0000	35.4811
Pres bar	23.9000	2.8000	2.3000	2.6000
Enth MJ/h	-8502.5	-8653.5	5275.4	-8665.1
Vapor mole fraction	1.0000	1.0000	0.00000	1.0000
Total kmol/h	299.9190	303.0087	105.7850	303.3146
Flowrates in kmol/h				
Hydrogen	178.7178	179.3283	0.0054	179.3467
Methane	118.1467	120.4112	0.4148	120.6388
Benzene	2.7579	2.9523	103.2551	3.0117
Toluene	0.2967	0.3170	2.1098	0.3174

CHEMCAD 6.0.1

Page 2

Job Name: benceno Date: 03/14/2011 Time: 13:18:52
FLOW SUMMARIES

Stream No.	17	18	19	20
Stream Name				
Temp C	38.0000	38.0000	58.5529	38.0000
Pres bar	2.8000	2.8000	2.6000	23.9000
Enth MJ/h	-150.99	5765.3	-11.644	-25507.
Vapor mole fraction	1.0000	0.00000	1.0000	1.0000
Total kmol/h	3.0897	139.1908	0.3059	899.7571
Flowrates in kmol/h				
Hydrogen	0.6105	0.0239	0.0184	536.1534
Methane	2.2645	0.6424	0.2276	354.4401
Benzene	0.1944	104.3075	0.0594	8.2736
Toluene	0.0204	34.2171	0.0004	0.8900
Stream No.	21	22	23	24
Stream Name				
Temp C	44.9842	588.4185	38.0000	38.0000
Pres bar	25.5000	25.0000	23.9000	23.9000
Enth MJ/h	-25305.	20050.	-28386.	5624.0
Vapor mole fraction	1.0000	1.0000	0.89398	0.00000
Total kmol/h	899.7571	1341.9566	1341.9566	142.2805
Flowrates in kmol/h				
Hydrogen	536.1534	821.7778	715.5055	0.6343
Methane	354.4401	369.2214	475.4937	2.9069
Benzene	8.2736	9.2611	115.5334	104.5019
Toluene	0.8900	141.6964	35.4241	34.2375
Stream No.	25	26	27	
Stream Name				
Temp C	46.9331	39.9988	56.4847	
Pres bar	25.5000	25.5000	1.9000	
Enth MJ/h	-22666.	-25161.	2443.4	
Vapor mole fraction	0.88672	1.0000	0.00000	
Total kmol/h	1297.0000	1155.7693	141.8000	
Flowrates in kmol/h				
Hydrogen	794.9889	795.3457	0.0000	
Methane	351.5103	351.7181	0.0000	
Benzene	8.8477	7.8600	0.9930	
Toluene	141.6519	0.8455	140.8070	

ANEXO 2

4.2 CALCULO DE LAS PROPIEDADES

Seleccionar el método termodinámico: La exactitud, confiabilidad y reproducibilidad de los resultados de una simulación son extremadamente dependientes del modelo termodinámico utilizado en el cálculo. Una de las grandes ventajas de CHEMCAD es poder ensayar diferentes métodos termodinámicos para un mismo sistema y utilizar esta herramienta para interpretar los resultados y sus posibles variantes, dependiendo de los ensayos.

Dependiendo de cada aplicación, CHEMCAD tiene un modelo que mejor se adapta al sistema o proceso del usuario.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los métodos termodinámicos disponibles en CHEMCAD, su uso y propiedades físicas necesarias.

Método valor-K	Tipo de Modelo	Aplicaciones Típicas	Datos Físicos requeridos
ACTX	Actividad		
ADDK	Agregado por el usuario	Ajustados a modelo únicos, conocidos por el usuario	
Amine	Empírico	Remoción de gases ácidos (DEA, MEA)	
API SRK	Ecuación de Estado	Hidrocarburos	Tc, Pc, Ω , algunas veces kij

BWRS	Ecuación de Estado	Hidrocarburos livianos (procesos criogénicos)	Tc, Pc, Ω , algunas veces kij
ESD	Ecuación de Estado	Polímeros y químicos con	
ESSO		Hidrocarburos pesados (asfaltos), recomendado para destilación al vacío	Tb, K
Florry-Huggins	Actividad	Polímeros	Vi, K
GMAC(Chien-Null)	Actividad	Mezclas Polares, Equilibrio Líquido-Vapor, Líquido-Líquido-Vapor	
Grayson-Stread	Ecuación de Estado empírico	Hidrocarburos (procesos de refinación)	Tc, Pc, Ω , δ
Henry's Law	Empírico	Gases livianos no condensables. Sistemas ideales	Coefficientes de PV de la ecuación
HRNM Modified Wilson	Actividad	Sistemas de alcoholes, Equilibrio Líquido-Vapor, Líquido-Líquido-Vapor	Vi, coeficientes de PV de la ecuación, Coeficientes de Interacción binaria
Ideal Vapor Pressure	Ideal		Coefficientes de la ecuación VP
K-table	Datos del usuario		Pr, Ki .t.Temp.
Margules	Actividad	Mezclas polares, Equilibrio Líquido-Vapor, Líquido-	Coefficientes de PV de la ecuación

		Líquido-Vapor	
Modified UNIFAC	Actividad	Mezclas polares, Equilibrio Líquido-Vapor, Líquido-Líquido-Vapor	Grupos UNIFAC, Coeficientes de interacción binaria, coeficientes de PV de la ecuación
MSRK	Ecuación de Estado	Químicos (modificación del método SRK para considerar sustancias polares)	Tc, Pc, m, n
NRTL	Actividad	Mezclas polares, Equilibrio Líquido-Vapor, Líquido-Líquido-Vapor	Coeficientes de PV de la ecuación y parámetros de interacción binaria
Peng-Robinson	Ecuación de Estado	Hidrocarburos y químicos no polares	Tc, Pc, Ω , algunas veces kij
Polinomial K	Datos del usuario		Pr, Ki.v.Temp.
PPAQ	Datos del usuario	Sistemas acuosos de electrolitos. Operaciones gas-líquido de NH ₃ , Co ₂ , HCl	Presión parcial v. Temperatura y Concentración. Los archivos de los sistemas NH ₃ -H ₂ O, HCl-H ₂ O, ya están cargados en CHEMCAD.
PSRK	Ecuación de Estado y Actividad	Químicos	Tc, Pc, Ω , grupos UNIFAC
Regular Solution	Actividad	Hidrocarburos	Vi, δ

SAFT	Ecuación de Estado	Polímeros	Tc, Pc, Vs, SFs, DE/k, propiedades de los polímeros y algunas veces coeficientes de interacción binaria
Sour Water	Empírico	Gases ácidos disueltos en agua (H ₂ S, CO ₂ , NH ₃)	
SRK	Ecuación de Estado	Hidrocarburos	Tc, Pc, Ω, algunas veces kij
TEG Dehydration	Empírico	Remoción de agua de hidrocarburos	
T.K. Wilson	Actividad	Mezclas polares, Equilibrio Líquido-Vapor, Líquido-Líquido-Vapor	Vi, coeficientes de PV de la ecuación, coeficientes de interacción binaria
TSRK	Ecuación de Estado	Gases livianos disueltos en metanol	Tc, Pc, Ω, kij, cij
UNIFAC	Actividad	Mezclas polares, Equilibrio Líquido-Vapor, Líquido-Líquido-Vapor	Grupos UNIFAC, coeficientes de PV de la ecuación
UNIFAC Polymers	Actividad	Polímeros	Vi, Ci, grupos UNIFAC
UNIQUAC	Actividad	Mezclas polares, Equilibrio Líquido-Vapor, Líquido-Líquido-Vapor	q, r, coeficientes de PV de la ecuación, coeficientes de interacción binaria
UNIQUAC/	Actividad	Mezclas polares,	q, r, coeficientes de

UNIFAC		Equilibrio Líquido-Vapor, Líquido-Líquido-Vapor	PV de la ecuación, coeficientes de interacción binaria
UNIFAC LLE	Actividad	Equilibrio, Líquido-Líquido	Grupos UNIFAC, coeficientes de PV de la ecuación
VAN LAAR	Actividad	Mezclas polares, Equilibrio Líquido-Vapor	Coefficientes de VP de la ecuación, coeficientes de interacción binaria
WILSON	Actividad	Mezclas polares, Equilibrio Líquido-Vapor	V_i , coeficientes de VP de la ecuación, coeficientes de interacción binaria

Leyenda:

T_c - Temperatura crítica

P_c - Presión crítica

V_c - Volumen crítico

Ω - Factor acéntrico

q - Parámetro de superficie

r - Parámetro de volumen

δ - Parámetro de solubilidad

K - Factor de Watson-Nelson

V_i - Volumen molar del líquido

m, n - Parámetros MSRK

k_{ij} - Parámetros de Interacción Binaria para la ecuación de estado

T_b - Punto de ebullición normal

C_w - Tercer parámetro de para HRNM Wilson

P_r - Presión de referencia

Según el cuadro de dialogo del programa ChemCad en nuestra simulación se ha utilizado el método **UNIFAC** que a continuación brevemente explicaremos en que consiste el método UNIFAC.

Kvalue Models	Enthalpy Models	Transport Properties
<p>Global K Value Model UNIFAC</p> <p>Ethane/Ethylene, Propane/Propylene: <input checked="" type="radio"/> Regular SRK/PR Bips <input type="radio"/> Special SRK/PR Bips</p> <p>Vapor Phase Association: <input checked="" type="radio"/> No Vapor Phase Association <input type="radio"/> Vapor Phase Association</p> <p>Vapor Fugacity/Poynting Correction: <input type="radio"/> Correction <input checked="" type="radio"/> No Correction</p> <p>SRK/PR Alpha function: <input checked="" type="radio"/> Standard SRK/PR <input type="radio"/> Boston-Mathias extrapolation</p> <p><input type="checkbox"/> Special PSRK Gas/Physical Solvent Package</p>	<p>Global Phase Option: <input checked="" type="radio"/> Vapor/Liquid/Solid <input type="radio"/> Vapor/Liquid/Liquid/Solid</p> <p>Water/Hydrocarbon Solubility: <input checked="" type="radio"/> Miscible <input type="radio"/> Immiscible</p> <p>Wilson model salt <None></p> <p>No. of BIP sets 1</p> <p>Default BIP set 1</p> <p><input type="checkbox"/> Set Henry components <input type="checkbox"/> Set local thermodynamics <input type="checkbox"/> Clear all local thermodynamics <input type="checkbox"/> Reflash input streams for local H models.</p>	

El modelo **UNIFAC** constituye actualmente el método estandarizado más conveniente para evaluar los coeficientes de actividad en mezclas líquidas y a partir de su estimación predecir el Equilibrio Líquido Vapor, para sistemas de comportamiento no ideal.

Toma en cuenta las interacciones intermoleculares y la forma y tamaño de la molécula de cada componente del sistema y es especialmente adecuado para evaluar el comportamiento de soluciones conformadas por compuestos orgánicos.

Se basa en el concepto de que en una mezcla líquida, las propiedades de la solución están determinadas por las propiedades de las especies presentes no consideradas como estructuras moleculares integradas sino como la relación e interacción de grupos funcionales determinados que estructuran cada molécula en la solución.

Por otra parte, el coeficiente de actividad se evalúa en términos de la Energía Libre en Exceso, es decir, la energía “extra” de la solución que la hace no ideal. Y a su vez, el coeficiente de actividad es un reflejo de esa no idealidad.

- Para el cálculo de la **entalpía** se utiliza otro modelo **Latent Heat** como podemos comprobar por la siguiente ventana de ChemCad:

The screenshot shows the 'Enthalpy Models' tab in ChemCad. The 'Global Enthalpy Model' is set to 'Latent Heat'. There are three checkboxes on the left: 'Use heat of solution file', 'Use electrolyte enthalpy', and 'Heat of Mixing by Gamma', all of which are unchecked. On the right, there are two dropdown menus: 'Ideal gas heat capacity' set to 'DIPPR' and 'Steam table' set to 'Quick fit'. Below these is another unchecked checkbox: 'Compressed water pressure correction for steam table'. A note at the bottom states: 'Note: The Bips from VLE data may not be suitable for heat of mixing by gamma. Use this option carefully.'

- Y por último, **las propiedades de transporte** como el cálculo de la densidad, la viscosidad, la conductividad tanto de líquidos como en gases (ya que en esta simulación no se han utilizado productos sólidos) se rigen también mediante modelos que ChemCad considera convenientes salvo modificación explícita del usuario que a continuación vemos en la ventana de diálogo:

Liquid density model	Library	Electrolyte Std Liquid	Based on actual volume
Liquid density mixing rule	Mole% weighting		
Electrolyte liq. density mixing rule	Clark correction to Mole% weighting		
Liquid viscosity model	Library	<input checked="" type="checkbox"/>	Liquid viscosity pressure correction
Petroleum frac. liquid viscosity model	Abbott		
Liquid viscosity mixing rule	Log average by mole fraction		
Electrolyte liq. viscosity mixing rule	Log<> mole% with Clark correction		
Vapor density model	Chemstations method		
Vapor viscosity model	Library	<input checked="" type="checkbox"/>	Dean-Stiel Pressure correction
Liquid surface tension model	Library		
Liquid thermal conductivity model	Library		
Vapor thermal conductivity model	Library		
Vapor conductivity correlation (> 1 atm)	Stiel-Thodos		

- Para las propiedades **termodinámicas** ChemCad utiliza los siguientes modelos:

COMPONENTS

ID #	Name	Formula
1	Hydrogen	H2
2	Methane	CH4
3	Benzene	C6H6
4	Toluene	C7H8
5	Water	H2O

THERMODYNAMICS

K-value model : PSRK
 Enthalpy model : Mixed Model
 Liquid density : Library

Std vapor rate reference temperature is 0 C.
 Atmospheric pressure is 1.0000 atm.

PSRK Group Interaction Parameters:

Formula: $X_{ij} = A_{ij} + B_{ij} * T + C_{ij} * T * T$ (T in deg K)

Grpi	Grpj	Aij	Aji	Bij	Bji	Cij	Cji
H2	CH4	128.55	253.92	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000
H2	ACH	16.88	734.87	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000
H2	ACCH2	126.44	320.00	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000
H2	H2O	5564.10	-1531.60	-27.4100	12.3960	0.07115	-0.00693
CH4	ACH	-65.12	131.51	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000
CH4	ACCH2	5.58	37.88	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000
CH4	H2O	-1149.10	-1573.20	5.8604	11.9930	-0.00512	-0.01225
ACH	ACCH2	167.00	-146.80	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000
ACH	H2O	903.80	362.30	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000
ACCH2	H2O	5695.00	377.60	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000

ANEXO 3

4.3 SERVICIOS DISPONIBLES EN LA PLANTA

En la planta de hidrodealquilación de tolueno disponemos de una serie de servicios:

- Vapor de baja presión (4.4 atm, saturado)
- Vapor de media presión (11.2 atm, saturado)
- Vapor de alta presión (41.8 atm, saturado)
- Gas natural (4.4 atm, 25°C)
- Fuel Gas (4.4 atm, 25°C)
- Electricidad
- Agua de caldera (at 5 atm, 90°C)
- Agua de refrigeración 1 (a 30°C/5 atm, retorno a 45°C)
- Agua de refrigeración 2 (a 10°C/5 atm, retorno a 20°C)