



65
2es

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

INGENIERIA BASICA PARA UNA PLANTA DE
METIL TERBUTIL ETER (MTBE) CON CAPACIDAD
DE 300,000 TONELADAS METRICAS POR AÑO

TESIS MANCOMUNADA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N :
JUAN CARLOS HERNANDEZ ESTRADA
MARTIN OLVERA ROMO
ALEJANDRO ROMERO PEREZ



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO SEGÚN EL TEMA:

PRESIDENTE: Prof. ALEJANDRO ANAYA DURAND.
VOCAL: Prof. CLAUDIO ARMANDO AGUILAR MARTÍNEZ.
SECRETARIO: Prof. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ.
1er. SUPLENTE: Prof. JOSÉ AGUSTÍN TEXTA MENA.
2do. SUPLENTE: Prof. RICARDO PÉREZ CAMACHO.

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Biblioteca de la Facultad de Química
U.N.A.M.
Ciudad Universitaria.
Coyoacán, D.F.

ASESOR:


I.Q. JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ.

SUSTENTANTES:


JUAN CARLOS HERNÁNDEZ ESTRADA.


MARTÍN OLVERA ROMO.


ALEJANDRO ROMERO PÉREZ.

JURADO ASIGNADO SEGÚN EL TEMA:

PRESIDENTE: Prof. ALEJANDRO ANAYA DURAND.
VOCAL: Prof. CLAUDIO ARMANDO AGUILAR MARTÍNEZ.
SECRETARIO: Prof. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ.
1er. SUPLENTE: Prof. JOSÉ AGUSTÍN TEXTA MENA.
2do. SUPLENTE: Prof. RICARDO PÉREZ CAMACHO.

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Biblioteca de la Facultad de Química
U.N.A.M.
Ciudad Universitaria.
Coyoacán, D.F.

ASESOR:



I.Q. JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ.

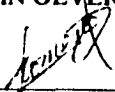
SUSTENTANTES:



JUAN CARLOS HERNÁNDEZ ESTRADA.



MARTÍN OLVERA ROMO.



ALEJANDRO ROMERO PÉREZ.

AGRADECIMIENTOS GENERALES:

A nuestra querida Universidad: Por la oportunidad que nos dió de formarnos profesionalmente y por ser nuestra alma mater.

A la Facultad de Química: Por sus enseñanzas y estos cinco años inolvidables.

A José Antonio Ortiz Ramírez: Por aceptar la dirección de esta tesis.

A Cesar Edmundo Figueróa: Por su valiosa ayuda y asesorías durante la realización de este trabajo.

A todas las demás personas que nos ayudaron a realizar este trabajo.

Dedicatorias:

A mi padre el Sr. Leobardo Olvera Chaires quien con su ejemplo hacia el trabajo y hacia la vida me mostró lo que es responsabilidad y rectitud.

A mi madre la Sra. Esperanza Romo Sánchez la persona que admiro y respeto, quien con su forma de vivir me ha mostrado el lado humano de la vida.

A mis hermanos Delia, Patricia y Alejandro por ser tan buenos y ayudarme en todo.

Agradecimientos:

A mis compañeros y amigos Juan Carlos Hernández Estrada y Alejandro Romero Pérez.

A mi director de tesis el I.Q. José Antonio Ortiz Ramírez por sus orientaciones e interés prestado para la realización de este trabajo.

Al Ing. Cesar Edmundo Figueroa por el asesoramiento y ayuda en la realización de este trabajo.

A la Facultad de Química, cúmulo de experiencias vivenciales y fuente inagotable de sabiduría.

A mis amigos Cristóbal, Isidro, Aarón, Miguel, Gabriela, Graciela, Tomy y demás famosos.

Martín Olvera Romo.

DEDICATORIAS:

A Ma. del Carmen Pérez Cornejo:

Por ser la persona que medio la vida, me da su amor, afecto, comprensión, cariño. Todo lo que un hijo puede esperar, **TODO**. Gracias por confiar en mí, alentarme en los momentos más difíciles, darme los consejos con los cuales he logrado alcanzar una de mis metas y enseñarme como ser mejor día a día. Te amo mamá.

A Roberto Romero:

Por ser la luz que guía mi camino, el ejemplo a seguir, el mejor **AMIGO** que he tenido, El que ha compartido mis juegos e ilusiones, mis triunfos y mis derrotas. Gracias por creer en mí, de darme la oportunidad de conocer el mundo de otra manera, por los mejores momentos de mi vida. Te amo papá.

A Norma Romero Pérez:

Porque siempre he aprendido mucho de ti, por ser la **MEJOR** hermana, por comprenderme en todo momento. Espero que esto que logro que he conseguido sea una base para que tu llegues a tus metas que te has propuesto y nunca desistas en los peores momentos ya que siempre tendrás un hermano en quien confiar.

A la familia Pérez Hernández: Por su apoyo incondicional que he tenido por parte de todos y estar siempre conmigo. Gracias

A Agustina Cornejo y Trinidad Romero:

Porque siempre me han dado lo mejor que yo he podido esperar.

A Todos mis Tíos y Primos: Porque de todos tengo algo que no puedo olvidar.

A mis Maestros: Por las enseñanzas recibidas en toda mi formación académica y personal.

A Juan Carlos y Martín: Por el reto que nos propusimos lograr y ser amigos hasta el final.

A mis Amigos: Cristóbal, Ismael, Enrique T., Enrique, Adrián, Isidro, Saul, Federico, Miguel y a todos aquellos que convivimos en la gloriosa mesa 7.

A mis amigos y compañeros de generación los cuales no quiero nombrar por no faltarle el respeto a los que se me olviden.

A Sandra Ríos Díaz y Arturo Cardoso Samano: Por la promesa de hermandad

A todos los que he tenido la fortuna de conocer y olvide mencionar en estos agradecimientos. En especial a (A.M.P.M.).

GRACIAS ATENTAMENTE: ALEJANDRO ROMERO.

ÍNDICE

INTRODUCCION:	PÁG.
-Introducción.	2
-MTBE.	2
-Características del MTBE.	3
-Comercialización del MTBE en México.	3
1) EVALUACIÓN TECNOLÓGICA.	
-Análisis de alternativas.	6
-Obtención de MTBE:	6
-Selección de la carga a la planta.	8
-Descripción de las diferentes tecnologías para la obtención de MTBE.	16
-Variables de proceso para la sección de reacción.	35
-Criterios para la evaluación tecnológica del proceso.	36
-Resultados de la evaluación.	37
2) REGLAMENTACIONES AMBIENTALES.	
-Contaminación Ambiental.	39
-Toxicidad.	41
-Seguridad y Manejo.	44
3) ESTUDIO DE MERCADO:	
-Oferta y demanda del mercado.	49
-Producción bruta de MTBE.	51
-Importaciones de MTBE.	51
-Consumo de MTBE en México.	51
-Valor de MTBE.	51
-Pronóstico.	56
-Conclusiones.	57
-Localización de la planta.	58
4) BASES DE DISEÑO:	
-Objetivo.	61
-Manejo de la información.	61
-Bases de diseño.	62
-Especificación de materias primas y productos.	63
-Datos generales, localización de la planta y comunicaciones.	64
-Datos topográficos.	65
-Mecánica de suelos.	65
-Resistividad del terreno.	65
-Sismicidad.	65

-Datos metereológicos.	65
-Descripción sistetizada del proceso.	68
-Operación de la planta.	68
-Servicios auxiliares.	69
-Protección.	72
-Contaminación ambiental.	73
-Presentación del trabajo actual.	74
-Procedimiento técnico.	75
-Códigos de diseño y/o estándares.	75
-Adquisición de equipo.	76
-Criterios de diseño general.	78
5) CRITERIOS DE DISEÑO:	
-Criterios de diseño.	80
-Criterios generales de diseño.	81
-Criterios de equipo.	82
6) DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO:	85
7) BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA:	89
8) DESCRIPCION DEL PROCESO:	
-Introducción.	99
-Producción de MTBE.	99
-Unidad removedora de compuestos oxigenados.	103
9) LISTA DE EQUIPO:	
-Bombas.	109
-Cambiadores de calor.	109
-Columnas.	110
-Filtros.	110
-Reactores.	110
-Recipientes.	110
10) HOJAS DE DATOS:	
-Bombas.	113
-Cambiadores de calor.	119
-Filtros.	141
-Internos de Reactores.	143
-Internos de Columnas.	144
-Recipientes a presión.	148
11) DIAGRAMA DE SERVICIOS AUXILIARES:	171
11-A) SERVICIOS AUXILIARES Y AGENTES QUÍMICOS:	173

12) DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACION:	177
13) LISTA DE TUBERÍAS:	186
14) ARREGLO GENERAL DEL EQUIPO:	193
13) FILOSOFIAS DE OPERACION:	
-Filosofías básicas de operación.	197
-Variantes de operación y control del proceso.	197
-Sección de recuperación de Metanol.	202
-Operaciones normales.	204
-Operaciones especiales.	205
-Procedimiento de paro normal.	205
-Procedimiento de paro de emergencia.	207
-Procedimientos de control analítico.	210
-Métodos analíticos para las materias primas y producto terminado.	211
-Métodos analíticos para el control de la planta.	212
-Técnicas de muestreo.	213
-Arranque de la planta.	214
16) CONCLUSIONES:	218
ANEXO A: MEMORIAS DE CÁLCULO	
-Recipientes.	223
-Bombas.	226-A
-Cambiadores de calor.	229
-Reactores.	260
ANEXO B: NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS.	269
BIBLIOGRAFIA:	
-Revistas.	276
-Tesis.	277
-Libros.	277
-Códigos.	278

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La creación de plantas industriales involucra una secuencia de actividades para la realización del proyecto, las cuales son enumeradas a continuación: Investigación y Tecnología, Planeación Industrial, Ingeniería de Proceso, Ingeniería de Detalle, Adquisición de Equipo y Materiales, Construcción y Arranque.

El Paquete de Ingeniería Básica es la integración de todos los documentos emitidos durante el desarrollo del Proyecto, que permiten en una fase posterior desarrollar la Ingeniería de Detalle.

En este trabajo se pretende mostrar como se lleva a cabo la Ingeniería Básica, ejemplificándolo a través del Proceso de obtención de Metil-Terbutil-Eter, mostrando en éste algunas de las actividades que puede desarrollar el Ingeniero Químico.

MTBE:

Las tendencias en el mundo sobre el consumo de gasolinas se han orientado hacia una mayor eficiencia de los motores de combustión interna y de esta manera disminuir sus emisiones contaminantes.

Las nuevas reglamentaciones en la especificación de este combustible se han proyectado para mejorar y controlar la calidad del aire e impactarán notablemente la forma de elaborar las gasolinas; así, los contenidos de hidrocarburos aromáticos, olefinas ligeras y butanos, habrán de limitarse y ser sustituidos por otros cuyas emisiones sean inocuas para la salud. Tal es el caso de las isoparafinas, de los oxicompuestos, MTBE, ETBE, TAME, METANOL y ETANOL, así como hidrocarburos ramificados.

El utilizar compuestos oxigenados tales como éteres, particularmente en la gasolina distribuida en las grandes ciudades, es un factor importante para elaborar gasolina de mejor calidad y con mayores propiedades de eficiencia en su desempeño y a la vez cumplir con las exigencias de un combustible ecológico que contribuya a mantener la calidad del aire.

Con el uso de gasolinas con MTBE se logran importantes beneficios. La combustión de la gasolina presenta un menor contenido de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos nitrosos que la gasolina sin MTBE. Al mismo tiempo que incrementa el octanaje en la gasolina y por lo tanto puede reemplazar al Tetraetilo de plomo, teniendo las ventajas de no presentar problemas en el carburador por ensuciamiento, consumo excesivo de combustible o pérdida de potencia en el motor.

Entre otras propiedades, el MTBE al hacer la mezcla con gasolina no presenta separación de fases, lo que sí ocurre con el metanol; puesto que es soluble en cualquier proporción con la gasolina y ligeramente soluble con el agua. El MTBE es estable,

debido a que no tiene problemas de descomposición cuando se almacena solo, o con gasolina.

CARACTERÍSTICAS DEL MTBE

El MTBE, fue en primera instancia probado por la compañía Atlantic Richfield Co. en los años 60 y posteriormente introducido a finales de los años 70 como una mezcla antidetonante para la gasolina de alto precio. Tiene un solo uso industrial; mejorador del octanaje; pero dados los cambios impuestos en todo el mundo para la industria refinadora del petróleo, un número mayor de refinadores usan grandes cantidades de él. El MTBE fue introducido al mercado por la industria americana de refinación al comienzo de la década de los años 80. En este tiempo los formuladores ya esperaban la prohibición del Tetraetilo de plomo por parte de la EPA. En la actualidad el MTBE, ha comenzado a ser uno de los productos químicos con los crecimientos más notorios de la década de los años 90.

Entre sus características más destacadas se puede nombrar:

- Bajo precio y materias primas típicas de refinerías.
- Disponibilidad tecnológica amplia.
- Alto valor de octanaje: $(RON + MON)/2$.
- Producto estándar de la EPA.
- Pocos efectos similares a los del Metanol.

COMERCIALIZACIÓN DEL MTBE EN MÉXICO

En México, PEMEX la compañía estatal responsable de la fabricación de gasolinas, consume MTBE desde el año de 1989. El abasto doméstico es a través de una vieja planta de olefinas en el complejo Pajaritos Veracruz, que ha sido transformada para producir 45,000 Tons. de MTBE por año con tecnología CDTECH. Además tiene un convenio de suministro desde 1992, de la refinería de Deer Park Texas, propiedad de la más grande compañía trasnacional petrolera mundial, ROYAL SHELL/DUTCH.

En la prensa especializada de petroquímica, a mediados de 1993, se especula que PEMEX ha firmado un convenio comercial en paquete con SHELL para refinar su crudo pesado (tipo Maya) en Deer Park, además de contar con MTBE. A cambio de esto, PEMEX el único productor mediante internacional de etileno capaz de producir cambios bruscos en el mercado, alinearía su estrategia de ventas con la estrategia del gigante europeo. Debido a esto, PEMEX ha desechado un convenio firmado en 1991 con el licenciador italiano ECOFUEL para construir una planta de dimensiones mundiales de 500,000 Ton./año, y otro con el pequeño productor americano VALERO ENERGY Co. Por otra parte, una explicación de que PEMEX no haya concluido este par de convenios, pero haya hecho un acuerdo con SHELL, es quizá el hecho de que México no cuente con la capacidad de producción de operar una planta de MTBE con 500,000 Ton./año. Adicionalmente, los problemas políticos en Venezuela y una estimación pesimista sobre

comercios regionales de Metanol fueron factores en la alianza de PEMEX con SHELL/DUTCH.

Por otra parte, gracias a los cambios en la legislación sobre petroquímica en México a finales de 1992, un "joint venture" formado por BANAMEX-PROTEXA-VALERO e inversionistas japoneses (Toyo Engineering Co.) firmaron una carta de entendimiento para construir una planta de MTBE en México de 500,000 toneladas con el visto bueno de PEMEX, sin embargo la pregunta continúa, ¿quién abastecerá el Metanol?

Se sabe que México posee una gran fuerza en petróleo crudo, pero sus posibilidades de competir abiertamente en gas natural son limitadas hacia el futuro. También es conocido que las plantas petroquímicas como las de Metanol a base de nafta de petróleo en la zona del Golfo de México no son competitivos, por lo tanto se puede pensar que no habrá planta de Metanol en México, propiedad de PEMEX o de inversionistas privados en un amplio horizonte al futuro. El análisis regional, es evidente de la región denominada Gulf Coast no se dará abasto si el precio de petróleo sube más allá de \$30 US/Bib., costo difícil de pronosticar, o el precio del gas natural se igualará al del petróleo lo que seguramente ocurrirá en 1997, las plantas de alta energía que habrieron en la primavera de 1992 tendrán que cerrar de inmediato y entonces, el tan temido desabasto de Metanol hacia los Estados Unidos comenzará a regir.

CAPITULO 1

EVALUACIÓN TECNOLÓGICA

EVALUACIÓN TECNOLÓGICA

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS:

El objeto de este estudio es establecer los aspectos del diseño que quedan fijos y los que quedan sujetos a un análisis de alternativas para obtener un diseño confiable, funcional y económico de una planta.

Los criterios de evaluación que se tomarán en cuenta en la realización del análisis de alternativas serán los siguientes:

- Selección del tipo de proceso a utilizar.
- Selección de la carga a la planta.
- Establecimiento de las condiciones de operación.

Factores a considerar en los criterios establecidos serán: costo, seguridad, flexibilidad, operabilidad y posible generación de problemas secundarios.

OBTENCIÓN DE MTBE.

Los licenciadores de los procesos posibles de eterificación difieren en detalles tecnológicos, pero todos están basados en la misma química. La síntesis de MTBE a partir de Isobutileno y Metanol se lleva a cabo de acuerdo a la siguiente reacción, en la presencia de una resina de intercambio (ácida):



La reacción de formación de MTBE está limitada por el equilibrio. Altas temperaturas incrementan la rapidez de reacción, pero el nivel de conversión es bajo. Bajas temperaturas cambian el equilibrio hacia la producción de éter, pero es requerida una cantidad mayor de catalizador. Además, las unidades convencionales de MTBE son diseñadas con dos reactores en serie. La mayoría de las reacciones de eterificación son realizadas a altas temperaturas en el primer reactor y entonces finalizadas con una ventaja termodinámica a una temperatura más baja en el segundo reactor.

Las principales diferencias entre los licenciadores son encontradas en la sección de reacción. La sección de reacción es diseñada para un control efectivo del calor exotérmico de la reacción. En la mayoría de los procesos de obtención MTBE ambos reactores operan adiabáticamente, excepto por las tecnologías Snamprogetti y Huels/UOP las cuales ofrecen reactores tubulares operando isotéricamente con enfriamiento continuo externo. Los diferentes tipos de diseño de reactor primario se muestran en la tabla no. 1.

**Licenciadores del proceso de MTBE
Lecho Fijo**

Convencional	Punto de ebullición	Lecho expandido	Tubular
ARCO	CD Tech	IFP	Snamprogetti
Huels/UOP*			Huels/UOP*
Phillips			
RWE-DEA/Edeleanu			
EC Erdolchemie			

Huels/UOP ofrece ambas tecnologías en reactores (Tubular y Convencional).

TABLA No. 1

Todos los diseños de reactores de lecho fijo, excepto los reactores de punto de ebullición incluyen la recirculación de una porción del efluente del reactor a la entrada del mismo. Esto es hecho para controlar la temperatura adiabática alrededor de 25°F., no es necesario recircular el efluente del reactor en los reactores de punto de ebullición con operaciones de temperatura casi constante. La alimentación del líquido es calentada hasta el punto de ebullición por el calor de reacción, con una pequeña cantidad de vaporización.

Los reactores de lecho expandido del licenciador IFP tiene un rango de diseño con respecto al flujo para la agitación del lecho catalítico, permitiendo una expansión del lecho de entre un 20 y 30%. El diseño de este reactor es para evitar el sobrecalentamiento.

Aproximadamente el 90% de la conversión del Isobutileno es completada en el primer reactor, y 50% de conversión del Isobutileno restante se lleva a cabo en el segundo reactor. Es innecesaria la recirculación del efluente al segundo reactor siempre y cuando la reacción exotérmica no sobre pase 10° F. Típicamente, la conversión de isobuteno esta entre 95 y 96%, y la selectividad esta arriba de 99% por lo tanto, por la continua remoción del producto al equilibrio la conversión total del isobutileno alcanzara del 98 al 99%. esto es intentado bajo la combinación de fracciones de MTBE en la segunda zona de reacción en una columna referida como una destilación catalítica o unidad de reacción con destilación, el efluente de la primera reacción es alimentada a una columna debutanizadora conteniendo estructura empacada con piezas catalíticas. Actualmente este tipo de tecnología esta licenciada a través de CD tech, IFP y UOP. El efluente del primer reactor es alimentado a la columna de destilación justo debajo del lecho catalítico localizado en la parte media de la columna, la columna actúa como debutanizador. El MTBE producto es recuperado por el fondo de la columna y los butanos y metanol no reaccionados son recuperados por el domo de la columna.

SELECCIÓN DE LA CARGA A LA PLANTA

Se requiere un examen amplio de las consideraciones de las tecnologías fundamentales para convertir butano a éteres para entender las alternativas de los proyectos de los procesos de MTBE "World-Scale". Las consideraciones del capital y los costos de operación pueden ser analizadas, con alternativas de tecnología y preferencia, para desarrollar el análisis de inversión de proyectos grandes de MTBE obtenido mediante la isomerización de butano, deshidrogenación y eterificación de isobutileno.

Los oxigenantes de combustible proveen eficiencia en el quemado de los hidrocarburos de las gasolinas y reduce las emisiones de monóxido de carbono. Ellos también ayudan a reducir el ozono atmosférico resultado de las emisiones de evaporación de las gasolinas debido a sus bajas volatilidades y reactividad atmosférica. Las reformas de 1990 con respecto al "Aire limpio" han demandado la adición de oxigenantes a las gasolinas vendidas en áreas con problemas con monóxido de carbono a partir del 1° de Noviembre de 1992 y para Junio de 1995 en las áreas con problemas de ozono. Estas áreas contaminadas generalmente son los centros poblacionales de los países

Los oxigenantes comunmente usados en las mezclas de gasolinas son metanol, etanol, metil terbutil éter (MTBE), etil terbutil éter (ETBE), teramil butil éter (TAME) y teramil etil éter (TAEE). El uso del alcohol está limitado debido a que sus mezclas producen una alta presión de vapor. Además, se debe desistir de su uso debido a la escases de etanol y además de que los alcoholes son susceptible a absorber humedad y presentar separación de fases. Los éteres son además los oxigenantes preferidos para las gasolinas. TAME y TAEE, son producidos por la reacción de metanol y etanol, respectivamente, con isoamileno. La disponibilidad de amileno es limitada. Su fuente más común son las unidades de refinación FCC. La producción de ETBE es un poco menos económica que la del MTBE, y depende altamente de la producción de etanol del país.

El MTBE: El MTBE está hecho por la simple adición química de metanol con isobutileno. El metanol es generalmente manufacturado a partir del gas natural. Una fuente significativa de isobutileno ha sido la deshidrogenación del alcohol terbutílico (TBA), el cual es un coproducto de la manufactura del óxido de propileno. Por lo tanto su disposición por está vía es limitada. El isobutileno es fácilmente procesado a partir de una refinería de cracking catalítico y unidades de cracking de vapor. Esta es la fuente más barata y más utilizada. Para el año 1998 se espera que el consumo de MTBE en Estados Unidos llegue a 560,000 bpd. Para cubrir estas necesidades se procesarán 300,000 bpd de MTBE a partir del butano y el restante a partir del isobutileno e isoamileno disponible.

El isobutileno requerido es producido por deshidrogenación térmica o catalítica del isobutano. La deshidrogenación térmica es de interes cuando productos coolaterales se obtienen como olefinas ligeras, valiosas. El proceso catalítico, por otro lado, ofrece alta conversión de isobutileno a partir del isobutano y es además el preferido para los complejos dedicados a la producción de MTBE. El isobutano requerido es hecho por la isomerización catalítica de los butanos disponibles, de los cuales el predominante es el n-butano.

Consideraciones básicas: Un complejo integrado para la producción de MTBE consiste de las unidades de isomerización de butanos, deshidrogenación de isobutano y

eterificación de isobutileno trabajando en hilera o circuito. Todas ellas cuentan en algún paso con procesos catalíticos y cada una es gobernada por cinéticas de reacción y termodinámicas individuales, así como factores de catálisis específicos.

Conversión deseada del producto: El proceso catalítico tiene que ser optimizado por la mejor conversión del producto (Economizar reciclando) y selectividad (Alimentación eficiente). Ambas consideraciones frecuentemente compiten entre sí.

Las consideraciones del equilibrio termodinámico determinan la extensión para la cual una reacción puede proceder en la composición de un sistema dado, temperatura y presión. Para mejorar la conversión, es necesario manipular las condiciones del sistema. De este modo, el mejoramiento en la producción se vería favorecido por la remoción continua del producto preferencial del sistema de reacción, o mejorando las condiciones de temperatura y presión del sistema en el rango determinado de la reacción. Los resultados en las modificaciones de la conversión del producto deseado es de nuevo un balance entre el capital resultante y los cambios en los costos de operación.

Las velocidades de reacción comúnmente se incrementan con la temperatura, desafortunadamente, una alta temperatura puede también resultar en un decrecimiento de la selectividad e incrementar la producción de subproductos. Los incrementos en la temperatura pueden también modificar la velocidad de desactivación del catalizador disminuyendo el tiempo de vida del mismo. La vida del catalizador es seriamente afectada por materiales defectuosos presentes en la alimentación o producidos por reacciones colaterales. El poner mucha atención en estos detalles dará como resultado el punto óptimo de las condiciones de operación (presión, temperatura y condiciones del sistema como filosofías de recirculación, limitaciones de los equipos, etc., y sección de catálisis).

ISOMERIZACIÓN DE BUTANO:

La isomerización de butano normal ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$) hacia isobutano ($\text{CH}_3\text{-}(\text{CH}_3)_2$) es una reacción moderadamente exotérmica, libera 2,990 Btu/lbmol (51.5 Btu/lb) a 400°F. La reacción es llevada a cabo en una atmósfera de hidrógeno sobre un catalizador de platino. La atmósfera de hidrógeno es mantenida para minimizar el depósito de carbón en el catalizador, pero el consumo de hidrógeno es despreciable. La conversión de butano normal a isobutano está limitada por el equilibrio termodinámico. El equilibrio de la isomerización depende solamente de la temperatura, el equilibrio reduce las ramificaciones cuando se eleva la temperatura. Por lo tanto, las velocidades de reacción se favorecen a elevadas temperaturas de operación.

La doble función, isomerización-catálisis es muy sensible a los contaminantes en la alimentación como sulfuro, nitrógeno, agua, olefinas, metales pesados, fluoruros, pentanos e hidrocarburos pesados. La doble función indica que la superficie del catalizador posee características ácidas y metálicas. La alúmina clorada provee el medio ácido para las reacciones de isomerización e hidrocracking. El metal, o platino característico, es responsable de las reacciones de hidrogenación y deshidrogenación. Como efectos de contaminantes en la alimentación pueden ser sumarizados los siguientes.

Contaminantes		
Contaminante:	Efecto:	Limites:
Sulfuro:	Incrementa el hidrocracking y la formación de coque en el catalizador.	1 ppmw.
Orgánicos y N₂:	Reduce la actividad en la isomerización; Formación de H ₂ ; Depósitos de cloruro de amonio.	1 ppmw.
Agua:	Incrementa la formación de coque, alta producción de cenizas; baja conversión.	0.5 ppmw.
Metales:	Disminución tanto en las funciones como en la actividad del metal.	0
Olefinas: (en la alim.)	Incremento en la formación de coque.	0.1 % vol.

Tabla no. 2

DESHIDROGENACIÓN DE ISOBUTANO:

El isobutileno es producido por la remoción de dos átomos de hidrógeno de la molécula de isobutano. Esta reacción ocurre entre 950°F y 1,250°F, Consumiendo energía a una velocidad de 52,732 Btu/lbmol (940 Btu/lb neta de isobutileno producido). Las reacciones laterales incluyen la formación de metano, etano, etileno, propano, propileno, butilenos, hidrocarburos pesados y coque.

El proceso de conversión y selectividad es afectado por el sistema de diseño del catalizador usado en el reactor. Existen dos tipos de catalizadores disponibles. El primero es a base de cromo y el segundo a base de metal noble. El catalizador de metal noble exhibe la tendencia de isomerización esquelética, produciendo una pequeña cantidad de n-butano y olefinas de la alimentación de isobutano. Esto afecta la selectividad.

La disminución de la temperatura adiabática para la deshidrogenación de isobutano es buena sobre los 1,000 °F a 100 % de conversión. La reacción a partir de la deshidrogenación de isobutano es altamente endotérmica, la fuente de calor de reacción es una importante consideración para el diseño del proceso. El calor de reacción puede ser administrado por el precalentamiento de la alimentación al reactor o por un reactor con calentamiento directo. De las cuatro tecnologías dominantes comercialmente disponibles, una usa la primera técnica y las otras tres enfatizan la última.

El resultado del diseño del reactor afecta la selectividad. A aproximadamente 950 °F, el isobutano comienza a reaccionar, la velocidad de reacción se incrementa a altas temperaturas. Con el incremento de la temperatura, se incrementan las reacciones no selectivas del cracking térmico a una velocidad mayor que la reacción de deshidrogenación. Arriba de 1,100 °F, La velocidad del cracking térmico de isobutano se vuelve significativa.

Reactor "isotérmico": La selectividad del isobutileno es maximizada manteniendo la temperatura alrededor de 1,000 °F donde las velocidades de las reacciones laterales son mínimas. Un reactor isotérmico es ideal donde el reactor es mantenido alrededor de la temperatura preferida, es decir, dentro del rango de 1,000 °F a 1,100 °F, suministrando calor directo al reactor a la velocidad a la cual éste es consumido.

La mejor aproximación comercial de las condiciones de reacción exotérmica es realizada en un reactor tubular con la aplicación del calor de combustión al catalizador contenido en los tubos. La velocidad de reacción es mas grande al principio de la reacción, donde la concentración de los reactantes es más grande. El nivel de calor más intenso es además proporcionado al principio de la reacción por el diseño de los quemadores en un hogar, acomodados por fuera de las filas de tubos con catalizador. Los gases de chimenea pasan concurrentemente a la mezcla de reacción, proporcionando el calor de reacción através de la pared de los tubos. Las limitaciones en el diseño de las filas de tubos con catalizador (rapidez de transferencia de calor caída de presión y velocidad de desactivación del catalizador) y los quemadores gobernarán la capacidad de reacción del horno. La selectividad para la deshidrogenación de isobutano puede ser mantenida a un nivel alto por un cuidadoso diseño del horno tubular y limitando el flujo de temperatura en el proceso en el rango más bajo al final de la reacción.

Catalizador-Conducción de calor: Un método alternativo para proporcionar calor de reacción es usar el catalizador como conductor de calor. Esto es hecho por el calentamiento del catalizador a una temperatura mayor que la requerida para la reacción. Por lo tanto, hay limitaciones prácticas de la capacidad de conducción de calor. Cuando el catalizador es usado como conductor de calor, se debe tener cuidado para mantener sus propiedades catalíticas intactas a temperaturas mayores y evitar incrustación en el catalizador. El calor sensible del catalizador provee el calor de reacción. Por lo tanto, la reacción de deshidrogenación es altamente endotérmica, la cama catalítica se enfría demasiado rapido a temperaturas menores a la temperatura mínima de reacción, así el catalizador necesita ser recalentado frecuentemente, y el depósito de coque quemado, así que la cama catalítica puede servir como conductor de calor. Así, el catalizador es siempre a un nivel alto de actividad. Si bien se necesita un ciclo en el reactor entre calentamiento y enfriamiento, con purga intermedia y cambios de fluido, la conversión de la alimentación puede ser mantenida a un nivel alto. En lugar de tener un catalizador estacionario y un proceso cambiando el gas entre múltiples reactores para efectuar el ciclo de calentamiento-enfriamiento, una alternativa de diseño tendría el catalizador moviéndose entre un reactor y un combustor con gases de proceso y gases combustible/gases de chimenea teniendo una ruta constante, con este método, posiblemente el gradiente de temperatura en una cama catalítica calentada sería uniforme y los puntos calientes serían eliminados. Si este método fuera usado el catalizador tendría una excelente resistencia al desgaste y a la incrustación también.

Calor de los Reactantes: Otro método para proporcionar calor de reacción es proporcionando calentamiento a la masa de reacción antes de introducirla a la cama catalítica. Esto puede ser hecho externamente al catalizador por el calentamiento de la alimentación al reactor en un horno a temperatura arriba de la requerida para la reacción. Esto es echo con el fin de que la entalpía de la alimentación pueda proporcionar calor suficiente para mantener la velocidad de la reacción razonablemente, igualmente la velocidad de reacción bajara con respecto a la temperatura. Es de esperarse una limitación en la extensión de la reacción que puede ser sostenida por el suministro solamente de la entalpía de la alimentación. La mezcla de reacción deberá separarse de la cama catalítica para ser

recalentada y reintroducida al catalizador. Este repetido calentamiento de hidrocarburos introduce la posibilidad de reacciones de Cracking térmico, tanto en el horno de tubos como en el horno de líneas de transferencia de calor a través de la alimentación hacia el reactor. Se debe tener extremo cuidado, además, se debe desarrollar un diseño del sistema (como limitante el flux y la temperatura de la pared para un nivel bajo en el horno) para minimizar reacciones de craking térmico indeseables.

Presión de los Hidrocarburos: Otro importante consideración para el diseño del reactor de deshidrogenación es la presión de los hidrocarburos. La conversión al equilibrio es significativamente influenciada por la presión parcial del Isobutano (a 1100°F):

Conversión de Isobutano

Presión de Isobutano, psia	Conversión %
14.7	47
4.9	67
2.5	77

Tabla no. 3

La mayor conversión es disponible a las presiones parciales más bajas. Las presiones parciales subatmosféricas pueden ser alcanzadas por la operación del sistema de reacción en vacío, incrementándose el costo, o a través de la adición de un diluyente. Si se adiciona un diluyente a la alimentación, este debe ser separado de los productos. Los diluyentes condensables como vapor, pueden ser condensados a la salida del reactor en un proceso costoso de eficiencia térmica. Los diluyentes no condensables deben ser comprimidos y separados criogenicamente gastando capital y energía adicional y reduciendo más la eficiencia.

Regeneración: El desafío en el diseño de un reactor de deshidrogenación es la necesidad de regeneración. Como se menciono anteriormente, el coque es un subproducto de la reacción que se deposita en el catalizador desactivandolo y éste necesita ser reactivado usando una corriente de aire caliente. El calor producido de la oxidación puede proveer parcialmente el calor de reacción para la deshidrogenación. Si el coque es quemado junto con el catalizador, es necesario interrumpir la reacción para su regeneración, volviendo el proceso no continuo. Sin embargo, si el catalizador puede ser continuamente movido a diferentes envases para su regeneración, el proceso puede llevarse a cabo como si fuera continuo. El equipo corriente abajo puede ser diseñado sin la necesidad de tener en cuenta la cantidad del producto, calidad y el rango de la composición. En contraste, en una operación ciclica la asociación de equipo y proceso debe guardar un equilibrio entre la reacción y la regeneración. De este modo, un reactor ideal usaría calor de regeneración de calor en el proceso y operar continuamente.

Hidrógeno: El hidrógeno es un coproducto en la producción de Isobutileno. La coproducción de hidrógeno debe ser baja en contaminantes, particularmente oxigenados para el uso de este proceso. Así, la pureza del hidrógeno y el nivel de contaminantes son consideraciones importantes.

En suma, un sistema de reacción ideal sería:

- a) Continuo.
- b) Isotérmico.
- c) Altos niveles de conversión.
- d) Alta selectividad sin isomerización esqueletica.
- e) Usar la regeneración de calor para el calor de reacción.
- f) Operar a bajas presiones para el Isobutano.
- g) Coproducción de hidrógeno con bajo contenido en contaminantes.

Existen cuatro tecnologías usadas comercialmente para la producción catalítica de Isobutileno.

Tecnologías para la producción de Isobutileno

Nombre del Proceso	Licenciador	Catalizador
Oleflex	UOP	Metal-noble
Catofin	ABB Lummus Crest, inc.	Cromo-Alúmina
STAR	Phillips	Metal-noble
FBD-4	Snamprogetti SpA	Cromo-Alumina

Tabla no. 4

La conversión y selectividad son afectadas por el catalizador usado, diseño del reactor, método de suministro de calor para la reacción endotérmica, técnica de regeneración del catalizador etc. Sin embargo, el efluente del reactor consiste principalmente de Isobutano, Isobutileno e Hidrógeno y pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros y probablemente algunos óxidos de carbono. Estos productos de reacción son destinados en favor de la técnica más amplia de recuperación: Concentración criogenica de Isobutileno en la fase líquida, con coproducción de una corriente rica en hidrógeno, seguida del fraccionamiento para remover el propano disuelto y materiales ligeros de la mezcla líquida de Isobutano-Isobutileno. El sistema regenerador del reactor, incluyendo la compresión del producto, es única para cada uno de estos procesos.

En éste trabajo sólo se hará mención del proceso oleflex. Para mayor información acerca de los otros procesos consultar el artículo 'Etherify field butanes' part 2. Hydrocarbon Processing, January 1993. Pp. 89-92.

EL PROCESO OLEFLEX:

Este proceso consiste en una deshidrogenación catalítica y está basado en la combinación sinérgica de dos procesos: El proceso de deshidrogenación de alcanos del C-1 al C-14 y la regeneración continua de catalizador (CCR) tecnología usada en conjunto con la reformación catalítica de nafta. Una exitosa operación comercial de ésta combinación ha sido lograda y es la razón por la cual muchas unidades están bajo construcción.

La alimentación rica en isobutano pasa a través de una cama catalítica molecular con movimiento vibratorio de el harnero para secar y remover cualquier tipo de sulfuro, humedad residual y compuestos oxigenados que pueden estar presentes. Los efluentes

secados con la recirculación de una corriente rica de gas hidrógeno e intercambia calor con el efluente del reactor. La combinación de corrientes es entonces calentada hasta la temperatura deseada a la entrada del reactor en un calentador a fuego directo. El reactor es mantenido a un nivel positivo de presión suficiente para asegurar el nivel positivo de presión de succión del compresor de producto. Debido a que la reacción es endotérmica, la conversión es mantenida por el suministro de calor a través de calentadores de interetapa.

ETERIFICACIÓN:

La síntesis de MTBE es una reacción de adición de metanol con isobutileno sobre un catalizador. La reacción es exotérmica y generalmente es llevada a cabo en fase líquida. El catalizador es una resina de intercambio iónico que contiene un ión fuertemente ácido. El catalizador es una resina de intercambio iónico, la cual está montada en un copolímero de sulfonato de estireno y divinilbenceno.

El tiempo de vida típico para el catalizador es de dos años y las condiciones de reacción permiten una alta conversión y selectividad para ambos reactantes. El MTBE es adecuado para usarse directamente como fomentador del octanaje en las distintas mezclas con gasolinas. La reacción de formación de MTBE está limitada por el equilibrio. Altas temperaturas incrementan la velocidad de la reacción, pero bajas temperaturas incrementan la conversión del isobutileno. Las altas temperaturas incrementan también la producción de subproductos. La selectividad de isobutileno hacia MTBE es alrededor de 99%. Las únicas reacciones laterales consisten en:

- 1) Hidratación de isobutileno con la formación de alcohol terbutílico (TBA).
- 2) Dimerización de isobutileno con la formación de 2,2,4 trimetil 2 penteno diisobutileno (DIB).
- 3) Deshidratación de metanol con la formación de dimetil éter (DME) y agua.
- 4) Metanólisis de 1-butileno con la formación de secbutil éter.

La síntesis de MTBE está gobernada por el equilibrio termodinámico, el cual es cambiado a través de la formación de MTBE a bajas temperaturas. La reacción cinética, por otra parte, es favorecida a altas temperaturas. El diseño del reactor para llevar a cabo la reacción de formación de MTBE debe de tomar en cuenta tanto aspectos cinéticos como termodinámicos.

El reactor de síntesis de MTBE debe ser diseñado para operar en fase líquida y lo más cercanamente posible al límite termodinámico para realizar la máxima conversión practicamente posible. El diseño del reactor debe ser optimizado entre la más baja temperatura dictada por el equilibrio y las consideraciones de la temperatura más alta que favorece la cinética de la reacción. Sobre todo, el diseño del reactor debe tomar en cuenta el envejecimiento del catalizador y su deactivación a la temperatura más baja posible para procurar una larga vida del catalizador y una baja formación de DME.

Debido a que la reacción es exotérmica, el calor de reacción tiende a aumentar la temperatura del reactor. El control de la temperatura de reacción y la remoción del calor de reacción son los parámetros más importantes a considerar en el diseño del reactor. Un reactor tubular, donde el calor de reacción es removido tan pronto éste es liberado a lo largo de la cama catalítica, permite controlar la temperatura mientras los reactantes se mantienen en la fase líquida maximizando la reacción y minimizando el costo de catalizador. El calor de reacción puede ser efectivamente moderado mediante la vaporización de parte de la mezcla de reacción. La vaporización puede ser usada si la tecnología de producción de MTBE es por medio de una columna de destilación reactiva para compensar el calor suministrado por el rector. Un tercer método común para remover el calor de reacción es enfriar parte del efluente del reactor y recircularlo a la alimentación del mismo.

La conversión al equilibrio termodinámico también varía con la relación de metanol isobutileno. La conversión se incrementa conforme la relación de metanol a isobutileno a temperatura constante. De cualquier modo, incrementando el exceso de metanol aumenta los costos adicionales de recuperación de metanol de recirculación. Así, las modificaciones de las diferentes tecnologías para la obtención de MTBE repercuten entre el incremento de la conversión y el costo.

DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE MTBE

TECNOLOGÍA ARCO

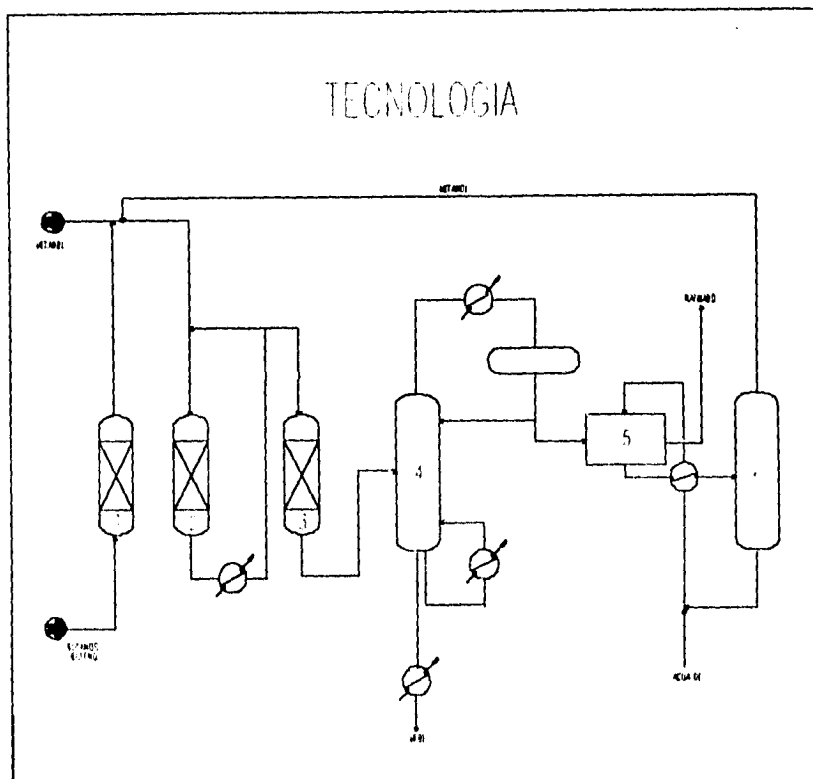


Figura no. 1
ARCO

Alimentación: Se alimentan Metanol e hidrocarburos que contienen olefinas terciarias como el Isobutileno. El proceso puede ser diseñado para manejar alimentaciones de unidades de cracking catalítico y deshidrogenación de Isobutano.

Descripción: La corriente de hidrocarburos es pretratada (1) para remover las trazas de contaminantes. La corriente de hidrocarburos se mezcla con Metanol y reacciona sobre una resina de intercambio iónico en dos reactores adiabáticos de lecho fijo (2,3). La cantidad de Isobutileno reaccionado que puede ser maejada es de un rango del 96 al 99%.

La temperatura de ambos reactores es controlada automáticamente para optimizar la vida del catalizador y la conversión del Isobutileno. El Metanol usado es minimizado por un sistema de control en la alimentación.

DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE MTBE

TECNOLOGÍA ARCO

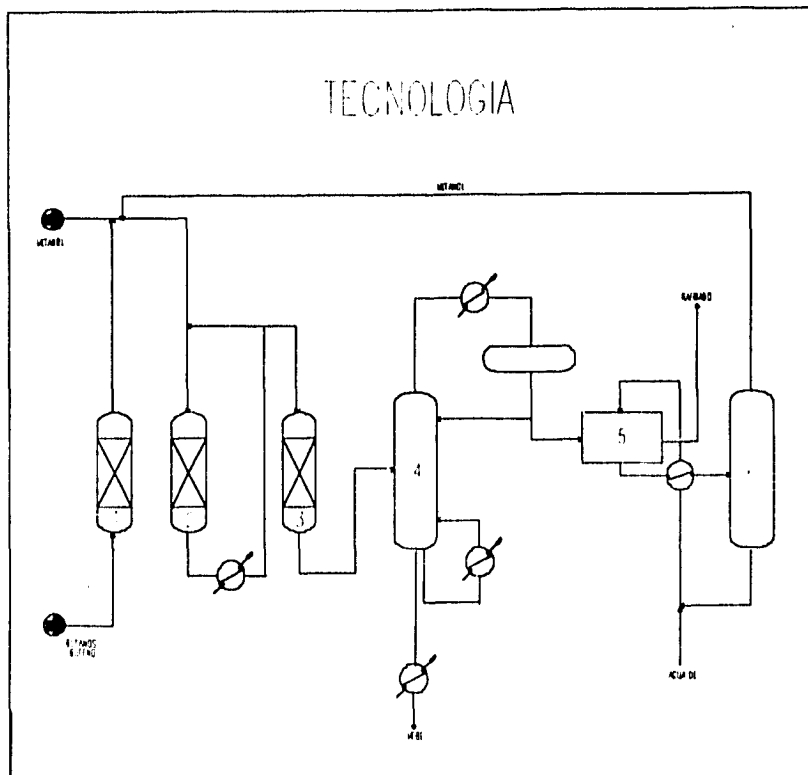


Figura no. 1
ARCO

Alimentación: Se alimentan Metanol e hidrocarburos que contienen olefinas terciarias como el Isobutileno. El proceso puede ser diseñado para manejar alimentaciones de unidades de cracking catalítico y deshidrogenación de Isobutano.

Descripción: La corriente de hidrocarburos es pretratada (1) para remover las trazas de contaminantes. La corriente de hidrocarburos se mezcla con Metanol y reacciona sobre una resina de intercambio iónico en dos reactores adiabáticos de lecho fijo (2,3). La cantidad de Isobutileno reaccionado que puede ser manejada es de un rango del 96 al 99%.

La temperatura de ambos reactores es controlada automáticamente para optimizar la vida del catalizador y la conversión del Isobutileno. El Metanol usado es minimizado por un sistema de control en la alimentación.

El MTBE es separado de los hidrocarburos y Metanol no reaccionados en una columna de destilación (4). El MTBE es recuperado con una pureza del 99% en peso por el fondo de la columna. El exceso de Metanol es removido por el domo de la columna. El Metanol es recuperado con un sistema optimizado de lavado con agua que consiste de un extractor (5), una columna fraccionadora del Metanol y recirculación de éste.

El proceso ha sido optimizado a través de muchos diseños y ofrece el más rentable y flexible proceso de obtención de éteres en la industria.

Requerimientos, por libra de MTBE:

Electricidad, (KWH)	0.005
Vapor, (lb)	1.30
Agua, enfriamiento (30F), (gal)	3.0

Plantas construidas: Química ARCO es el más grande productor de MTBE con 4 plantas en los Estados Unidos, dos plantas en Europa y 27 adicionales alrededor del mundo, resultando en una capacidad total de 140,000 barriles diarios.

TECNOLOGÍA BP

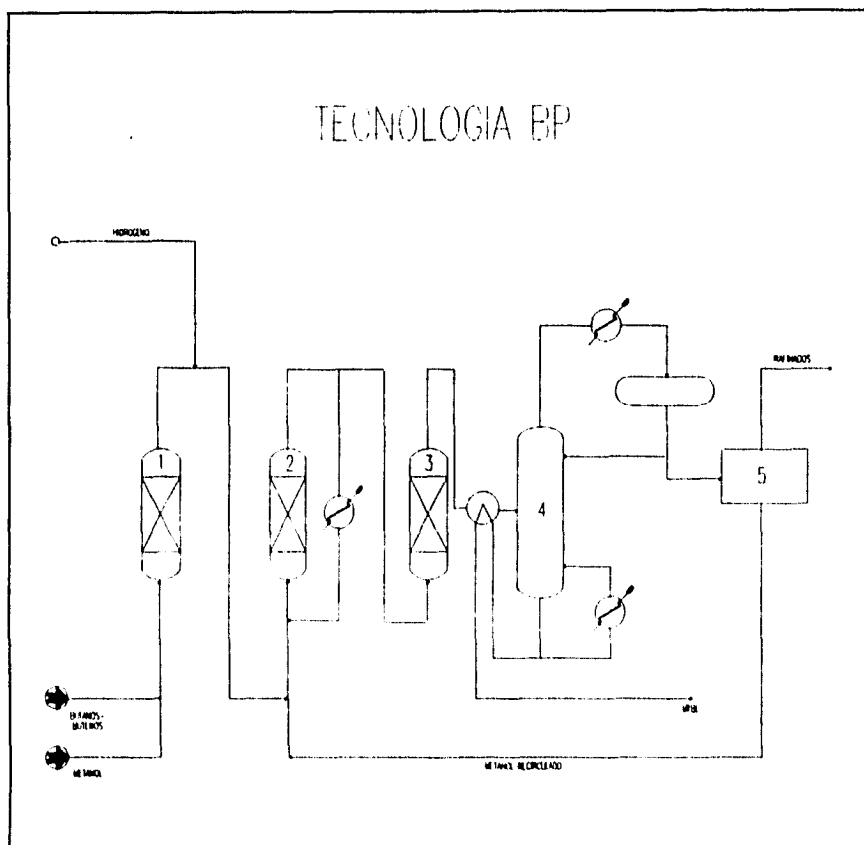


Figura no. 2

BP

Aplicación: Aumenta el octanaje en las gasolinas usando el proceso Etherol.

Alimentación: Se utilizan Metanol y Butanos-Butenos provenientes de unidades catalíticas (FCCU).

Descripción: Los Butanos-Butenos son mezclados con Metanol pasando a través de un reactor guarda (1) para remover impurezas. Una pequeña cantidad de Hidrógeno es adicionada y la mezcla se hace reaccionar sobre una resina ácida de intercambio iónico en dos reactores de lecho fijo (2, 3) operando en fase líquida a presiones y temperaturas bajas. Se hace una recirculación del efluente del primer reactor al mismo controlando la temperatura para maximizar la producción y la vida del catalizador.

Después el producto pasa a una columna debutanizadora. Los Butanos y Metanol no reaccionados provenientes por el domo de la columna pasan a un sistema de recuperación de Metanol. El Metanol recuperado es recirculado al proceso y los Butanos se mandan a una unidad de alquilación.

Producción: La producción de MTBE es una función del contenido de Isobutileno en la corriente de hidrocarburos y la conversión. La conversión de Isobutileno es alta, sobre el 98.5% y varía con la olefina.

Economía: Las plantas son muy simples y con un bajo costo de inversión. Los requerimientos son muy bajos y el catalizador es de larga vida. Los costos dependen de un número de factores, pero generalmente son muy atractivos: La recuperación se da usualmente en menos de dos años.

Instalación: Cuatro plantas están operando y otras están en diseño.

TECNOLOGÍA IFP

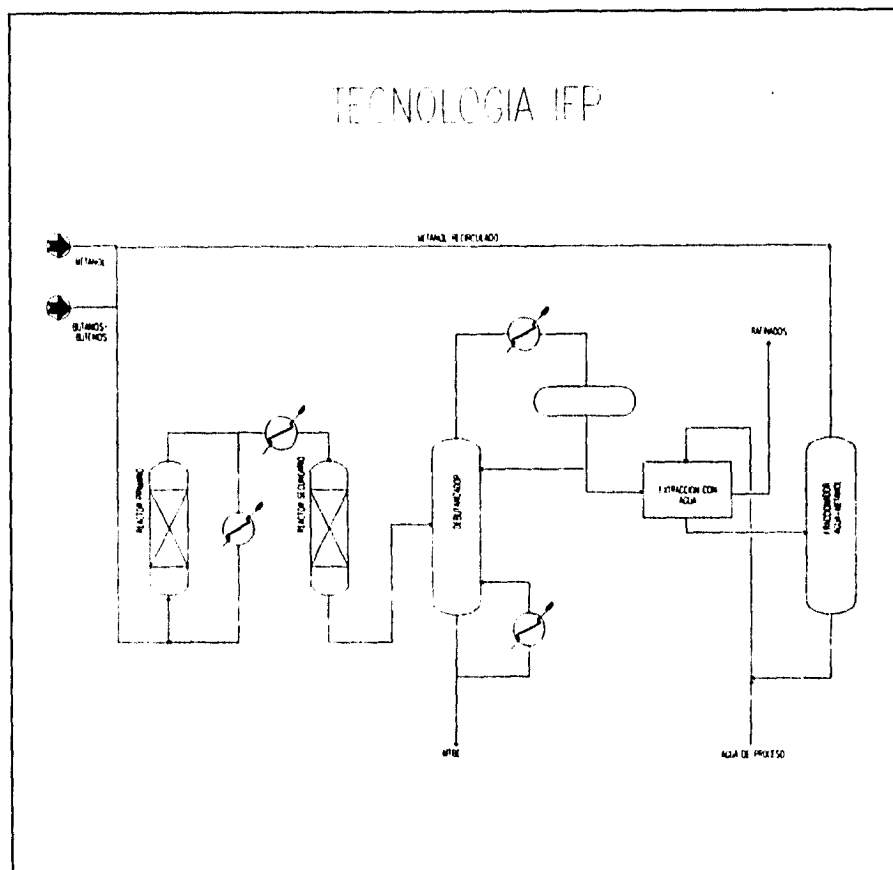


Figura no. 3
IFP

Descripción: Todos los procesos de obtención de MTBE generalmente incluyen las secciones de reacción, fraccionamiento y purificación. Mientras más licenciadores proponen diseños similares para el fraccionamiento de MTBE y para la separación de Metanol, es en la sección de reacción donde el tipo de reactor además del arreglo del flujo son completamente diferentes.

El proceso IFP utiliza un lecho catalítico expandido en los reactores. En el primer reactor toma lugar alrededor del 90% de la reacción, y este opera en flujo ascendente con una expansión del lecho catalítico de entre un 25 a 30% asegurando una apropiada velocidad del líquido. Esto brinda las siguientes ventajas:

1) Esto es un tipo de construcción poco costosa comparado con un reactor tubular donde el número de tubos es aproximadamente de 1,000.

2) Debido a la expansión del lecho catalítico, todas las partículas de la resina se conservan en movimiento, esto asegura una muy eficiente transferencia de calor de la reacción del catalizador, donde la reacción toma lugar en el flujo del líquido a través del reactor.

Por lo tanto, este modo de operación proporciona una homogénea y libre fluidez de calor generado por la reacción, previniendo cualquier posibilidad de sobrecalentamiento sobre el lecho catalítico.

Esto es extremadamente importante para la vida del catalizador debido a que la resina es muy sensible al aumento de la temperatura e inicia su pérdida de actividad aproximadamente a los 120 °C.

3) El uso de un reactor de este tipo opuesto al reactor tubular permite una fácil carga y descarga de el reactor porque la operación de flujo ascendente previene el estancamiento del catalizador.

Esta característica de fácil carga y descarga de la resina es particularmente importante para el primer reactor donde la vida de la resina es considerablemente más corta que en el segundo reactor, principalmente por su posición en el proceso donde actúa como reactor guarda con respecto a los contaminantes contenidos en la alimentación (principalmente los contaminantes son compuestos básicos y catiónicos los cuales neutralizan la actividad del grupo ácido de la resina o liberan la acidez de la resina por intercambio iónico) y por una menor extensión por la alta temperatura de operación.

La cantidad de resina en el primer reactor es un poco mayor comparada con la del segundo reactor, esto es una ventaja para proporcionar un reactor de repuesto o spare, ambos reactores operan en serie. Cuando la resina del reactor primario ha perdido su actividad, puede ser aislado y la resina puede ser reemplazada. Durante éste tiempo el proceso se mantiene en operación sobre el segundo reactor el cual entonces operara como reactor principal durante el siguiente ciclo de operación. Un arreglo de flujo semejante brinda los siguientes beneficios:

a) El lecho expandido evita completamente la posibilidad de que haya una gran caída de presión a través del lecho catalítico. Esto es especialmente benéfico para el primer reactor el cual esta sujeto a que pueda taparse y subsecuentemente que las partículas de la resina fluyan en forma descendente.

b) Otra ventaja del reactor de lecho expandido es la posibilidad de operar a altas temperaturas sin provocar la formación de dímeros y dimetiléter.

Requerimientos por tonelada de MTBE producido:

Electricidad, (KWH)	7
Agua de enfriamiento (10 C)	21
Vapor de B.P., (Tons.)	0.12
Vapor de M.P., (Tons.)	0.40

TECNOLOGÍA SNAMPROGETTI

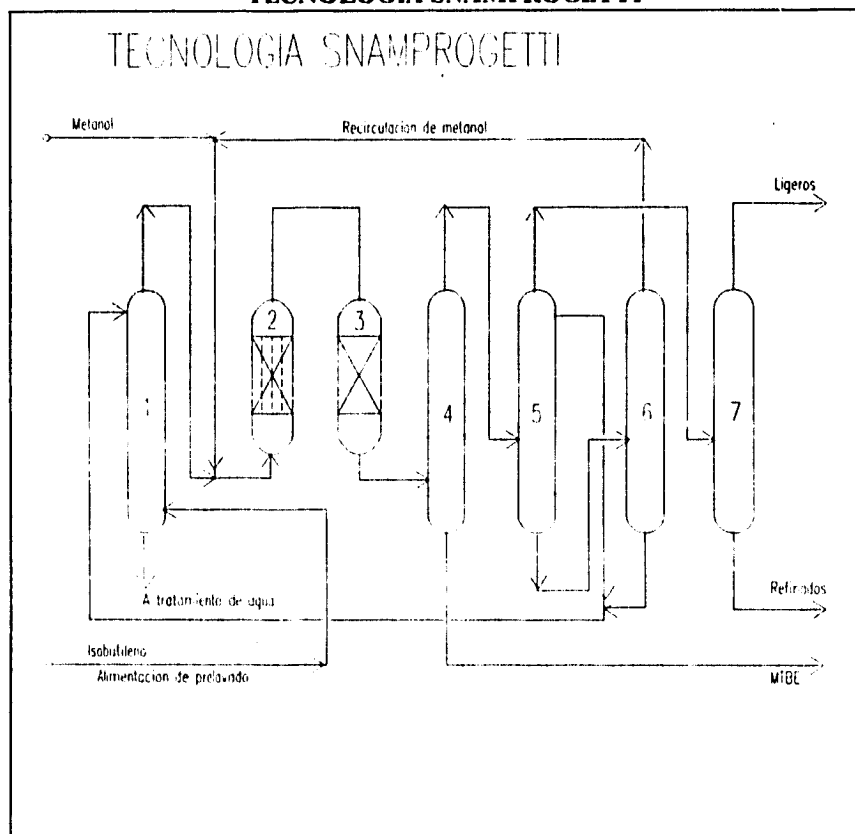


Figura no. 4

Tecnología Snamprogetti para la producción de éteres:

Aplicación: Manufactura de alto octanaje, baja presión de vapor de los oxigenados - alquilación terciaria de metil o etil éteres para mezclas de gasolinas.

Alimentación: Metanol o Etanol y las corrientes de hidrocarburos que contienen las olefinas terciarias reactivas. Las corrientes típicas de hidrocarburos son C4's o gasolinas ligeras provenientes del proceso FCC, vapores craqueados de C4's o producto de deshidrogenación de isobutano.

Productos: Éteres, incluyendo MTBE, ETBE, TAME y éteres con 6 o 7 carbonos. C6-C7.

Descripción: En todos los casos, la manufactura es por la adición de alcohol para reaccionar con las olefinas en presencia de una resina de intercambio iónico a condiciones moderadas de operación. Si es necesario, la alimentación de hidrocarburos pasa a través de una torre de lavado con agua (1) para remover los contaminantes antes de adicionar el alcohol.

La alimentación pasa a través de dos reactores en serie: un reactor tubular (2), el cual opera isotérmicamente, y un reactor de lecho empacado (3), el cual opera adiabáticamente. Esta configuración de la sección de reacción permite el máximo control de temperatura que dá como resultado la máxima conversión del volumen total del reactor hasta cerca del 100% de selectividad del éter deseado.

El effluente del segundo reactor va hacia la torre fraccionaora de producto (4) donde el éter producto es extraído por el fondo de la torre y los hidrocarburos son retirados por el domo de la misma. En el proceso para MTBE mostrado en la figura, el Metanol contenido en la corriente de domo es extraído con agua en la torre removedora de Metanol (5). La corriente de fondo de esta torre entra al fraccionador de Agua-Metanol (6). Y a su vez la corriente de domo de esta torre es recirculada a la alimentación del primer reactor y la corriente de fondo es recuperada como Agua para fines prácticos, Esta agua es enviada hacia la columna (1) y (5). Para la alimentación de alquilación, el Metanol refinado libre de C4's sale del domo de la torre removedora y va hacia el separador de compuestos oxigenados (7) para la remoción de DME, Agua y trazas de residuos de Metanol del domo. La corriente de C4's refinados salen por el fondo de la torre conteniendo en total menos de 10 ppm de oxigenados.

Datos económicos:

Inversión: (Datos basados en una unidad característica FCC con alimentación de C4's; excluyendo el prelavado y la unidad removedora de compuestos oxigenados, 1992 Gulf Coast)	
\$ por bpsd	2,000-3,000
Utilidades: Típicas por bbl de MTBE	
Vapor: Baja Presión. lb.	0.3
Enfriamiento de agua: (18°F). gal.	1.865
Potencia: KWh	1.75

Tabla no.5

Instalación: Dieciseis unidades en operación y siete en diseño y construcción.

Referencias: Brockwell, H.C., Sarathy, P.R. and Trotta, R., "Synthesize Ethers," Hydrocarbon Processing, Vol. 70, No. 9, Sept. 1991, pp.133-141.

Licenciador: Snamprogetti SpA, Milan, Italy; in the U.S. via John Brown E&C, Houston, Texas.

TECNOLOGÍA CDTECH

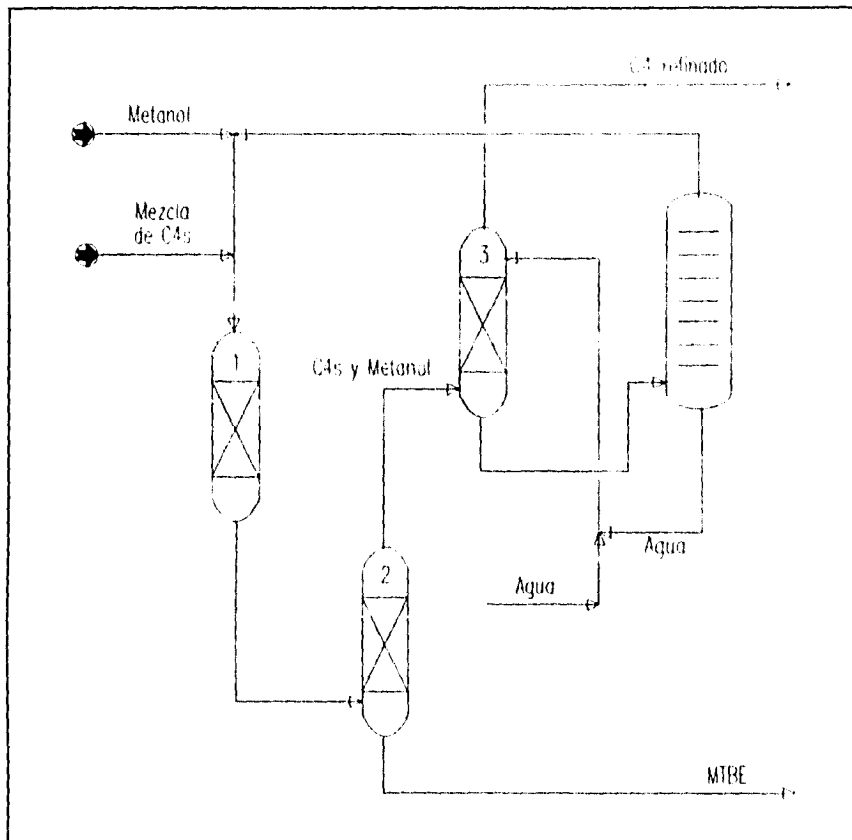


Figura no. 5

TECNOLOGÍA CDtech. PARA LA PRODUCCIÓN DE ÉTERES:

Aplicación: CDMTBE es usada para la manufactura de compuestos oxigenados, Metil terbutil éter (MTBE), por la vía de la destilación catalítica de Metanol e Isobutileno para lograr una alta conversión.

Descripción: La mezcla de C4's proveniente de la unidad FCC, vapor de craqueo o deshidrogenación de isobutano es combinado con Metanol fresco y de recirculación, precalentado y alimentado a la cama catalítica del reactor adiabático de circulación descendente (1), En el cual, debido al diseño, el líquido es precalentado hasta su punto de burbuja por medio del calor de reacción, y el sistema es enfriado mediante la generación de pequeñas cantidades de vapor. Después de la reacción en el reactor primario, la mezcla de reacción es enviada a la columna de destilación catalítica (2). La operación de la columna de

reacción es similar a la de una columna de destilación convencional. Por la combinación de reacción y destilación en la columna, los costos totales de instalación se reducen por la eliminación de equipo. El MTBE es removido de la zona de reacción de la columna de destilación una vez que este ha sido formado. Esto permite que la reacción proceda más allá de los límites definidos por el equilibrio químico para un proceso convencional, realizándose una mayor conversión. Los niveles de conversión en exceso de isobutileno al 99% es posible con la destilación catalítica. El MTBE producto sale de la columna como producto de fondo mientras que el Metanol residual es destilado por el domo de la columna con los C4's que no reaccionaron y es mandado hacia la columna de extracción de Metanol (3). La corriente de agua extraída de la columna de extracción es enviada a la columna de Metanol (4) para recuperar Metanol y agua de recirculación.

La flexibilidad de la destilación catalítica permite la producción de CDETBE usando exactamente el mismo equipo sin equipo adicional para el proceso de etanol. La capacidad de la destilación catalítica para sobrepasar el difícil equilibrio normal es particularmente marcado en la producción de CDTAME donde la conversión en exceso de 95% es posible.

Datos económicos:

Inversión: (Basados en una unidad de 1,450 bpsd)	
\$ por bpsd	1,700
Utilidades: típicas por bpsd de MTBE:	
Vapor: 150 psig, lb	260
Vapor: 15 psig, lb	36
Enfriamiento de agua: (20°F), gal.	1,675
Electricidad: KWh	1

Tabla no. 6

Producción: Miles de lb/h

	Alimentación	Alimentación de Metanol	MTBE Producto	C4 Refinado
Isobutileno:	10.29	-----	-----	0.31
Otros C4's:	52.49	-----	0.02	52.47
Metanol:	-----	5.70	0.01	<50 ppm
MTBE:	-----	-----	15.68	<5 ppm
Total:	62.78	5.70	15.71	52.77

Tabla no. 7

Instalación: Trece unidades en operación y más de cincuenta en diseño y construcción.

Licenciador: CDtech.

TECNOLOGÍA HUELS/UOP

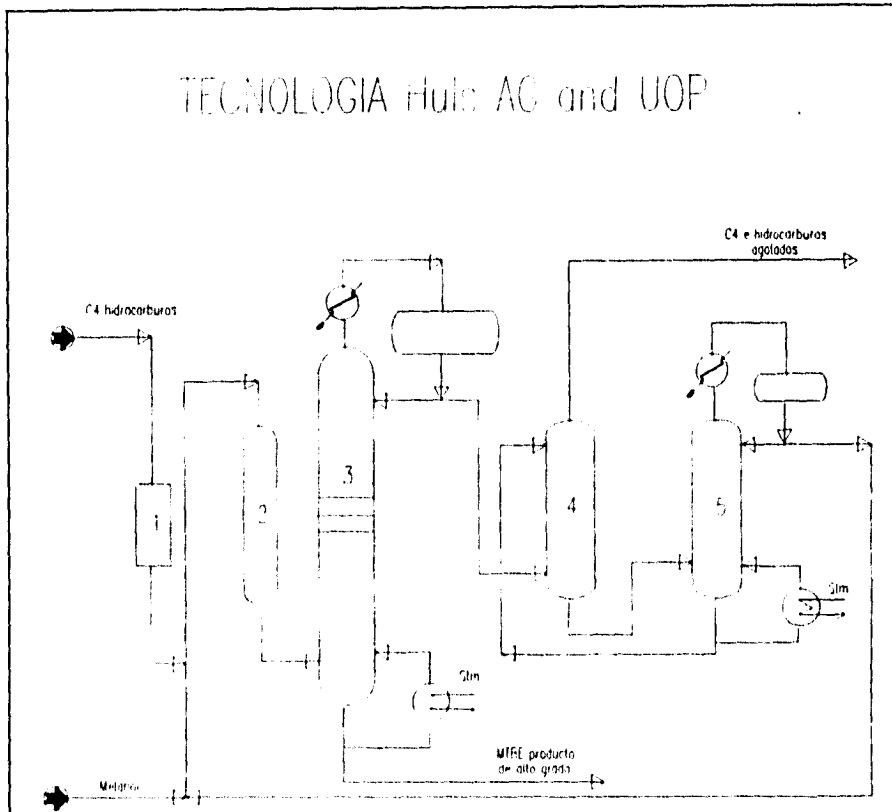


Figura no. 6

TECNOLOGÍA Hüls AG and UOP. PARA LA PRODUCCIÓN DE ÉTERES:

Aplicación: Producción de Terbutil amil metil éteres (TAME) o Terbutil amil etil éteres (TAEE) con alto octanaje y baja presión de vapor para uso como componentes en mezclas de gasolinas con los procesos Ethermax.

Alimentación: Metanol o etanol y la corriente de hidrocarburos conteniendo olefinas terciarias reactivas como isoamileno e isobutileno. Una corriente típica de hidrocarburos es transformada a gasolinas ligeras en la unidad FCC, los vapores del crackeo de C4's o productos de la unidad de deshidrogenación de butano.

Descripción: Las variaciones al proceso incluye la coproducción de MTBE, TAME, ETBE, MTBE/TAME, ETBE y TAEE. En todos los casos la olefina reactiva es combinada

con el alcohol sobre una resina ácida de intercambio iónico a temperatura y presión moderada para producir el éter correspondiente.

En el caso del MTBE, la alimentación pasa a través de un sistema opcional de lavado con agua "Lecho de guarda" (1) para remover los contaminantes de la resina. La mayoría de la reacción es llevada a cabo en un reactor de lecho empacado simple (2). El efluente del reactor alimenta la columna de destilación con reacción (RWD) (3) donde ocurre la destilación y reacción simultánea del isobutileno remanente.

El producto de domo de la columna RWD es enviado hacia la recuperación de metanol, usando una simple columna de extracción que trabaja a contracorriente con agua (4,5). El metanol recuperado es enviado a la sección de reacción. Los hidrocarburos refinados son generalmente enviados corriente abajo hacia la unidad de alquilación u oligomerización (ORU) e hidrogenación selectiva de di-olefinas a mono-olefinas en la unidad Hüls SHP.

El proceso Ethermax es ambientalmente compatible y no produce desechos peligrosos.

Producción: Para un unidad Ethermax procesando 12,400 bpsd de la unidad de C4's de la FCC.

Isobutano, bpsd	1,830
Metanol, bpsd	785
MTBE producto, bpsd	2,290

Tabla no. 8

Datos económicos:

Utilidades: típicas por lb de MTBE:	
Vapor: 150 psig, lb	1.4
Vapor: 15 psig, lb	0.3
Enfriamiento de agua: (30°F), gal.	1.4
Electricidad: Wh	10

Tabla no. 9

Instalación: Existen diecisiete unidades Hüls en operación, con 10 en construcción, 6 de las cuales son unidades Ethermax. La primera aplicación de Ethermax empezó en Hüls AG en Marl, Alemania, en abril de 1992.

Referencias: Gregor, J.H. Bakas, S.T. and Ulowestz, M.A., "Converting Field Butanes Into MTBE," presentado en marzo de 1992 en el manual Gas Processors Association Annual Meeting in Anaheim, Calif.; DeGarmo, J.L., Parulekar, V.N. and Pinjala, V., "Consider Reactive Distillation," Chemical Engineering Progress, March 1992.

Licenciador: Hüls AG and UOP.

TECNOLOGÍA HÜLS/UOP

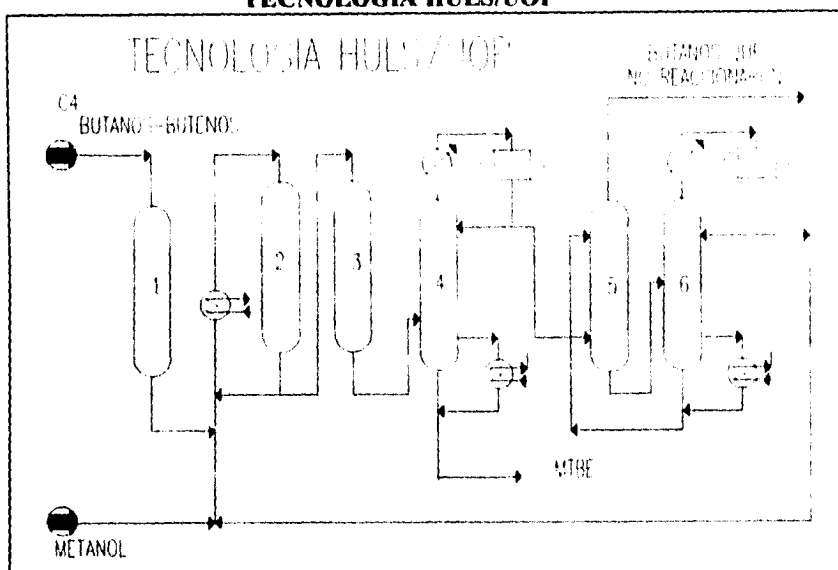


Figura no. 7

TECNOLOGÍA Hüls AG and UOP. PARA LA PRODUCCIÓN DE ÉTERES:

Aplicación: Producción de Terbutil amil metil éteres (TAME) o Terbutil amil éteres (TAEE) con alto octanaje y baja presión de vapor para uso como componentes en mezclas de gasolinas con los procesos Éternax.

Alimentación: Metanol o etanol y la corriente de hidrocarburos conteniendo olefinas terciarias reactivas como isoamileno e isobutileno. Una corriente típica de hidrocarburos es transformada a gasolinas ligeras en la unidad FCC, los vapores del crackeo de C4's o productos de la unidad de deshidrogenación de butano.

Descripción: Las variaciones al proceso incluye la coproducción de MTBE, TAME, ETBE, MTBE/TAME, ETBE y TAEE. En todos los casos la olefina reactiva es combinada con el alcohol sobre una resina ácida de intercambio iónico a temperatura y presión moderada para producir el éter correspondiente.

En el caso del MTBE formado a través de los butanos, la alimentación pasa a través de un sistema opcional de lavado con agua "Lecho de guarda" (1) para remover los contaminantes antes de la combinación de con metanol. En el caso de la corriente proveniente de la unidad FCC, se utiliza una combinación de dos reactores adiabáticos de lecho empacado con resina de intercambio iónico (2,3). Si la concentración de la olefina reactiva en la alimentación es alta, como en el caso del vapor de crackeo o los productos de deshidrogenación de C4's, el primer reactor (2) es además multitubular o adiabático. Una pequeña cantidad de la corriente de salida del primer reactor se recircula al reactor (2) donde

el efluente es enfriado y recirculado a la entrada del reactor, esto se hace con el fin de controlar la temperatura y garantizar la máxima vida productiva de la resina. El proceso es operado a condiciones medias de temperatura y presión, lo que permite la construcción del equipo con acero al carbón.

El MTBE es recobrado con una alta pureza (99%+) como producto de fondo de la columna de butano (4). La corriente de domo contiene un exceso de metanol, hidrocarburos y C4's que no reaccionaron (refinados). El exceso de metanol es recuperado en un proceso simple de lavado con agua (5,6) y recirculado a la entrada del primer reactor

El proceso Hüls es ambientalmente compatible y no produce ningún desecho peligroso.

Producción:

Producto:	Alimentación:	Conversión	Etapas:
MTBE	iC4= + MeOH	97%+	Simple
ETBE	iC4= + EtOH	90%+	Simple
MTBE/TAME	iC4= + MeOH	96%+	Simple
	iC5= + MeOH	50%+	
TAME	iC5= + MeOH	70%+	Simple
TAME	iC5= + MeOH	90%+	Doble

En todos los casos la selectividad es practicamente del 100%.

Tabla no. 10

Datos económicos: Economicamente está sitiado o parado, pero tiene un muy atractivo y simple plan de recuperación del capital invertido menor a dos años.

Instalación: Existen dieciseis unidades en operación con 5 bajo diseño y construcción.

Referencias: Bakas, S.T., Pujado, P.R., Vora, B.V. and Nierlich, F., "Production of Ethers from Field Butanes and Refinery Streams," presented at the AIChE Summer Meeting in San Diego, Calif., August 1990.

Licenciador: Hüls AG and UOP.

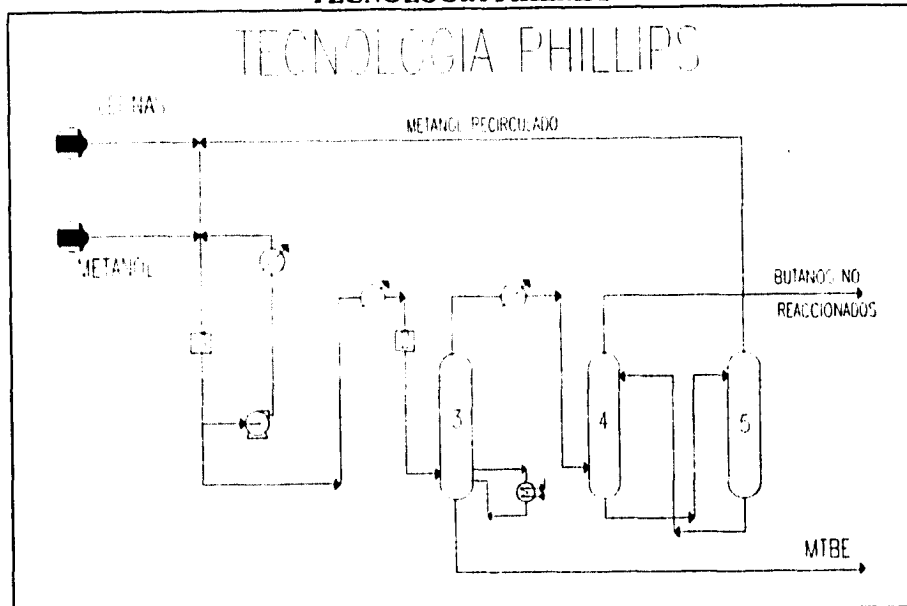
TECNOLOGÍA PHILLIPS

Figura no. 8

TECNOLOGÍA Phillips Petroleum Co. PARA LA PRODUCCIÓN DE ÉTERES:

Aplicación: Manufactura como mejorador de octanaje de gasolinas, Metil terbutil éter (MTBE) a partir de isobuteno y metanol.

Descripción: El isobuteno concentrado y el metanol tanto fresco como de recirculación se alimentan a los reactores (1,2), los cuales contienen una resina de intercambio iónico. El isobuteno concentrado puede ser mezclado con olefinas provenientes de la unidad FCC o vapores de crackeo para su operación así como el isobuteno del proceso de deshidrogenación del isobutano. El reactor opera en fase líquida bajo condiciones de temperatura y presión moderadas. La alta pureza del MTBE (99 w%) es removida como producto de fondo del fraccionador de MTBE (3). Por el domo, los principales productos como: Butanos, isobutano butano y metanol que no reaccionaron son enviados hacia el extractor de metanol (4) donde el metanol en exceso es recobrado y recirculado. En el fraccionador de metanol (5) se asegura una alta recuperación. Todo el metanol que no reacciona es fraccionado por el fondo de MTBE salvando el vapor sustancial. El proceso únicamente provee la corriente necesaria de butano residual sin más tratamiento que la carga directa de una unidad de alquilación o polimerización.

Condiciones de operación: Fase líquida, bajo condiciones de temperatura y presión moderadas.

Producción: Para una planta de 2,900-bpsd, miles de lb/h:

	Alimentación	MeOH makeup	MeOH Recirculado	MTBE Producto	C4's Sin reaccionar
Isobuteno:	21.22	-----	-----	-----	0.85
Otros C4's:	77.72	-----	-----	0.08	77.87
Metanol:	-----	11.46	0.65	-----	-----
Diisobuteno:	-----	-----	-----	0.08	-----
Ter-Butanol:	-----	-----	-----	0.29	-----
MTBE:	-----	-----	-----	31.53	-----
Agua:	0.05	0.01	0.01	-----	0.04
Total:	98.99	11.47	0.66	31.98	78.76

Tabla no. 11

Datos económicos:

Utilidades: típicas por lb de MTBE:	
Vapor: 40 psig, lb	0.8
Enfriamiento de agua: (20°F), gal.	6.0
Electricidad: Wh	4.0

Tabla no. 12

Instalación: Existen 7 unidades bajo licencia, y la instalación plus de la refinería Phillips, Sweeney, Texas.

Licenciador: Phillips Petroleum Co.

TECNOLOGÍA CDETHEROL

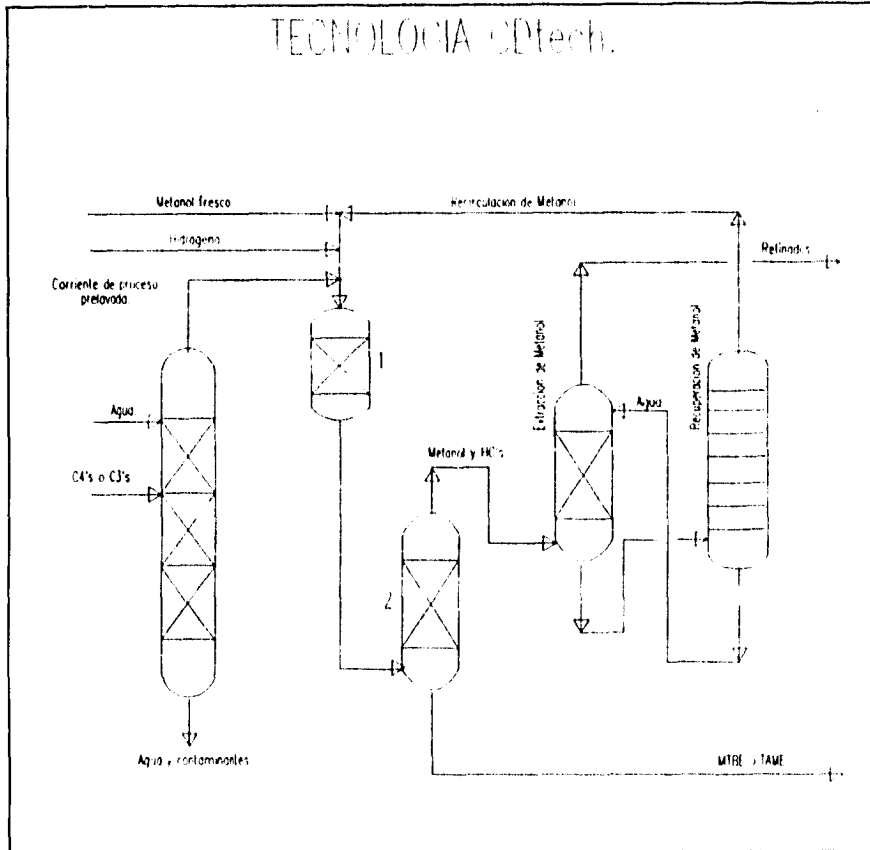


Figura no. 9

OBTENCIÓN DE ÉTERES POR EL MÉTODO CDETHEROL, CDtech.:

Aplicación: La técnica CDETHEROL produce éteres como (MTBE, TAME y ETBE) por medio de alcoholes y olefinas y asegura una alta conversión de la remoción de diolefinas de la corriente de alimentación.

Descripción: Los éteres son formados por la éterificación catalítica de isobutileno o isoamileno con metanol o etanol. La patente del proceso CDETHEROL está basada en el diseño de un reactor de dos pasos consistiendo de un catalizador trifuncional de etherol (1) seguido por una conversión final en una columna de destilación catalítica (2). El proceso usa un catalizador trifuncional propio en forma de cartuchos en el lecho empacado del reactor y una resina de intercambio iónico en la columna de destilación catalítica.

El reactor trifuncional simultaneamente provee de:

- 1) Hidrogenación de diolefinas de la corriente de alimentación.
- 2) Isomerización de butano-1 a butano-2 o 3MPI a 2MB2.
- 3) Eterificación de isobutileno para dar MTBE /ETBE o isoamileno para dar TAME.

La isomerización es una hidrogenación selectiva que provee de una alimentación de mejor calidad a la alquilación con un reducido consumo de ácido. La hidrogenación selectiva también reduce la formación de goma en las corrientes de C5 las cuales de ser intratadas le dan olor y color a los productos de TAME así como reducir la vida del catalizador. La temperatura del reactor es controlada por la recirculación hacia la alimentación del reactor de parte de los reactantes enfriados.

La columna de destilación catalítica combina reacción y fraccionamiento en una sola unidad tal como si fuera una operación simple. Esto permite una alta conversión de las isoolefinas (Excediendo las limitaciones del lecho catalítico) para realizar una operación más simple y económica. Usando la destilación para separar el producto de los reactantes, las limitaciones del equilibrio deben ser excedidas y la conversión excede el 99% para el isobutileno y 95% para el isoamileno. La destilación catalítica tiene las ventajas de incrementar la cinética una vez que se incrementa la temperatura sin tener riesgo de una penalización de la conversión al equilibrio.

Variables de Proceso para la sección de reacción

Licenciador	ARCO	Huels/UOP	Phillips	BP
Relacion molar C_4H_6/CH_3OH	1-1.2	1-1.2	1-1.2	1-1.2
Presión (atm)	10-20	10-20	10-20	10-20
Temperatura (°C)	38-94	40-90	40-90	40-90
Catalizador	Resina ácido fuerte de estireno y divinil benceno	Resina ácido fuerte de estireno y divinil benceno	Resina ácido fuerte de estireno y divinil benceno	Resina ácido fuerte de estireno y divinil benceno
Conversión	96%	98%	96%	96%
Selectividad	98%	99%	98%	97.89%
Rendimiento	96.80%	99%	96.80%	96.80%

Tabla no. 13

Licenciador	CDTech	IFP	Snamprogetti
Relacion molar C_4H_6/CH_3OH	1-1.2	1-1.2	1-1.2
Presión (atm)	10-30	10-20	10-20
Temperatura (°C)	40-98	38-94	40-90
Catalizador	Resina ácido fuerte de estireno y divinil benceno	Resina ácido fuerte de estireno y divinil benceno	Resina ácido fuerte de estireno y divinil benceno
Conversión	99%	99%	96%
Selectividad	99%	99%	98%
Rendimiento	99%	99%	96.80%

Tabla no. 14

Criterios para la evaluación tecnológica del proceso

Para poder simplificar el proceso de evaluación, en el siguiente cuadro se le asignará una letra a cada tecnología.

Licenciador	Tecnología
A	ARCO
B	HUELS/UOP
C	PHILLIPS
D	BP
E	CDTECH
F	IFP
G	SNAMPROGETTI

Tabla no. 15

A continuación se dará una serie de escalas comparativas para cada uno de los parámetros a evaluar, además de describir los criterios seguidos para esta evaluación.

Parámetros	Calificación
Presión	0-10
Temperatura	0-10
Fase de reacción	0-3
Disponibilidad de materias primas	0-5
Número de etapas de reacción	0-5
Catalizador	0-1
Subproductos	0-3
Conversión	0-100
Selectividad	0-100
Información abierta	0-10
Cantidad de equipo	0-3
Tratamiento de subproductos	0-3
Gasto por servicios auxiliares	0-3

Tabla no. 16

Criterios de evaluación

Presión: Se favorecerá a los procesos en los cuales la presión sea la atmosférica o cercana a ésta.

Temperatura: Se favorecerá a los procesos en los cuales la temperatura sea la ambiente o cercana a ésta.

Fases de reacción: Desde el punto de vista de reacción química se favorecerá la fase gas sobre la fase líquida.

Disponibilidad de materias primas: Se favorecerán procesos en los cuales se tengan materias primas a bajo costo, de preferencia productos petroquímicos básicos cuyo valor agregado es inferior a los secundarios; y que sean de producción nacional.

Número de etapas: Se favorecerán procesos los cuales se lleven a cabo en el menor número de etapas.

Catalizador: Solamente se tomará en cuenta si el proceso requiere (0), o no (1) catalizador.

Subproductos: Se favorecerán reacciones en las cuales hay subproductos comerciales y/o utilizables en otros procesos.

Conversión: Se favorecerán las reacciones en las cuales se tenga mayor conversión.

Selectividad: Se favorecerán las reacciones en las cuales se tenga alta selectividad.

Información abierta: Se favorecerán las tecnologías que cuenten con más información abierta.

Cantidad de equipo: Se favorecerán los procesos que tengan un menor número de equipo.

Tratamiento de subproductos: Se favorecerán los procesos que cuenten con tratamiento de subproductos.

Gastos por servicios auxiliares: Se favorecerán los procesos con bajo consumo de estos servicios.

Resultados de la evaluación

Licenciador	A	B	C	D	E	F	G
	Calificación						
Presión	8	8	8	8	7	8	8
Temperatura	9	9	9	9	8	9	9
Fase de reacción	1	1	1	1	2	2	1
Disponibilidad de Mat. Prima	4	4	4	3	4	4	4
No. de etapas de reacción	1	1	1	1	1	1	1
Catalizador	0	0	0	0	0	0	0
Subproductos	1	1	2	1	2	2	1
Conversión	96	98	96	96	99	99	96
Selectividad de C4H8	99	99	99	99	99	99	99
Información abierta	5	5	5	5	6	5	5
Cantidad de equipo	4	4	4	4	5	4	5
Tratamiento de contaminantes	1	2	1	1	2	2	2
Tratamiento de subproductos	3	3	3	3	3	3	3
Gastos por servicios auxiliares	2	1	2	1	1	2	2
Resultado	234	236	235	232	239	240	236

Tabla no. 17

CAPITULO 2
REGLAMENTACIONES AMBIENTALES

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR USO DE MTBE

Contaminación del suelo:

Si el MTBE es liberado en la tierra, estará sujeto a volatilización (basado en un reporte de la constante de la ley de Henry, de 5.87×10^{-4} atm m³/mol y una presión de vapor de 249 mmHg. a 25 °C). Se espera que muestre una alta movilidad en la tierra y, por lo tanto, éste pueda lixiviar en el manto acuífero. No se espera que hidrolice en la tierra.

Contaminación en el agua:

Si el MTBE es liberado en el agua, no se espera una absorción significativa a los sedimentos o a las partículas de materia suspendida, bioconcentraciones en organismos acuáticos, fotólisis directa o fotooxidación, por la vía de la reacción fotoquímica produce radicales hidroxilos en el agua. El MTBE en la superficie del agua puede estar sujeto a una alta volatilización.

Cuando la gasolina que contiene MTBE penetra a los mantos acuíferos, el componente MTBE se disuelve más fácilmente en el agua y se dispersa más lejos del área contaminada por gasolina. La presencia de MTBE parece también incrementar la solubilidad de gasolina en agua.

La constante de la Ley de Henry indica que el MTBE en agua sobre la superficie se volatilizará a la atmósfera con una vida media aproximadamente de 9 horas. El lodo activado no biodegrada al MTBE fácilmente, pero las mezclas de gasolina con MTBE son fácilmente biodegradadas, aún cuando el MTBE permanece bajo.

Las pruebas de toxicidad sugieren que el MTBE tiene un rango de toxicidad de "ligeramente tóxico".

Contaminación en el aire:

Si el MTBE es desechado a la atmósfera, se espera que exista totalmente en fase vapor, basado en una presión de vapor tan baja. La ruta más probable de exposición para la población en general al MTBE es la vía de inhalación por la contaminación del aire. La exposición a través de la piel puede ocurrir. Este tipo de exposiciones ocurren en los sitios de trabajo.

Biodegradación:

En la producción del MTBE, pequeñas cantidades de subproductos, no necesitan ser removidos si el producto es usado para gasolinas. El catalizador es regenerado, y su eliminación no provoca problemas ambientales.

Debido a que el MTBE es soluble en agua se deben tener precauciones convenientes, en caso de fuga, contra la contaminación a mantos acuíferos en su transportación y almacenaje.

Evaluación durante la migración de la gasolina sin plomo:

La migración extensiva de la gasolina que tiene MTBE en los mantos acuíferos indica que la exposición da la pauta para proteger la salud humana. Se ha propuesto un nivel máximo de 0.2 mg. de MTBE/litro en los mantos acuíferos para protección del sistema nervioso central, de una depresión potencial y otro tipo de toxicidad.

La contaminación de los mantos acuíferos con gasolina sin plomo es poco probable y no es una vía relevante de exposición. En tal caso, los componentes muy insolubles migrarían hacia la parte superior de la mezcla y le dejaría al agua un sabor desagradable. La vía más probable de exposición es la migración de la gasolina desde las instalaciones de producción y de almacenamiento, incluyendo tanques de almacenamiento subterráneo de las gasolineras, a los mantos acuíferos usados como abastecimiento de agua potable.

La solución de los componentes de la gasolina que se involucran en la valoración del riesgo deberían ser basados en la probabilidad de la migración de los componentes a través del suelo a la capa freática (solubilidad y estabilidad acuosa), toxicidad y la frecuencia en los mantos acuíferos. Se han evaluado los componentes de la gasolina sin plomo más comunes que migran a las fuentes de agua potable. La tabla siguiente proporciona un resumen de estos compuestos involucrando la solubilidad en agua y los efectos tóxicos críticos.

Compuesto	Solubilidad Acuosa (mg/l)	Porcentaje de gasolina en peso	Efectos a la salud
Benceno	1740-1860	1.94	SNC, Cancer
Tolueno	500-627	4.73	SNC, Sangre
Etil benceno	131-208	2.00	SNC, Hígado, Riñón
o-Xileno	167-231	2.27	SNC, Hígado, Peso corp.
m-Xileno	134-196	5.66	SNC, Hígado, Peso corp.
p-Xileno	---	---	SNC, Hígado, Peso corp.
n-Hexano	9	0.83-1.32	SNC, Peso corporal
MTBE	>10,000	7-15% (volumen)	*SNC

*SNC: Sistema Nervioso Central.

Dosis-Respuesta:

La toxicidad del MTBE ha sido revisada. En la mayoría de los casos los estudios fueron hechos "in Vivo" con animales sub-crónicos, posiblemente útiles para determinar una dosis de referencia oral o una dosis diaria aceptable, también se han

hecho estudios por inhalación. En cuanto a la toxicidad en humanos, en exposiciones médicas con MTBE dió como resultado reacciones no adversas.

Se propuso un valor máximo aconsejable a la salud provisional de 0.40 mg/litro de MTBE en el agua potable basados en estudios de inhalación sub-crónica.

Dosis-Respuesta:

La toxicidad del MTBE ha sido revisada. En la mayoría de los casos los estudios fueron hechos "in Vivo" con animales sub-crónicos, posiblemente útiles para determinar una dosis de referencia oral o una dosis diaria aceptable, también se han

hecho estudios por inhalación. En cuanto a la toxicidad en humanos, en exposiciones médicas con MTBE dió como resultado reacciones no adversas.

Se propuso un valor máximo aconsejable a la salud provisional de 0.40 mg/litro de MTBE en el agua potable basados en estudios de inhalación sub-crónica.

Toxicidad en Humanos:

Las personas están expuestas durante los procesos de manufactura, distribución y mezclado del MTBE; el potencial mayor por exposición, sin embargo, es el de la inhalación de los vapores de gasolina en las estaciones de reparto.

El MTBE tiene un olor característico, pero un bajo grado de toxicidad aguda. Es ligeramente irritante a los ojos, las membranas mucosas y en forma despreciable irritante al contacto con la piel.

El MTBE puede ser venenoso si es inhalado o absorbido a través de la piel. Los vapores pueden causar mareo o sofocación. El contacto puede incitar o quemar la piel y los ojos. El fuego puede producir gases venenosos. El destino final del control del fuego puede causar contaminación en el agua.

Efectos clínicos:

La ingestión oral de MTBE no ha sido reportada en humanos. Estudios realizados en la vesícula usando MTBE y de la ingestión oral en animales, han reportado comunes náuseas, vómito y sedación, seguida de adormecimiento general (depresión del Sistema Nervioso Central "SNC" y del sistema respiratorio). Pruebas en el funcionamiento anormal del hígado han sido observadas en animales. La ingestión de la mezcla de gasolina-MTBE puede dar como resultado en aspiración neumonítica. La inhalación del MTBE produce anestesia en animales. La inhalación crónica causa inflamación nasal y de la tráquea.

Aparato Respiratorio:

Es posible que la inhalación por largo tiempo de MTBE produzca una aspiración neumonítica en la persona afectada. La respiración forzada e irregular fue asociada con efectos anestésicos en ratas.

Sistema Neurológico:

La administración oral o inhalación a animales experimentales indican que el MTBE tiene propiedades sedativas anestésicas, lo que indica una depresión del Sistema Nervioso Central.

Aparato Gastrointestinal:

Han sido observados vómitos y náuseas, en animales y humanos.

Piel:

El MTBE no es un irritante primario de la piel. Un eritema⁽¹⁾ e irritación ligera se han observado en animales cuando es aplicada sobre la piel lacerada, o bajo la ropa apretada.

Ingestión:

La ingestión oral del MTBE, puede producir náuseas, vómito, tos, bronquitis y sedación. La depresión del Sistema Nervioso Central y Respiratorio puede también ocurrir. La introducción en la bilis ha resultado en daños al hígado manifestado por niveles anormales de enzimas del hígado. La ingestión de gasolina y MTBE pueden resultar en riesgo para la aspiración y neumonitis.

Contacto con los ojos:

Se observaron conjuntivitis, quemosis⁽²⁾ y opacidad de la córnea.

(1)= Eritema: Inflamación superficial de la piel, caracterizada por la aparición de manchas rojas.

(2)= Quemosis: Es la hinchazón edematosa de la mucosa conjuntival inflamada; se presenta en la conjuntivitis aguda.

SEGURIDAD Y MANEJO

SEGURIDAD

Los compuestos oxigenados son un grupo altamente flamable.

El uso de nuevos combustibles puede ocasionar efectos ambientales, debido a emisiones provocadas por combustión y evaporación. La posibilidad de que ocurran derrames, incendios, ingestión accidental, y otras formas de exposición humana está presente. Los oxigenados presentan peligros únicos que no son típicos de la gasolina convencional.

Transportación (manejo)

Regulaciones para transporte:

Ninguna persona puede transportar, ofrecer, o aceptar un material peligroso para la transportación en el comercio a menos que el material esté adecuadamente clasificado, descrito, empaçado, marcado, etiquetado y en las condiciones que el envío requiera o se haya autorizado previamente por las regulaciones de materiales peligrosos (49 CFR 171-177) [49 CFR 171.2 (10/1/87)]. Regulaciones NFPA.

Envíos químicos por aire de MTBE: IMO clase 3.0 UN-2398. Etiquetados con peligro primario: líquido flamable (paquete del grupo II).

Envíos químicos internacionales por barco: del MTBE. IMO clase 3.2, líquidos inflamables UN-2398. (paquetes del grupo II). Etiquetas requeridas: líquidos inflamables.

Almacenamiento

Guía de los puntos de emergencia:

La acumulación de vapores en los equipos tiene el riesgo de incendiarse o provocar una explosión muy peligrosa. Un incendio puede ser provocado por calor, chispas o flama. Los vapores pueden viajar a una superficie de ignición y provocar un incendio. Los recipientes pueden explotar con el calor del fuego. La explosión puede presentarse dentro o fuera de la planta, o bien en las alcantarillas que contengan vapores.

Acciones de emergencia: Mantener alejada a la gente que no sea necesaria; aislar el área de peligro y prohibir la entrada, mantenerse en contra del viento, mantenerse alejado de áreas bajas o estrechas. Se deberá usar máscara para respirar y la ropa protectora contra incendio, esto los protegerá por tiempo limitado. Evacuar en todas direcciones si un tanque o camión es envuelto por el fuego. Si la contaminación del agua ocurre, se debe informar a las autoridades correspondientes.

Si ocurren fuegos pequeños, se recomienda usar: Polvo químico seco, CO₂, gas halón, agua en forma espreada. Si ocurren fuegos grandes, se recomienda usar: Agua en forma espreada, niebla, etc.

Las técnicas de combate de fuego requieren también modificaciones en el caso de varios combustibles oxigenados. Comúnmente, las espumas son usadas para sofocar fuegos derivados de petróleo y evita que los vapores inflamables salgan del combustible que se está quemando. Las burbujas de aire de las espumas están formadas de agua y un líquido espumante.

Para fugas excesivas en la zona de carga y descarga, usar manguera o un monitor de boquilla, si es posible, apartarse del área y dejar que el fuego termine, alejarse inmediatamente en caso de que se presente cualquier coloración del tanque debida al fuego.

Derrames o Fugas:

Desconectar las fuentes de ignición, no encender fuego, no acercarse a flamas, no fumar y no provocar chispas en las áreas de peligro. Si es posible detener el derrame o fuga. El agua esparcida puede reducir considerablemente los vapores que se llegaran a producir, pero esto no puede prevenir la ignición en espacios cerrados.

Cuando se lleguen a presentar derrames pequeños, el material se puede absorber con arena o con otro material absorbente no combustible. Estos materiales absorbentes, deberán ser almacenados en recipientes para que posteriormente sean eliminados. Cuando se lleguen a presentar derrames excesivos, es recomendable colocar un dique alrededor del líquido derramado para una eliminación posterior.

Primeros Auxilios

En caso de que ocurra intoxicación mover a la persona hacia el aire fresco y llamar a los servicios médicos de emergencia, si no respira, se recomienda darle respiración artificial; si la respiración se dificulta, entonces proporcionarle oxígeno. Cuando se tenga contacto con los ojos, se recomienda lavar con agua, durante 15 minutos aproximadamente. Si el contacto es en la piel, se recomienda lavar el área afectada con agua y jabón, finalmente si la ropa fué contaminada es preferible despojar al paciente de ésta y lavar el área afectada con agua y jabón.

Exposición por Inhalación:

Descontaminación: Mover al paciente al aire fresco. Detectar si existe algún problema respiratorio; si se presenta tos o dificultad para respirar, evaluar la irritación del tracto respiratorio, la bronquitis o neumonitis. Administrar oxígeno al 100% humidificado con ventilación asistida como sea requerida.

Exposición Ocular:

Descontaminación: Cuando hay exposición de los ojos, estos deben ser limpiados con agua tibia por lo menos durante 15 minutos. Si la irritación, el dolor, la inflamación y las lagrimas persisten, el paciente deberá recibir asistencia médica.

Exposición Dérmica:

Descontaminación: Lavar el área expuesta a fondo con agua y jabón.

Sistema de seguridad contra incendio

La planta deberá contar con monitores, estos a su vez contarán con dos tomas para manguera de 2.5" de diámetro, alimentado por tubería de 6" de diámetro.

Además se deberá contar con hidrantes con dos tomas para manguera de 2.5" de diámetro, alimentado por tubería de 6". Estos hidrantes deberán estar distribuidos en la periferia del terreno con que cuente la planta.

El sistema de aspersión estará distribuido en toda la planta, principalmente en todos los equipos de proceso.

Estos sistemas deberán contar con un filtro, además de una purga en la parte más baja para mantenerlos vacíos mientras no se operen.

Los aspersores serán alimentados por una tubería de 4" y éstas a su vez serán alimentadas por tubería de 6".

Toda la tubería será de acero al carbón sin costura (ASTM-A53) cédula 40 y 80 de diferentes diámetros y rosca en los extremos.

CAPITULO 3

ESTUDIO DE MERCADO

OFERTA Y DEMANDA DEL MERCADO

PEMEX ha producido distintos tipos de gasolinas según los requerimientos mecánicos de los motores. En 1938, se consumía en el país solamente un grado de combustible automotriz con el nombre de gasolina, la cual se preparaba hasta con tres mililitros de Tetraetilo de plomo (TEP) por galón, para dar un índice de octano de 57 RON.

En 1940, apareció en el mercado la primera gasolina formulada por PEMEX, llamada Mexolina con 70 octanos mínimo.

En 1950, siguiendo las tendencias y requerimientos automotrices se ofreció la Supermexolina cuyos cambios esenciales fueron el incremento en el octano de 80 mínimo de RON.

A partir de 1956, con la aparición en el mercado de automóviles equipados con motores de alta relación de compresión, fué necesario elaborar una nueva gasolina con mayor octanaje surgiendo el Gasolmex de 90 octanos RON. En 1965, 1966 y 1967 fueron revisadas las especificaciones de la Supermexolina y Gasolmex, pero sin modificaciones importantes.

Hasta 1973, se mantuvieron en el mercado 4 grados de gasolinas con diferentes opciones de octano RON, las cuales contenían Tetraetilo de plomo, satisfaciendo de este modo los requerimientos del parque vehicular.

A partir de 1973, de acuerdo con los estudios de mercado llevados a cabo, se definió que el promedio de octano requerido era del orden de 85 octanos RON. Fue así como se retiraron del mercado la Supermexolina en 1974 y la Mexolina en 1976, desarrollandose dos nuevas gasolinas, la NOVA con 81 octanos RON y 3.5 ml. de TEP/gal. y la EXTRA con 92 octanos RON y 0.1 g de plomo por galón máximo, que sustituyeron a los cuatro tipos anteriores.

En 1986, como resultado de los estudios para el mejoramiento de su calidad y buscando disminuir la contaminación ambiental, se revisaron las especificaciones de las gasolinas NOVA y EXTRA, apareciendo así las nuevas NOVA PLUS, observándose en la primera, una disminución de Tetraetilo de plomo de 3.5 ml./gal. a un rango de 0.5 a 1 para el área metropolitana y en la segunda, una disminución en el contenido de plomo de 0.1 a 0.05 g/gal. máximo.

A partir de la temporada invernal de 1990, se distribuyen gasolinas oxigenadas mediante una mezcla de MTBE (Metil terbutil éter) que mejora la combustión en los automotores a la altura de la ciudad de México. Con ésta acción se ha logrado disminuir la emisión de hidrocarburos no quemados en 38,000 Ton./año y de Monóxido de carbono. La reducción implica el dejar de enviar a la atmósfera 470,000 Ton./año en el área metropolitana de la ciudad de México.

En México, el aumento de vehículos año con año, ha implicado generalmente un crecimiento en la demanda del consumo de gasolinas (como se muestra en la tabla 18). La mezcla de gasolina con MTBE contiene un 10% en volúmen de MTBE en el combustible final. Lo anterior establece una relación directa del requerimiento de MTBE con el consumo de gasolina y por tanto el realizar un estudio más confiable que indique el consumo de MTBE en el país, en los próximos años.

GASOLINAS

AÑO	PRODUC- CIÓN	IMPORTA- CIÓN	EXPORTA- CIONES	CONSUMO APARENTE
1981	360.9	1.3	2.5	359.7
1982	348.1	0.1	2.3	345.9
1983	355.2	0.1	21.7	333.6
1984	362.6	0.1	36.2	326.5
1985	366.1	0.1	25.8	340.4
1986	370.6	----	23.3	347.3
1987	379.4	5.1	20.1	364.4
1988	384.6	2.1	23.3	363.4
1989	393.8	28.3	5.2	416.9
1990	432.5	30.6	9.3	463.8
1991	433.5	68.7	15.5	486.7
1992	427.7	82.1	22.4	487.4

Las unidades de la tabla anterior son miles de barriles diarios (MBD).

TABLA No.18 :

Fuente: Anuario Estadístico de PEMEX, 1993.

PEMEX sección petroquímicos, tiene a su cargo la única planta en operación de MTBE en México cuyo inicio de operación fué en 1991.

LOCALIZACIÓN	CAPACIDAD NOMINAL (miles de Toneladas)	AÑO EN QUE INICIO SU OPERACIÓN
PAJARITOS, VER.	43,000	1991

Fuente: Memorias de Labores de PEMEX, 1992.

TABLA No.19

La producción de MTBE en México de 1991 a 1992 se indica en la tabla No.20. Se observa un 165% de aumento sobre 1991, debido a la relación directa con el consumo de las gasolinas oxigenadas, por ser éste producto su principal aditivo.

PRODUCCIÓN BRUTA DE MTBE

AÑO	TONELADAS	MILES DE NUEVOS PESOS	PORCIENTO DE AUMENTO
1991	15,374	15,881	-----
1992	40,752	51,196	165.07
1993	49,000	44,148	20.24
1994	61,000	56,120	24.48

Fuente: Memorias de Labores de PEMEX 1994.

TABLA No.20

La producción generada en estos dos años fué insuficiente para abastecer la demanda de gasolina de la zona metropolitana de la ciudad de México, y como consecuencia, éste producto se tuvo que importar. Estas importaciones procedieron en más del 95% de Estados Unidos.

IMPORTACIONES DE MTBE

AÑO	TONELADAS	VALOR (MNS)
1990	227,579	221,118
1991	251,618	260,506
1992	274,160	344,422
1993	267,799	225,537

Fuente: Memorias de Labores de PEMEX, 1993.

TABLA No.21

Como reflejo de la situación anterior, la balanza comercial registró, un déficit en volúmen. El aumento fué de 18% en los niveles de consumo del MTBE en el país de 1991 a 1992, el cuál pasó de 267,000 Ton. a 314,000 Ton.

CONSUMO DE MTBE EN MÉXICO

	1990	1991	1992	1993
TON./AÑO	227,579	266,992	314,912	327,255

Fuente: Memorias de Labores de PEMEX, 1993.

TABLA No.22

El precio de MTBE por tonelada se indica en la tabla No.23.

VALOR DE MTBE
(Miles de Nuevos pesos/Tonelada).

AÑO	1990	1991	1992	1993
PRODUCCIÓN EN MÉXICO	-----	1.032	1.256	0.9168
IMPORTACIONES	0.972	1.035	1.256.	1.288

Fuente: Memorias de Labores de PEMEX, 1993.

TABLA No.23

Es importante destacar que las expectativas en la fabricación de aditivos para gasolinas, resulta muy alentador. PEMEX refinación, dentro de un paquete de proyectos ecológicos tiene en ejecución para la elaboración de aditivos oxigenados tres plantas de MTBE por 150,000 toneladas en total y una planta más en ingeniería. Dichos proyectos se espera que entren en operación en el año de 1995.

PEMEX REFINACIÓN

LUGAR	CAPACIDAD (Ton./año)	OBSERVA- CIONES	INVERSIÓN AÑO 1992 (MMNS)	INVERSIÓN AÑO 1993 (MMNS)
Salamanca, Gto.	35,000	Ingeniería	2	2
Tula, Hgo.	90,000	Ejecución	2	3
Salina Cruz, Oax.	30,000	En operación	2	2
Cadereyta, N.L.	30,000	Ejecución	2	3

Fuente: Memorias de Labores de PEMEX, 1993.

MMNS: Millones de Nuevos Pesos

TABLA No.24

Adicionalmente, PEMEX petroquímica y un consorcio integrado por inversionistas de Estados Unidos, España y México firmaron un memorándum de entendimiento para la construcción a escala mundial de una refinería que producirá 463,000 Ton./año de MTBE, con lo que se espera en el mediano plazo cubrir la demanda nacional del oxigenante y revertir la tendencia comercial en nuestro país.

En Estados Unidos el consumo de gasolina hasta 1980 era de cerca de 7,000,000 de barriles por día, del cual el 45% consistía en gasolina sin plomo. La cantidad adicionada de MTBE era de 5 a 7% en volumen, e implicaba una demanda diaria de 300,000 a 400,000 barriles. La capacidad instalada (Planeada y en operación) para la producción de MTBE era de cerca de 20,000 barriles por día y aún considerando la máxima disponibilidad de Isobuteno proveniente de refinerías, únicamente se cubrían de 35,000 a 40,000 barriles por día de MTBE.

Inversión en México durante 1993: En virtud de la trascendencia que han cobrado los proyectos para preservar el ambiente, conviene destacar que la inversión para la construcción de plantas consideradas en el Paquete Ecológico e incluidas dentro del presupuesto de 1993 de Pemex-Refinación, representó aproximadamente 19% del total ejercido (453 millones de nuevos pesos).

De la cifra anterior, 16 millones de nuevos pesos (3.53%) fueron aplicados a las plantas de metil terbutil éter (MTBE) y teramil metil éter (TAME), ubicadas en Salina Cruz, Tula y Cadereyta; adicionalmente, se erogaron 11 millones de nuevos pesos en la planta de MTBE que se construye en Salamanca, como parte de las obras de ampliación que se realizan en esa refinería y cuyo arranque se esperaba en el transcurso de 1994.

En relación a la producción de oxigenantes para gasolinas, conviene resaltar el interés mostrado por la iniciativa privada de participar dentro del sector petroquímico, al haberse integrado el Consorcio **PROESA** (constituido por Banamex, Valero Energy Corp., Dragados y Construcciones e Infomín), cuyo objetivo es construir una planta de 500 mil toneladas de MTBE.

Aditivos para combustibles: En relación a la producción de aditivos para combustibles, actualmente Petróleos Mexicanos (PEMEX) es el único fabricante en el país de metil terbutil éter (MTBE). Durante el año de 1993 la producción de MTBE presentó un aumento de 18.9% respecto a 1992. Esto es debido al decremento en el precio unitario del MTBE y el cierre de la planta de tetraetilo de plomo en 1993.

La única empresa productora de aditivos antidetonantes para gasolina, a base de tetraetilo de plomo, cerró su planta con capacidad de 19,500 toneladas/año. La principal causa que originó el cierre de la planta fue el considerar que las perspectivas de comercialización del producto eran desfavorables bajo las condiciones de mercado y de una estricta reglamentación ecológica.

Durante 1993 el volumen utilizado de las materias primas: metanol e isobutileno para la producción de MTBE, ambos fabricados por PEMEX se aproximó a las 50 mil toneladas. Los requerimientos nacionales de materias primas para la fabricación de aditivos para combustibles, tuvieron que ser complementados mediante importaciones.

Las importaciones de MTBE constituyeron en 1993 el 84.7% de su propio consumo aparente; lo anterior se debe a una reducción notable en el contenido de plomo de la gasolina Nova y al paulatino reemplazo que actualmente tiene este combustible por la gasolina sin plomo, Magna Sin. Este proceso de sustitución ha sido promovido por la reducción en la diferencial de precio entre las dos clases de gasolina y por la obligatoriedad en el uso de convertidores catalíticos en los automóviles de modelos 1991 en adelante.

Las ventas de gasolina Magna Sin en México han ido en constante aumento, ya que en 1991, de los 76 millones de litros diarios vendidos de gasolinas, el 10.3% fue de Magna Sin, habiéndose incrementado ese porcentaje al 33.4% durante 1993, cuando se tuvo una venta promedio de gasolina de 78 millones de litros por día. Las expectativas indicaron que para finales de 1994 la gasolina sin plomo constituiría el 50% de la venta diaria total en el país.

Aunque se tuvieron modestos aumentos en la producción de MTBE, las importaciones del aditivo para gasolina solo disminuyeron 2.3%; sin embargo, debe considerarse que el volumen de MTBE ingresado al país fue de 268 mil toneladas.

La balanza comercial arrojó resultados negativos, en virtud de los grandes volúmenes importados de MTBE, provocando que en 1993 se reportara un déficit en volumen de 268 mil toneladas y una erogación de 231.7 millones de nuevos pesos; sin embargo, estas cifras fueron menores a las cuantificadas en 1992, esperándose una reducción importante del déficit existente, al entrar en operación las plantas de MTBE y TAME que PEMEX tiene en ejecución.

El consumo aparente de MTBE tuvo un pequeño incremento comparado con los niveles exhibidos en 1992, dicho crecimiento fue solamente del 0.4%, registrándose un consumo de 316 mil toneladas en 1993, aunque cabe señalar que para la formulación de gasolinas, se importaron también los productos procedentes de E.U.A. conocidos como gasolinas "premium y regular", promediando aproximadamente 13.4% millones de litros/día.

En el marco del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica, la fracción de importación de MTBE se encontraba ya exenta de impuesto antes del primero de enero de 1994 y las materias primas y aditivos para lubricantes quedarán sin arancel en un periodo de 10 años, durante el cual se desgravarán uniformemente, habiendo empezado a partir del primer día de 1994, sobre la tasa base que para todas ellas era de 15%.

En el corto plazo, el sub-sector de aditivos para combustibles cobrará una gran importancia a raíz de las plantas de MTBE y TAME que PEMEX construye; así para 1993, la planta que registró mayor inversión fue la de Salamanca, en donde se obtendrán 35 mil toneladas del aditivo, habiéndose erogado el 38% de su costo total estimado, programando su arranque en 1995.

Las otras plantas de oxigenantes para gasolinas y que forman parte del "paquete de proyectos ecológicos" son las siguientes: dos plantas ubicadas en la refinería de Tula, una de TAME y otra de MTBE (ambas de 90 mil toneladas); dos plantas localizadas en Salina Cruz, una de TAME (60 mil toneladas) y otra de MTBE (30 mil toneladas) y finalmente, una planta de 30 mil toneladas de MTBE construyéndose en Cadereyta.

De igual forma, la iniciativa privada continúa con el proyecto para obtener 500 mil toneladas/año de MTBE, gran parte de esta producción será consumida por PEMEX y el resto será canalizada hacia el mercado externo.

Crecimiento del volumen de ventas internas de productos petrolíferos y gas natural, 1994: Las ventas internas de gasolinas automotrices crecieron 2.5%, con respecto al año anterior, alcanzando por primer vez en el país, en promedio 502 MBD. En el Valle de México las ventas aumentaron 4.3% y representaron 23% del total. Las ventas de gasolina Magna Sin ascendieron a 231 MBD, con un incremento de 40.9% respecto a 1993, en tanto que las de Nova decrecieron 16.9%. La participación de la Magna Sin en las ventas de las gasolinas automotrices pasó de 39% en diciembre de 1993 al 51% en el mismo mes de 1994. La tendencia hacia un consumo mayor de gasolina Magna Sin resultó favorecida no sólo por la política de precios vigente que ha ido reduciendo la diferencia de precios entre esta gasolina y la Nova, sino también en la incorporación obligada de convertidores catalíticos.

Refinación en 1994: Para la elaboración de compuestos oxigenados, a fines de 1994 entraron en operación una planta de MTBE y otra de TAME en la refinería de Salina Cruz (Dos plantas más, una de TAME y otra de MTBE entrarán en operación durante el primer trimestre de 1995). En el mes de Abril entró en operación la planta catalítica II de la refinería de Tula que, con una capacidad de 40 MBD, permite incrementar en 24 MBD la producción de gasolina Magna Sin destinada a la ciudad de México y su área conurbada.

La producción de MTBE en Canadá y América Latina se indica en la tabla No. 25

PRODUCCIÓN DE MTBE (CANADA Y AMERICA LATINA)

LOCALIZACIÓN	CARGA DE ISOBUTENO	STATUS	CAPACIDAD (MTPA)	INICIO DE OPERACIÓN
Edmonton, Canadá	C4-Dehy	Operación	532	1992
Ensenada, Arg.	FCCU	Operación	40	1990
Camacari, Brasil	Raff. I	Operación	60	1986
Camacari, Brasil	Raff. I	Operación	60	1992
Bahía, Brasil	Raff. I	Operación	60	1986
Pto. La Cruz, Ven.	C4-Dehy	Operación	500	1991
El Palito, Ven.	FCCU	Construcción	107	1993
Judibana, Ven.	FCCU	Construcción	160	1993
Punta Cardón, Ven	FCCU	Construcción	87	1993
Bahía Blanca, Arg.	C4-Dehy	Probable	340	1994
Point Lisas, Trin.	C4-Dehy	Probable	140	1995

MTPA: Miles de Toneladas métricas por año.

TABLA No.25

PRONÓSTICO

El reciente uso de MTBE en las gasolinas del Valle de México es un factor determinante para la confiabilidad de un pronóstico de cualquier índole. Sin embargo, dado que las expectativas en la fabricación de aditivos para gasolinas resultan muy alentadores, se decidió hacer el pronóstico sobre el consumo de éste producto en el país y además corroborarlo indirectamente con el consumo de gasolinas. Sabiendo de antemano el porcentaje de MTBE adicionado a la gasolina y teniendo presente su reciente uso.

Primeramente se señalan los rubros de interés que servirán para el pronóstico del consumo de MTBE y gasolinas, posteriormente se gráficarán para determinar el comportamiento de éstas variables.

CONSUMO DE MTBE EN MÉXICO
(toneladas/año)

AÑO	1990	1991	1992	1993
Consumo	227,579	266,992	314,912	327,255

Fuente: Memoria de Labores de PEMEX, 1993.

TABLA No.26

La gráfica de consumo de MTBE en función del tiempo indica un comportamiento lineal.

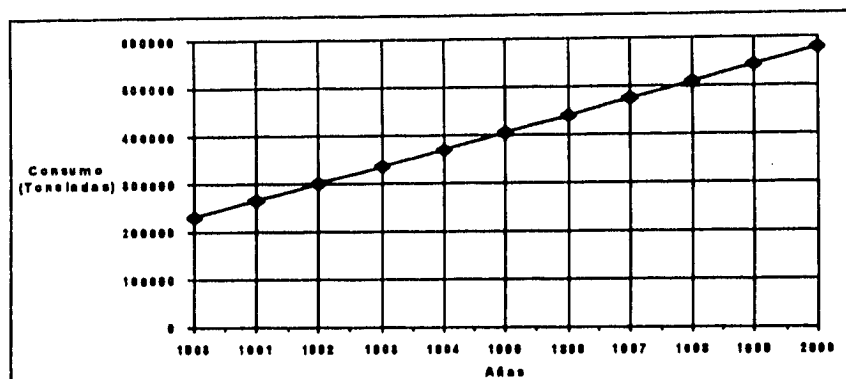
Para la variable Consumo se obtuvo lo siguiente a partir del modelo matemático propuesto.

Modelo matemático: $Y=a+bX$
Consumo (ton./año)= $a+(b)(Año)$

En función del modelo matemático se obtiene que el consumo de MTBE en los próximos siete años a partir de 1994 será el siguiente:

AÑO	Consumo (Toneladas)
1990	232,142
1991	266,840
1992	301,531
1993	336,230
1994	370,921
1995	405,616
1996	440,310
1997	475,005
1998	509,700
1999	544,395
2000	579,100

TABLA No.27



Grafica no. 1

CONCLUSIONES

Los valores de consumo de MTBE obtenidos del modelo matemático confirman la urgente necesidad de incrementar la producción de Metil terbutil éter.

Habrà de instalarse una planta capaz de cubrir los requerimientos de gasolinas, no solo en la zona metropolitana del Valle de México sino en ciudades de la república donde el problema de la contaminación atmosférica se torna crítico.

La capacidad instalada que posee PEMEX es una séptima parte de la que requiere el país. De ahí que los grandes volúmenes importados de éste producto estén justificados por la necesidad de disminuir la contaminación.

La capacidad de la planta deberá ser entre 400,000 y 500,000 Ton., si es que se requiere cubrir a mediano plazo la demanda nacional del oxigenante y revertir la tendencia comercial en nuestro país. Su ubicación requerirá la disponibilidad de materias primas y servicios en considerable magnitud.

Otra posibilidad será disminuir la capacidad de la planta a costa de instalar varias de ellas en sitios estratégicos del país. Condicionadas a lugares donde se localicen refinarias que suministren las materias primas y/o a sitios de acceso directo en caso de ser importados, además de estar ubicados en lugares adecuados para su distribución.

Nosotros hemos optado por esta segunda opción, operando con una capacidad de 300,000 Ton., condicionados por la cantidad de Butanos-Butenos suministrados por la refinaria de ciudad Madero.

Queda abierta, sin embargo, la posibilidad de un nuevo aditivo que sustituya el uso de MTBE, como puede ser el ETBE, TAME, Etanol.

LOCALIZACIÓN

Nuestra refinera fué localizada en el municipio de Altamira Tamaulipas (Complejo industrial de Altamira), debido basicamente a la cercanía de la refinera de ciudad Madero, quien será el principal suministrador de la materia prima (mezcla de Butanos-Butenos), además de ser un sitio próximo al puerto de ciudad Madero que facilitará la importación de Metanol. La importación de ésta materia prima será esencialmente de Estados Unidos, de tal manera que por la cercanía del puerto de ciudad Madero con éste país, se tendrán importantes ahorros en el transporte de Metanol.

Esta localización es importante por la red de suministros de éstos insumos y de otros que son necesarios para la refinera. Su ubicación permitirá abastecer no solo el consumo de gasolinas en el Valle de México, sino además, abastecer la región norte del país, cuya demanda será necesario cubrir en un plazo inmediato por la necesidad de controlar los problemas de contaminación todavía incipientes.

CAPITULO 4

BASES DE DISEÑO

BASES DE DISEÑO

El documento de bases de diseño es la fuente de información más importante que proporciona el cliente a la firma de ingeniería para que esta pueda llevar a cabo el diseño de la planta.

La fuente de información para elaborar el documento, es un cuestionario para ser completado de acuerdo a la situación específica del proyecto.

Suele cubrir los siguientes aspectos: Generalidades, capacidad, rendimiento y flexibilidad, especificaciones de los productos, alimentaciones a el proceso, condiciones de los productos en límite de batería, eliminación de desechos, servicios auxiliares, sistema de seguridad, condiciones climatológicas y localización.

OBJETIVO

El presente cuestionario de diseño tiene como objetivo mostrar los criterios y datos básicos del proyecto indispensables para la elaboración de las bases de diseño que se utilizarán para el desarrollo de la ingeniería básica.

MANEJO DE LA INFORMACIÓN

1.- Toda la información que aquí se obtenga, se orientará al diseño de los equipos, cumpliendo con los requisitos de economía, funcionalidad, seguridad, constructividad y reglamentación oficial.

En cualquier caso se dará un reconocimiento profesional que cubra el aspecto técnico y económico más favorable para las condiciones del proyecto.

2.- El cliente deberá completar, seleccionar alternativas y/o aprobar recomendaciones de **HOR (Hernández-Olvera-Romero)**. En el caso de que el cliente requiera alguna alternativa diferente a las mostradas lo indicará en los espacios en blanco, si el cliente requiere una condición especial de diseño no cubierta por éste cuestionario deberá indicarlo en la sección de "modificaciones"

3.- Si **HOR** considera que las preferencias marcadas por el cliente, presentan inconvenientes por las condiciones particulares que se tendrán en la planta a diseñar, se lo hará saber para que se modifique o ratifique el punto en cuestión, delimitándose así las responsabilidades.

4.- Tratándose de equipos, materiales o instrumentos, la práctica normal de **HOR** es lo suficientemente flexible para permitir la selección de diversos tipos existentes en los mercados, excepto cuando la ampliación requiera una determinada marca o modelo que no pueda sustituirse.

Si el cliente tuviese preferencia por algún fabricante en particular, ésta preferencia deberá de manifestarse en los espacios de las hojas correspondientes.

5.- En adición a la sección general existen anexos que cubren cada disciplina particular de diseño y cuya utilización dependerá del alcance de cada proyecto.

6.- Cuando el cliente no disponga de una particular información solicitada, deberá llenar el espacio con la respuesta: "pendiente" y fecha de entrega; se recomienda vigilar la respuesta oportuna y la confiabilidad de los datos suministrados a **HOR**.

BASES DE DISEÑO

- Especificación de Materias Primas y Productos.
- Datos generales, localización de la planta y comunicación.
- Datos topográficos.
- Mecánica de suelos.
- Resistividad del suelo.
- Sismicidad.
- Datos meteorológicos.
- Descripción sintetizada del proceso.
- Operación de la planta.
- Servicios auxiliares.
- Protección.
- Contaminación ambiental.
- Formato de presentación de trabajos.
- Modificaciones del cliente.

ESPECIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS

Materias primas:

Materias primas:	Características:
Metanol:	Estructura: CH ₃ OH; Peso molecular: 32.0297 Kg/mol; Densidad: 0.7956 g/cm ³ a 28 ^o C; Presión: 3.1 atm.; Pureza: 99.91%; Flujo: 458 Kgmol/hr.; Fase: Líquida
Butanos-Butenos (Isobutenos):	Peso molecular: 57.2206 Kg/mol; Densidad: 0.5776 g/cm ³ a 28 ^o C; Presión: 15.2 atm.; Flujo: 1060.9 Kgmol/hr.; Fase: Líquida
Agua de proceso:	Estructura: H ₂ O; Peso molecular: 18.015; Densidad: 0.9825 g/cm ³ a 36 ^o C; Flujo: 2.0 Kgmol/hr.; Fase: Líquida

Productos a elaborar:

Nombre del producto	Características del producto
MTBE	Estructura: (CH ₃) ₃ COCH ₃ . Fórmula molecular: C ₅ H ₁₂ O. Peso molecular: 87.7 g/mol. Pureza: 99.1 %. Presión: 5.7 atm. Densidad: 0.7187 g/cm ³ a 31 °C. Flujo: 420.1 Kgmol/hr. Fase líquida.
C4's y refinados	Peso molecular: 58 g/mol. Temperatura: 38 °C. Densidad: 0.5383 g/cm. Flujo: 641 Kgmol/hr. Fase líquida.

DATOS GENERALES, LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA Y COMUNICACIONES

Razón social del cliente:	>Facultad de Química
-Nombre de la planta o proyecto:	>MTBE
-Número de proyecto HOR:	>9401
Localización:	>Complejo industrial Altamira
-País:	>México
-Estado:	>Tamaulipas
-Ciudad:	>Altamira
-Municipio:	>Altamira
-Domicilio:	>Pendiente
-Kilometraje:	>Pendiente
-Número de carretera:	>81
Coordenadas:	
-Latitud:	>22° 23' N
-Longitud:	>97° 56' O
Límites de propiedad:	
-Al norte:	>Mpo Aldama.
-Al sur:	>Mpo. Madero y Tampico.
-Al este:	>Golfo de México.
-Al oeste:	>Mpo. González.
Altura sobre el nivel del mar:	>26 m.
Área de la propiedad :	>4,000 m ² .
Vías de acceso para el sitio:	
-Ferrocarril/Kilometraje:	>Tampico-Monterrey. 71 Km. (Las Palmas).
-Caminos:	>Carretera No. 81. Longitud 181.5 Km.
-Teléfono:	>Existe.
-Periódicos:	>Existe.
-Radio:	>Existe.
-Fax:	>Existe.
-Correo:	>Existe.

- Telégrafo: > Existe.
- Puertos Próximos: > Tampico.
- Aeropuertos Próximos: > 1 Internacional.
(Tampico Madero).
- Aeródromos: > 17.

DATOS TOPOGRÁFICOS

- Existe plano topográfico: > Si.
- En caso afirmativo (No. de plano): > Proporcionado por otros.

MECÁNICA DE SUELOS

- ¿Existe estudio?: > Si.
- En caso afirmativo (Fecha de estudio): > Proporcionado por otros.

RESISTIVIDAD DEL TERRENO

- ¿Existe estudio?: > Si.
- En caso afirmativo (fecha de estudio): > Proporcionado por otros.

SISMICIDAD

- Zona sísmica: > Zona A. Suelo tipo 1.
- Coeficiente Sísmico: > 0.08.

DATOS METEREOLÓGICOS

Temperatura:

- Máxima extrema: > 41°C.
- Mínima extrema: > 0°C.
- Máxima promedio anual: > 26.5°C.
- Mínima promedio anual: > 24.6°C.
- Promedio anual: > 25°C.
- Promedio del mes más caliente:
(Junio-Agosto): > 29.4°C.
- Promedio del mes más frío:
(Enero): > 19.4°C.
- De bulbo seco máximo anual: > 29.3°C.
- De bulbo seco mínimo anual: > 21.3°C.
- Gradiente máximo diario: > 12°C.

-De bulbo seco en Verano:	>29 ⁰ C.
-De bulbo seco en Invierno:	>23 ⁰ C.
-De bulbo húmedo en Verano:	>25.9 ⁰ C.
-De bulbo húmedo en Invierno:	>21 ⁰ C.
-De bulbo seco promedio anual:	>25 ⁰ C.
-De bulbo húmedo promedio anual:	>22 ⁰ C.
-De diseño bulbo seco en Verano: (Para soloaires y acondicionamiento de aire).	>29 ⁰ C.
-De diseño bulbo seco en Invierno: (Para soloaires y acondicionamiento de aire).	>21 ⁰ C.
-De diseño de bulbo húmedo en Verano: (Para acondicionamiento de aire).	>26 ⁰ C.
-De diseño de bulbo húmedo en Invierno: (Para acondicionamiento de aire).	>19 ⁰ C.

Humedad Relativa:

-Máxima anual:	>92 %.
-Mínima anual:	>13 %.
-Promedio anual:	>84 %.
-Promedio mensual máxima:	>90 %.
-Promedio mensual mínima:	>15 %.
-Promedio mensual media:	>81 %.
-Para acondicionamiento de aire en Invierno:	>75 %.
-Para acondicionamiento de aire en Verano:	>79 %.
-Promedio en Verano:	>79 %.
-Promedio en Invierno:	>75 %.

Precipitación Pluvial:

-En días por año:	>57 días/año.
-Meses de máxima:	>218.90 mm.
-Máxima en 24 hrs.:	>180 mm.
-Mínima en 24 hrs.:	>4.6 mm.
-Máxima por hora:	>40 mm.
-Total anual:	>1,000 mm.
-Evaporación mensual promedio:	>231.3 mm.

Atmósfera:

-Presión barométrica máxima de diseño:	>759 mmHg.
-Presión barométrica mínima de diseño:	>758 mmHg.
-Presión barométrica máxima:	>760 mmHg.

Vientos:

-Velocidad máxima registrada:	>22 m/s.
-Velocidad media:	>9.6 m/s.
-Vientos reinantes (Velocidad): (Dirección):	>11.5 m/s. >De S a N.
-Vientos dominantes (Velocidad): (Dirección):	>11.6 m/s. >De SO a NE
-A una altura de 10m.:	>44.4 m/s.

Datos del lugar:

-Heladas:	>De 0 a 20 días.
-Tipo de ambiente del lugar:	>Calido húmedo.

Lista de áreas:

-Solo una:	>01.
-Balance de materiales:	>Existe.
-Diagrama de Proceso:	>Existe.
-Diagramas de Tubería e Instrumentación:	>Existe.
-Arreglo de Equipo en el Área de Proceso:	>Existe.
-Lista de Equipo y Motores: (Indicar si se requiere equipo de repuesto):	>Existe.
-Control:	>Automático SCD.
-Sistema de computación:	>Control Avanzado (Por otros).
-Tipo de instrumentación:	>Instrumentación con señalización remota de tipo electrónico con un sistema de control distribuido.

DESCRIPCIÓN SINTETIZADA DEL PROCESO

La corriente proveniente de la planta OLEFLEX rica en Isobuteno se alimenta al proceso y se mezcla con Metanol fresco y de recirculación. Una vez mezcladas las corrientes, se hacen pasar por un tratamiento de lavado para eliminar cationes que puedan dañar el catalizador. Después de éste tratamiento ésta corriente se precalienta, hasta una temperatura moderada para iniciar la reacción, pasando a continuación a un sistema de dos reactores de lecho fijo en serie. La máxima conversión de Isobutileno ocurre en el primer reactor y el porciento de conversión final se alcanza en el segundo reactor que opera a las mismas condiciones.

El efluente del último reactor se precalienta intercambiando calor con el MTBE producto y pasa a la torre de fraccionamiento, donde se obtiene por el domo el Metanol en exceso, Butanos y Butenos lineales y compuestos oxigenados. Por fondo se obtiene el MTBE con 98% de pureza en peso.

La corriente de domo de la torre de fraccionamiento pasa al lavado con agua a temperatura ambiente a fin de separar el Metanol de los hidrocarburos, utilizando una columna de absorción.

Los hidrocarburos se envían a la Unidad Removedora de Compuestos Oxigenados (ORU) en donde se elimina el agua de saturación y los compuestos oxigenados.

El agua de lavado con Metanol se envía a una torre de separación Metanol-Agua donde se obtiene por el domo Metanol. Esta corriente se recircula al tanque de almacenamiento de Metanol.

OPERACIÓN DE LA PLANTA

Capacidad y rendimiento:

-Horas de operación por año: >340 días/año.
-Factor de servicio: >0,9

-Capacidad y rendimiento:

a) Diseño: >330,000 Ton./año.
b) Normal: >300,000 Ton./año.
c) Mínima: >180,000 Ton./año.

Flexibilidad de operación:**-La planta no operará a:**

- >Falla de energía eléctrica y contará con facilidades para efectuar un paro ordenado.
- >Falla de vapor.
- >Falla de agua de enfriamiento.
- >Falla de aire de instrumentos.

-Previsiones para ampliaciones futuras:

>Ninguna.

-Requerimientos especiales de operación:

>Ninguno.

SERVICIOS AUXILIARES**Vapor:****-VAPOR DE BAJA PRESIÓN EN L.B.:**

- Presión: >4.5 y 10.225 kg/cm².
- Calidad: >Saturado.
- Disponibilidad: >La requerida.

Retorno de condensado:

>Retorno a alimentación de caldera en L.B.

Agua:**-AGUA DE ENFRIAMIENTO:**

- Fuente de suministro: >Ref. Cd. Madero PEMEX.
- Sistema de enfriamiento: >Fuera de L.B.
- Presión de entrada de L.B.: >3.5 kg/cm².
- Temperatura de entrada de L.B.: >25°C.
- Presión de salida en L.B.: >2.1 kg/cm².
- Temperatura máxima: >45°C.
- Disponibilidad: >La requerida.
- Factor de ensuciamiento: >0.0006 m² °C h/Kcal.
- Análisis del agua de repuesto: >No necesaria.

-AGUA PARA SERVICIOS DE LIMPIEZA DE LA PLANTA:

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| -Fuente de suministro: | >Ref. Cd. Madero.
PEMEX. |
| -Presión en L.B.: | >3.5 kg/cm ² . |
| -Temperatura en L.B.: | >Ambiente. |
| -Disponibilidad: | >La requerida. |

-AGUA PARA SERVICIOS SANITARIOS:

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| -Fuente de suministro: | >Ref. Cd. Madero.
PEMEX. |
| -Presión en L.B.: | >3.5 kg/cm ² . |
| -Temperatura en L.B.: | >Ambiente. |

-AGUA CONTRA INCENDIO:

- | | |
|-------------------|---------------------------|
| | >Fuera de L.B. |
| -Presión en L.B.: | >8.3 kg/cm ² . |
| -Disponibilidad: | >La requerida. |

-AGUA POTABLE:

- | | |
|------------------------|-----------------|
| -Fuente de suministro: | >En garraiones. |
|------------------------|-----------------|

-AGUA DE PROCESO:

- | | |
|------------------------|---|
| -Fuente de suministro: | >Fuera de L.B. |
| -Presión en L.B.: | >2.17 kg/cm ² . |
| -Temperatura en L.B.: | >Ambiente. |
| -Disponibilidad: | >La requerida. |
| -Análisis: | >Para columna de
extracción de
refinados. |

Aire:**-AIRE PARA INSTRUMENTOS:**

- | | |
|---|----------------------------|
| -Suministrado por PEMEX en L.B.: | >Sí |
| -Generado dentro de L.B. : | >No. |
| -Aire suministrado por la red general:
(fuera de L.B.) | >Sí |
| -Cantidad necesaria : | >La requerida. |
| -Presión del sistema: | >7.03 Kg/cm ² . |

-AIRE DE PLANTA:

-Dentro de límites de batería: >No aplica.

Inertes:

-Naturaleza: >Nitrógeno para sistemas de sello de tanques.
-Composición: >99,5 % en mol de pureza.
-Otros: >No aplica.
-Forma de entrega en L.B.: >Autotanques y se contará con instalación por proveedor que cumpla con el código ASME para tanques y sus instalaciones, el código NFPA, STPS, así como los requerimientos estatales y federales.
-Presión en L.B.: >Pendiente.
-Temperatura en L.B.: >Pendiente.
-Disponibilidad: >La requerida.

Desfogue:

>Fuera de L.B.

Catalizador:

-Tipo: >Resina de intercambio iónico tipo Amberlyst 15.
-Forma de entrega: >En recipientes.
-Presión: >La ambiente.
-Temperatura: >La ambiente.
-Disponibilidad: >La requerida.
-Estado: >Sólido.

Electricidad:

-SUMINISTRO POR CFE: >Sí.
-Capacidad requerida: > 440 / 60 / 3.
-Tensión de suministro: >13,800 Volts.
-GENERACIÓN PROPIA: >No.

-DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA:

- Aérea: >Instrumentos y alumbrado.
- Subterránea: >Fuerza y control de motores.

-PLANTA DE EMERGENCIA: >No.**Sistemas auxiliares:**

- Telefónico: >Sí.
- Intercomunicación y vocéo: >Sí.
- Alarmas de incendio: >Sí.

PROTECCIÓN:**Contra incendio:**

- Áreas con riesgo: >Toda el área de proceso dentro de L.B.

-NIVEL DE RIESGO:

- Ligero:
- Ordinario: >Sí
- Extra:

-IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES:

- De alto riesgo, flamable, explosivos: >Hidrocarburos flamables y explosivos

-MANEJO DE MATERIALES DE ALTO RIESGO:

- >Ventilación, almacenaje en lugar fresco para prevenir accidentes de ignición.

-SISTEMA DE COMBATE:

- >CO₂ químicos secos, CCL₄, espumas, flujo obstruido de gás. Equipo móvil y portátil.

-PROTECCIÓN PERSONAL:

- >Ducha, mantas contra incendio

Toxicidad:

-<u>ÁREAS CON RIESGO:</u>	>Toda el área de almacenamiento de Metanol.
-<u>NIVEL DE RIESGO:</u>	
-Ligero:	
-Ordinario:	>Sí.
-Extra:	
-<u>PRODUCTOS TÓXICOS Y SU MANEJO:</u>	>Metanol, MTBE
-<u>DETECCIÓN DE FUGA Y PRECAUCIONES:</u>	>Ventilación adecuada.
-<u>SISTEMAS DE COMBATE CONTRA -INCENDIO:</u>	>Equipo móvil y portátil.
Equipo de protección personal:	>Gafas protectoras, cascos, guantes, zapatos industriales.

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**Actual del sitio:**

-<u>NIVEL DE CONTAMINACIÓN:</u>	
-Ligera:	
-Mediana:	>Sí*.
-Y ambiente corrosivo altos:	
-Y ambiente corrosivo extra altos:	

* Área con industrias pero que no producen humos contaminantes, o áreas con industrias pero que están expuestas a vientos frecuentes, y/o lluvias, áreas expuestas a vientos marinos pero no demasiado cerca de las costas (por lo menos a un kilómetro de distancia de la costa), zona con niebla ligera, zonas rurales y con uso de fertilizantes y plaguicidas.

Especificación de efluentes:	>Agua aceitosa, agua de lavado de planta.
-------------------------------------	--

PRESENTACIÓN DEL ACTUAL TRABAJO

Planos de documentos de HOR:

- | | |
|-----------------------|--|
| -Idioma: | >Español. |
| -Sistema de unidades: | >Métrico/ Ingles
(Ingles para conexiones y tubería) |
| -Numeración: | >Propia. |
| -Escalas: | >Propias. |

Maqueta:

- | | |
|------------------|------|
| -Arquitectonica: | >No. |
| -Constructiva: | >No. |
| -Preliminar | >No |

Unidades a utilizar en el diseño de HOR:

- | | |
|--------------------|--------------------------------|
| -Volúmen: | >m ³ , Litros. |
| -Temperatura: | >°C. |
| -Presión: | >Kg/cm ² , atm. |
| -Longitud: | >Km, m, cm, mm
ft (tubería) |
| -Vacío: | >mmHg. |
| -Flujo de líquido: | >m ³ /h, Kg/h. |
| -Flujo de gases: | >m ³ /h, Kg/h. |
| -Peso: | >Ton, Kg. |
| -Concentración: | >%mol, %peso. |

MODIFICACIONES DEL CLIENTE

OBSERVACIONES:		
FECHA:	No. DE REVISIÓN:	FIRMA:

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO (PROCEDIMIENTO TÉCNICO)

- Código de diseño y/o estándares.
- Equipo que se adquirirá de acuerdo a la capacidad estándar del fabricante.
- Equipo que se adquirirá de acuerdo a los requerimientos específicos del proyecto.
- Criterios de diseño.

CÓDIGOS DE DISEÑO Y/O ESTANDARES

Bombas:

- Centrifugas: >API-610
- Rotatorias: >No aplica.
- Recipientes: >No aplica.
- De vacío: >No aplica.

Engranajes y transmisiones: >API-613.

Filtros:

- De aire: >ASME VIII.
- De solución de DEA:

Condensadores: >TEMA-R.

Intercambiadores de calor:

- De coraza y tubos: >TEMA-R.

Recipientes: >ASME VIII.

Motores eléctricos: >NEMA MG-1.

EQUIPO QUE SE ADQUIRIRÁ DE ACUERDO A LA CAPACIDAD ESTANDAR DEL FABRICANTE

Los equipos que serán considerados en esta categoría son aquellos seleccionados entre los modelos de fabricación estándar, tratando que éstos cumplan con los requerimientos específicos del proceso. Estos equipos serán especificados de manera de cubrir los requerimientos de proceso tanto los indicados por el balance de materia con capacidad y funcionamiento afectado, como los siguientes:

BOMBAS

Factor de servicio: >i.i.

-CAPACIDAD:

-Altura ($H > 100$ ft)	>Pendiente.
-Altura ($75 < H < 100$ ft)	>Pendiente.
-Altura ($35 < H < 75$ ft)	>Pendiente.
-Altura ($35 < H$ ft)	>Pendiente.

Empaques y/o sello mecánico:

-Agua:	>API-610.
-Condensado:	>No aplica.
-Líquidos de proceso corrosivos:	>No aplica.
-Líquidos de proceso tóxicos:	>No aplica.
-Líquidos de proceso inflamables:	>API-610.
-Otros líquidos:	>No aplica.

Tipo de accionador:

-Motor:	>NEMA MG-1.
-Turbina:	>No aplica.

EQUIPO A SER FABRICADO BAJO LOS REQUERIMIENTOS ESPECIFICOS DEL PROYECTO

CONDENSADORES

-Capacidad:	>Ver hojas de datos.
-Tipo:	>Ver hojas de datos.

RECIPIENTES

Espesor permitido por corrosión:

-Agua:	>3 mm.
-Vapor:	>3 mm.
-Condensado:	>3 mm.
-Líquido de proceso:	>3 mm.

INTERCAMBIADORES DE CALOR (CORAZA Y TUBOS)

Diseño térmico en HOR: >Con garantía del diseñotérmico y mecánico del proveedor.

Características básicas:

-Área de transferencia de calor:	>Ver hojas de datos.
-Longitud de tubos:	>8, 10, 12, 16, 20, 24 ft.
-Diámetro de los tubos:	>Corrientes de proceso 1 y 3/4 pulgada.

-AGUA DE ENFRIAMIENTO:

-Velocidad máx/ Caída de presión:	>1.5 m/s.
-Factor de ensuciamiento:	>0.0006 hm ²⁰ C/Kcal.
-Espesor permitido por corrosión:	>3 mm.

-VAPOR DE BAJA PRESIÓN:

-Factor de ensuciamiento:	>0.0006 hm ²⁰ C/Kcal.
-Espesor permitido por corrosión:	>3 mm.

INTERNOS DE TORRES

Tipo: >Ver diseño hidráulico.
(Especificar para cada sistema)

Tipo de distribuidores: >Ver diseño hidráulico.
(Especificar para cada sistema)

Tina de sello o soporte de empaque: >Ver diseño hidráulico.
(Especificar para cada sistema)

CRITERIOS DE DISEÑO GENERAL**TAMAÑO DE LA TUBERÍA**

Para todos los fluidos de proceso y servicios de acuerdo con procedimiento HOR.

Aire:

-Velocidad máx/ Caída de presión: >-----
-Espesor permitido por corrosión: >3 mm.

Agua:

-Velocidad máx/ Caída de presión: >1.2 - 2.5 m/s.
-Espesor permitido por corrosión: >3 mm.

Vapor (para cada nivel de presión):

-Velocidad máx/ Caída de presión: >15 - 30 m/s.
-Espesor permitido por corrosión: >3 mm.

Condensado:

-Velocidad máx/ Caída de presión: >3 m/s.
-Espesor permitido por corrosión: >3 mm.

Otros fluidos:

>No aplica.

 AISLAMIENTO

Especificación suministrada por el cliente: >No.

Sí no, ¿Se hará estudio económico ? : >No.

Sí no, ¿ Aplicará la especificación de HOR ? : >Sí.

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, PINTURA Y RECUBRIMIENTO

Especificación suministrada por el cliente: >Si.

CAPITULO 5
CRITERIOS DE DISEÑO

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CRITERIOS DE DISEÑO

La finalidad de este documento es establecer e informar de la aplicación de todos aquellos criterios que se deben considerar para el diseño del proceso y equipo principal.

1) Criterios Generales de Diseño: Comprenden los sobrediseños de equipo, expansiones futuras de la planta y criterios para absorber cambios en alimentación en las condiciones de operación.

2) Criterios de Equipo: Los criterios de diseño de equipo aplican a los siguientes equipos:

Cambiadores de calor, Calentadores, Quemadores, Torres, Platos, Recipientes y Bombas. Estos pueden ser flux máximo de calentadores, velocidad de flujo de cambiadores, etc.

CRITERIOS DE DISEÑO:

La unidad productora de MTBE del complejo industrial de Altamira Tamaulipas se diseñará de acuerdo a los siguientes criterios de diseño fundamentales, derivados de los requerimientos que se establecen en las bases de diseño, siendo estos emitidos en los siguientes documentos:

- a) Criterios generales de diseño.
- b) Criterios de equipo.

CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO:

Capacidad máxima y mínima:

La capacidad normal serán 300,000 toneladas métricas por año de MTBE a 41°C y 5.7 atm de presión.

Las capacidades máxima y mínima de operación de la planta serán:

- > Capacidad máxima 1.1 (Capacidad normal).
- > Capacidad mínima 0.6 (Capacidad normal).

Criterios de diseño térmico:

La condensación de los productos que provienen del domo de la columna de MTBE utilizará aire como medio de enfriamiento y el de la columna de Metanol se llevará a cabo por medio de agua de enfriamiento.

La corriente de Butanos-Butenos-Metanol se precalentará con el cambiador de calor de carga del reactor primario, el cual utilizará como medio de calentamiento la corriente de salida del mismo reactor.

Se aprovechará la corriente de MTBE proveniente del fondo de la columna de MTBE para precalentar la alimentación de la misma.

Se aprovechará la corriente de agua de proceso proveniente del fondo de la columna de Metanol para precalentar la corriente de salida por el fondo de la columna de extracción.

Se empleará agua como medio de enfriamiento.

Los rehervidores de las columnas de MTBE y Metanol utilizarán vapor de baja presión (10.225 y 4.5 Kg/cm² respectivamente).

Integración en otras plantas:

La planta quedará integrada en el área del complejo industrial Altamira Tamaulipas, recibiendo alimentación de la refinería de Cd. Madero.

Los compuestos Isobutano, Butano, Buteno, Isobuteno etc. así como los compuestos oxigenados que no reaccionaron se enviarán por el domo de la torre de extracción a la Unidad Removedora de Compuestos Oxigenados (ORU). Y de ahí se enviarán a la unidad OLEFLEX.

CRITERIOS DE EQUIPO:

Cambiadores de calor:

Factores de incrustación:

Los intercambiadores que utilicen agua de enfriamiento tendrán un factor de incrustación de $0.0006 \text{ hm}^{20}\text{C/Kcal}$ ($0.003 \text{ hft}^{20}\text{F/BTU}$).

Para las corrientes de proceso se utilizará un factor de incrustación de $0.00012 \text{ hm}^{20}\text{C/Kcal}$.

Criterios de DP permisible:

La caída de presión máxima permisible tanto en condensadores, intercambiadores de calor con agua y los demás intercambiadores será de 10 psia. (0.7 Kg/cm^2)

Recomendaciones especiales de materiales:

Los criterios de selección de materiales de los equipos estarán regidos por el código TEMA clasificación R y el código ASME sec. VIII.

Sobrediseño:

Equipo	Sobrediseño
Cambiadores de calor	10%
Condensadores	10%
Rehervidores	20%

Platos:

Los siguientes criterios serán utilizados para el diseño de los platos de las torres.

	C-102	C-104
% de inundación máxima	86	60
% de inundación mínima	61.5	40
Tipo de unidad de contacto	Plato perforado	Plato perforado
Material de construcción	Acero Inox. 410	Acero Inox. 410
Reflujo de operación	8.0	6.2
Eficiencia de la torre (%)	70	70

Recipientes:

Tiempo de residencia:

Se selecciona en base a valores recomendados según el servicio, o por condiciones de proceso particulares, además de la experiencia del personal que opera la unidad y el tipo de instrumentación con la que cuenta.

Posición:

Los separadores liquido-vapor serán verticales cuando la relación L/V sea menor que uno, cuando es mayor se utilizarán separadores horizontales.

Material de construcción:

Los criterios de selección del material estarán regidos por el código ASME.

Corrosión:

A los equipos construidos con acero al carbón se les dará 1/8" (3mm.) de corrosión permitida y a los construidos de una aleación de 1/16" (1.5mm.).

Torres:

Tipo de torre:

Las columnas de MTBE y Metanol utilizarán platos perforados como unidades de contacto.

La columna de extracción utilizará anillos Pall como unidades de contacto.

Materiales de construcción:

La selección del material estará regida en base al código ASME.

Bombas:

Tipo de bomba:

Se usarán bombas centrífugas.

Materiales de construcción:

La selección del material estará regida en base al código

API-610.

CAPITULO 6
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

Es un documento fundamental en la Ingeniería Básica de un proceso, que consiste en una representación gráfica y objetiva de la información más relevante del mismo, como su clave, condiciones de operación y su interrelación.

Este documento está diseñado para proporcionar información básica y de detalle de una manera clara y sencilla a las distintas especialidades: Ingeniería de Proyecto, personal de operación de la planta, etc.

En este documento se incluye además la siguiente información:

- a) Instrumentación básica de control de proceso.
- b) Corrientes de proceso numeradas para su identificación.
- c) Sumario de balances de materia y energía.
- d) Lista de equipo con características y dimensiones de diseño.

NOMENCLATURA USADA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS EN EL DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ES LA SIGUIENTE: (DFP)

- B: Bombas.
- BM: Accionador de la bomba.
- E: Cambiadores de calor.
- C: Columnas.
- F: Filtros.
- R: Reactores.
- V: Recipientes.

El número 100 indica el área donde se encuentra el equipo. En éste trabajo el área correspondiente a la planta productora de MTBE es el número 100. Por lo tanto, el número 101 indica que dicho equipo se encuentra en el área 100 y es el primero, por ejemplo:

E-101: Primer cambiador de calor ubicado en el área 100.

En el caso de las bombas, la letra A o B indica que ambas bombas tienen el mismo TAG, pero una de ellas se utiliza en el proceso como bomba de repuesto o "spare":

B-102A: Segunda bomba del proceso, ubicada en el área 100.

B-102B: Bomba de repuesto de la bomba B-102A.

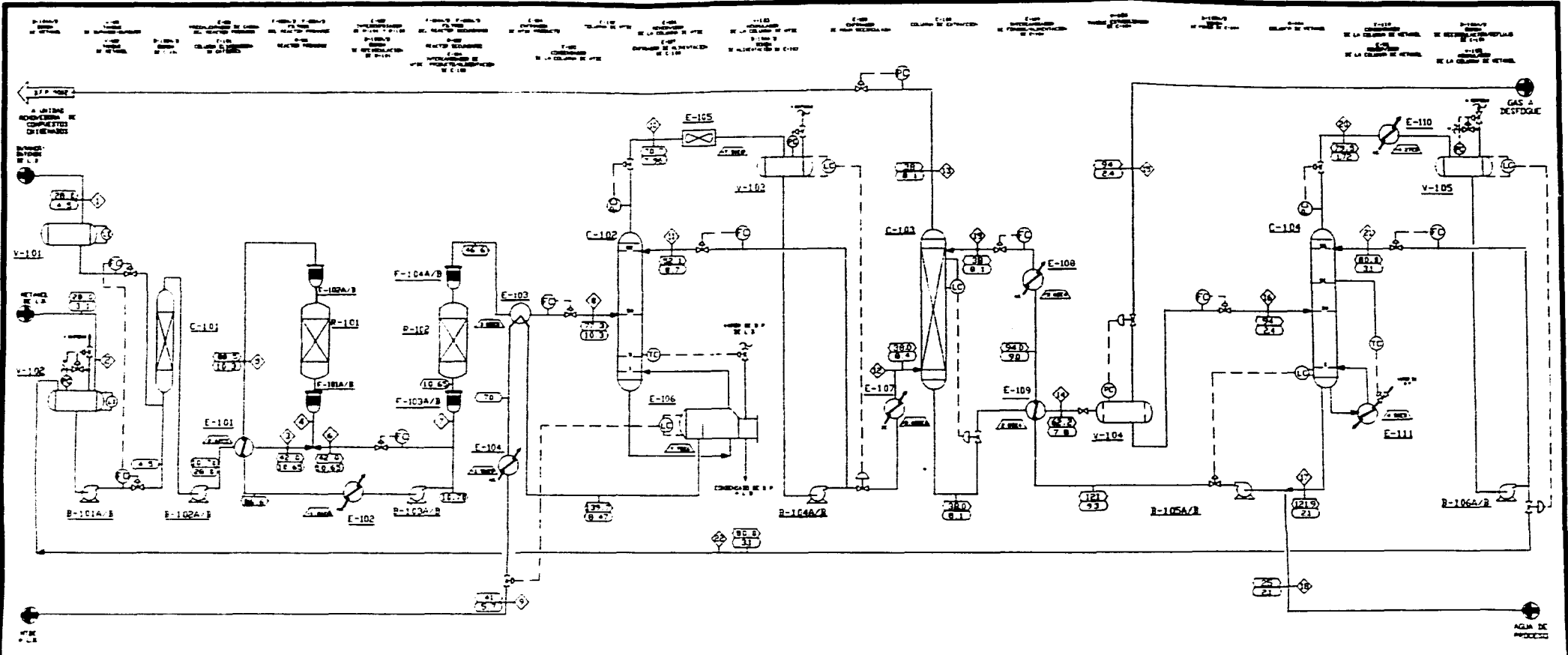
El diagrama de flujo de proceso es utilizado con mayor frecuencia en trabajos de diseño en ingeniería y en estudios de proceso. Debe estar dibujado de manera que el flujo y las operaciones del proceso destaquen de inmediato. Esto se logra omitiendo todo excepto los detalles esenciales, utilizando frecuentes flechas para indicar la dirección del flujo, empleando líneas más gruesas para las líneas principales de flujo, e indicando temperaturas, presiones y cantidades de flujo en diversos puntos significativos del diagrama. Se presentan ciertos datos pertinentes del diseño de proceso, tales como la capacidad en servicio de cambiadores de calor, datos de diseño de recipientes, y requerimientos especiales como las elevaciones requeridas de ciertos equipos. A menudo se muestran símbolos convencionales para renglones estándar del equipo, tales como bombas, cambiadores de calor. Excepto cuando se necesitan para darle claridad al proceso, las válvulas, líneas de servicio y partes de repuesto de equipo se omiten. Únicamente se ilustran instrumentos esenciales al control del proceso.

BASES DE DISEÑO

El documento de bases de diseño es la fuente de información más importante que proporciona el cliente a la firma de ingeniería para que esta pueda llevar a cabo el diseño de la planta.

La fuente de información para elaborar el documento, es un cuestionario para ser completado de acuerdo a la situación específica del proyecto.

Suele cubrir los siguientes aspectos: Generalidades, capacidad, rendimiento y flexibilidad, especificaciones de los productos, alimentaciones a el proceso, condiciones de los productos en límite de batería, eliminación de desechos, servicios auxiliares, sistema de seguridad, condiciones climatológicas y localización.



COMPONENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
PROPIANO
PROPANO
BUTANO
PENTANO
HEXANO
HEPTANO
OCTANO
NOVENANO
DIESENO
AGUA
...

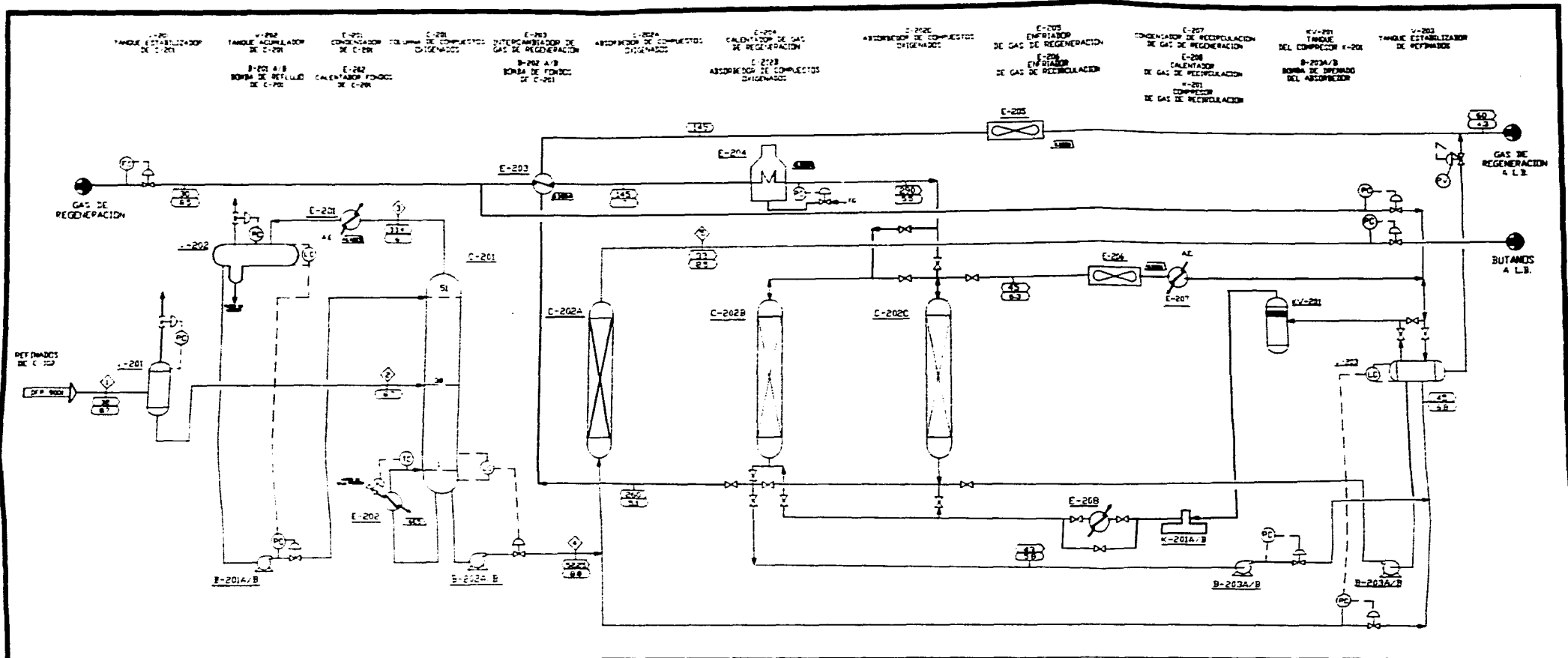
SIMBOLOGIA

	...
	...
	...
	...
	...

PLANO	DESCRIPCION

APROBADO PARA CONSTRUCCION	
FIRMA <u>HDR</u>	FECHA _____
FIRMA <u>F.Q.</u>	FECHA _____

FACULTAD DE QUIMICA			
COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA			
DIAGRAMA DE PROCESO			
PLANTA MTBE 300,000 T/PA			
ELABORO	REALIZO	Nº DE PLANO	REVISION
HDR	HDR	9401	



COMPONENTE	TIPO	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
PROPANO	1000	1000	kg	1000	kg	1000	kg	1000	kg
BUTANO	2000	2000	kg	2000	kg	2000	kg	2000	kg
MTBE	300000	300000	kg	300000	kg	300000	kg	300000	kg
AGUA	10000	10000	kg	10000	kg	10000	kg	10000	kg
OTROS	...	...	...	...	...	...	...	...	...

SIMBOLOGIA 	PLANO	DESCRIPCION	APROBADO PARA CONSTRUCCION	FACULTAD DE QUIMICA
			FIRMA: <u>ADIOSA</u> FECHA: <u>17/06/93</u>	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA
			FIRMA: <u>...</u> FECHA: <u>17/06/93</u>	DIAGRAMA DE PROCESO
				PLANTA DE MTBE 300,000 TPM
				ELABORO: <u>...</u> REVISO: <u>...</u> No. PLANO: <u>...</u> REVISION: <u>...</u>

CAPITULO 7
BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Como su nombre lo indica, este documento proporciona los resultados del balance de masa y calor de la planta, referido a las corrientes de proceso numeradas como se indican en el diagrama de flujo del proceso.

La información incluye para cada línea de entrada, salida e interconexión de equipos.

Corriente no.:	1	2	3	4
Fase:	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Componentes:	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.
Propeno	0.6248	0.0	0.6254	1.0402
Propano	2.4122	0.0	2.4134	4.0142
Butano	25.7772	0.0	25.7811	42.8815
Isobutano	578.4509	0.0	578.5240	962.2517
Buteno	5.8980	0.0	5.8996	9.8128
Isobuteno	435.1376	0.0	435.1410	453.1426
Alcohol Terbutílico	0.0	0.0	0.0	0.1146
Dimetil Eter	0.0	0.0	0.0128	0.0865
Agua	0.0	0.0	0.1336	0.1728
Metanol	0.0	432.3264	457.9791	491.1132
MTBE	0.0	0.0	0.0192	270.5394
Cis-2-Buteno	7.1041	0.0	7.1067	11.8206
Trans-2-Buteno	5.4949	0.0	5.4968	9.1428
Flujo Total:				
Kmol/hr.	1,060.9	432.3264	1,519.1335	2,256.1335
Kg/hr.	6.0705E4	1.3853E4	7.5390E4	1.2539E5
L/min.	1,798.3266	295.3836	2,122.4407	3,454.0746
Variables de estado:				
Temperatura (°C).	28.0	28.0	42.0	42.0
Presion (atm).	4.5	3.1	10.65	10.65
Entalpía:				
Cal/mol.	-2.4730E4	-5.7096E4	-3.3848E4	-3.9309E4
Cal/g.	-432.1834	-1,781.915	-682.0534	-707.2618
Cal/s.	-7.2877E6	-6.8567E6	-1.4283E7	-2.4635E7
Entropía:				
Cal/mol °C	-94.0035	-57.6245	-80.8060	-92.6401
Cal/g °C	-1.6428	-1.7984	-1.6282	-1.6668
Densidad:				
mol/cm ³	9.8323E-3	2.4393E-2	1.1929E-2	1.0886E-2
g/cm ³	0.5626	0.7816	0.5920	0.6050
Peso Molecular	57.2206	32.0420	49.6268	55.5794

Corriente no.:	5	6	7	8
Fase:	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Componentes:	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.
Propeno	1.0402	0.4148	0.6254	0.6254
Propano	4.0142	1.6008	2.4134	2.4134
Butano	42.8815	17.1003	25.7811	25.7811
Isobutano	962.2517	383.7276	578.5240	528.5240
Buteno	9.8128	3.9131	5.8996	5.8996
Isobuteno	45.1413	18.0015	27.1398	10.7968
Alcohol Terbutílico	0.2875	0.1146	0.1728	0.2319
Dimetil Eter	0.1847	0.0736	0.1111	0.1210
Agua	0.0982	0.0392	0.0590	0.0099
Metanol	83.0885	33.1341	49.9544	33.6505
MTBE	678.3678	270.5201	407.8476	424.1315
Cis-2-Buteno	11.8206	4.7138	7.1067	7.1067
Trans-2-Buteno	9.1428	3.6460	5.4968	5.4968
Flujo Total:				
Kmol/hr.	1,848.1324	737.0000	1,111.1324	1,094.7894
Kg/hr.	1.2539E5	5.0005E4	7.5390E4	7.5390E4
L/min.	1.5014E4	1,346.6018	2,030.1939	2,191.5215
Variables de estado:				
Temperatura (°C).	88.5	42.0	42.0	77.3
Presion (atm).	10.3	10.65	10.65	10.3
Entalpía:				
Cal/mol.	-4.7987E4	-3.9309E4	-5.0566E4	-5.0053E4
Cal/g.	-707.2618	-707.2618	-745.2644	-726.8627
Cal/s.	-2.4635E7	-2.4835E7	-1.5607E7	-1.5222E7
Entropía:				
Cal/mol °C	-110.8882	-92.6401	-118.3703	-116.2779
Cal/g °C	-1.6343	-1.6668	-1.7446	-1.6885
Densidad:				
mol/cm ³	8.2671E-3	1.0886E-2	9.1217E-3	8.3259E-3
g/cm ³	0.5612	0.6050	0.6189	0.5733
Peso Molecular	67.8493	55.5794	67.8493	68.8622

Corriente no.:	9	10	11	12
Fase:	Líquido	Vapor	Líquido	Líquido
Componentes:	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.
Propeno	0.0	4.9906	4.3652	0.6254
Propano	0.0	19.2750	16.8610	2.4134
Butano	0.0	205.9300	180.1500	25.7811
Isobutano	0.0	4,621.1000	4,042.5000	578.5240
Buteno	0.0	47.1200	41.2200	5.8996
Isobuteno	0.0	86.2360	75.4390	10.7968
Alcohol Terbutílico	0.2319	0.0	0.0	0.0
Dimetil Eter	0.0	0.9640	0.8430	0.1210
Agua	0.0099	0.0	0.0	0.0
Metanol	7.6470	207.7000	181.6900	26.0034
MTBE	420.1110	32.1111	28.0900	4.0204
Cis-2-Buteno	0.0	56.7660	49.6590	7.1067
Trans-2-Buteno	0.0	43.9030	38.4060	5.4968
Flujo Total:				
Kmol/hr.	428.0	5,326.17	4,659.38	666.7894
Kg/hr.	3.7295E4	3.04E5	2.66E5	3.8095E4
L/min.	863.5850			1,167.6845
Variables de estado:				
Temperatura (°C).	41.0	70.70	52.1	38.0
Presion (atm).	5.7	7.96	8.7	8.4
Entalpía:				
Cal/mol.	-7.6060E4	-3.06E4	-3.5475E4	-3.5977E4
Cal/g.	-872.8675		-620.9297	-629.7168
Cal/s.	-9.0427E6		-6.5706E6	-6.6635E6
Entropía:				
Cal/mol °C	-150.7738		-101.4083	-103.2119
Cal/g °C	-1.7417		-1.7750	-1.8065
Densidad:				
mol/cm ³	8.2601E-3		9.1305E-3	9.5173E-3
g/cm ³	0.7197	0.016	0.5216	0.5437
Peso Molecular	87.1379	57.13	57.1313	57.1313

Corriente no.:	13	14	15	16
Fase:	Líquido	Líquido	Vapor	Líquido
Componentes:	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.
Propeno	0.6224	0.0003	0.0023	0.0006
Propano	2.4058	0.0007	0.0064	0.0012
Butano	25.7514	0.0029	0.0258	0.0039
Isobutano	577.8567	0.6673	0.5942	0.0731
Buteno	5.8895	0.0101	0.0085	0.0016
Isobuteno	10.7769	0.0199	0.0165	0.0034
Alcohol Terbutílico	0.0	0.0	0.0	0.0
Dimetil Eter	0.1047	0.0164	0.0035	0.0129
Agua	1.4244	198.5752	0.4418	198.1334
Metanol	0.0006	26.0031	0.3501	25.6530
MTBE	3.9914	0.0290	0.0097	0.0193
Cis-2-Buteno	7.0936	0.0131	0.0104	0.0026
Trans-2-Buteno	5.4867	0.1010	0.0082	0.0019
Flujo Total:				
Kmol/hr.	641.4045	225.3847	1.4776	223.9071
Kg/hr.	3.7240E4	4,457.8093	59.0666	4,398.7426
L/min.	1,153.0638	82.4857	297.2247	84.2027
Variables de estado:				
Temperatura (°C).	38.0	62.2	94.0	94.0
Presion (atm).	8.1	7.8	2.4	2.4
Entalpía:				
Cal/mol.	-3.5266E4	-6.6187E4	-4.1761E4	-6.5679E4
Cal/g.	-607.4021	-3,346.406	-1,044.726	-3,343.223
Cal/s.	-6.2832E6	-4.1438E6	-1.7141E4	-4.0850E6
Entropía:				
Cal/mol °C	-105.2602	-38.5765	-47.4260	-36.6180
Cal/g °C	-1.8129	-1.9504	-1.1864	-1.8639
Densidad:				
mol/cm ³	9.2710E-3	4.5540E-2	8.2858E-5	4.4319E-2
g/cm ³	0.5382	0.9007	3.3121E-3	0.8706
Peso Molecular	58.0596	19.7786	39.9736	19.6453

Corriente no.:	17	18	19	20
Fase:	Líquido	Líquido	Líquido	Vapor
Componentes:	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.
Propeno	0.0	0.0	0.0	0.0
Propano	0.0	0.0	0.0	0.0085
Butano	0.0	0.0	0.0	0.0272
Isobutano	0.0	0.0	0.0	0.5261
Buteno	0.0	0.0	0.0	0.0113
Isobuteno	0.0	0.0	0.0	0.0244
Alcohol Terbutílico	0.0	0.0	0.0	0.0
Dimetil Eter	0.0	0.0	0.0	0.0921
Agua	197.9997	2.0	199.9997	0.9616
Metanol	0.0002	0.0	0.0002	184.66
MTBE	0.0	0.0	0.0	0.1381
Cis-2-Buteno	0.0	0.0	0.0	0.0186
Trans-2-Buteno	0.0	0.0	0.0	0.0136
Flujo Total:				
Kmol/hr.	198.0	2.0	200.0	186.5
Kg/hr.	3,566.9750	36.0300	3,603.0050	5,98E3
L/min.	66.5001	0.6112	61.2413	
Variables de estado:				
Temperatura (°C).	121.9	25.0	38.0	79.5
Presión (atm).	2.1	2.1	8.1	1.72
Entalpía:				
Cal/mol.	-6.6511E4	-6.8087E4	-6.8049E4	-4.71E4
Cal/g.	-3,691.990	-3,779.439	-3,777.373	
Cal/s.	-3.6581E6	-3.7827E4	-3.7805E6	
Entropía:				
Cal/mol °C	-33.7810	-38.2579	-38.1456	
Cal/g °C	-1.8751	-2.1236	-2.1174	
Densidad:				
mol/cm ³	4.9624E-2	5.4538E-2	5.4429E-2	
g/cm ³	0.8939	0.9825	0.9805	0.0019
Peso Molecular	18.015	18.015	18.015	32.10

Corriente no.:	17	18	19	20
Fase:	Líquido	Líquido	Líquido	Vapor
Componentes:	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.	Kmol/hr.
Propeno	0.0	0.0	0.0	0.0
Propano	0.0	0.0	0.0	0.0085
Butano	0.0	0.0	0.0	0.0272
Isobutano	0.0	0.0	0.0	0.5261
Buteno	0.0	0.0	0.0	0.0113
Isobuteno	0.0	0.0	0.0	0.0244
Alcohol Terbutílico	0.0	0.0	0.0	0.0
Dimetil Eter	0.0	0.0	0.0	0.0921
Agua	197.9997	2.0	199.9997	0.9616
Metanol	0.0002	0.0	0.0002	184.66
MTBE	0.0	0.0	0.0	0.1381
Cis-2-Buteno	0.0	0.0	0.0	0.0186
Trans-2-Buteno	0.0	0.0	0.0	0.0136
Flujo Total:				
Kmol/hr.	198.0	2.0	200.0	186.5
Kg/hr.	3,566.9750	36.0300	3,603.0050	5.98E3
L/min.	66.5001	0.6112	61.2413	
Variables de estado:				
Temperatura (°C).	121.9	25.0	38.0	79.5
Presión (atm).	2.1	2.1	8.1	1.72
Entalpía:				
Cal/mol.	-6.6511E4	-6.8087E4	-6.8049E4	-4.71E4
Cal/g.	-3,691.990	-3,779.439	-3,777.373	
Cal/s.	-3.6581E6	-3.7827E4	-3.7805E6	
Entropía:				
Cal/mol °C	-33.7810	-38.2579	-38.1456	
Cal/g °C	-1.8751	-2.1236	-2.1174	
Densidad:				
mol/cm ³	4.9624E-2	5.4538E-2	5.4429E-2	
g/cm ³	0.8939	0.9825	0.9805	0.0019
Peso Molecular	18.015	18.015	18.015	32.10

Corriente no.:	21	22		
Fase:	Líquido	Líquido		
Componentes:	Kmol/hr.	Kmol/hr.		
Propeno	0.0	0.0006		
Propano	0.0073	0.0012		
Butano	0.0234	0.0038		
Isobutano	0.4530	0.0731		
Buteno	0.0097	0.0016		
Isobuteno	0.0210	0.0034		
Alcohol Terbutílico	0.0	0.0		
Dimetil Eter	0.0793	0.0128		
Agua	0.8280	0.1336		
Metanol	159.0	25.6527		
MTBE	0.1189	0.0192		
Cis-2-Buteno	0.0160	0.0026		
Trans-2-Buteno	0.0117	0.0019		
Flujo Total:				
Kmol/hr.	160.59	25.9071		
Kg/hr.	5.15E3	831.7676		
L/min.		19.3138		
Variables de estado:				
Temperatura (°C).	80.0	80.0		
Presión (atm).	3.1	3.1		
Entalpía:				
Cal/mol.	-5.5644E4	-5.5692E4		
Cal/g.	-1,733.142	-1,734.657		
Cal/s.	-4.0044E5	-4.0079E5		
Entropía:				
Cal/mol °C	-53.4836	-53.5522		
Cal/g °C	-1.6658	-1.6680		
Densidad:				
mol/cm ³	2.2296E-2	2.2356E-2		
g/cm ³	0.7158	0.7177		
Peso Molecular	32.1057	32.1057		

CAPITULO 8

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

CAPITULO 8

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La descripción del proceso tiene por finalidad permitir un conocimiento de las características fundamentales del proceso para facilitar la interpretación de los diagramas de flujo correspondientes.

Deberá incluirse la información del proceso que sea relevante y condiciones de operación de los equipos, así como aspectos que se consideren de utilidad para anticiparse a posibles problemas operacionales, así como la secuencia del proceso, el nombre de los equipos involucrados de acuerdo a la lista de equipo.

En general deberá señalar las principales características para cada corriente, etc.

INTRODUCCIÓN:

Una de las etapas principales del proceso involucra la reacción de Isobuteno con Metanol en presencia de un catalizador.

El Isobuteno se obtendrá de la corriente de Butanos-Butenos procedente del proceso OLEFLEX.

La planta tendrá una capacidad para producir 300,000 toneladas métricas por año de MTBE, con una pureza superior al 98% en peso.

Las secciones que conforman la planta son las siguientes:

>Producción de MTBE.

>Unidad removedora de compuestos oxigenados.*

*En este trabajo solamente se hará mención de la unidad removedora de compuestos oxigenados (ORU), pero el trabajo estará centrado principalmente en la ingeniería básica de la producción de MTBE.

PRODUCCIÓN DE MTBE:

La corriente de Butanos-Butenos Procedente de L.B. a 28 °C. y 4.5 atm se alimenta al tanque de Butanos-Butenos V-101.

El Metanol requerido para la reacción se obtiene tanto de L.B. como de la recirculación proveniente de la columna de Metanol C-104, y se alimenta al tanque de Metanol V-102 a 3.1 atm y 28 °C. El tanque cuenta con un dispositivo de igualación de presión cuyo funcionamiento es el siguiente: al aumentar la presión se enviarán vapores al desfogue, mientras que al disminuir ésta, admite el Nitrógeno.

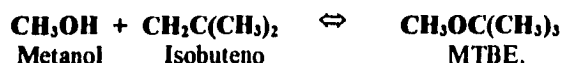
Los Butanos- Butenos y Metanol se mezclan en línea y pasan a la columna eliminadora de cationes C-101. La cual se ocupa de eliminar los cationes que podrían envenenar al catalizador. Una vez terminada ésta operación se calientan en el precalentador de carga del reactor primario, E-101, hasta alcanzar una temperatura de 42 °C.; aprovechando la corriente que sale del reactor primario R-101 como medio de calentamiento.

La mezcla de Metanol/Butanos-Butenos pasa al sistema de reactores en serie R-101 y R-102 que operan a 42 °C. y 10.65 atm. El sistema se constituye además de filtros colocados a la entrada y salida de los reactores que aseguran la eliminación de impurezas y residuos del catalizador y de un interenfriador E-102 el cual se encarga de reducir la temperatura de la mezcla reaccionante proveniente de E-101 desde 86.6 C hasta 42 °C. Una vez terminada ésta operación, la mezcla reaccionante es enviada mediante la bomba B-103 A/B al segundo reactor para alcanzar el 96% de conversión de Isobutileno y una parte es enviada al primer reactor como recirculación.

Los reactores son de lecho fijo y operan con flujo ascendente empleando una resina de intercambio iónico del tipo Amberlyst 15 o similar.

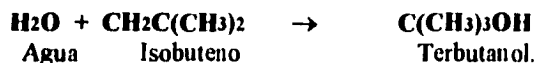
En el primer reactor el Isobuteno y el Metanol reaccionan para convertir el 90% del total de Isobuteno a MTBE, formandose pequeñas cantidades de productos secundarios.

La reacción que se lleva a cabo en el reactor de producción de MTBE es la siguiente:



La reacción se efectúa en fase líquida. Es exotérmica y reversible, por lo que la conversión es favorecida a bajas temperaturas de reacción, el catalizador usado es el mencionado anteriormente.

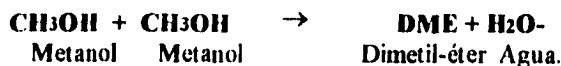
Cualquier cantidad de agua presente reaccionará preferentemente con el Isobuteno para formar Terbutanol de acuerdo con la siguiente reacción:



Esta reacción es exotérmica, aunque en menor grado que la producción de MTBE. La cantidad de alcohol terbutílico dependerá directamente de la cantidad de Agua presente.

La concentración de Isobuteno también se afecta por la relación de Metanol/Isobuteno y el tiempo de residencia en el reactor. El incrementar cualquiera de las dos (relación y tiempo de residencia) aumenta la conversión de Isobuteno a MTBE.

La producción de Dimetil-éter se favorece a temperaturas de reacción altas:



Una menor concentración de Isobuteno también incrementa la cantidad de DME producida.

Un exceso de Metanol no afecta la cantidad de productos secundarios, aunque el Metanol estuviera presente en cantidades mayores a la requerida para formar el azeótropo con los C₄'s. Aparecería como una impureza en el MTBE producto.

A fin de lograr una alta conversión de Isobuteno a MTBE debe mantenerse una cantidad molar de Metanol/Isobuteno del orden de 1 a 1.2.

El efluente del segundo reactor a 46.6 °C y 10.4 atm. se calienta en el intercambiador de MTBE Producto/Alimentación E-103, hasta 77.3 °C antes de entrar a la columna de MTBE, C-102.

Por el domo de la columna sale una corriente de vapor constituida por Metanol y Butanos-Butenos a 70.7°C y 7.96 atm. no reaccionados que pasan a fase líquida en el condensador de la columna de MTBE, E-105, y posteriormente se envían al acumulador de la columna de MTBE, V-103.

Una parte del líquido del acumulador principalmente Butanos-Butenos y Metanol se envía como reflujo a la columna de MTBE a una temperatura de 52.1 °C y 8.7 atm por medio de la bomba B-104 A/B y se regula con un control de flujo. La corriente restante controla el nivel del acumulador de la columna de MTBE, C-102, y posteriormente disminuye su temperatura en el enfriador de alimentación a la columna de extracción, E-107.

La carga térmica necesaria para la operación de la columna C-102, la suministra el rehervidor, E-106, el cual utiliza vapor de baja presión como medio de calentamiento y cuyo flujo se regula con un control de temperatura en el plato número cinco.

Por el fondo de la columna, C-102, se obtiene el MTBE producto con un 99% en peso de pureza a 139.7 °C y 8.47 atm. La corriente pasa al intercambiador de calor, E-103, y se enfría hasta una temperatura de 70 °C y después por el enfriador de MTBE, E-104, donde alcanza una temperatura final de 41 °C y 5.7 atm. de presión. La corriente es enviada a L.B. mediante un control de nivel colocado en el rehervidor de C-102. La columna de MTBE está constituida por 82 platos.

La mezcla de Butanos-Butenos no reaccionados y el Metanol en exceso proveniente de E-107, se alimentan a la columna de extracción C-103, donde se ponen en contacto a contracorriente con Agua para extraer el Metanol contenido en dicha corriente.

La columna de extracción maneja 61.24 LPM de Agua de lavado y 1,167 LPM de Butanos-Butenos como máximo y consta de un lecho empacado de anillos Pall de acero inoxidable.

Por el domo de la columna C-103, se obtiene una mezcla de Butanos-Butenos no reaccionados (Refinado), que se envía a la unidad removedora de compuestos oxigenados.

Por el fondo de la columna se obtiene una corriente mezcla de Metanol y Agua a 38 °C y 8.1 atm. que se envía al intercambiador, E-109, saliendo a una temperatura de 62.2 °C y 7.8 atm. Se envía al tanque estabilizador de la columna de Metanol, V-104, para eliminar los residuos de refinado. La mezcla de Metanol/Agua es enviada a la columna de Metanol, C-104, a 94 °C y 2.4 atm, en la que se efectúa la recuperación del Metanol. La columna de Metanol está constituida por 56 platos.

La carga térmica necesaria para la operación de la columna de Metanol la suministra el rehervidor, E-111, el cual utiliza vapor de baja presión como medio de calentamiento y cuyo flujo se regula con un control de temperatura en el plato 51 de la columna C-104.

Como producto de fondos se obtiene Agua a 122 °C y 2.1 atm y se mezcla con la corriente de reposición de agua a 36 °C y 2.1 atm para reponer el agua que se pierde en el proceso de lavado.

El agua de proceso se envía por medio de la bomba, B-105 A/B, hacia el intercambiador E-109, enfriándose a 94 °C y 9.0 atm; pasando posteriormente al enfriador de agua de recirculación, E-108, hasta alcanzar una temperatura de 38 °C y 8.1 atm y donde finalmente se alimenta a la columna de extracción.

Por el domo de la columna de Metanol se obtienen los vapores de Metanol a 79.5°C y 1.72 atm. que cambian de fase en el condensador, E-110, y pasan al acumulador V-105, a la salida del cual el flujo se divide en dos corrientes: una que constituye el reflujo a la columna que se regula con un control de flujo y la restante como destilado líquido de Metanol que se envía con control de nivel de recirculación de Metanol por medio de la bomba, B-106 A/B.

El tanque de recirculación cuenta con un sistema de inertizado que presuriza el tanque con N₂ a fin de evitar la contaminación de Metanol con agentes atmosféricos.

Adicionalmente al tanque de recirculación de Metanol V-102, se alimenta una corriente de reposición de Metanol, a 28 °C y 3.1 atm. Para reponer el Metanol gastado en el sistema de reacción.

**UNIDAD REMOVEDORA DE COMPUESTOS
OXIGENADOS**

Esta sección del proceso tiene la función básica de eliminar el agua de saturación y los compuestos oxigenados de la corriente de refinado que se recupera en la producción de MTBE y enviarla nuevamente al proceso OLEFLEX.

La corriente proveniente del domo de la columna de extracción, C-103, de la sección de producción de MTBE, es enviada al tanque estabilizador de carga, V-201, a una temperatura de 38 °C y 8.1 atm. de presión, y posteriormente alimentada a la columna de compuestos oxigenados, C-201. Por el domo de la columna sale una corriente de vapor a una temperatura de 38.9 °C y 6.02 atm. de presión y que pasa a la fase líquida en el condensador, E-201, y posteriormente se envía al tanque acumulador, V-202, a una temperatura de 33.4 °C y 6 atm. de presión.

El líquido del acumulador se envía como reflujo total a la columna C-201 por medio de la bomba, B-201 A/B, la cual es controlada por medio de un control en cascada que relaciona la presión de salida de la bomba con el nivel del tanque.

La carga térmica para la operación de la columna la suministra el rehervidor E-202, el cual utiliza vapor de baja presión como medio de calentamiento y cuyo flujo se regula con un controlador de presión

Por el fondo de la columna, la mezcla rica en Isobutano es enviada por medio de la bomba B-202 A/B, al sistema de absorción a una temperatura de 52 °C y 7 atm. de presión

El sistema de absorción actúa isotérmicamente y separa los compuestos oxigenados de la corriente de refinados.

El refinado libre de compuestos oxigenados se descarga por el domo del absorbedor y se envía a límites de batería

Para llevar a cabo la absorción se cuenta con tres absorbedores de compuestos oxigenados C-202 A/B/C. de la misma capacidad y que trabajan consecutivamente.

Cuando uno de los absorbedores se satura se pone en funcionamiento el siguiente que previamente será agotado y precalentado.

El sistema de absorción se divide en cuatro fases independientes y para la explicación de su operación se seguirán los siguientes pasos:

- 1) El absorbedor C-202 A está absorbiendo la corriente de refinado;
- 2) El absorbedor C-202 B ha terminado el proceso de absorción e inicia el proceso de regeneración;
- 3) El absorbedor C-202 C continúa calentándose.

Fase I:

La corriente de refinado entra por la parte inferior del absorbedor A y los compuestos oxigenados son retenidos en el interior del absorbedor.

El líquido en el absorbedor B es removido a través de la bomba B-203 A/B, y almacenado en el tanque almacenador V-203. El gas removido del tanque fluye en sentido opuesto a través del condensador E-207, y el enfriador E-206, reemplazando el líquido drenado.

El absorbedor C, continúa calentándose durante esta fase. El gas de regeneración de límite de baterías a 30 °C y 8.5 atm. es calentado inicialmente por el intercambiador E-203, y con la corriente de gas y de compuestos oxigenados a 145 °C y finalmente a 290 °C en el calentador de gas de regeneración, E-204, y fluye en forma descendente a través del absorbedor C arrastrando los compuestos oxigenados y remanentes de hidrocarburos. La energía del gas se aprovecha en el intercambiador de gas de regeneración y finalmente se enfría hasta 60 °C en el enfriador de gas de regeneración E-205, antes de ir a límites de batería.

Fase II:

El absorbedor A y C continúan operando como en la fase I.

El líquido aún remanente en el absorbedor B será eliminado durante la etapa de calentamiento.

El compresor de recirculación, K-201, comienza a operar automáticamente y recircula el gas de regeneración del tanque del compresor KV-201, al calentador de recirculación E-208, donde alcanza una temperatura de 94 °C. El gas fluye a través del absorbedor C-202 B y vaporiza el refinado remanente. La mezcla de vapor y gas fluye a través del enfriador y el condensador de gas de regeneración donde se condensan los hidrocarburos con agua de enfriamiento. El líquido condensado es colectado en el tanque estabilizador de refinados y el gas no condensado retorna a la succión del compresor.

Fase III:

En esta fase, la absorción continúa en el absorbedor A, el absorbedor B, ha iniciado el proceso de drenado y comenzará a calentarse para agotar los compuestos oxigenados, en tanto que, el absorbedor C, ha finalizado el calentamiento y está listo para absorber los refinados con los compuestos oxigenados.

Al igual que la fase II, el compresor de recirculación inicia automáticamente y provee la recirculación necesaria. En esta fase tanto el calentador de recirculación E-208, como el tanque estabilizador de refinados no operan. El gas entra del absorbedor C, y fluye en forma ascendente, enfriando el interior del recipiente y finalmente retorna a la succión del compresor.

Fase I:

La corriente de refinado entra por la parte inferior del absorbedor A y los compuestos oxigenados son retenidos en el interior del absorbedor.

El líquido en el absorbedor B es removido a través de la bomba B-203 A/B, y almacenado en el tanque almacenador V-203. El gas removido del tanque fluye en sentido opuesto a través del condensador E-207, y el enfriador E-206, reemplazando el líquido drenado.

El absorbedor C, continúa calentándose durante esta fase. El gas de regeneración de límite de baterías a 30 °C y 8.5 atm. es calentado inicialmente por el intercambiador E-203, y con la corriente de gas y de compuestos oxigenados a 145 °C y finalmente a 290 °C en el calentador de gas de regeneración, E-204, y fluye en forma descendente a través del absorbedor C arrastrando los compuestos oxigenados y remanentes de hidrocarburos. La energía del gas se aprovecha en el intercambiador de gas de regeneración y finalmente se enfría hasta 60 °C en el enfriador de gas de regeneración E-205, antes de ir a límites de batería.

Fase II:

El absorbedor A y C continúan operando como en la fase I.

El líquido aún remanente en el absorbedor B será eliminado durante la etapa de calentamiento.

El compresor de recirculación, K-201, comienza a operar automáticamente y recircula el gas de regeneración del tanque del compresor KV-201, al calentador de recirculación E-208, donde alcanza una temperatura de 94 °C. El gas fluye a través del absorbedor C-202 B y vaporiza el refinado remanente. La mezcla de vapor y gas fluye a través del enfriador y el condensador de gas de regeneración donde se condensan los hidrocarburos con agua de enfriamiento. El líquido condensado es colectado en el tanque estabilizador de refinados y el gas no condensado retorna a la succión del compresor.

Fase III:

En esta fase, la absorción continúa en el absorbedor A, el absorbedor B, ha iniciado el proceso de drenado y comenzará a calentarse para agotar los compuestos oxigenados, en tanto que, el absorbedor C, ha finalizado el calentamiento y está listo para absorber los refinados con los compuestos oxigenados.

Al igual que la fase II, el compresor de recirculación inicia automáticamente y provee la recirculación necesaria. En esta fase tanto el calentador de recirculación E-208, como el tanque estabilizador de refinados no operan. El gas entra del absorbedor C, y fluye en forma ascendente, enfriando el interior del recipiente y finalmente retorna a la succión del compresor.

Fase IV:

Los absorbedores **A** y **B** continúan operando como en la fase III. En tanto el absorbedor **C** está listo para ser llenado con el refinado almacenado en el tanque estabilizador. El líquido es bombeado del tanque estabilizador al fondo del absorbedor **C**. Al mismo tiempo que el nivel se incrementa, el vapor del absorbedor es desplazado al tanque estabilizador de refinados. Finalmente cuando el absorbedor está lleno inicia la fase de absorción.

CAPITULO 9
LISTA DE EQUIPO

LISTA DE EQUIPO

Esto es muy sencillo, ya que únicamente es una lista de equipo, que puede ser de relevo o de operación, conteniendo las claves del equipo usado en el diagrama de flujo de proceso y el servicio.

BOMBAS:

TAG	DESCRIPCION:	LM	DTI
B-101 A	Bomba de Metanol.	B-01	T01D-001
BM-101 A	Accionador de la bomba B-101 A.	BM-01	
B-101 B	Bomba de (Spare) de B-101 A	B-01	T01D-001
BM-101 B	Accionador de la bomba B-101 B.	BM-01	
B-102 A	Bomba de C-101.	B-02	T01D-001
BM-102 A	Accionador de la bomba B-102 A.	BM-02	
B-102 B	Bomba de (Spare) de B-102 A	B-02	T01D-001
BM-102 B	Accionador de la bomba B-102 B.	BM-02	
B-103 A	Bomba de recirculación de R-101.	B-03	T01D-002
BM-103 A	Accionador de la bomba B-103 A.	BM-03	
B-103 B	Bomba de (Spare) de B-103 A	B-03	T01D-002
BM-103 B	Accionador de la bomba B-103 B.	BM-03	
B-104 A	Bomba de alimentación de C-103.	B-04	T01D-003
BM-104 A	Accionador de la bomba B-104 A	BM-04	
B-104 B	Bomba de (Spare) de B-104 A.	B-04	T01D-003
BM-104 B	Accionador de la bomba B-104 B.	BM-04	
B-105 A	Bomba de fondo de C-104.	B-05	T01D-005
BM-105 A	Accionador de la bomba B-105 A	BM-05	
B-105 B	Bomba de (Spare) de B-105 A.	B-05	T01D-005
BM-105 B	Accionador de la bomba B-105 B	BM-05	
B-106A	Bomba de reflujo/recirc. de C-104.	B-06	T01D-005
BM-106 A	Accionador de la bomba B-106 A	BM-06	
B-106 B	Bomba de (Spare) de B-106 A.	B-06	T01D-005
BM-106 B	Accionador de la bomba B-106 B	BM-06	

CAMBIADORES DE CALOR:

TAG	DESCRIPCION:	LM	DTI
E-101	Precaentador de carga de R-101.	E-01	T01D-001
E-102	Interenfriador de R-101 y R-102.	E-02	T01D-001
E-103	Intercambiador de proceso de C-101	E-03	T01D-003
E-104	Enfriador de MTBE producto.	E-04	T01D-003
E-105	Condensador de C-102.	E-05	T01D-004
E-106	Relervidor de C-102.	E-06	T01D-003
E-107	Enfriador de alimentacion de C-103.	E-07	T01D-004
E-108	Enfriador de agua de recirculación.	E-08	T01D-004
E-109	Intercambiador de proceso de C-104	E-09	T01D-004
E-110	Condensador de C-104.	E-10	T01D-005
E-111	Relervidor de C-104.	E-11	T01D-005

COLÚMNAS:

TAG	DESCRIPCION:	LM	DTI
C-101	Columna eliminadora de cationes.	C-01	T01D-001.
C-102	Columna de MTBE.	C-02	T01D-003.
CP-102	Platos de de C-102.	CP-02	T01D-003.
C-103	Columna de extracción.	C-03	T01D-004.
C-104	Columna de Metanol.	C-04	T01D-005.
CP-104	Platos de C-104	CP-04	T01D-005.

FILTROS:

TAG	DESCRIPCION:	LM	DTI
F-101 A.	Filtro de entrada de R-101.	F-01	T01D-002.
F-101 B.	Filtro de repuesto de entrada de R-101.	F-01	T01D-002.
F-102 A.	Filtro de salida de R-101.	F-01	T01D-002.
F-102 B.	Filtro de repuesto de salida de R-101.	F-01	T01D-002.
F-103 A.	Filtro de entrada de R-102.	F-01	T01D-002.
F-103 B.	Filtro de repuesto de entrada de R-102.	F-01	T01D-002.
F-104 A.	Filtro de salida de R-102.	F-01	T01D-002.
F-104 B.	Filtro de repuesto de salida de R-102.	F-01	T01D-002.

REACTORES:

TAG	DESCRIPCION:	LM	DTI
R-101.	Primer reactor.	R-01	T01D-002
R-102.	Segundo reactor.	R-02	T01D-002

RECIPIENTES:

TAG	DESCRIPCION:	LM	DTI
V-101	Tanque de Butanos-Butenos.	V-01	T01D-001
V-102	Tanque de Metanol.	V-02	T01D-001
V-103	Acumulador de la Columna de MTBE.	V-03	T01D-003
V-104	Tanque estabilizador de C-104.	V-04	T01D-004
V-105	Acumulador de la Columna de Metanol.	V-05	T01D-005

CAPITULO 10
HOJAS DE DATOS

HOJAS DE DATOS DE EQUIPO DE PROCESO

En términos generales, estas hojas contienen los datos necesarios para el diseño mecánico o especificación de los equipos involucrados en el proceso. Esta información consiste fundamentalmente en datos de flujos, condiciones de entrada y salida, propiedades del fluido manejado, recomendaciones de los materiales de construcción, capacidad, condiciones de diseño, dibujos esquemáticos con las dimensiones principales, etc.

Columnas: Se proporcionan datos como conexiones principales, número y tipo de platos y otros internos, boquillas para instrumentos y dimensiones mandatorias; en los equipos que así lo requieran se indica si deberán ir aislados.

Platos: Proporciona los resultados del diseño mecánico de los platos, incluyendo número de elementos de contacto, dimensiones de los mismos, área activa y dimensiones de otros internos.

Reactores: La hoja de datos se elabora de acuerdo al proceso y al tipo de reactor propuesto.

Cambiadores de Calor: Las hojas de datos incluyen, entre otros, carga térmica, factor de incrustación, caída de presión permisible y calculada, coeficiente y área de transferencia de calor.

Recipientes: Incluye entre otros datos de conexiones principales, internos, boquillas para instrumentos, y dimensiones mandatorias; en los equipos que así lo requieran, se indica si deberán ir aislados.

Filtros: La hoja de datos incluye tipo recomendado, grado de filtración y características del elemento filtrante.

Bombas: Se elaboran las hojas de datos indicando clave y nombre, así como su servicio, se anota su capacidad nominal y de diseño, NPSH disponible tentativo, presiones de succión y de descarga, temperaturas de operación, propiedades de los fluidos manejados, tipo de accionador, potencia hidráulica, etc.

BOMBAS CENTRIFUGAS:

Cliente: Facultad de Química. Lugar: Municipio de Altamira Tamaulipas. Servicio: Alimentación Metanol. Unidad motriz: Motor: <input checked="" type="checkbox"/> Turbina: <input type="checkbox"/>	Clave: B-101 A/B. Cantidad: 1 Unidad: Planta productora de MTBE. Fabricante: Tamaño y tipo: Estandar a seguir: API-610.															
CONDICIONES DE OPERACION:	INSPECCION Y PRUEBAS:															
Líquido: Metanol Flujo (m³/h) a T,P: 18.84 ; Diseño: 20.72 Pres. Succ (Kg/cm²) abs.: 3.17 ; Dls: 3.5 Presión Descarga (Kg/cm²) abs.: 5.416 Presión de vap. (Kg/cm²) a T,P: 2.892 Presión dif. (Kg/cm²): 2.246 Temperatura de bombeo (°C): 28 Dens a T,P (g/cm³): 0.778 ; Visc a T,P (cp): 0.288 Carga dif. (m): 29.8 ; NPSH disp. tentativo (m): 4.97 HP Hidráulico (Hp): 1.7567 ; pH: BHP (Hp): 2.509 Corr/Eros. (mm): 3 ; Causada por:	Pruebas de taller:⁽²⁾ Requerida: <u>Atestiguada:</u> Funcionamiento: <input checked="" type="checkbox"/> NPSH: Hidrostática: <input checked="" type="checkbox"/> Desensamble: <input checked="" type="checkbox"/> P. de prueba Hidros (Kg/cm²): 8.124 Inspección de taller: <input checked="" type="checkbox"/> Certificación de Materiales: <input checked="" type="checkbox"/> Inspec.req. para fundiciones: Radiográfica: <input checked="" type="checkbox"/> ; Ultrasónica: <input type="checkbox"/> Inspec.req. para soldaduras: Partícula magnética: <input type="checkbox"/> Liq. Penetrante: <input checked="" type="checkbox"/>															
MATERIALES Y CONSTRUCCION:	DATOS DE UNIDAD MOTRIZ:															
Montaje Carcaza⁽¹⁾: Centro: <input type="checkbox"/> ; pie: <input type="checkbox"/> ; Soporte: <input type="checkbox"/> ; Otro: <input type="checkbox"/> Particlen⁽¹⁾: Axial: <input type="checkbox"/> ; Radial: <input type="checkbox"/>	Motor: <input checked="" type="checkbox"/> ; Turbina: <input type="checkbox"/> Clave: <u>BM-101 A/B.</u> Montado por: Fabricante. Kv: <input type="checkbox"/> ; RPM: <input type="checkbox"/> ; Armazón: <input type="checkbox"/> Fabricante: <input type="checkbox"/> Tipo: <input type="checkbox"/> ; Aislamiento: <input type="checkbox"/> Volts/Fases/Ciclos: 440/3/60 Cojinetes: <input type="checkbox"/> ; Lubricación:															
Boquillas:																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Diámetro:</th> <th style="text-align: center;">Clas ANSI</th> <th style="text-align: center;">Cara:</th> <th style="text-align: center;">Posición:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Succión:</td> <td style="text-align: center;">150</td> <td style="text-align: center;">Realzada</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Descarga:</td> <td style="text-align: center;">150</td> <td style="text-align: center;">Realzada</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Diámetro:	Clas ANSI	Cara:	Posición:	Succión:	150	Realzada			Descarga:	150	Realzada		
	Diámetro:	Clas ANSI	Cara:	Posición:												
Succión:	150	Realzada														
Descarga:	150	Realzada														
Empaque⁽¹⁾: Fabr/Tipo: <input type="checkbox"/> ; Tamaño: <input type="checkbox"/> ; No Anillos: <input type="checkbox"/> Sello mecánico⁽¹⁾: Fab: <input type="checkbox"/> ; Modelo: <input type="checkbox"/> ; Código Fab: <input type="checkbox"/> Código: API-610: <u>BSTIL</u> ; Tipo de Tapa/Material: <input type="checkbox"/> Cople⁽¹⁾: Fabricante: <input type="checkbox"/> ; Tipo: <u>Engrane</u> ; Modelo: <input type="checkbox"/> Mitad montado por: Fabricante: <input type="checkbox"/> ; Guarda/Tipo: <input type="checkbox"/> Base⁽¹⁾: Tipo: <u>Charola de goteo</u> ; Est. API-610 No.: <input type="checkbox"/> Materiales: Código API: <input type="checkbox"/> ; Carcaza: <input type="checkbox"/> Partes internas:																

Nota⁽¹⁾: Por el vendedor.

Nota⁽²⁾: De acuerdo al API-610.

BOMBAS CENTRIFUGAS:

Cliente: Facultad de Quimica. Lugar: Municipio de Altamira Tamaulipas. Servicio: Bomba de C-101 Unidad motriz: Motor <input checked="" type="checkbox"/> Turbina: <input type="checkbox"/>	Clave: B-102 A/B. Cantidad: 1 Unidad: Planta productora de MTBE. Fabricante: Tamaño y tipo: Estandar a seguir: API-610.			
CONDICIONES DE OPERACION:	INSPECCION Y PRUEBAS:			
Líquido: Metanol, Butanos-Butenos Flujo (m³/h) a T,P: 121.87 ; Diseño: 134.06 Pres. Succ (Kg/cm²) abs: 4.51 ; Dls: 4.96 Presión Descarga (Kg/cm²) abs: 11.65 Presión de vap. (Kg/cm²) a T,P: 4.35 Presión dif. (Kg/cm²): 7.14 Temperatura de bombas (°C): 28 Dens a T,P (g/cm³): 0.617 ; Visc a T,P (cp): 0.2545 Carga dif. (m): 119.5 ; NPSH disp. tentativo (m): 5.075 HP Hidráulico (Hp): 36.188 ; ρH: BHP (Hp): 51.69 Corr/Eros. (mm): 3 ; Causada por:	Pruebas de taller: Requerida: Atestiguada: Funcionamiento: <input checked="" type="checkbox"/> NPSH: Hidrostática: <input checked="" type="checkbox"/> Desensamble: <input checked="" type="checkbox"/> P. de prueba Hidros (Kg/cm²): 17.48 Inspección de taller: <input checked="" type="checkbox"/> Certificación de Materiales: <input checked="" type="checkbox"/> Inspec. req. para fundiciones: Radiográfica: <input checked="" type="checkbox"/> ; Ultrasonica: <input type="checkbox"/> Inspec. req. para soldaduras: Partícula magnética: <input type="checkbox"/> Liq. Penetrante: <input checked="" type="checkbox"/>			
MATERIALES Y CONSTRUCCION:	DATOS DE UNIDAD MOTRIZ:			
Montaje Carcaza⁽¹⁾: Centro: <input type="checkbox"/> ; pie: <input type="checkbox"/> ; Soporte: <input type="checkbox"/> ; Otro: <input type="checkbox"/> Partición⁽¹⁾: Axial: <input type="checkbox"/> ; Radial: <input type="checkbox"/>	Motor: <input checked="" type="checkbox"/> ; Turbina: <input type="checkbox"/> Clave: BM-102 A/B. Montado por: Fabricante. Kv: <input type="checkbox"/> ; RPM: <input type="checkbox"/> ; Almazen: <input type="checkbox"/> Fabricante: <input type="checkbox"/> Tipo: <input type="checkbox"/> ; Aislamiento: <input type="checkbox"/> Volts/Fases/Ciclos: 440/3/60 Cojinetes: <input type="checkbox"/> ; Lubricación:			
Boquillas:				
	Diámetro:	Clas ANSI	Cara:	Posición:
Succión:		300	Realzada	
Descarga:		150	Realzada	
Empaque⁽¹⁾: Fabr/Tipo: <input type="checkbox"/> ; Tamaño: <input type="checkbox"/> ; No Anillos: <input type="checkbox"/>				
Sello mecánico⁽¹⁾: Fab: <input type="checkbox"/> ; Modelo: <input type="checkbox"/> ; Código Fab: <input type="checkbox"/>				
Código: API-610: BSTIL ; Tipo de Tapa/Material:				
Cople⁽¹⁾: Fabricante ; Tipo: Engran ; Modelo: <input type="checkbox"/>				
Mitad montado por: Fabricante. ; Guarda/Tipo:				
Base⁽¹⁾: Tipo: Charola de goteo. ; Est. API-610 No.:				
Materiales: Código API ; Carcaza:				
Partes internas:				

Nota⁽¹⁾: Por el vendedor.

Nota⁽²⁾: De acuerdo al API-610.

BOMBAS CENTRIFUGAS:

<p> Cliente: Facultad de Química. Lugar: Municipio de Altamira Tamaulipas. Servicio: Recirculación a R-101. Unidad motriz: Motor: <input checked="" type="checkbox"/>. Turbina: _____ </p>	<p> Clave: B-103 A/B. Cantidad: 1 Unidad: Planta productora de MTBE. Fabricante: _____ Tamaño y tipo: _____ Estandar a seguir: API-610. </p>															
CONDICIONES DE OPERACION:	INSPECCION Y PRUEBAS:															
<p> Líquido: Isobutano, MTBE, Metanol Flujo (m³/h) a T,P: 889.04 ; Diseño: 988.94 Pres. Succ (Kg/cm²) abs: 10.82 Dis: 11.9 Presión Descarga (Kg/cm²) abs: 11.01 Presión de vap. (Kg/cm²) a T,P: 10.278 Presión dif. (Kg/cm²): 0.4 Temperatura de bombeo (°C): 88.5 Dens a T,P (g/cm³): 0.561 ; Visc a T,P (cp): 0.2427 Carga dif. (m): 3.51 ; NPSH disp. tentativo (m): 16.02 HP Hidráulico (Hp): 7.123 ; pH: _____ BHP (Hp): 10.17 Corr/Eros. (ntm): 3 ; Causada por: _____ </p>	<p> Pruebas de taller: Requerida: Atestiguada: _____ Funcionamiento: <input checked="" type="checkbox"/> NPSH: _____ Hidrostática: <input checked="" type="checkbox"/> Desensamble: <input checked="" type="checkbox"/> P. de prueba Hidros (Kg/cm²): 16.515 Inspección de taller: <input checked="" type="checkbox"/> Certificación de Materiales: <input checked="" type="checkbox"/> Inspección req. para fundiciones: _____ Radiográfica: <input checked="" type="checkbox"/> ; Ultrasónica: _____ Inspección req. para soldaduras: _____ Partícula magnética: _____ Liq. Penetrante: <input checked="" type="checkbox"/> </p>															
MATERIALES Y CONSTRUCCION:	DATOS DE UNIDAD MOTRIZ:															
<p> Montaje Carcaza⁽¹⁾: Centro: _____ ; pie: _____ ; Soporte: _____ ; Otro: _____ Partición⁽¹⁾: Axial: _____ ; Radial: _____ </p>	<p> Motor: <input checked="" type="checkbox"/> ; Turbina: _____ Clave: BM-103 A/B. Montado por: Fabricante. Kv: _____ ; RPM: _____ ; Armazón: _____ Fabricante: _____ Tipo: _____ ; Aislamiento: _____ Volts/Fases/Ciclos: 440/3/60 Cojinetes: _____ ; Lubricación: _____ </p>															
Boquillas:																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Diámetro:</th> <th>Clas ANSI</th> <th>Cara:</th> <th>Posición:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Succión:</td> <td></td> <td>300</td> <td>Realzada</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Descarga:</td> <td></td> <td>150</td> <td>Realzada</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Diámetro:	Clas ANSI	Cara:	Posición:	Succión:		300	Realzada		Descarga:		150	Realzada	
	Diámetro:	Clas ANSI	Cara:	Posición:												
Succión:		300	Realzada													
Descarga:		150	Realzada													
<p> Empaque⁽¹⁾: Fabr/Tipo: _____ ; Tamaño: _____ ; No Anillos: _____ Sello mecánico⁽¹⁾: Fab: _____ ; Modelo: _____ ; Código Fab: _____ Código: API-610: BSTIL ; Tipo de Tapa/Material: _____ Cople⁽¹⁾: Fabricante: _____ ; Tipo: Engrane ; Modelo: _____ Mitad montado por: Fabricante ; Guarda/Tipo: _____ Base⁽¹⁾: Tipo: Chatola de potoo ; Est. API-610 No.: _____ Materiales: Código API: _____ ; Carcaza: _____ Partes internas: _____ </p>																

Nota⁽¹⁾: Por el vendedor.

Nota⁽²⁾: De acuerdo al API-610.

BOMBAS CENTRIFUGAS:

Cliente: Facultad de Química. Lugar: Municipio de Altamira Tamaulipas. Servicio: Alimentación a C-103. Unidad motriz: Motor <input checked="" type="checkbox"/> Turbina: <input type="checkbox"/>	Clave: B-104 A/B. Cantidad: 1 Unidad: Planta productora de MTBE. Fabricante: Tamaño y tipo: Estandar a seguir: API-610.			
CONDICIONES DE OPERACION:	INSPECCION Y PRUEBAS:			
Líquido: Isobutano, Metanol Flujo (m³/h) a T,P: 72.88 ; Diseño: 80.17 Pres. Succ (Kg/cm²) abs: 8.03 ; Dis: 8.836 Presión Descarga (Kg/cm²) abs: 9.67 Presión de vap. (Kg/cm²) a T,P: 7.854 Presión dif. (Kg/cm²): 1.84 Temperatura de bombes (°C): 52.1 Dens a T,P (g/cm³): 0.522 ; Visc a T,P (cp): 0.234 Carga dif. (m): 32.45 ; NPSH disp. tentativo (m): 8.585 HP Hidráulico (Hp): 4.96 ; pH: BHP (Hp): 7.09 Corr/Eros. (mm): 3 ; Causada por:	Pruebas de taller: Requerida: <u>Atestiguada:</u> Funcionamiento: <input checked="" type="checkbox"/> NPSH: Hidrostática: <input checked="" type="checkbox"/> Desensamble: <input checked="" type="checkbox"/> P. de prueba Hidros (Kg/cm²): 14.5 Inspección de taller: <input checked="" type="checkbox"/> Certificación de Materiales: <input checked="" type="checkbox"/> Inspec. req. para fundiciones: Radiográfica: <input checked="" type="checkbox"/> ; Ultrasonica: <input type="checkbox"/> Inspec. req. para soldaduras: Partícula magnética: <input type="checkbox"/> Líq. Penetrante: <input checked="" type="checkbox"/>			
MATERIALES Y CONSTRUCCION:	DATOS DE UNIDAD MOTRIZ:			
Montaje Carcaza⁽¹⁾: Centro: <input type="checkbox"/> ; pie: <input type="checkbox"/> ; Soporte: <input type="checkbox"/> ; Otro: <input type="checkbox"/> Partición⁽¹⁾: Axial: <input type="checkbox"/> ; Radial: <input type="checkbox"/>	Motor: <input checked="" type="checkbox"/> ; Turbina: <input type="checkbox"/> Clave: BM-104 A/B. Montado por: Fabricante. Kv: <input type="checkbox"/> ; RPM: <input type="checkbox"/> ; Almazon: <input type="checkbox"/> Fabricante: <input type="checkbox"/> Tipo: <input type="checkbox"/> ; Aislamiento: <input type="checkbox"/> Volts/Fases/Ciclos: 440/3/60 Cojinetes: <input type="checkbox"/> ; Lubricación:			
Boquillas:				
	Diámetro:	Clas ANSI	Cara:	Posición:
Succión:		300	Realzada	
Descarga:		300	Realzada	
Empaque⁽¹⁾: Fabr/Tipo: <input type="checkbox"/> ; Tamaño: <input type="checkbox"/> ; No Anillos: <input type="checkbox"/>				
Sello mecánico⁽¹⁾: Fab: <input type="checkbox"/> ; Modelo: <input type="checkbox"/> ; Código Fab: <input type="checkbox"/>				
Código: API-610: BSTIL ; Tipo de Tapa/Material:				
Cople⁽¹⁾: Fabricante ; Tipo: Engrane ; Modelo: <input type="checkbox"/>				
Mitad montado por: Fabricante ; Guarda/Tipo:				
Base⁽¹⁾: Tipo: Charola de potoe ; Est. API-610 No.:				
Materiales: Código API: <input type="checkbox"/> ; Carcaza:				
Partes internas:				

Nota⁽¹⁾: Por el vendedor.

Nota⁽²⁾: De acuerdo al API-610.

BOMBAS CENTRIFUGAS:

<p>Cliente: Facultad de Química. Lugar: Municipio de Altamira Tamaulipas. Servicio: Bomba de fondo de C-104. Unidad motriz: Motor: <input checked="" type="checkbox"/> Turbina: _____</p>	<p>Clave: B-105 A/B. Cantidad: <u>1</u> Unidad: Planta productora de MTBE. Fabricante: Tamaño y tipo: Estandar a seguir: API-610.</p>			
CONDICIONES DE OPERACION:	INSPECCION Y PRUEBAS:			
<p>Líquido: Agua Flujo (m³/h) a T,P: <u>4.02</u> ; Diseño: <u>4.42</u> Pres. Succ (Kg/cm²) abs: <u>2.13</u> Dis: <u>2.34</u> Presión Descarga (Kg/cm²) abs: <u>10.85</u> Presión de vap. (Kg/cm²) a T,P: <u>1.963</u> Presión dif. (Kg/cm²): <u>8.72</u> Temperatura de bombeo (°C): <u>121.9</u> Dens a T,P (g/cm³): <u>0.895</u> ; Visc a T,P (cp): <u>0.3065</u> Carga dif. (m): <u>100.8</u> ; NPSH disp. tentativo (m): <u>2.636</u> HP Hidráulico (Hp): <u>1.4581</u> ; pH: BHP (Hp): <u>2.083</u> Corr/Eros. (mm): <u>3</u> ; Causada por:</p>	<p style="text-align: center;">Pruebas de taller: Requerida: <u>Atestiguada</u>:</p> <p>Funcionamiento: <input checked="" type="checkbox"/> NPSH: Hidrostática: <input checked="" type="checkbox"/> Desensamble: <input checked="" type="checkbox"/> P. de prueba Hidros (Kg/cm²): <u>16.275</u> Inspección de taller: <input checked="" type="checkbox"/> Certificación de Materiales: <input checked="" type="checkbox"/> Inspec.req. para fundiciones: Radiográfica: <input checked="" type="checkbox"/> ; Ultrasónica: _____ Inspec.req. para soldaduras: Partícula magnética: _____ Líq. Penetrante: <input checked="" type="checkbox"/></p>			
MATERIALES Y CONSTRUCCION:	DATOS DE UNIDAD MOTRIZ:			
<p>Montaje Carcasa⁽¹⁾: Centro: ___ ; pie: ___ ; Soporte: ___ ; Otro: _____ Partición⁽¹⁾: Axial: ___ ; Radial: _____</p>	<p>Motor: <input checked="" type="checkbox"/> ; Turbina: _____ Clave: <u>BM-105 A/B</u>. Montado por: <u>Fabricante</u>. Kv: ___ ; RPM: ___ ; Armazón: _____ Fabricante: _____ Tipo: ___ ; Aislamiento: _____ Volts/Fases/Ciclos: <u>440/3/60</u> Cojinetes: ___ ; Lubricación: _____</p>			
Boquillas:				
	Diámetro:	Clas ANSI	Cara:	Posición:
Succión:		300	Realzada	
Descarga:		300	Realzada	
Empaque⁽¹⁾: Fabr/Tipo: ___ ; Tamaño: ___ ; No Anillos: ___				
Sello mecánico⁽¹⁾: Fab: ___ ; Modelo: ___ ; Código Fab: ___				
Código: API-610: BSTLL ; Tipo de Tapa/Material: ___				
Cople⁽¹⁾: Fabricante: ___ ; Tipo: <u>Engrane</u> ; Modelo: ___				
Mitad montado por: Fabricante: ___ ; Guarda/Tipo: ___				
Base⁽¹⁾: Tipo: <u>Charola de goteo</u> ; Est. API-610 No.: ___				
Materiales: Código API: ___ ; Carcaza: ___				
Partes internas: ___				

Nota⁽¹⁾: Por el vendedor.

Nota⁽²⁾: De acuerdo al API-610.

BOMBAS CENTRIFUGAS:

Cliente: Facultad de Química. Lugar: Municipio de Altamira Tamaulipas. Servicio: Bomba de recirculación/reflujo de C-104. Unidad motriz: Motor: <input checked="" type="checkbox"/> Turbina: <input type="checkbox"/>	Clave: B-106 A/B. Cantidad: <u>1</u> Unidad: Planta productora de MTBE. Fabricante: Tamaño y tipo: Estandar a seguir: API-610.															
CONDICIONES DE OPERACION:	INSPECCION Y PRUEBAS:															
Líquido: Metanol. Flujo (m ³ /h) a T,P: <u>1.156</u> ; Diseño: <u>1.272</u> Pres. Succ (Kg/cm ²) abs: <u>1.727</u> Dis: <u>1.9</u> Presión Descarga (Kg/cm ²) abs: <u>4.13</u> Presión de vap. (Kg/cm ²) a T,P: <u>1.6528</u> Presión dif. (Kg/cm ²): <u>2.403</u> Temperatura de bombes (°C): <u>80</u> Dens a T,P (g/cm ³): <u>0.717</u> ; Visc a T,P (cp): <u>0.2745</u> Carga dif. (m): <u>34.57</u> ; NPSH disp. tentativo (m): <u>1.835</u> HP Hidráulico (Hp): <u>0.1154</u> ; pH: BHP (Hp): <u>0.1649</u> Corr/Eros. (mm): <u>3</u> ; Causado por:	Pruebas de taller: Requerida: <u>Atestiguada</u> : Funcionamiento: <input checked="" type="checkbox"/> NPSH: Hidrostática: <input checked="" type="checkbox"/> Desensamblable: <input checked="" type="checkbox"/> P. de prueba Hidros (Kg/cm ²): <u>6.195</u> Inspección de taller: <input checked="" type="checkbox"/> Certificación de Materiales: <input checked="" type="checkbox"/> Inspección req. para fundiciones: Radiográfica: <input checked="" type="checkbox"/> ; Ultrasonica: <input type="checkbox"/> Inspección req. para soldaduras: Partícula magnética: <input type="checkbox"/> Líq. Penetrante: <input checked="" type="checkbox"/>															
MATERIALES Y CONSTRUCCION:	DATOS DE UNIDAD MOTRIZ:															
Montaje Carcasa ⁽¹⁾ : Centro: <input type="checkbox"/> ; Soporte: <input type="checkbox"/> ; Otro: <input type="checkbox"/> Partición ⁽¹⁾ : Axial: <input type="checkbox"/> ; Radial: <input type="checkbox"/>	Motor: <input checked="" type="checkbox"/> ; Turbina: <input type="checkbox"/> Clave: <u>BM-106 A/B</u> . Montado por: <u>Fabricante</u> . Kv: <input type="checkbox"/> ; RPM: <input type="checkbox"/> ; Armazón: <input type="checkbox"/> Fabricante: <input type="checkbox"/> Tipo: <input type="checkbox"/> ; Aislamiento: <input type="checkbox"/> Volts/Fases/Ciclos: <u>440/3/60</u> Cojinetes: <input type="checkbox"/> ; Lubricación:															
Boquillas:																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 20%;">Diámetro:</th> <th style="width: 20%;">Clas ANSI</th> <th style="width: 20%;">Cara:</th> <th style="width: 25%;">Posición:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Succión:</td> <td></td> <td style="text-align: center;">300</td> <td style="text-align: center;">Realzada</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Descarga:</td> <td></td> <td style="text-align: center;">300</td> <td style="text-align: center;">Realzada</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Diámetro:	Clas ANSI	Cara:	Posición:	Succión:		300	Realzada		Descarga:		300	Realzada		
	Diámetro:	Clas ANSI	Cara:	Posición:												
Succión:		300	Realzada													
Descarga:		300	Realzada													
Empaque ⁽¹⁾ : Fabr/Tipo: <input type="checkbox"/> ; Tamaño: <input type="checkbox"/> ; No Anillos: Sello mecánico ⁽¹⁾ : Fab: <input type="checkbox"/> ; Modelo: <input type="checkbox"/> ; Código Fab: <input type="checkbox"/> Código: <u>API-610: BSTIL</u> ; Tipo de Tapa/Material: Cople ⁽¹⁾ : Fabricante: <input type="checkbox"/> ; Tipo: <u>Engrane</u> ; Modelo: <input type="checkbox"/> Mitad montado por: <u>Fabricante</u> ; Guarda/Tipo: Base ⁽¹⁾ : Tipo: <u>Charola de goteo</u> ; Est. API-610 No.: Materiales: <u>Código API</u> ; Carcaza: Partes internas:																

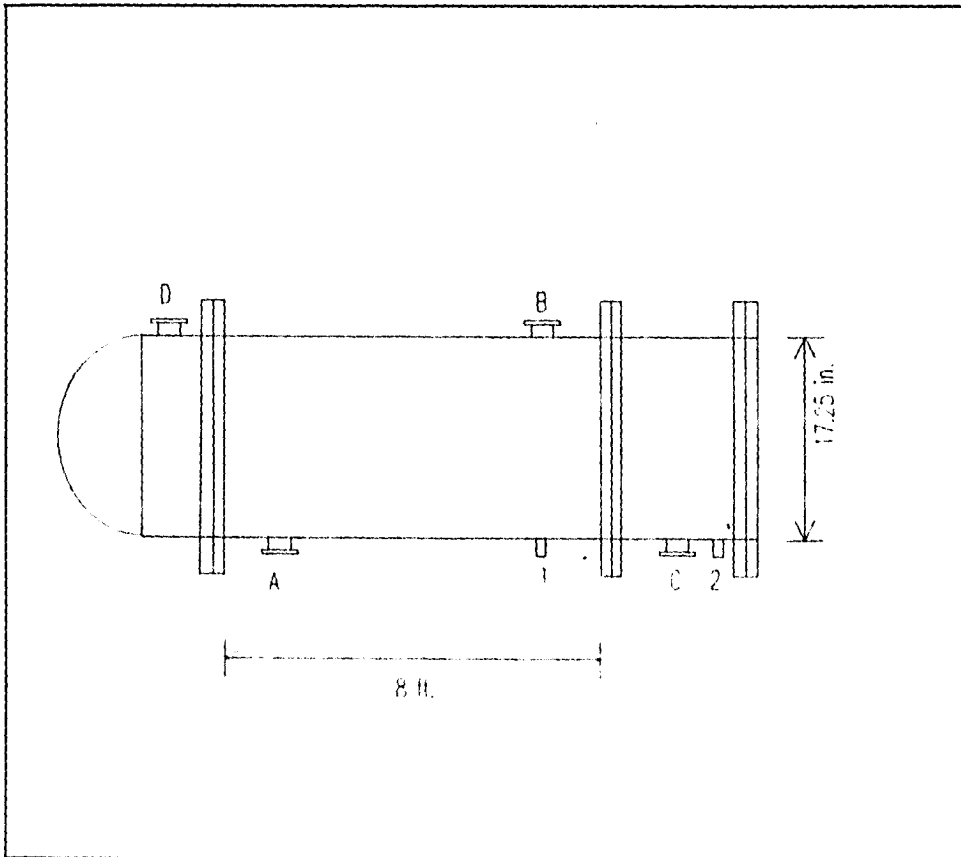
Nota⁽¹⁾: Por el vendedor.

Nota⁽²⁾: De acuerdo al API-610.

CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-101.				
Servicio: Pre calentador de carga a R-101.		Tamaño: Diam(in): 17.25 Long (ft): 8		
Sup. real/efec(m²): 29.62/27.69		No. de unidades: 1		
Tipo: AES		Conectado en:		
Montaje: Horizontal		Cabezal: Removible		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	Butanos-Butenos		Butanos-Metanol-MTBE	
Flujo (kg/h):	75,400		125,390	
Temperatura (°C):	23	42	88.5	86.61
Densidad (Kg/m³):	617	592	509.94	513.77
Viscosidad (Cp):	0.264	0.222	0.1822	0.1825
Cp. (Kcal/Kg°C):	0.562	0.576	0.5838	0.5869
K (Kcal/mh°C)	0.1039	0.1007	0.08234	0.08287
λ (Kcal/Kg):				
Peso molecular:	49.62		67.85	
Presión (Kg/cm²):	10.7		10.3	
ΔP_{Calc} (Kg/cm²):	0.409		0.0659	
Velocidad (m/s):	1.44		1.677	
No. pasos:	1		1	
Carga térmica (Kcal/h): 945,000 LMTD: 54.61 LMTD x F (°C): 54.61				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 624.84 Limpio: 753.97				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.00012 Tubos: 0.00012				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:		Coraza:		Tubos:
P Des/T.P (Kg/cm²):		11.77		11.33
Temp.dis.(°C):		52		98.5
Corr. permisible:		Por código.		Por código.
Código: TEMA, ASME VIII			Placa: No	
Relevo de esfuerzos: No			Radiografía: Por código.	
		No.: 203	Longitud (ft): 8	
TUBOS:		Diam.ext (in): 364	BWG: 14	
Arreglo: Triangular				
CORAZA:		Diam (in): 17 1/4	Espesor (cm):	
CABEZAL:		Espesor (cm):		
TAPA DE CABEZAL:		Espesor (cm):		
ESPEJOS:		Espesor (cm):		Tipo:
MAMPARAS:		Colocación: Transversales Espesor (cm):		
		Arreglo (m): 0.2217	% De corte: 25	
Junta de Tubos a espejo:		Empaque:		

MATERIALES DE CONSTRUCCION:					
Tubos: Acero al carbón.			Coraza: Acero al carbón.		
Cabezal: Acero al carbón.			Tapa de cabezal: Acero al carbón.		
Espejos: Acero al carbón.			Mamparas: Acero al carbón.		
Junta(s):			Empaque:		
Aislamiento: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>		Tipo: Asbesto.			
BOQUILLAS:					
Servicio:	Ident.	No.	Tamaño (in.)	Clas.ASA	Cara
C. Proceso de C-101	A	1	8	150	Realzada
C. Proceso a R-101	B	1	8	150	Realzada
C. Proceso de R-101	C	1	8	150	Realzada
C. Proceso a E-102	D	1	8	150	Realzada
Drenaje Coraza	01	1	3/4		
Drenaje Tubos	02	1	3/4		



REVISIONES	DESCRIPCION	FECHA DE REVISION	ELABORADO POR	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA
			INGENIERO QUIMICO FACULTAD DE QUIMICA	
			APROBADO PARA CONSTRUCCION	
			FECHA: 10/01/2000	PLANTA NITEL 300,000 TUNPA
			TESIS PROYECTO	

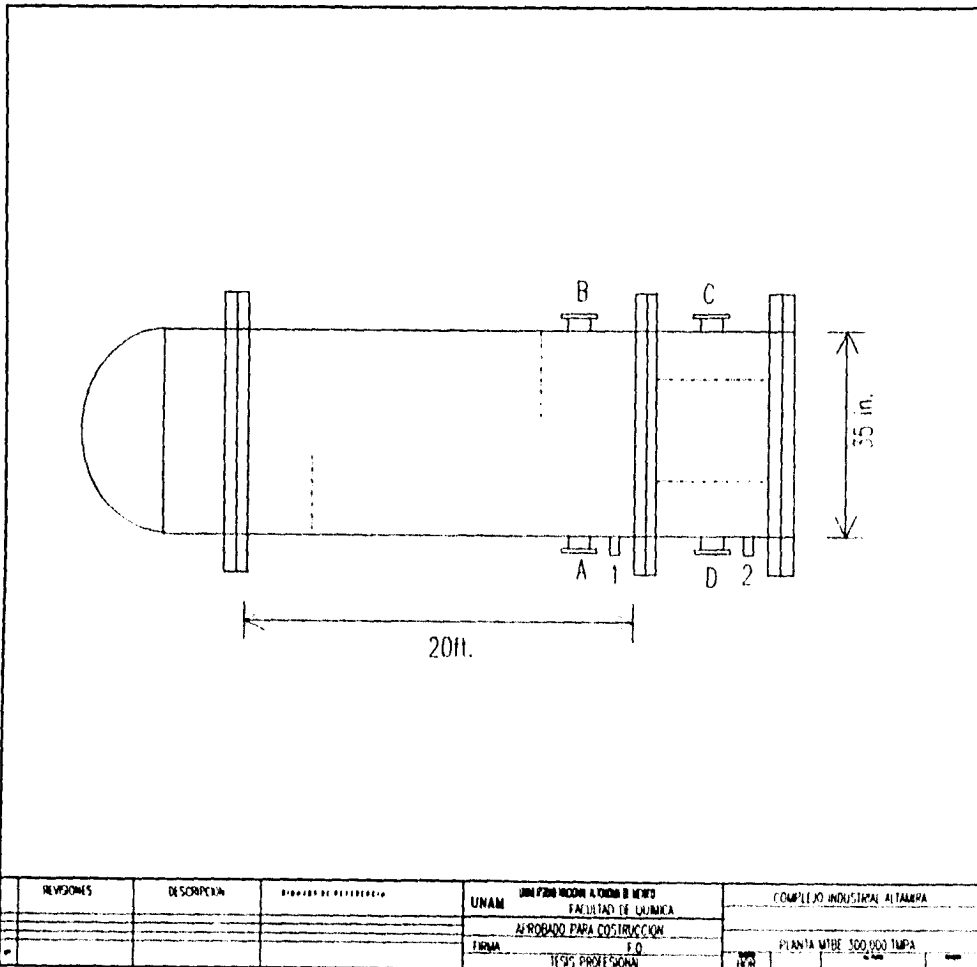
CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-102.				
Servicio: Interenfriador de R-101. y R-102.			Tamaño: Diam(in): 35 Long (ft): 20	
Sup. real/efec(m²): 321.78/304.20			No. de unidades: 1	
Tipo: Coraza y tubos (CFN).			Conectado en:	
Montaje: Horizontal			Cabezal: Removible.	
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	MTBE, Butanos, Metanol		Agua de enfriamiento	
Flujo (kg/h):	125,390		238,266	
Temperatura (°C):	86.61	42	25	45
Densidad (Kg/m³):	513.77	604.25	997.07	990.25
Viscosidad (Cp):	0.1825	0.226	0.93	0.65
Cp. (Kcal/Kg°C):	0.5869	0.5374	0.99892	0.9989
K (Kcal/mh°C):	0.08287	0.10955	0.5184	0.5420
λ (Kcal/Kg):				
Peso molecular:	67.85		18	
Presión (Kg/cm²):	10.3		3.5	
ΔP_{Calc} (Kg/cm²):	0.582		0.668	
Velocidad (m/s):	0.943		1.404	
Número de pasos:	2		4	
Carga térmica (Kcal/h): 3,823,200 LMTD(°C): 27.49				
LMTDx F(°C): 26.12				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 481.18 Limpio: 841.99				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.00012 Tubos: 0.0006				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/T.P (Kg/cm²):	11.33		3.85	
Temp.dis.(°C):	96.61		55	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII			Placa: No	
Relevo de esfuerzos: No			Radiografía: Por código.	
	No.: 882		Longitud (ft): 20	
TUBOS:	Diam.ext (in): 3/4		BWG: 14.	
	Arreglo: Triangular (30°)			
CORAZA:	Diam (in): 35		Espesor (cm):	
CABEZAL:	Espesor (cm):			
TAPA DE CABEZAL:	Espesor (cm):			
ESPEJOS:	Espesor (cm):		Tipo:	
MAMPARAS:	Colocación: Transversales Espesor (cm):			
	Arreglo (m): 0.2963		% De corte: 25	
Junta de Tubos a espejo:	Empaque:			

CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-102.				
Servicio: Interenfriador de R-101. y R-102.		Tamaño: Diam(in): 35 Long (ft): 20		
Sup. real/efec(m²): 321.78/304.20		No. de unidades: 1		
Tipo: Coraza y tubos (CFN).		Conectado en:		
Montaje: Horizontal		Cabezal: Removible.		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	MTBE, Butanos, Metanol		Agua de enfriamiento	
Flujo (kg/h):	125,390		238,266	
Temperatura (°C):	86.61	42	25	45
Densidad (Kg/m³):	513.77	604.25	997.07	990.25
Viscosidad (Cp):	0.1825	0.226	0.93	0.65
Cp. (Kcal/Kg°C):	0.5869	0.5374	0.99892	0.9989
K (Kcal/mh°C):	0.08287	0.10955	0.5184	0.5420
λ (Kcal/Kg):				
Peso molecular:	67.85		18	
Presión (Kg/cm²):	10.3		3.5	
ΔP_{calc} (Kg/cm²):	0.582		0.668	
Velocidad (m/s):	0.943		1.404	
Número de pasos:	2		4	
Carga térmica (Kcal/h): 3,823,200 LMTD(°C): 27.49				
LMTDx F(°C): 26.12				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 481.18 Limpio: 841.99				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.00012 Tubos: 0.0006				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/T.P (Kg/cm²):	11.33		3.85	
Temp.dis.(°C):	96.61		55	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII		Placa: No		
Relevo de esfuerzos: No		Radiografía: Por código.		
	No.: 882		Longitud (ft): 20	
TUBOS:	Diam.ext (in): 3/4		BWG: 14.	
	Arreglo: Triangular (30°)			
CORAZA:	Diam (in): 35		Espesor (cm):	
CABEZAL:	Espesor (cm):			
TAPA DE CABEZAL:	Espesor (cm):			
ESPEJOS:	Espesor (cm):		Tipo:	
MAMPARAS:	Colocación: Transversales Espesor (cm):			
	Arreglo (m): 0.2963		% De corte: 25	
Junta de Tubos a espejo:	Empaque:			

MATERIALES DE CONSTRUCCION:					
Tubos: Acero al carbón.			Coraza: Acero al carbón.		
Cabezal: Acero al carbón.			Tapa de cabezal: Acero al carbón.		
Espejos: Acero al carbón.			Mamparas: Acero al carbón.		
Junta(s):			Empaque:		
Aislamiento: Si: X No: Tipo: Asbesto.					
BOQUILLAS:					
Servicio:	Ident.	No.	Tamaño (in.)	Clas.ASA	Cara
C. Proceso de E-101	A	1	8	150	Realzada
C. Proceso a B103A/B	B	1	8	150	Realzada
C. Agua de enfriamiento	C	1	6	150	Realzada
R. Agua de enfriamiento	D	1	6	150	Realzada
Drenaje Coraza	01	1	3/4		
Drenaje Tubos	02	1	3/4		

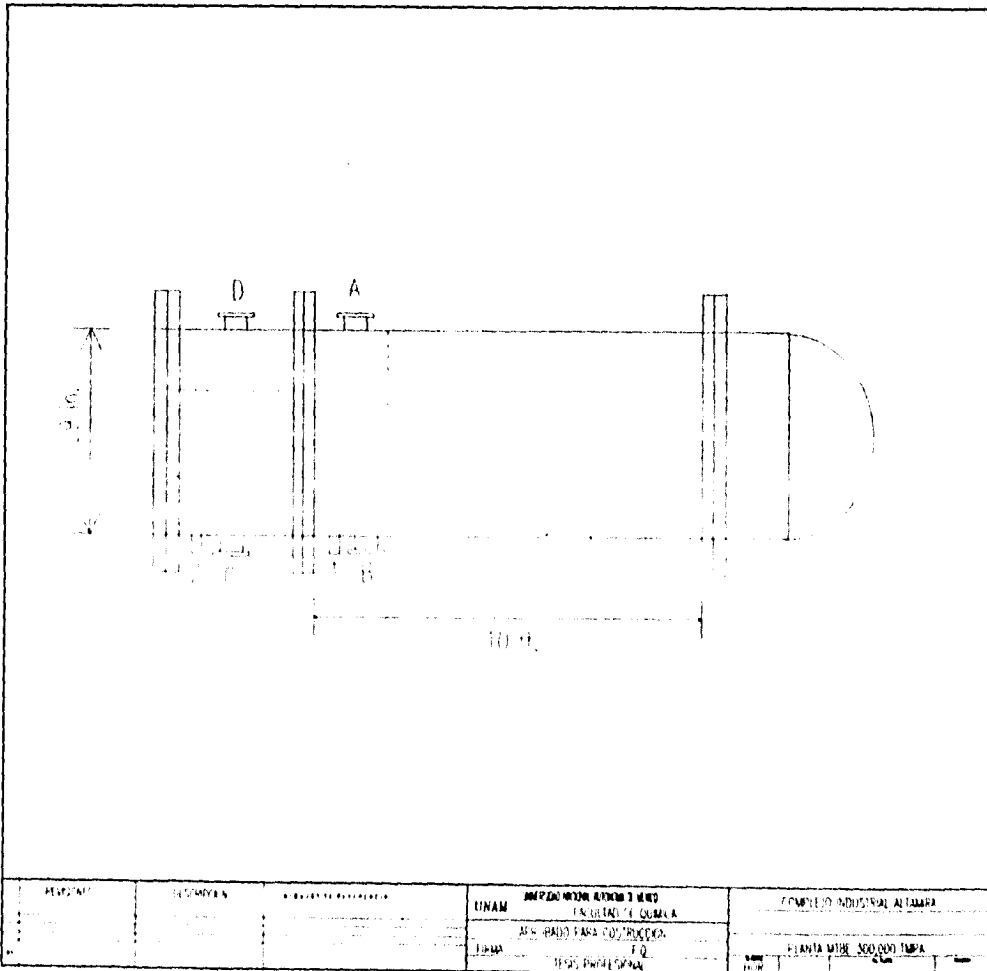


REVISIONES	DESCRIPCION	DIAGRAMA DE REFERENCIA	UNAM UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMPA
			APROBADO PARA CONSTRUCCION	
			INGENIERO E.O.	PLANTA MTRB 500,000 T.M.P.A.
			INGENIERO PROFESIONAL	

CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-103.				
Servicio: Intercambiador de MTBE Prod/alim de C-102		Tamaño: Diam(in): 29 Long (ft): 10		
Sup. real/efec(m²): 101.47/96.12		No. de unidades: 1		
Tipo: Coraza y tubos (CFN).		Conectado en:		
Montaje: Horizontal		Cabezal: Removible.		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	MTBE		Butanos, Metanol, MTBE	
Flujo (kg/h):	37,295		75,400	
Temperatura (°C):	139.7	70	46.6	77.3
Densidad (Kg/m³):	630	667.29	574.94	512.07
Viscosidad (Cp):	0.24	0.282	0.2046	0.1532
Cp. (Kcal/Kg°C):	0.545	0.5027	0.5274	0.5538
K (Kcal/mh°C):	0.082075	0.09032	0.08832	0.07835
λ (Kcal/Kg):				
Peso molecular:	87.13		68.86	
Presión (Kg/cm²):	8.47		10.3	
ΔPCatc (Kg/cm²):	0.062		0.233	
Velocidad (m/s):	0.353		1.478	
Número de pasos:	2		4	
Carga térmica (Kcal/h): 1,386,000 LMTD(°C): 39.76				
LMTDx F(°C): 37.77				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 381.73 Limpio: 426.34				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.00012 Tubos: 0.00012				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/T.P (Kg/cm²):	9.317		11.33	
Temp.dis.(°C):	149.7		87.3	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII		Placa: No		
Relevo de esfuerzos: No		Radiografía: Por código.		
	No.: 556		Longitud (ft): 10	
TUBOS:	Diam.ext (in): 3/4		BWG: 14.	
	Arreglo: Triangular (30°)			
CORAZA:	Diam (in): 29		Espesor (cm):	
CABEZAL:	Espesor (cm):			
TAPA DE CABEZAL:	Espesor (cm):			
ESPEJOS:	Espesor (cm):		Tipo:	
MAMPARAS:	Colocación: Transversales		Espesor (cm):	
	Arreglo (m): 0.254		% De corte: 25	
Junta de Tubos a espejo:	Empaque:			

MATERIALES DE CONSTRUCCION:					
Tubos: Acero al carbón.			Coraza: Acero al carbón.		
Cabezal: Acero al carbón.			Tapa de cabezal: Acero al carbón.		
Espejos: Acero al carbón.			Mamparas: Acero al carbón.		
Junta(s):			Empaque:		
Aislamiento: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No:		Tipo: Asbesto.			
BOQUILLAS:					
Servicio:	Ident.	No.	Tamaño (in.)	Clas.ASA	Cara
C. Proceso de R-102	A	1	6	150	Realzada
C. Proceso a C-102	B	1	6	150	Realzada
C. Proceso de E-106	C	1	4	150	Realzada
C. Proceso a E-104	D	1	4	150	Realzada
Drenaje Coraza	01	1	3/4		
Drenaje Tubos	02	1	3/4		

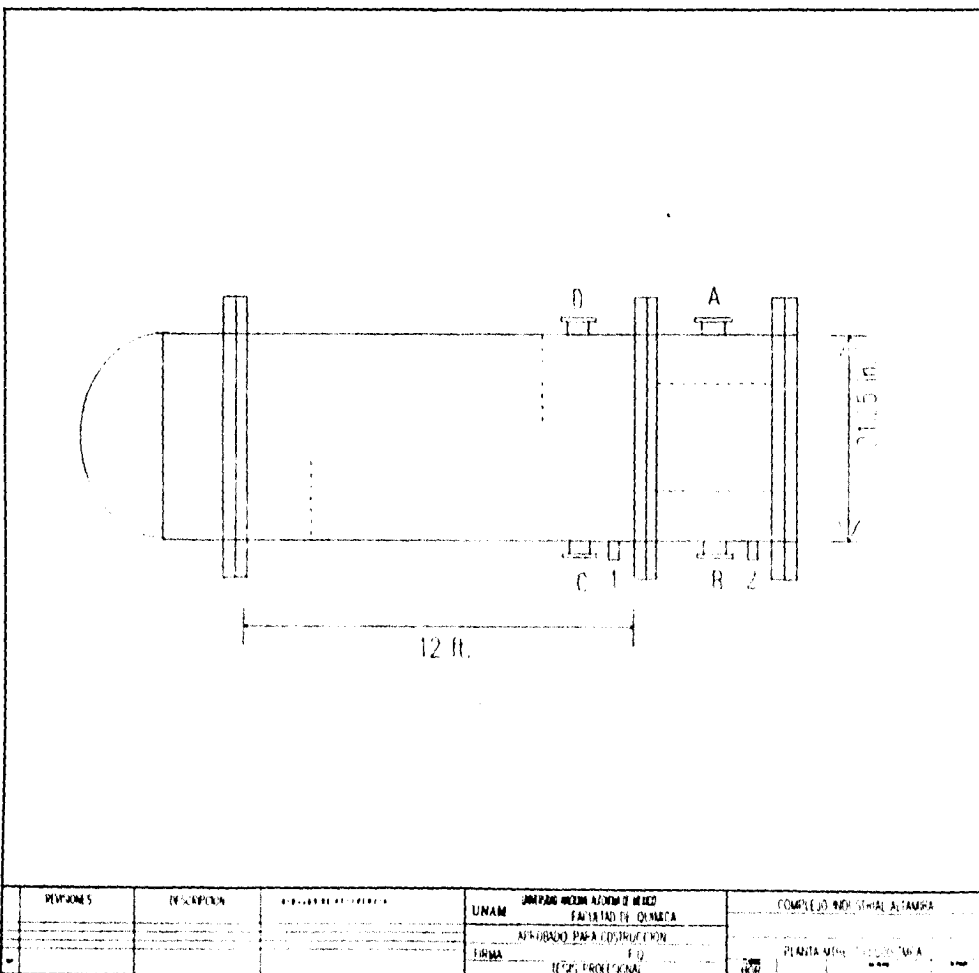


PLANTA	SECCION	.....	UNAM	COMPLEJO INDUSTRIAL ATAMPA
			INSTITUTO QUIMICO	
			LABORATORIO DE INVESTIGACIONES	
			PLANTA N° 100 - 2000 - 1000	

CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-104.				
Servicio: Enfriador de MTBE Producto		Tamaño: Diam(in): 21.25 Long (ft): 12		
Sup. real/efec(m ²): 60.85/ 60.60		No. de unidades: 1		
Tipo: Coraza y tubos (CFN).		Conectado en:		
Montaje: Horizontal		Cabezal: Removible.		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	Agua de enfriamiento		MTBE	
Flujo (kg/h):	28,080		37,295	
Temperatura (°C):	25	45	70	41
Densidad (Kg/m³):	997.08	990.25	667.29	718.6
Viscosidad (Cp):	0.8937	0.5988	0.282	0.36
Cp. (Kcal/Kg°C):	0.99892	0.9989	0.545	0.521
K (Kcal/mh°C):	0.5184	0.5420	0.09039	0.09776
λ (Kcal/Kg):				
Peso molecular:	18		87.13	
Presión (Kg/cm²):	3.5		10.1	
ΔPcalc (Kg/cm²):	0.106		0.235	
Velocidad (m/s):	0.3232		1.2447	
Número de pasos:	2		4	
Carga térmica (Kcal/h): 561,600 LMTD(°C): 20.16				
LMTDx F(°C): 19.34				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 478.65 Limpio: 749.02				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.0006 Tubos: 0.00012				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/T.P (Kg/cm²):	3.85		11.11	
Temp.dis.(°C):	55		80	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII		Placa: No		
Relevo de esfuerzos: No		Radiografía: Por código.		
	No.: 278	Longitud (ft): 12		
TUBOS:	Diam.ext (in): 3/4 BWG: 14.			
	Arreglo: Triangular (30°)			
CORAZA:	Diam (in): 21.25		Espesor (cm):	
CABEZAL:	Espesor (cm):			
TAPA DE CABEZAL:	Espesor (cm):			
ESPEJOS:	Espesor (cm):		Tipo:	
MAMPARAS:	Colocación: Transversales Espesor (cm):			
	Arreglo (m): 0.183		% De corte: 25	
Junta de Tubos a espejo:	Empaque:			

MATERIALES DE CONSTRUCCION:					
Tubos: Acero al carbón.			Coraza: Acero al carbón.		
Cabezal: Acero al carbón.			Tapa de cabezal: Acero al carbón.		
Espejos: Acero al carbón.			Mamparas: Acero al carbón.		
Junta(s):			Empaque:		
Aislamiento: Si: X No:			Tipo: Asbesto.		
BOQUILLAS:					
Servicio:	Ident.	No.	Tamaño (in.)	Clas. ASA	Cara
C. Proceso de E-103	A	1	4	150	Realzada
C. Proceso a L.B.	B	1	4	150	Realzada
C. Agua de Enfriamiento	C	1	2	150	Realzada
R. Agua de Enfriamiento	D	1	2	150	Realzada
Drenaje Coraza	01	1	3/4		
Drenaje Tubos	02	1	3/4		

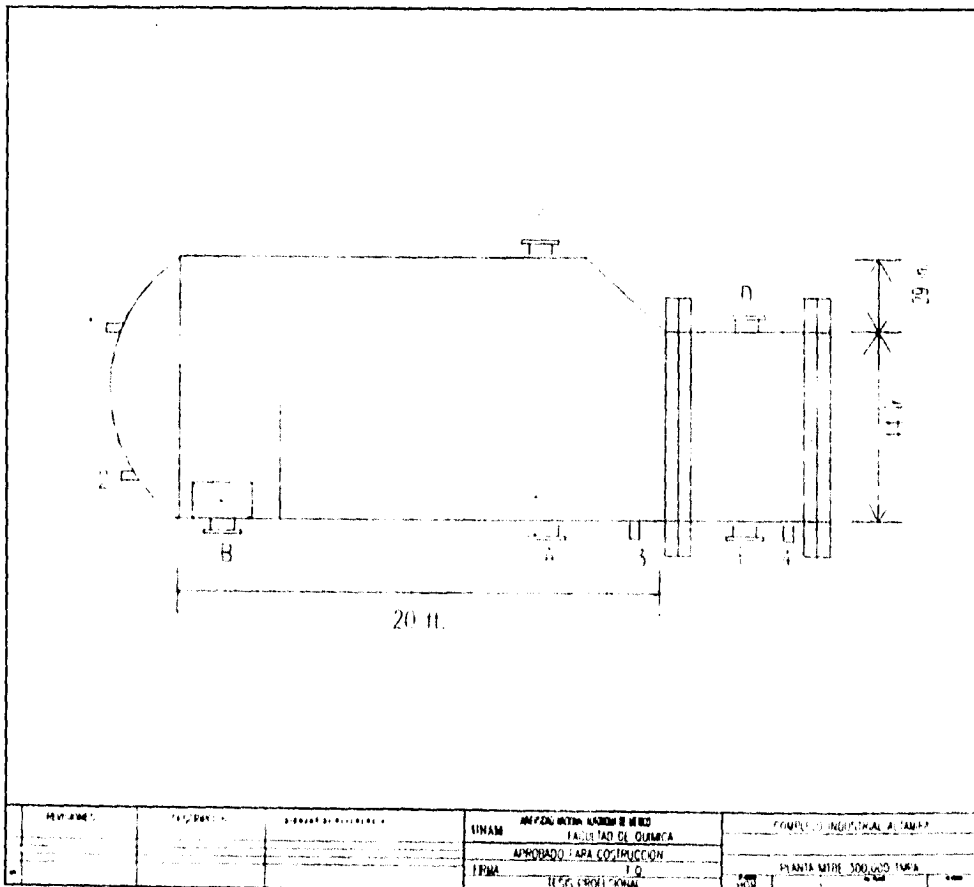


REVISIONES	DESCRIPCION	FECHA	UNAM	COMPLEJO REFINERIA ALAMPA
			AFILIADO PARA CONSTRUCCION	
			PLANTA N° 1100000000	
			PLANTA N° 1100000000	

CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-106.				
Servicio: Reservidor de la torre de MTBE.		Tamaño: Diam(in): 44 Long (ft): 20		
Sup. real/efec(m²): 560/ 524.05		No. de unidades: 1		
Tipo: Coraza y tubos (AKU).		Conectado en:		
Montaje: Horizontal		Cabezal: Removible.		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	MTBE, Isobutano, Metanol		Vapor de Baja	Condensado
Flujo (Kg/h):	75,390		58,019.27	
Temperatura (°C):	77.2	139.6	180	180
Densidad (Kg/m³):	719.7	630	4.793	886.7
Viscosidad (Cp):	0.2748	0.2569	0.015	0.0218
Cp. (Kcal/Kg°C):	0.3672	0.5027	0.4641	1.012
K (Kcal/mh°C):	0.06904	0.08207	0.0187	0.4250
λ (Kcal/Kg):			481	
Peso molecular:	87.13		18	
Presión (Kg/cm²):	8.47		10.225	
ΔP_{cat} (Kg/cm²):			0.386	
Velocidad (m/s):			25.35	
Número de pasos:	1		2	
Carga térmica (Kcal/h): 27,907,272 LMTD(°C): 66.81				
LMTDx F(°C):				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 886.67 Limpio: 2675.92				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.00012 Tubos: 0.0006				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/T.P (Kg/cm²):	9.32		11.25	
Temp.dis.(°C):	149.6		190	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII		Placa: No		
Relevo de esfuerzos: No		Radiografía: Por código.		
	No.: 1535	Longitud (ft): 20		
TUBOS:	Diam.ext (in): 3/4		BWG: 14.	
	Arreglo: Triangular (30°)			
CORAZA:	Diam (in): 44	Espesor (cm):		
CABEZAL:	Espesor (cm):			
TAPA DE CABEZAL:	Espesor (cm):			
ESPEJOS:	Espesor (cm):		Tipo:	
MAMPARAS:	Colocación: Transversales Espesor (cm):			
	Arreglo (m):		% De corte: 25	
Junta de Tubos a espejo:	Empaque:			

MATERIALES DE CONSTRUCCION:					
Tubos: Acero al carbón.			Coraza: Acero al carbón.		
Cabezal: Acero al carbón.			Tapa de cabezal: Acero al carbón.		
Espejos: Acero al carbón.			Mamparas: Acero al carbón.		
Junta(s):			Empaque:		
Aislamiento: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>		Tipo: Asbesto.			
BOQUILLAS:					
Servicio:	Ident.	No.	Tamaño (in.)	Clas. ASA	Cara
C. Proceso de C-102	A	1	12	150	Realzada
C. Proceso a E-103	B	1	4	150	Realzada
Salida de vapor a C-102	C	1	16	150	Realzada
C. Vapor de B.P.	D	1	16	150	Realzada
C. Condensado de B.P.	E	1	4	150	Realzada
Transmisor alto nivel	01	1	3/4		
Transmisor bajo nivel	02	1	3/4		
Drenaje Coraza	03	1	3/4		
Drenaje Tubos	04	1	3/4		

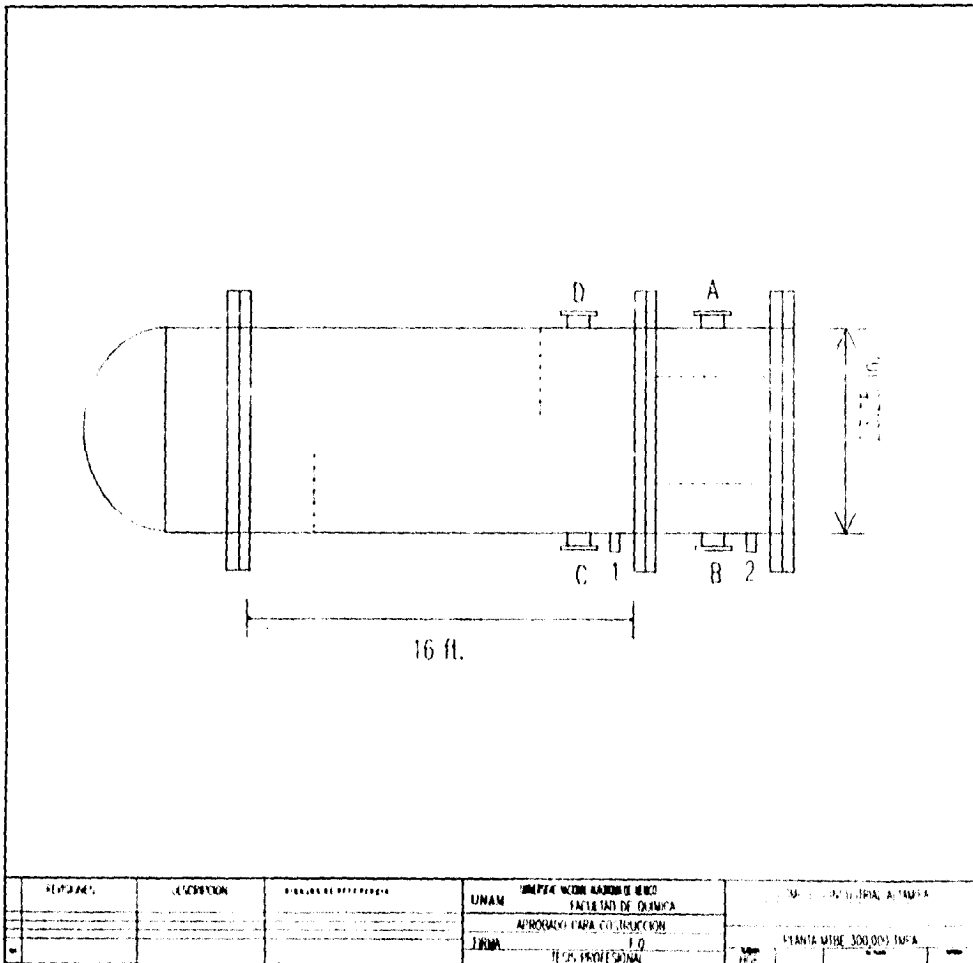


PROYECTO:	FECHA:	PROYECTISTA:	UNAM	AMPAZ, VITTA, GARCIA Y REYES	COMPLEJO INDUSTRIAL ALAMPAZ
				FACULTAD DE QUIMICA	
				APROBADO PARA CONSTRUCCION	
				Firma: I. Q.	PLANTA NITRO 300,000 T/M/A
				ING. PROFESIONAL	

CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-107.				
Servicio: Enfriador de alimentación a C-102		Tamaño: Diam(in): 23.25 Long (ft): 16		
Sup. real/efec(m²): 90.48/ 84.44		No. de unidades: 1		
Tipo: Coraza y tubos (CFN).		Conectado en:		
Montaje: Horizontal		Cabezal: Removible.		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	Agua de enfriamiento		i-Butano	
Flujo (kg/h):	16,966.26		38,095	
Temperatura (°C):	25	45	52.1	38
Densidad (Kg/m³):	997.08	990.25	510	520
Viscosidad (Cp):	0.8937	0.5988	0.2345	0.2389
Cp. (Kcal/Kg°C):	0.99892	0.9989	0.62	0.6
K (Kcal/mh°C):	0.5184	0.5420	0.08764	0.08704
λ (Kcal/Kg):				
Peso molecular:	18		57.13	
Presión (Kg/cm²):	3.5		8.7	
ΔP_{Calc} (Kg/cm²):	7.24x10 ⁻³		0.225	
Velocidad (m/s):	0.094		1.285	
Número de pasos:	2		4	
Carga térmica (Kcal/h): 339,320 LMTD(°C): 9.75				
LMTDx F(°C): 8.78				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 375.25 Limpio: 523.34				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.0006 Tubos: 0.00012				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/T.P (Kg/cm²):	3.85		9.57	
Temp.dis.(°C):	55		62.1	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII		Placa: No		
Relevo de esfuerzos: No		Radiografía: Por código.		
TUBOS:		No.: 370 Longitud (ft): 16		
		Diam.ext (in): 3/4 BWG: 14.		
		Arreglo: Triangular (30°)		
CORAZA:		Diam (in): 25 Espesor (cm):		
CABEZAL:		Espesor (cm):		
TAPA DE CABEZAL:		Espesor (cm):		
ESPEJOS:		Espesor (cm): Tipo:		
MAMPARAS:		Colocación: Transversales Espesor (cm):		
		Arreglo (m): 0.3175 % De corte: 25		
Junta de Tubos a espejo:		Empaque:		

MATERIALES DE CONSTRUCCION:					
Tubos: Acero al carbón.			Coraza: Acero al carbón.		
Cabezal: Acero al carbón.			Tapa de cabezal: Acero al carbón.		
Espejos: Acero al carbón.			Mamparas: Acero al carbón.		
Junta(s):			Empaque:		
Aislamiento: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>		Tipo: Asbesto.			
BOQUILLAS:					
Servicio:	Ident.	No.	Tamaño (in.)	Clas.ASA	Cara
C. Proceso de B-104A/B	A	1	4	150	Realzada
C. Proceso a C-103	B	1	4	150	Realzada
C. Agua de Enfriamiento	C	1	2	150	Realzada
R. Agua de enfriamiento	D	1	2	150	Realzada
Drenaje Coraza	01	1	3/4		
Drenaje Tubos	02	1	3/4		



REVISOR:	CONSTRUCION	PROYECTO	UNAM	IMPRESION	ESTANTA MIRE 300,000 MP/A
			APROBADO PARA CONSTRUCCION		
			TERMINA		

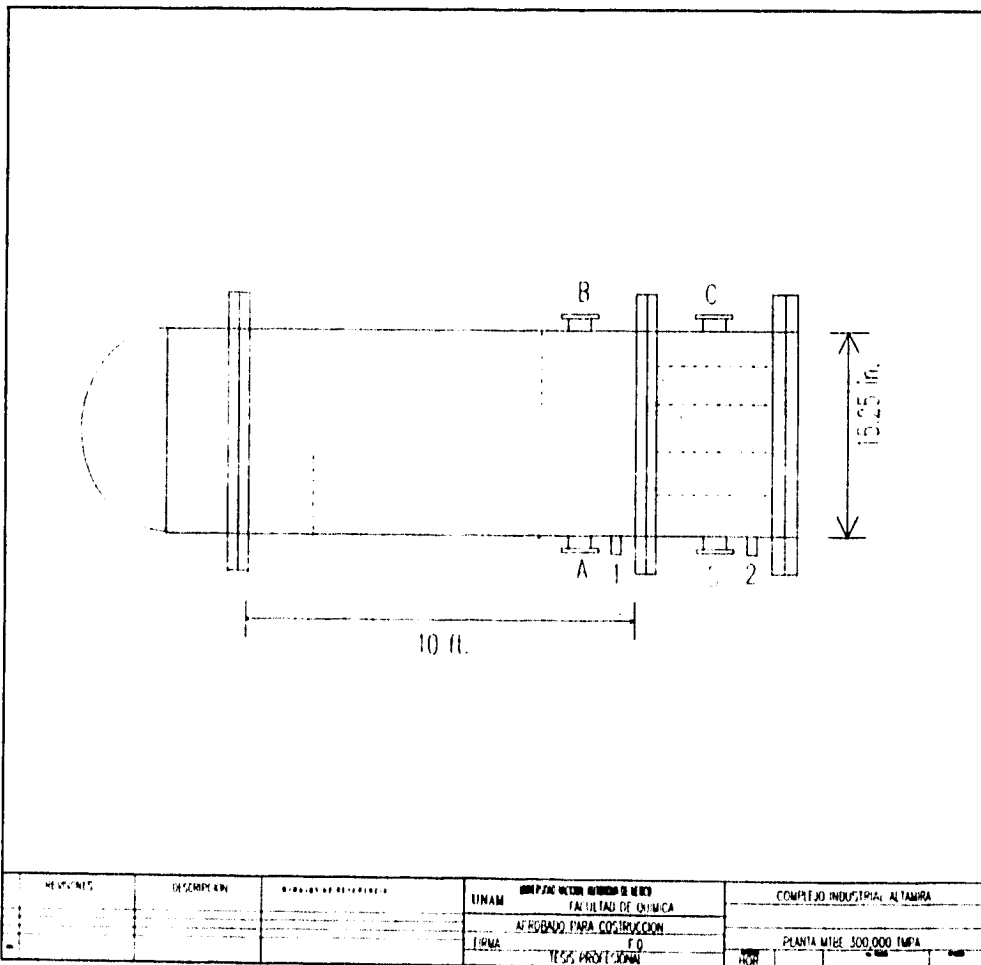
CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-108.				
Servicio: Enfriador de agua reirculada.		Tamaño: Diam(in): 15.25 Long (ft): 10		
Sup. real/efec(m ²): 19.7/ 18.88		No. de unidades: 1		
Tipo: Coraza y tubos (CFN).		Conectado en:		
Montaje: Horizontal		Cabezal: Removible.		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	Agua de proceso		Agua de enfriamiento	
Flujo (kg/h):	3,603		10,125.54	
Temperatura (°C):	94	38	25	45
Densidad (Kg/m³):	961.92	993.0	997.08	990.25
Viscosidad (Cp):	0.3027	0.6814	0.8937	0.5988
Cp. (Kcal/Kg°C):	1.007	0.9976	0.99892	0.9989
K (Kcal/mh°C):	0.5876	0.540	0.5184	0.5420
λ (Kcal/Kg):				
Peso molecular:	18		18	
Presión (Kg/cm²):	9.0		3.5	
ΔPcalc (Kg/cm²):	7.94x10 ⁻³		0.627	
Velocidad (m/s):	0.134		1.213	
Número de pasos:	2		8	
Carga térmica (Kcal/h): 202,320 LMTD(°C): 27.13				
LMTDx F(°C): 25.1				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 426.89 Limpio: 1,028.88				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.0006 Tubos: 0.0006				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/T.P (Kg/cm²):	9.9		3.85	
Temp.dis.(°C):	104		55	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII		Placa: No		
Relevo de esfuerzos: No		Radiografía: Por código.		
	No.: 108		Longitud (ft): 10	
TUBOS:	Diam.ext (in): 3/4		BWG: 14.	
	Arreglo: Cuadrado			
CORAZA:	Diam (in): 15.25		Espesor (cm):	
CABEZAL:	Espesor (cm):			
TAPA DE CABEZAL:	Espesor (cm):			
ESPEJOS:	Espesor (cm):		Tipo:	
MAMPARAS:	Colocación: Transversales Espesor (cm):			
	Arreglo (m): 0.1936		% De corte: 25	
Junta de Tubos a espejo:	Empaque:			

CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-108.				
Servicio: Enfriador de agua reiculada.		Tamaño: Diam(in): 15.25 Long (ft): 10		
Sup. real/efec(m²): 19.7/ 18.88		No. de unidades: 1		
Tipo: Coraza y tubos (CFN).		Conectado en:		
Montaje: Horizontal		Cabezal: Removible.		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	Agua de proceso		Agua de enfriamiento	
Flujo (kg/h):	3,603		10,125.54	
Temperatura (°C):	94	38	25	45
Densidad (Kg/m³):	961.92	993.0	997.08	990.25
Viscosidad (Cp):	0.3027	0.6814	0.8937	0.5988
Cp. (Kcal/Kg°C):	1.007	0.9976	0.99892	0.9989
K (Kcal/mh°C):	0.5876	0.540	0.5184	0.5420
λ (Kcal/Kg):				
Peso molecular:	18		18	
Presión (Kg/cm²):	9.0		3.5	
ΔPcalc (Kg/cm²):	7.94x10 ⁻³		0.627	
Velocidad (m/s):	0.134		1.213	
Número de pasos:	2		8	
Carga térmica (Kcal/h): 202,320 LMTD(°C): 27.13				
LMTDx F(°C): 25.1				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 426.89 Limpio: 1,028.88				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.0006 Tubos: 0.0006				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/T.P (Kg/cm²):	9.9		3.85	
Temp.dis.(°C):	104		55	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII		Placa: No		
Relevo de esfuerzos: No		Radiografía: Por código.		
	No.: 108	Longitud (ft): 10		
TUBOS:	Diam.ext (in): 3/4		BWG: 14.	
	Arreglo: Cuadrado			
CORAZA:	Diam (in): 15.25	Espesor (cm):		
CABEZAL:	Espesor (cm):			
TAPA DE CABEZAL:	Espesor (cm):			
ESPEJOS:	Espesor (cm):		Tipo:	
MAMPARAS:	Colocación: Transversales Espesor (cm):			
	Arreglo (m): 0.1936		% De corte: 25	
Junta de Tuhos a espejo:	Empaque:			

MATERIALES DE CONSTRUCCION:					
Tubos: Acero al carbón.			Coraza: Acero al carbón.		
Cabezal: Acero al carbón.			Tapa de cabezal: Acero al carbón.		
Espejos: Acero al carbón.			Mamparas: Acero al carbón.		
Junta(s):			Empaque:		
Aislamiento: Si: X No:			Tipo: Asbesto.		
BOQUILLAS:					
Servicio:	Ident.	No.	Tamaño (in.)	Clas.ASA	Cara
Agua de Proceso de E-109	A	1	1	150	Realzada
Agua de Proceso a C-103	B	1	1	150	Realzada
C. Agua de Enfriamiento	C	1	1 1/2	150	Realzada
R. Agua de Enfriamiento	D	1	1 1/2	150	Realzada
Drenaje Coraza	01	1	3/4		
Drenaje Tubos	02	1	3/4		

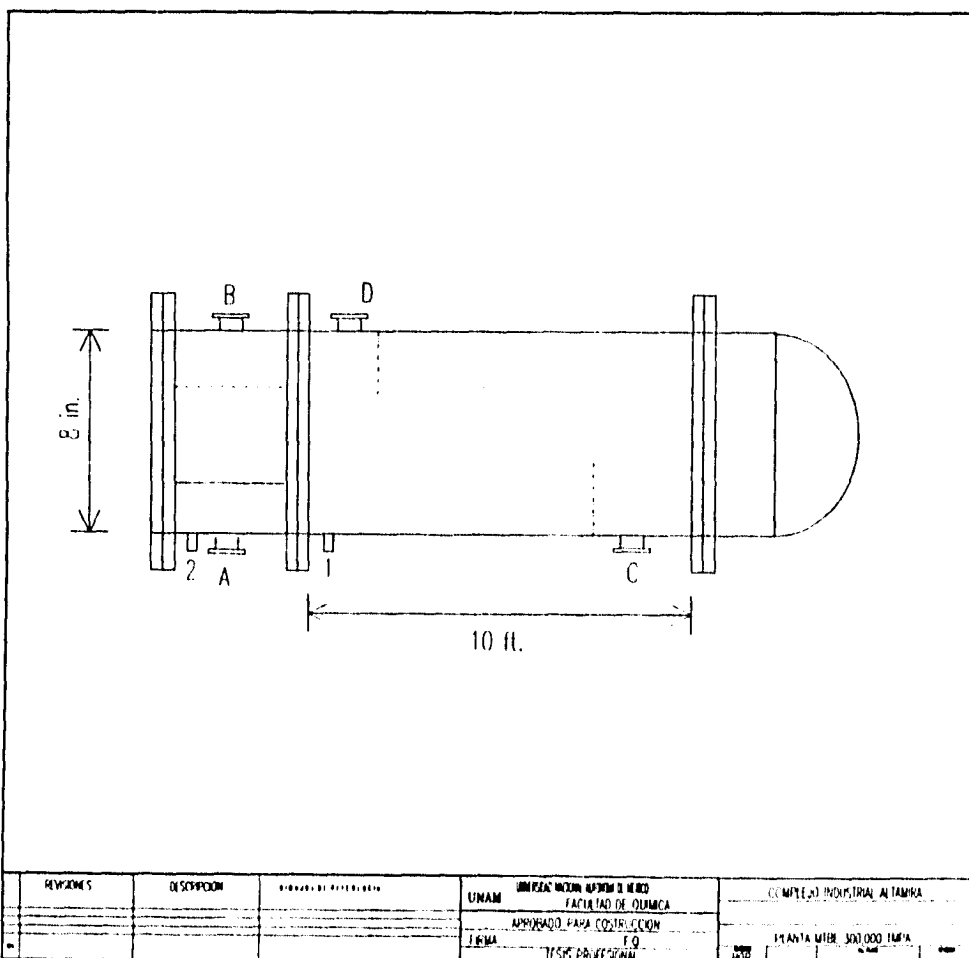


NUMERO	DESCRIPCION	FECHA	UNAM	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA
			UNAM	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA
			AFAGUADO PARA CONSTRUCCION	PLANTA MTEE 300,000 T.M.P.A.
			TESIS PROFESIONAL	

CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-109.				
Servicio: Intercambiador de fondo alimentación de C-103.		Tamaño: Diam(in): 8 Long (ft): 10		
Sup. real/efec(m ²): 3.65/ 3.58		No. de unidades: 1		
Tipo: Coraza y tubos (BEM).		Conectado en:		
Montaje: Horizontal		Cabezal: Removible.		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	Agua de proceso		Metanol-Agua.	
Flujo (kg/h):	3,603		4,450	
Temperatura (°C):	121.9	94	38	62.2
Densidad (Kg/m³):	943.1	961.92	960.74	951.17
Viscosidad (Cp):	0.2374	0.3027	0.6513	0.4400
Cp. (Kcal/Kg°C):	1.0150	1.0070	0.9455	0.9493
K (Kcal/mh°C):	0.5885	0.5876	0.4950	0.5214
λ (Kcal/Kg):				
Peso molecular:	18		19.77	
Presión (Kg/cm²):	9.3		7.8	
ΔP_{Calc} (Kg/cm²):	7.57x10 ⁻²		0.403	
Velocidad (m/s):	0.508		1.436	
Número de pasos:	1		4	
Carga térmica (Kcal/h): 104,040 LMTD(°C): 57.93				
LMTD_x F(°C): 55.61				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 523.07 Limpio: 1,847.57				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.0006 Tubos: 0.0006				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/F.P (Kg/cm²):	10.23		8.58	
Temp.dis.(°C):	131		72.2	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII		Placa: No		
Relevo de esfuerzos: No		Radiografía: Por código.		
	No.: 20		Longitud (ft): 10	
TUBOS:	Diam.ext (in): 3/4		BWG: 14.	
	Arreglo: Cuadrado			
CORAZA:	Diam (in): 8		Espesor (cm):	
CABEZAL:	Espesor (cm):			
TAPA DE CABEZAL:	Espesor (cm):			
ESPEJOS:	Espesor (cm):		Tipo:	
MAMPARAS:	Colocación: Transversales Espesor (cm):			
	Arreglo (m): 0.1016		% De corte: 25	
Junta de Tubos a espejo:	Empaque:			

MATERIALES DE CONSTRUCCION:					
Tubos: Acero al carbón.			Coraza: Acero al carbón.		
Cabezal: Acero al carbón.			Tapa de cabezal: Acero al carbón.		
Espejos: Acero al carbón.			Mamparas: Acero al carbón.		
Junta(s):			Empaque:		
Aislamiento: Si: X No: Tipo: Asbesto.					
BOQUILLAS:					
Servicio:	Ident.	No.	Tamaño (in.)	Clas.ASA	Cara
C. Proceso de C-103	A	1	1 1/2	150	Realzada
C. Proceso a B-104A/B	B	1	1 1/2	150	Realzada
Agua de Proceso de H-105A/B	C	1	1	150	Realzada
Agua de Proceso a E-108	D	1	1	150	Realzada
Drenaje Coraza	01	1	3/4		
Drenaje Tubos	02	1	3/4		

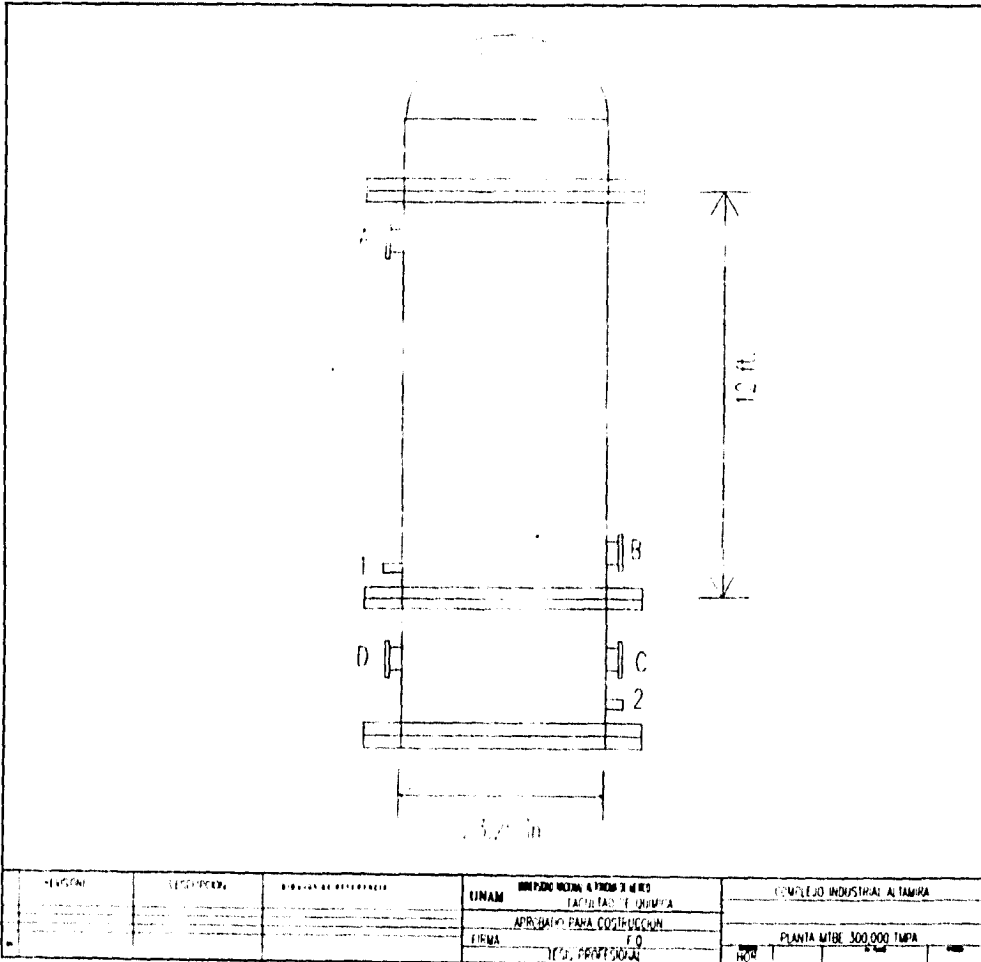


REVISOR	DESCRIPCION	FECHA DE REVISION	UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA
				APROBADO PARA CONSTRUCCION	PLANTA UTEB. 300,000 T.M.P.A.
				FECHA	
				TIPO DE PROYECTO	

CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-110.				
Servicio: Condensador de la columna de Metanol.		Tamaño: Diam(in): 23.25 Long (ft): 12		
Sup. real/efec(m²): 81.14/74.18		No. de unidades: 1		
Tipo: Coraza y tubos (BEM).		Conectado en:		
Montaje: Horizontal		Cabezal: Removible.		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	Metanol		Agua de Enfriamiento	
Flujo (kg/h):	5,981.76		75,983.58	
Temperatura (°C):	78.41	78.41	25	45
Densidad (Kg/m³):	1.9218	785	997.08	990.25
Viscosidad (Cp):	0.01	0.49	0.8937	0.5988
Cp. (Kcal/Kg°C):			0.99892	0.9989
K (Kcal/mh°C):		0.18	0.5184	0.5420
λ (Kcal/Kg):				
Peso molecular:	32		18	
Presión (Kg/cm²):	1.72		3.5	
ΔP_{Calc} (Kg/cm²):	0.333		0.452	
Velocidad (m/s):	19.83		1.396	
Número de pasos:	1		4	
Carga térmica (Kcal/h): 1,519,671.6 LMTD(°C): 42.63				
LMTD_x F(°C):				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 480.59 Limpio: 840.17				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.00012 Tubos: 0.0006				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/T.P (Kg/cm²):	1.892		3.85	
Temp.dis.(°C):	88.41		55	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII		Placa: No		
Relevo de esfuerzos: No		Radiografía: Por código.		
	No.: 352		Longitud (ft): 12	
TUBOS:	Diam.ext (in): 3/4		BWG: 14.	
	Arreglo: Triangular (30°)			
CORAZA:	Diam (in): 23.25		Espesor (cm):	
CABEZAL:	Espesor (cm):			
TAPA DE CABEZAL:	Espesor (cm):			
ESPEJOS:	Espesor (cm):		Tipo:	
MAMPARAS:	Colocación: Transversales Espesor (cm):			
	Arreglo (m):		% De corte: 25	
Junta de Tubos a espejo:	Empaque:			

MATERIALES DE CONSTRUCCION:					
Tubos: Acero al carbón.			Coraza: Acero al carbón.		
Cabezal: Acero al carbón.			Tapa de cabezal: Acero al carbón.		
Espejos: Acero al carbón.			Mamparas: Acero al carbón.		
Junta(s):			Empaque:		
Aislamiento: Si: X No:			Tipo: Asbesto.		
BOQUILLAS:					
Servicio:	Ident.	No.	Tamaño (in.)	Clas.ASA	Cara
C. Proceso de C-104	A	1	8	150	Realzada
C. Proceso a V-105	B	1	1 1/2	150	Realzada
C. Agua de Enfriamiento	C	1	4	150	Realzada
R. Agua de Enfriamiento	D	1	4	150	Realzada
Drenaje Coraza	01	1	3/4		
Drenaje Tubos	02	1	3/4		

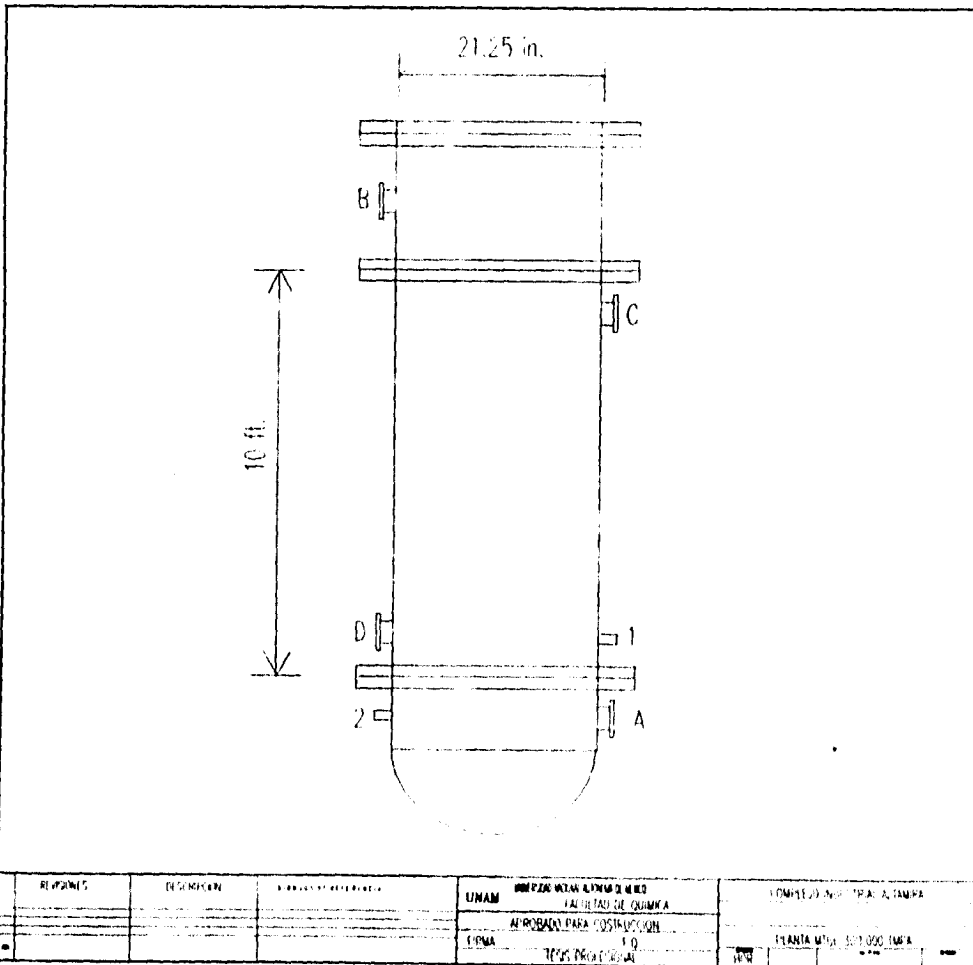


REVISION	DESCRIPCION	FECHA DE REVISION	UNAM	COMPLEJO INDUSTRIAL ATAMPA
			UNIDAD TECNICA Y PROYECTO	
			APROBADO PARA CONSTRUCCION	
			FECHA	PLANTA MTR. 500,000 T.M.P.A.
			YCS, PROYECTO	

CAMBIADORES DE CALOR

Cliente: Facultad de Química. Dirección: Planta productora de MTBE.				
Localización: Mun. de Altamira Tamaulipas. Identificación: E-111.				
Servicio: Rehervidor de la Columna de Metanol.		Tamaño: Diam(in): 21.25 Long (ft): 10		
Sup. real/efec(m ²): 58.52/49.72		No. de unidades: 1		
Tipo: Coraza y tubos (AES).		Conectado en:		
Montaje: Vertical		Cabezal: Removible.		
CONDICIONES DE OPERACION:				
	Coraza:		Tubos:	
	Entrada	Salida:	Entrada	Salida:
Fluido:	Vapor de baja	Condensado	Metanol-Agua	
Flujo (kg/h):	3,193.97	3,193.97	3,566.975	
Temperatura (°C):	147.2	147.2	94	121.7
Densidad (Kg/m³):	2.348	925.54	885	1.045
Viscosidad (Cp):	0.012	0.1398	0.250	0.0107
Cp. (Kcal/Kg°C):	0.4595	1.005	0.6825	
K (Kcal/mh°C):	0.0187	0.4470	0.2973	
λ (Kcal/Kg):	506.68			
Peso molecular:	18		19.64	
Presión (Kg/cm²):	4.5		2.1	
ΔP_{Calc} (Kg/cm²):			0.2528	
Velocidad (m/s):	8.73		1.02	
Número de pasos:	1		1	
Carga térmica (Kcal/h): 1,618,322.4 LMTD(°C): 38.083				
LMTD_x F(°C):				
Coef.de transf.(Kcal/m²h°C): Servicio: 726.14 Limpio: 840.99				
F. incrustación (m²h°C/Kcal): Coraza: 0.0006 Tubos: 0.00012				
DATOS DE DISEÑO MECANICO:				
	Coraza:		Tubos:	
P Des/T.P (Kg/cm²):	4.95		2.31	
Temp.dis.(°C):	157.2		131.7	
Corr. permisible:	Por código.		Por código.	
Codigo: TEMA, ASME VIII		Placa: No		
Relevo de esfuerzos: No		Radiografía: Por código.		
	No.: 277		Longitud (ft): 10	
TUBOS:	Diam.ext (in): 3/4		BWG: 14.	
	Arreglo: Cuadrado.			
CORAZA:	Diam (in): 21.25		Espesor (cm):	
CABEZAL:	Espesor (cm):			
TAPA DE CABEZAL:	Espesor (cm):			
ESPEJOS:	Espesor (cm):		Tipo:	
MAMPARAS:	Colocación: Transversales Espesor (cm):			
	Arreglo (m):		% De corte: 25	
Junta de Tubos a espejo:		Empaque:		

MATERIALES DE CONSTRUCCION:					
Tubos: Acero al carbón.			Coraza: Acero al carbón.		
Cabezal: Acero al carbón.			Tapa de cabezal: Acero al carbón.		
Espejos: Acero al carbón.			Mamparas: Acero al carbón.		
Junta(s):			Empaque:		
Aislamiento: Sí: X No:			Tipo: Asbesto.		
BOQUILLAS:					
Servicio:	Ident.	No.	Tamaño (in.)	Clas.ASA	Cara
C. Proceso de C-104	A	1	2	150	Realzada
Retorno de Vapor a C-104	B	1	4	150	Realzada
Vapor de B.P.	C	1	6	150	Realzada
Condensado de B.P.	D	1	1	150	Realzada
Drenaje Coraza	01	1	3/4		
Drenaje Tubos	02	1	3/4		



REVISIONES	DESCRIPCION	FECHA	UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	COMPLETO: UNAM, TAPPA
				INSTRUMENTOS DE QUIMICA	
				APROBADO PARA CONSTRUCCION	
				FECHA	FECHA

HOJA DE DATOS DEL CONDENSADOR ENFRIADO CON AIRE: (SOLO AIRE)

Cliente: Facultad de Quimica		TAG: E-105
Dirección: Av. Universidad		Fecha: 22/Nov./94
Localización de la planta: Altamira Tam.		Propuesta No.:
Servicio: Condensador de la columna de MTBE.		Cust.Ref.No.:
		Hoja: De:
Area: 34,702.45 ft ²	Tipo:	No. de unidades: 16
Inducido:		
Forzado: ✓		
Superficie externa por equipo: 117.6 ft ²		

PERFORMANCE DATA:		
Lado de tubos:		
FLUIDO:	Butanos-Metanol	T.ENT: 158 °F
FLUJO TOTAL:	11,170.089 lbs./min.	T.SAL: 139.1 °F
VAPOR:		P. ENT: 117.012 psias.
LIQUIDO:	11,170 lbs./min.	DENSIDAD LIQ: 510
VAPOR DE AGUA:		VISCOSIDAD:
NO CONDENSABLES:		VISCOSIDAD:
VAPOR CONDENSADO:		PESO MOLECULAR: 57.13
VAPOR CONDENSADO:		C.P.:
DENSIDAD VAPOR:	0.8284 lb/ft ³	CALOR LATENTE: 170.88 BTU/lb.
CONDUCTIVIDAD:		ΔP. PERMITIDA: 10 psias.
Rd:	0.0045 hr ² °F/BTU	ΔP. DISEÑO: 7 psias
Lado de Aire:		
CANTIDAD AIRE/TOTAL:	122,896.17 lbs./min.	T.ENT: 84 °F
CANTIDAD AIRE /ABANICO:	3840.5 lbs./min.	T.SAL: 125 °F
PRESION ESTATICA ACTUAL:		ALTITUD: Ver Bases de Diseño

CONSTRUCCION:		
P. DISEÑO: 128.71 psias.	P. PRUEBA: 193.06 psias	T. DISEÑO: 198.55 °F
SECCION:	CUBIERTA:	TUBOS:
Tamaño:	Tipo:	Material: Admiralty
No./unidad:	Material:	De. BWG: 18
Aireglo:	No. Pasos: 10	Diámetro exterior: 1 in.
Sección en serie:	Diseño soporte material:	Longitud: 24 ft.
Unidad en serie:	material relleno:	Pitch: 1 in.
Sección del bastidor:	Corrosión permitida: 1/8 in.	Aireglo: Triangular.
Varios	Boquilla interior:	Material: Aluminio Estructurado
Estructura:	Boquilla exterior:	No. de aletas: 8 por pulgada
Tapa:	Rating:	Longitud de aletas: 5/8 in.
Perlsana:	Switch vibracion:	Espesor de aletas: 0.02 in.
	codlgo-ASME- :	

EQUIPO MECANICO:				
ABANICO		ACCIONADOR:		REDUCTOR VELOCIDAD
32 abanicos		Tipo: Motor Eléctrico		Tipo:
No./unidad: 2	BHP/abanico: 20	No./unidad: 2	HP/acccionador:	No./unidad:
Diámetro: 10 ft.	RPM:	RPM:		Modelo:
No. Aspas:	Pitch:	Cerca:		AGMA HP Rating:
Material Aspas:		Especial:		Relación:
Material eje:				

NOTAS:

FILTROS

Cliente: Facultad de Química, UNAM. Clave: F-101A/B a F-104 A/B				
Lugar: Altamira Tamaulipas.		Unidad: MTBE.		
Servicio: Filtros Reactor primario y secundario.				
Fabricante:		No. Requerido: 8		
General	1	2	3	4
Clave/Cantidad	F-101 A/B	F-102 A/B	F-103 A/B	F-104 A/B
Servicio	Filtro de R-101	Filtro de R-101	Filtro de R-102	Filtro de R-102
Línea o Equipo	R-101	E-102	R-102	E-103
Fabricante				
Modelo No.				
Condiciones de servicio				
Fluido	MTBE-Butanos-Butenos-MetanoI			
Flujo (m³/h)	207.24	223.43	121.81	122.8
PM a T.operac.	55.58	67.85	67.85	68.86
Viscosidad a T.operación (cp)	0.2520	0.2427	0.2548	0.2538
Presión de operación (atm)	10.65	10.3	10.65	10.3
Temp. de operación (C)	42	88.5	42	46.6
Caida de presión máx. (atm)	0.3	0.3	0.3	0.3
Condiciones de diseño:				
Presión (atm)/Temp. (C)	11.71/52	11.33/98.5	11.71/52	11.33/56.6
Construcción				
Tipo (simple o doble)	Simple	Simple	Simple	Simple
Tamaño de: Perforación/malla (mm)	0.5	0.5	0.5	0.5
Peso vacío/Operación (Kg)				
Conexiones				
Díametro: Entrada/Salida (in)	10	10	8	8
Tipo de conexión/Cara	Brida / Realzada	Brida / Realzada	Brida / Realzada	Brida / Realzada
Material	Ac. Carbón	Ac. Carbón	Ac. Carbón	Ac. Carbón
Cuerpo/Canasta				
Accesorios				
Válvula de purga				
Válvula derivadora				
Manómetro de P.diferencial				
Observaciones: Diametro de la partícula catalítica: 0.838 mm.				

HOJA DE DATOS (INTERNOS DE REACTORES)

Catalizador	
Tamaño:	0.3-1.2 mm.
Tipo:	Amberlyst 15
Densidad aparente:	0.342 gr/cm ³
Altura del lecho:	
Soporte del catalizador	
Tipo y modelo:	Johnson o similar
Diametro interno:	1500 mm.
Material:	Alúmina
Corrosión permisible:	3 mm.
Distribuidor del líquido	
Tipo y modelo:	Tipo Johnson o similar
Material:	Acero al Carbón.
Corrosión permisible:	3 mm.
Flujo líquido:	Hidrocarburos
Normal:	1.25x10 ⁵ kg/hr.
Máximo:	1.375x10 ⁵ kg/hr.
Mínimo:	
Densidad:	0.60 gr/cm ³ .
Colector	
Tipo y modelo:	Tipo Johnson o similar
Material:	Acero al carbón
Corrosión:	3 mm.
Flujo líquido:	Hidrocarburos
Normal:	1.25x10 ⁵ kg/hr.
Máximo:	1.375x10 ⁵ kg/hr.
Mínimo:	
Densidad:	0.5612 gr/cm ³ .

HOJA DE DATOS (INTERNOS DE REACTORES)

Catalizador	
Tamaño:	0.3-1.2 mm.
Tipo:	Amberlyst 15
Densidad aparente:	0.342 gr/cm ³
Altura del lecho:	
Soporte del catalizador	
Tipo y modelo:	Johnson o similar
Diametro interno:	1000 mm.
Material:	Alúmina
Corrosión permisible:	3 mm.
Distribuidor del líquido	
Tipo y modelo:	Tipo Johnson o similar
Material:	Acero al Carbón.
Corrosión permisible:	3 mm.
Flujo líquido:	Hidrocarburos
Normal:	7.54x10 ⁴ kg/hr.
Máximo:	8.29x10 ⁴ kg/hr.
Mínimo:	
Densidad:	0.61 gr/cm ³ .
Colector	
Tipo y modelo:	Tipo Johnson o similar
Material:	Acero al carbón
Corrosión:	3 mm.
Flujo líquido:	Hidrocarburos
Normal:	7.54x10 ⁴ kg/hr.
Máximo:	8.29x10 ⁴ kg/hr.
Mínimo:	
Densidad:	0.57 gr/cm ³ .

INTERNOS DE TORRES

Cliete: Facultad de Química Destino: Mpo. Altamira Tamps. Servicio: Columna de MTBE	Ident. del equipo: C-102 Unidad: Unidad productora de MTBE.
--	--

PERFIL DE LA CARGA DE VAPOR				
Vapor por plato	Flujo (Kgmol/h)	Densidad (Kg/m ³)	Presión (Kg/cm ²)	Temp. (C)
2	10740	13.16	6.96	80.51
11	8165	11.91	7.018	120.86
21	8401	11.98	7.082	121.88
31	8844	12.05	7.147	123.47
41	9193	12.1	7.211	128.2
51	9763		7.276	129.97
61	10306		7.340	131.61
71	10626		7.405	132.68
81	10750		7.470	133.37
DATOS DE LA TORRE				
Diametro interno (m.)			4.04	
Número de platos en la sección			82	
Espacio entre platos (mm.)			450	
Area activa (m²)			9.8657	
Tipo de elementos activos/ Diametro nominal (mm)			Platos perforados/4.2	
Tipo de bajante			Segmentada	
Area de la bajante (m²)			1.4692	
Claro de la bajante (mm.)			35	
Espesor del plato (mm.)			1.5	
Ancho de la bajante (cm.)			3.5	
Numeracion de los platos			De abajo hacia arriba	
Plato(s) de alimentación			51	
No. Manholes/ Diam. Manhole (in.)			9/24	
Area total de la torre (m²)			12.8041	
			Lateral	Central
Longitud del vertedero (m.)			2.4967	3.9166
Altura del vertedero (cm.)			4	4

	Domo	Fondo
ΔP máxima/plato (Kg/cm²)	0.4137E-2	0.5898E-2
Tiempo de residencia en la bajante (s)	6.758	3.535
% de inundación	47.92	86
ΔP seco (Kg/cm²)	2.29	3.48
ΔP/plato (Kg/cm²)	0.4137E-2	0.5898E-2
Velocidad de inundación (m/s)	0.4091	0.2248

Datos Mecánicos:

Esesor de la cubierta:
Ancho y esesor de anillos de soporte (mm.):
Esesor de la bajante (mm.):
Esesor de los elementos activos (mm.): 1.5

Materiales de construcción:

Cubierta: Acero inoxidable 410.
Anillos de soporte:
Bajante:
Elementos activos:
Tornillos y cerrojos:

INTERNOS DE TORRES

Cliente: Facultad de Química Destino: Mpo. Altamira Tamps. Servicio: Columna de Metanol	Ident. del equipo: C-104 Unidad: Unidad productora de MTBE.
--	--

PERFIL DE LA CARGA DE VAPOR				
Vapor por plato	Flujo (Kgmol/h)	Densidad (Kg/m ³)	Presión (Kg/cm ²)	Temp. (C)
2	683.3	1.92	1.7264	78.91
14	601.8	1.84	1.8027	111.99
15	601.6	1.84	1.8091	112.2
16	601.6	1.85	1.8155	112.34
25	602.1	1.90	1.8727	113.31
26	602.2		1.8791	113.41
27	643.1		1.8855	114.76
55	636.3		2.0256	121.73
56	636.6		2.0700	121.83
DATOS DE LA TORRE				
Diametro interno (m.)			0.75	
Número de platos en la sección			56	
Espacio entre platos (mm.)			25	
Area activa (m²)			0.3357	
Tipo de elementos activos/ Diametro nominal (mm)			Platos perforados/25.4	
Tipo de bajante			Segmentada	
Area de la bajante (m²)			0.0530	
Claro de la bajante (mm.)			3.81	
Espesor del plato (mm.)			1.5	
Ancho de la bajante (cm.)				
Numeracion de los platos			De abajo hacia arriba	
Plato(s) de alimentación			30	
No. Manholes/ Diam. Manhole (in.)			5/24	
Area total de la torre (m²)			21.52	
Longitud del vertedero (m.)			0.5732	Un paso
Altura del vertedero (cm.)			5.08	Un paso

	Domo	Fondo
ΔP máxima/plato (Kg/cm ²)	0.5636E-2	0.745E-2
Tiempo de residencia en la bajante (s)	65.65	6.62
% de inundación	61.5	40.0
ΔP seco (Kg/cm ²)	3.39	1.17
ΔP /plato (Kg/cm ²)	0.5636E-2	0.745E-2
Velocidad de inundación (m/s)	0.6553	0.9686

Datos Mecánicos:

Espesor de la cubierta:
Ancho y espesor de anillos de soporte (mm.):
Espesor de la bajante (mm.):
Espesor de los elementos activos (mm.): l

Materiales de construcción:

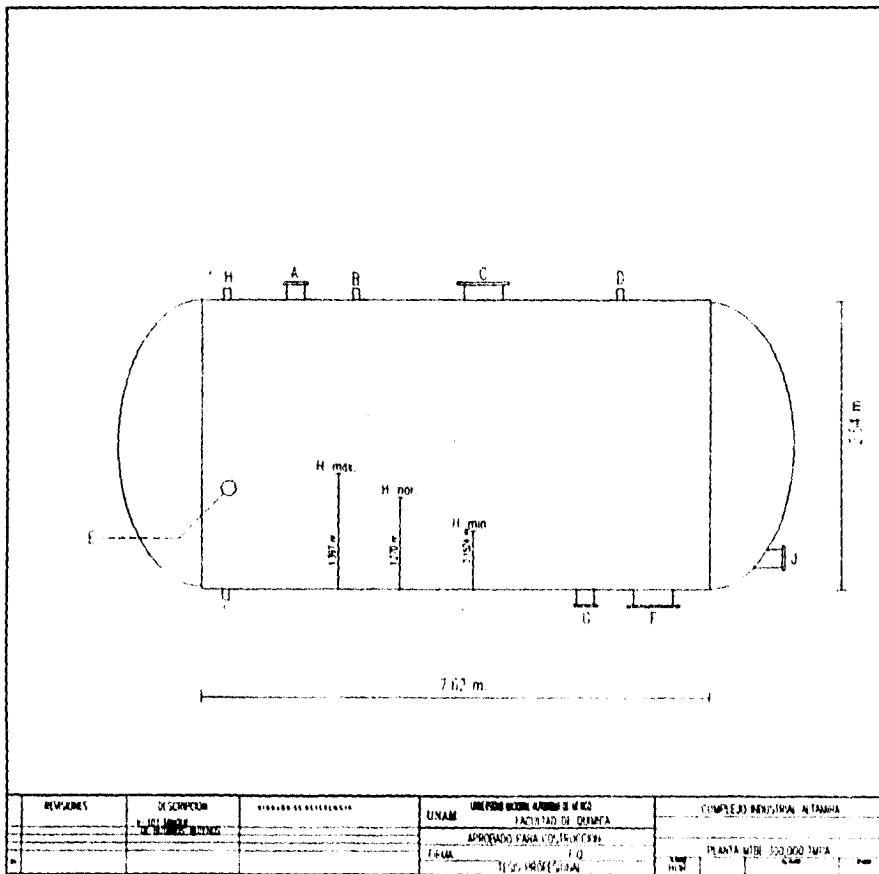
Cubierta: Acero inoxidable 410.
Anillos de soporte:
Bajante:
Elementos activos:
Tornillos y cerrojos:

RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: V-101 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Tanque de Butanos-Butenos.		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: No.; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 4.807 a 38 (C). Pres. de operación (atm): 4.37 a 28 (C). Relieve de esfuerzos: No. Radiografía: Por pntos. Ef. de la junta: Cuerpo: 85% Tapas: 100% Prueba Hidrostática: Si; Neumática: ___ Taller: Si; Campo: ___; Fondo: Si; Domo: Si Corr. perm. (la): Tapas: 1/8 Cuerpo: 1/8 Coeficiente sísmico: 0.08 Anillos, Faldon y base: ___; Siletas: Si Patas: ___; Anillos de aislamiento: No. Peacante superior: No. Pintura: Si. Prep. superficie para pintura: Según especificación.	Altura total (m): 7.62 ; Sileta (m.): 2.0 Diámetro interno (m): 2.54 Sup./Inf.: Producto: Isobutano, Isobuteno. Letal: Ligeramente tóxico. Densidad del producto (Kg/m ³): 562.6 Volúmen total (m ³): 29.975 Espesor cuerpo (m): ; Tapas: Altura del empaque (m): No. de platos: Nivel de operación (m): Nivel mínimo de op. desde la base (m):	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-1	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
A	1	6	150 realzada	forjado	Alimentación
B	1	3/4	realzada	forjado	Medidor de presión
C, F	2	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
D	1	4	realzada	forjado	Desfogue
E	1	3/4	realzada	forjado	Indicador de nivel
G	1	6	150 realzada	forjado	Corriente de Salida
H, I	2	3/4	realzada	forjado	Transmisor de nivel
J	1	2	realzada	forjado	Drenado

CROQUIS DEL RECIPIENTE:

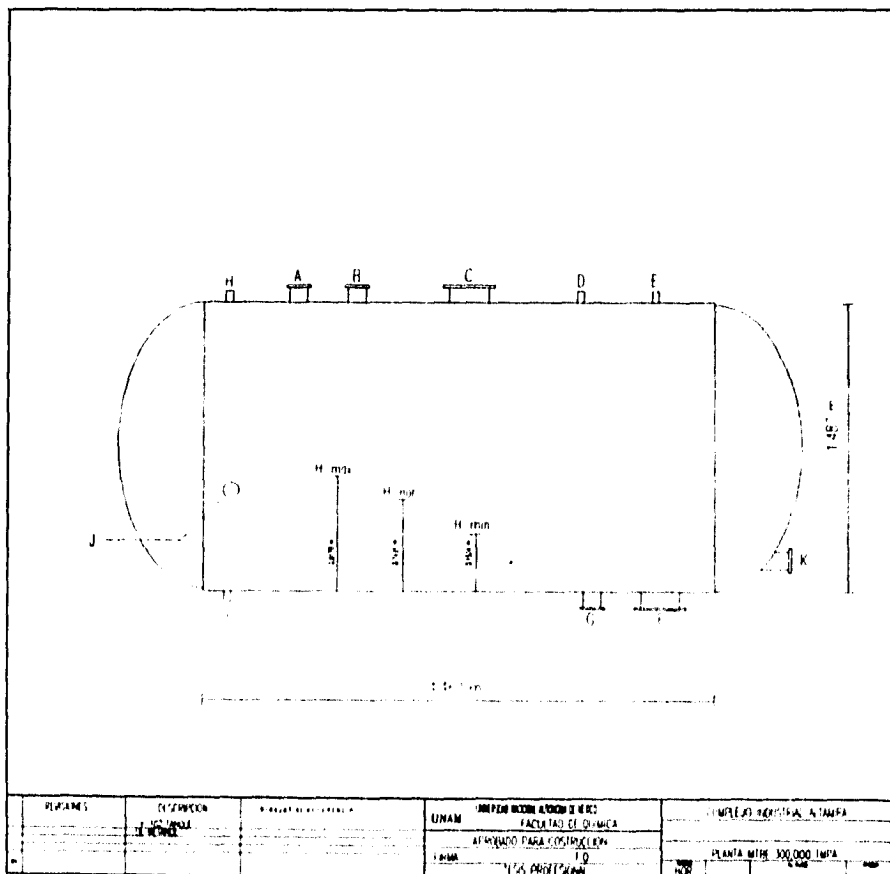


RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: V-102 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Tanque de recirculación de Metanol.		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: <u>No.</u> ; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 3.41 a 38 (C). Pres. de operación (atm): 3.1 a 28 (C). Relieve de esfuerzos: <u>No.</u> Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: Cuerpo: <u>85%</u> Tapas: <u>100%</u> Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: <u>___</u> Taller: <u>Si</u> ; Campo: <u>___</u> ; Fondo: <u>Si</u> ; Domo: <u>Si</u> Corr. perm. (ln): Tapas: <u>1/8</u> Cuerpo: <u>1/8</u> Coeficiente sísmico: <u>0.08</u> Anillos, Faldón y base: <u>___</u> ; Silletas: <u>Si</u> Patas: <u>___</u> ; Anillos de aislamiento: <u>No.</u> Pescante superior: <u>No.</u> Pintura: <u>Si.</u> Prep. superficie para pintura: <u>Según especificación.</u>	Altura total (m): 4.462 Silleta (m.): 2.0 Diámetro interno (m): 1.487 Sup./Inf.: Producto: Metanol Letal: Moderadamente Tóxico e irritante. Densidad del producto (Kg/m ³): 778 Volumen total (m ³): 4.178 Espesor cuerpo (m): ; Tapas: Altura del empaque (m): No. de platos: Nivel de operación (m): Nivel mínimo de op. desde la base (m):	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-I	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
A	1	2	150 realzada	forjado	Alimentación
B	1	1	150 realzada	forjado	Alimentación
C, F	2	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
D	1	4	realzada	forjado	Desfogue
E	1	3/4	realzada	forjado	Medidor de Presión
G	1	2	150 realzada	forjado	Corriente de Salida
H, I	2	3/4	realzada	forjado	Transmisor de nivel
J	1	3/4	realzada	forjado	Indicador de nivel
K	1	2	realzada	forjado	Drenado

CROQUIS DEL RECIPIENTE:



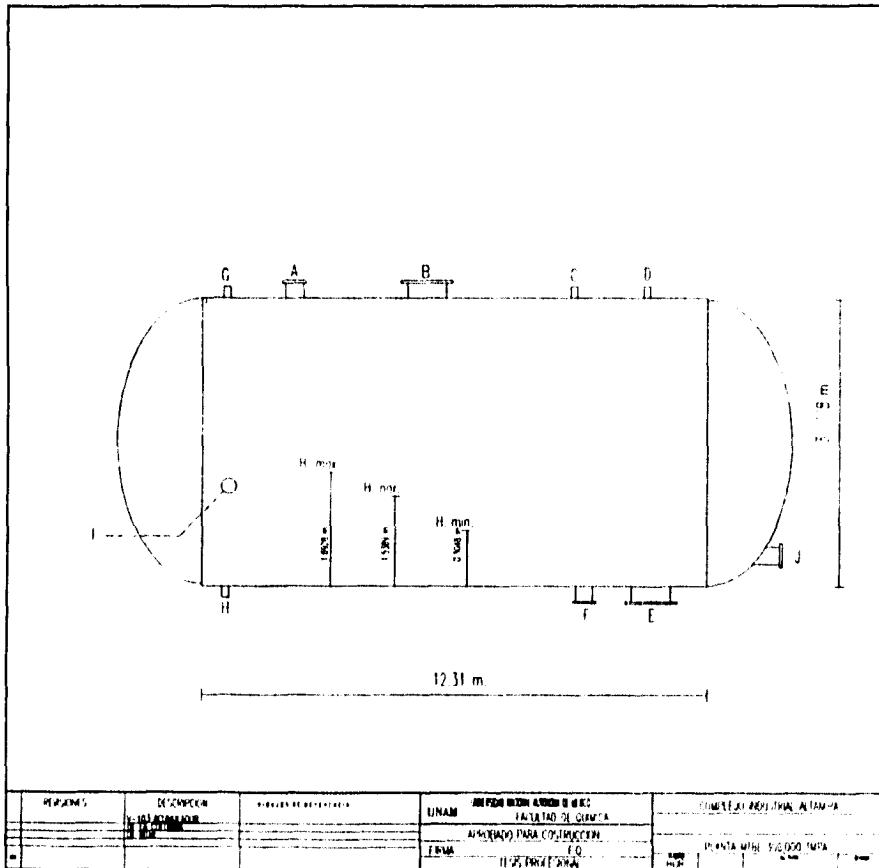
PLANTAS	SECCIONES	PROYECTOS	UNAM	INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDIOS Y INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS	INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDIOS Y INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
				PLANTA N° 300 000 IMPA	

RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: V-103 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Tanque acumulador de la columna de MTBE		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: <u>No.</u> ; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 8.756 a 62.1 (C). Pres. de operación (atm): 7.96 a 52.1 (C). Relevo de esfuerzos: <u>No.</u> Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: <u>Cuerpo: 85%</u> <u>Tapas: 100%</u> Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: <u>___</u> Taller: <u>Si</u> ; Campo: <u>___</u> ; Fondo: <u>Si</u> ; Domo: <u>Si</u> Corr. perm. (ln): <u>Tapas: 1/8</u> <u>Cuerpo: 1/8</u> Coeficiente sísmico: <u>0.08</u> Anillos, Faldon y base: <u>___</u> ; Silletas: <u>Si</u> Patas: <u>___</u> ; Anillos de aislamiento: <u>No.</u> Pescante superior: <u>No.</u> Pintura: <u>Si</u> . Prep. superficie para pintura: <u>Según especificación.</u>	Altura total (m): 12.31 Silleta (m.): 2.0 Diámetro interno (m): 3.0778 Sup./Inf.: Producto: Metanol, Isobutano. Letal: Moderadamente tóxico. Densidad del producto (Kg/m ³): 512.8 Volumen total (m ³): 49.4 Espesor cuerpo (m): <u>___</u> ; Tapas: Altura del empaque (m): No. de platos: Nivel de operación (m): Nivel mínimo de op. desde la base (m):	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-1	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
A	1	12	150 realzada	forjado	Alimentacion
B, E	2	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
C	1	3/4	realzada	forjado	Medidor de Presión
D	1	4	realzada	forjado	Desfogue
F	1	12	150 realzada	forjado	Corriente de Salida
G, H	2	3/4	realzada	forjado	Transmisor de nivel
I	1	3/4	realzada	forjado	Indicador de nivel
J	1	2	realzada	forjado	Drenado

CROQUIS DEL RECIPIENTE



RECIPIENTES A PRESIÓN:

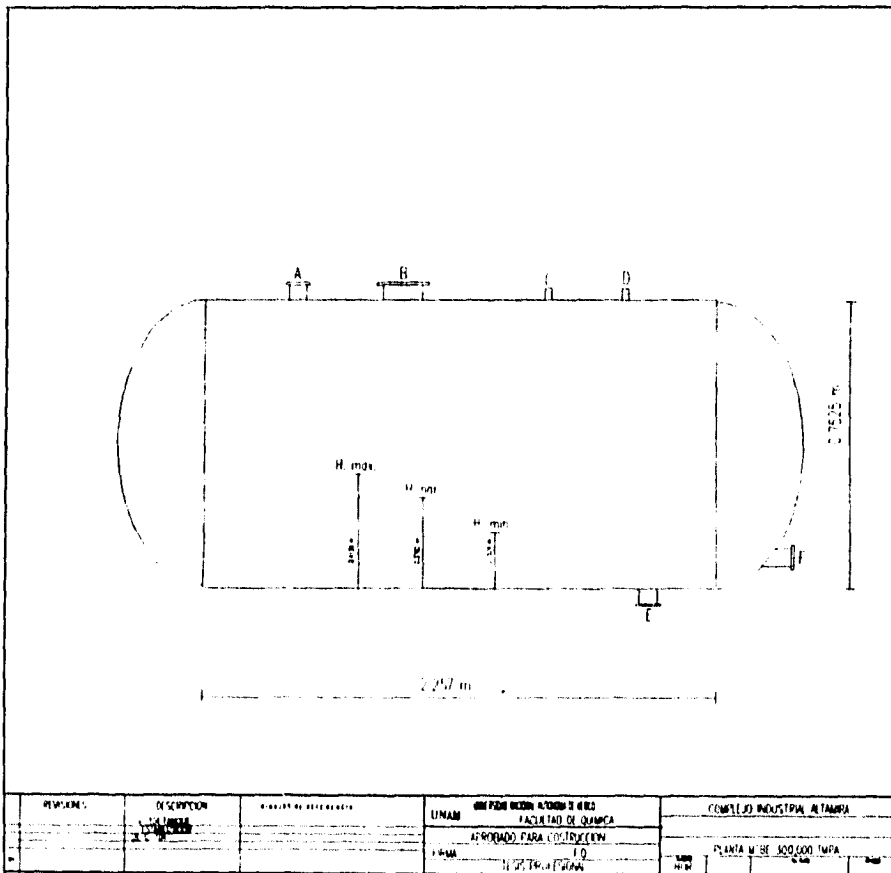
Cliente: Facultad de Química E.P: V-104 Cantidad: 1		
Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas.		
Unidad: MTBE Servicio: Tanque estabilizador de C-103		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: No.; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 2.64 a 72.2 (C). Pres. de operación (atm): 2.4 a 62.2 (C). Relieve de esfuerzos: No. Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: Cuerpo: 85% Tapas: 100% Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: ___ Taller: <u>Si</u> ; Campo: ___; Fondo: <u>Si</u> ; Domo: <u>Si</u> Corr. perm. (ln): Tapas: 1/8 Cuerpo: 1/8 Coefficiente sísmico: 0.08 Anillos, Faldón y base: ___; Silletas: <u>Si</u> Patas: ___; Anillos de aislamiento: <u>No.</u> Pescante superior: <u>No.</u> Pintura: <u>Si.</u> Prep. superficie para pintura: Según especificación.	Altura total (m): 2.257 Silleta (m.): 2.0 Díametro interno (m): 0.7525 Sup./Inf.: Producto: Metanol, Agua. Letal: Moderadamente tóxico Densidad del producto (Kg/m³): 900.7 Volumen total (m³): 0.4124 Espesor cuerpo (m): ___; Tapas: Altura del empaque (m): No. de platos: Nivel de operación (m): Nivel mínimo de op. desde la base (m):	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-I	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: V-104 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Tanque estabilizador de C-103		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: <u>No.</u> ; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 2.64 a 72.2 (C). Pres. de operación (atm): 2.4 a 62.2 (C). Relevé de esfuerzos: <u>No.</u> Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: Cuerpo: 85% Tapas: 100% Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: <u>___</u> Taller: <u>Si</u> ; Campo: <u>___</u> ; Fondo: <u>Si</u> ; Domo: <u>Si</u> Corr. perm. (in): Tapas: 1/8 Cuerpo: 1/8 Coeficiente sísmico: <u>0.08</u> Anillos, Faldón y base: <u>___</u> ; Silletas: <u>Si</u> Patas: <u>___</u> ; Anillos de aislamiento: <u>No.</u> Pescante superior: <u>No.</u> Pintura: <u>Si</u> . Prep. superficie para pintura: <u>Según especificación.</u>	Altura total (m): 2.257 Silleta (m.): 2.0 Diámetro interno (m): 0.7525 Sup./Inf.: Producto: Metanol, Agua. Letal: Moderadamente tóxico Densidad del producto (Kg/m ³): 900.7 Volumen total (m ³): 0.4124 Espesor cuerpo (m): ; Tapas: Altura del empaque (m): No. de platos: Nivel de operación (m): Nivel mínimo de op. desde la base (m):	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-I	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
A	1	1 1/2	150 realzada	forjado	Alimentación
B	1	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
C	1	3/4	realzada	forjado	Medidor de Presión
D	1	4	realzada	forjado	Desfogue
E	1	1 1/2	150 realzada	forjado	Corriente de Salida
F	1	2	realzada	forjado	Drenado

CROQUIS DEL RECIPIENTE:



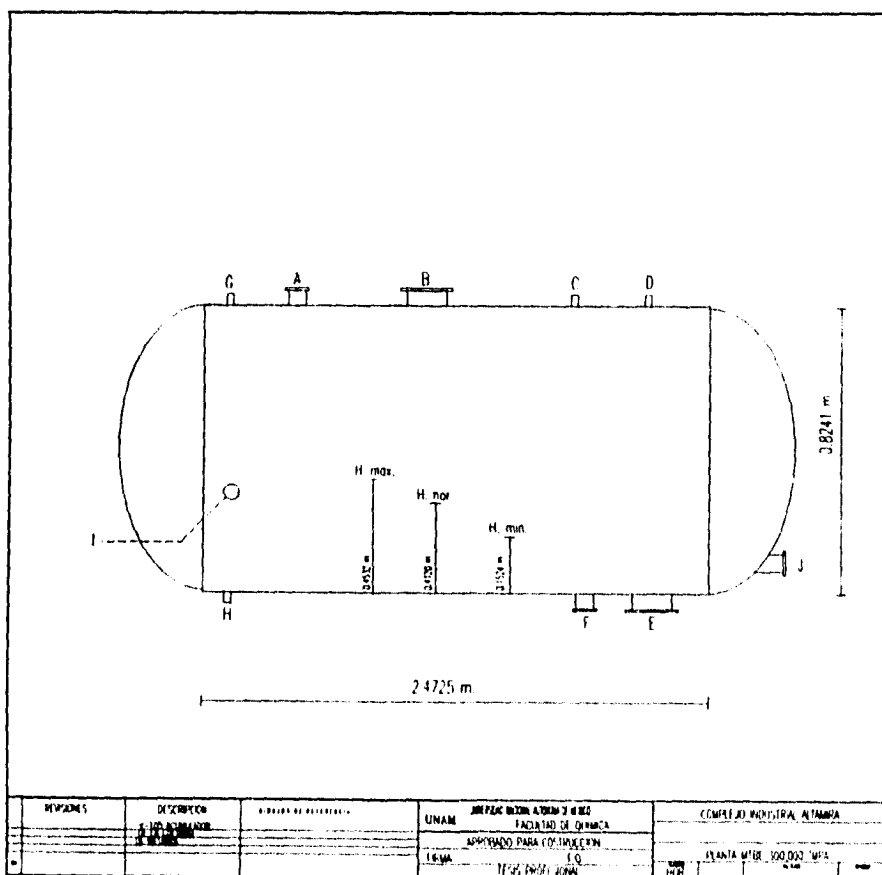
PROYECTO:	DESCRIPCION:	FECHA DE ELABORACION:	UNAM	COMPLEJO INDUSTRIAL ATAMPA
	PLANTA M. SE. 300,000 T.M.P.A.		AFRODADO PARA CONSTRUCCION	
			PLANTA M. SE. 300,000 T.M.P.A.	

RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: V-105 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Tanque acumulador de la columna de Metanol		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: <u>No.</u> ; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 1.892 a 89.5 (C). Pres. de operación (atm): 1.72 a 79.5 (C). Relievo de esfuerzos: <u>No.</u> Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: Cuerpo: 85% Tapas: 100% Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: <u>---</u> Taller: <u>Si</u> ; Campo: <u>---</u> ; Fondo: <u>Si</u> ; Domo: <u>Si</u> Corr. perm. (in): Tapas: 1/8. Cuerpo: 1/8 Coeficiente sísmico: 0.08 Anillos, Faldas y base: <u>---</u> ; Silletas: <u>Si</u> Patas: <u>---</u> ; Anillos de aislamiento: <u>No.</u> Pescante superior: <u>No.</u> Pintura: <u>Si.</u> Prep. superficie para pintura: <u>Según especificación.</u>	Altura total (m): 2.4725 Silleta (m.): 2.0 Diámetro interno (m): 0.8241 Sup./Inf.: Producto: Metanol Letal: Moderadamente tóxico. Densidad del producto (Kg/m ³): 717.7 Volumen total (m ³): 0.5987 Espesor cuerpo (m): ; Tapas: Altura del empaque (m): No. de platos: Nivel de operación (m): Nivel mínimo de op. desde la base (m):	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-1	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
A	1	1 1/2	150 realzada	forjado	Alimentación
B, E	2	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
C	1	3/4	realzada	forjado	Medidor de Presión
D	1	4	realzada	forjado	Desfogue
F	1	1 1/2	150 realzada	forjado	Corriente de Salida
G, H	2	3/4	realzada	forjado	Transmisor de nivel
I	1	3/4	realzada	forjado	Indicador de nivel
J	1	2	realzada	forjado	Drenado

CROQUIS DEL RECIPIENTE:

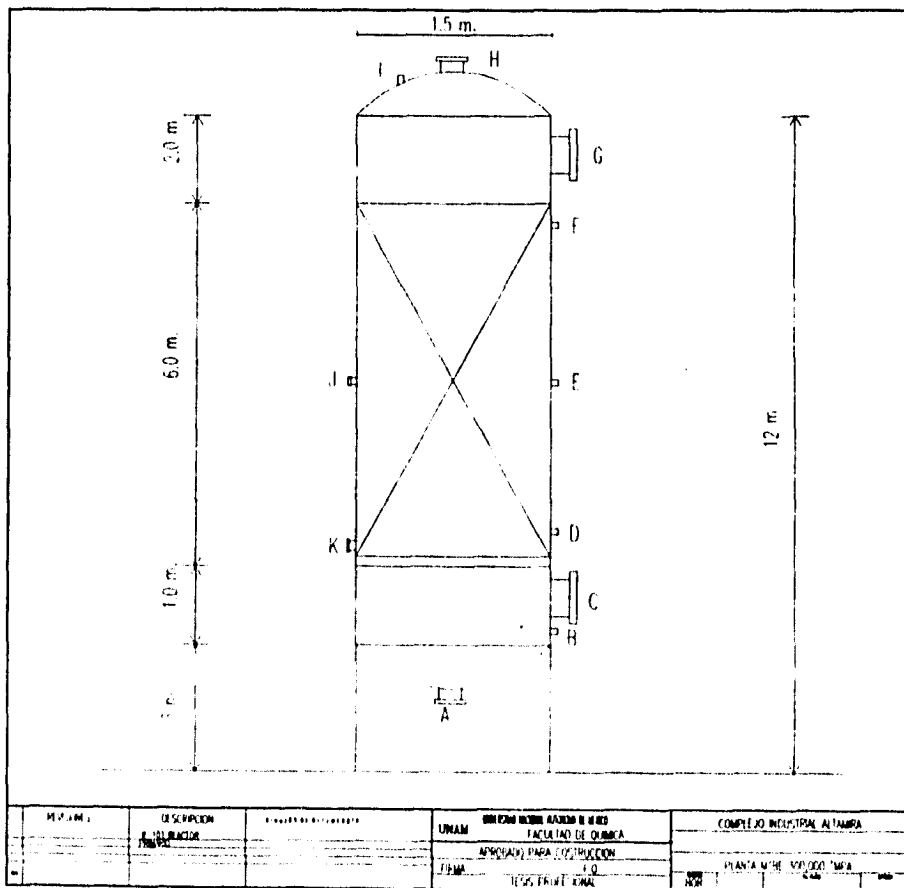


RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: R-101 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Reactor primario.		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: <u>No.</u> ; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 11.715 a 52 (C). Pres. de operación (atm): 10.65 a 42 (C). Relieve de esfuerzos: <u>No.</u> Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: <u>Cuerpo: 85% Tapas: 100%</u> Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: <u>___</u> Taller: <u>Si</u> ; Campo: <u>___</u> ; Fondo: <u>Si</u> ; Domo: <u>Si</u> Corr. perm. (ln): <u>Tapas: 1/8 Cuerpo: 1/8</u> Coeficiente sísmico: <u>0.08</u> Anillos, Faldon y base: <u>___</u> ; Silletas: <u>Si</u> Patas: <u>___</u> ; Anillos de aislamiento: <u>No.</u> Pescante superior: <u>No.</u> Platura: <u>Si.</u> Prep. superficie para platura: <u>Según especificación.</u>	Altura total (m): <u>9.0</u> Faldon (m.): <u>3.0</u> Diámetro interno (m): <u>1.5</u> Sup./Inf.: Producto: <u>MTBE, Metanol, Butanos-Butenos.</u> Letal: <u>No.</u> Densidad del producto (Kg/m ³): <u>561.2</u> Volumen total (m ³): <u>15.90</u> Espesor cuerpo (m): <u>___</u> ; Tapas: Altura del empaque (m): <u>6.0</u> No. de platos: Nivel de operación (m): Nivel mínimo de op. desde la base (m):	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-I	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
A	1	8	150 realzada	forjado	Alimentación
B	1	2	realzada	forjado	Drenado
C, G	2	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
D, E, F	3	3/4	realzada	forjado	Medidor de Temp.
H	1	8	150 realzada	forjado	Corriente de Salida
I	1	4	realzada	forjado	Desfogue
J	1	2	realzada	forjado	Muestra de cat.
K	1	6	realzada	forjado	Descarga de cat.

CROQUIS DEL RECIPIENTE

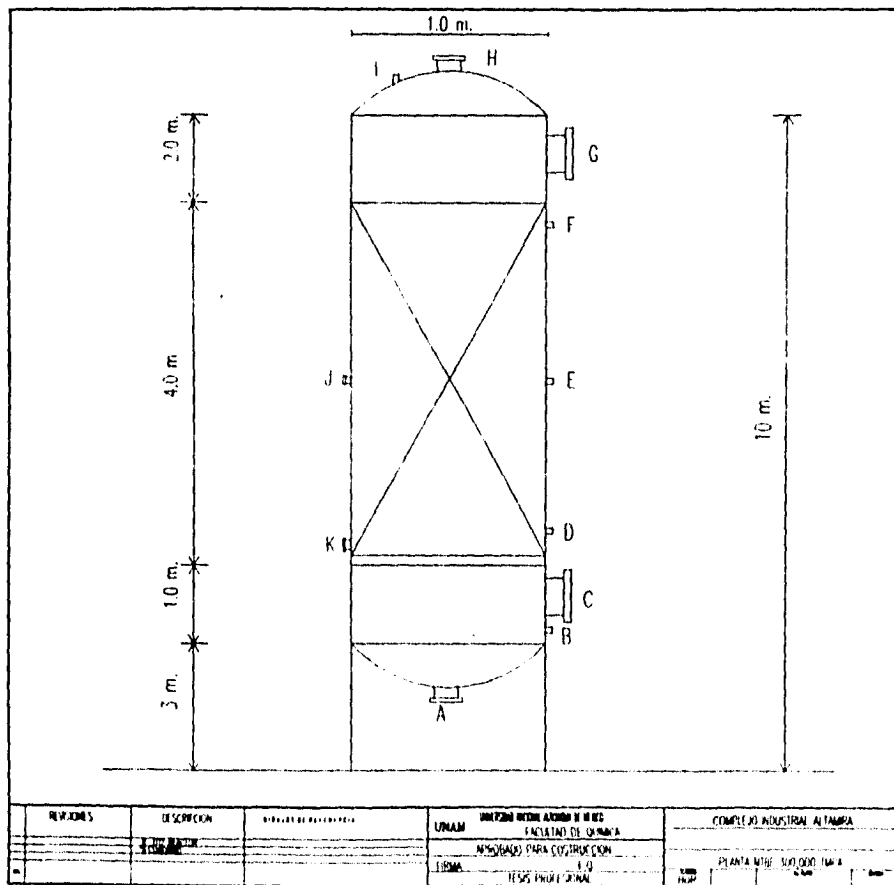


RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: R-102 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Reactor secundario.		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: <u>No.</u> ; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 11.715 a 52 (C). Pres. de operación (atm): 10.65 a 42 (C). Relevo de esfuerzos: <u>No.</u> Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: Cuerpo: 85% Tapas: 100% Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: <u> </u> Taller: <u>Si</u> ; Campo: <u> </u> ; Fondo: <u>Si</u> ; Dono: <u>Si</u> Corr. perm. (in): Tapas: <u>1/8</u> Cuerpo: <u>1/8</u> Coeficiente sísmico: <u>0.08</u> Anillos, Faldon y base: <u> </u> ; Silletas: <u>Si</u> Patas: <u> </u> ; Anillos de aislamiento: <u>No.</u> Pescante superior: <u>No.</u> Pintura: <u>Si</u> . Prep. superficie para pintura: <u>Según especificación.</u>	Altura total (m): <u>7.0</u> Faldon (m.): <u>3.0</u> Diámetro interno (m): <u>1.0</u> Sup./Inf.: Producto: MTBE, Metanol, Butanos-Butenos. Letal: <u>No.</u> Densidad del producto (Kg/m ³): <u>570</u> Volúmen total (m ³): <u>5.4977</u> Espesor cuerpo (m): <u> </u> ; Tapas: Altura del empaque (m): <u>4.0</u> No. de platos: Nivel de operación (m): Nivel mínimo de op. desde la base (m):	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-I	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
A	1	6	150 realzada	forjado	Alimentación
B	1	2	realzada	forjado	Drenado
C, G	2	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
D, E, F	3	3/4	realzada	forjado	Medidor de Temp.
H	1	6	150 realzada	forjado	Salida
I	1	4	realzada	forjado	Desfogue
J	1	2	realzada	forjado	Muestra de cat.
K	1	6	realzada	forjado	Descarga de cat.

CROQUIS DEL RECIPIENTE



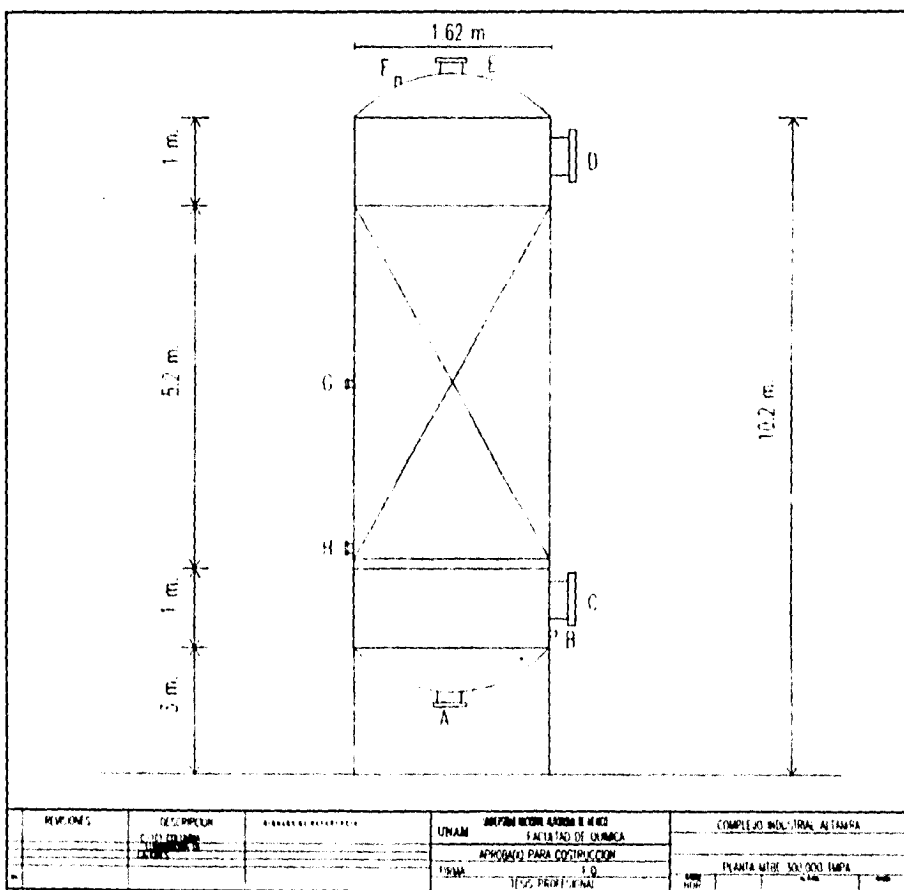
REVISIONES	DESCRIPCION	FECHA DE REVISIONES	UNIDAD TECNICA	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMBA
			UNIDAD TECNICA	
			PROYECTO PARA CONSTRUCCION	
			FECHA	PLANTA N° 100.000.100.4
			RESUMEN GENERAL	

RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: C-101 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Columna eliminadora de cationes.		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: <u>No.</u> ; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 4.95 a 38 (C). Pres. de operación (atm): 4.5 a 28 (C). Relevé de esfuerzos: <u>No.</u> Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: Cuerpo: 85% Tapas: 100% Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: <u>---</u> Taller: <u>---</u> ; Campo: <u>Si</u> ; Fondo: <u>Si</u> ; Domo: <u>Si</u> Corr. perm. (in): Tapas: 1/8. Cuerpo: 1/8 Coeficiente sísmico: 0.08 Anillos, Faldon y base: <u>Si</u> ; Silletas: <u>---</u> Patas: <u>---</u> ; Anillos de aislamiento: <u>---</u> Pescante superior: <u>Si</u> . Pintura: <u>Si</u> . Prep. superficie para pintura: <u>Según especificación.</u>	Altura total (m): <u>7.2</u> ; Faldon (m): <u>3.0</u> Diametro interno (m): <u>1.62</u> Sup./Inf.: Producto: Metanol-Butanos-Butenos. Letal: Moderadamente tóxico. Densidad del producto (Kg/m ³): <u>780</u> Volúmen total (m ³): <u>14.84</u> Espesor cuerpo (m): <u>---</u> ; Tapas: Altura del empaque (m): <u>5.2</u> No. de platos: Nivel de operación (mm.): <u>914</u> . Nivel mínimo de op. desde la base (mm.): <u>152</u> .	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-I	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
A	1	6	150 realzada	forjado	Alimentación
B	1	2	realzada	forjado	Drenado
C, D	2	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
E	1	6	150 realzada	forjado	Corriente de salida
F	1	4	realzada	forjado	Desfogue
G	1	2	realzada	forjado	Descarga de resina
H	1	4	realzada	forjado	Descarga de resina

CROQUIS DEL RECIPIENTE:

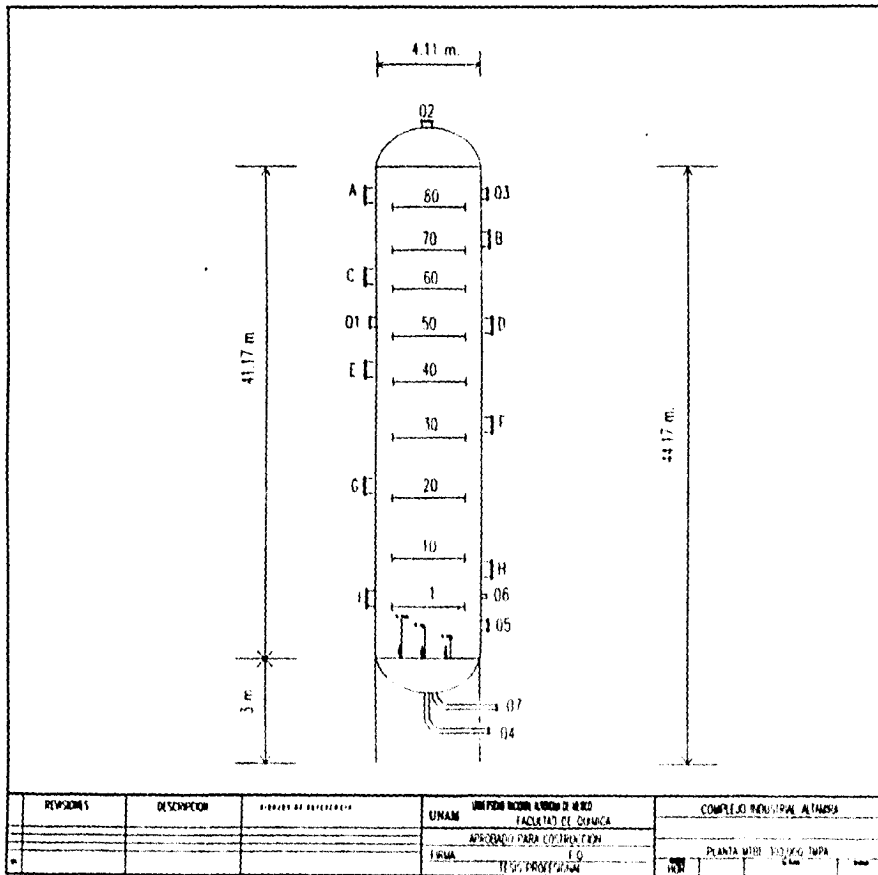


RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: C-102 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Columna de MTBE.		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: <u>No.</u> ; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 11.33 a 87.3 (C). Pres. de operación (atm): 10.3 a 77.3 (C). Relievo de esfuerzos: <u>No.</u> Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: <u>Cuerpo: 85% Tapas: 100%</u> Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: <u>—</u> Taller: <u>—</u> ; Campo: <u>Si</u> ; Fondo: <u>Si</u> ; Domo: <u>Si</u> Corr. perm. (in): <u>Tapas: 1/8. Cuerpo: 1/8</u> Coeficiente sísmico: <u>0.08</u> Anillos, Faldón y base: <u>Si</u> ; Silletas: <u>—</u> Patas: <u>—</u> ; Anillos de aislamiento: <u>—</u> Pescante superior: <u>Si</u> . Pintura: <u>Si</u> Prep. superficie para pintura: <u>Según especificación.</u>	Altura total (m): <u>41.17</u> ; Faldón (m): <u>3.0</u> Diámetro interno (m): <u>4.11</u> Sup./Inf.: Producto: MTBE. Letal: <u>No.</u> Densidad del producto (Kg/m ³): <u>601.9</u> Volúmen total (m ³): <u>546.2</u> Espesor cuerpo (m): <u>—</u> ; Tapas: Altura del empaque (m): No. de platos: <u>82</u> Nivel de operación (mm.): <u>2055</u> Nivel mínimo de op. desde la base (mm.): <u>152</u> . DATOS DE DISEÑO Y FAB. DE PLATOS: Tipo de platos: <u>Doble paso.</u> Tipo de instalación: De abajo hacia arriba. Los anillos, soportes, platos, bajantes y vertederos, serán diseñados, instalados, y suministrados por: <u>El Fabricante.</u>	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-1	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
A,B,C,D, E,F,G,H,I	9	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
01	1	6	150 realzada	forjado	Alimentación
02	1	16	150 realzada	forjado	Salida de vapor
03	1	10	150 realzada	forjado	Reflujo
04	1	12	150 realzada	forjado	A E-106
05	1	16	150 realzada	forjado	Reflujo de E-106
06	1	3/4	realzada	forjado	Medidor de Temp.
07	1	2	realzada	forjado	Drenado

CROQUIS DEL RECIPIENTE:

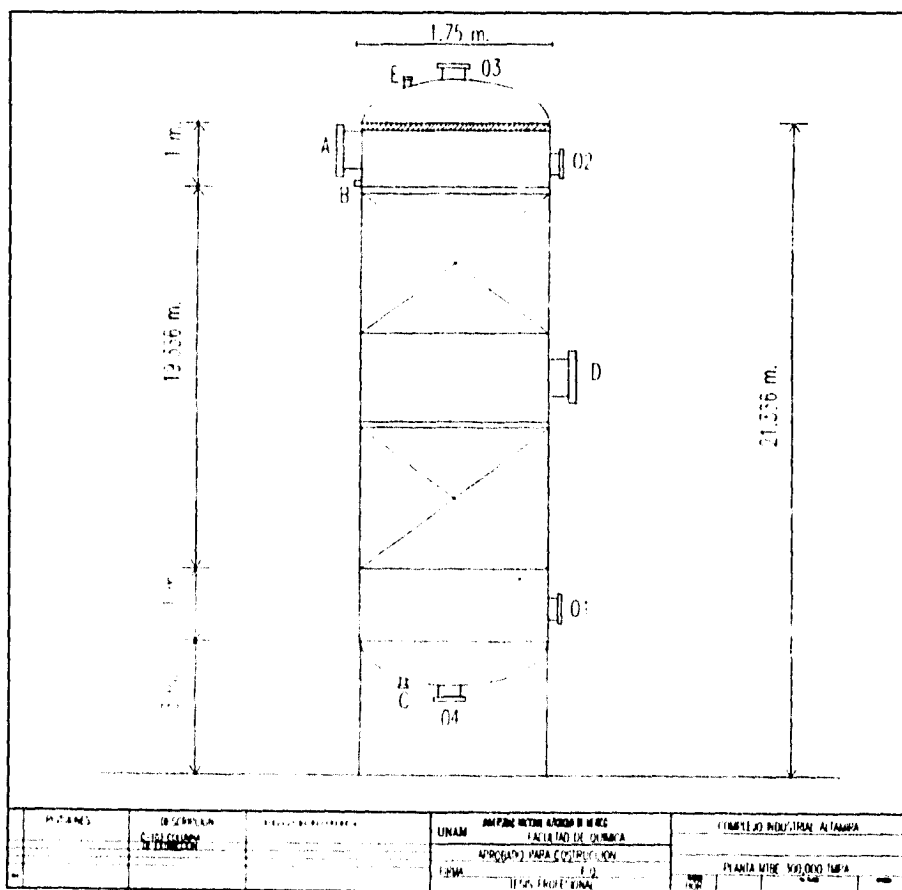


RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: C-103 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Columna de Extracción de Metanol.		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: <u>No.</u> ; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 8.91 a 48 (C). Pres. de operación (atm): 8.1 a 38 (C). Relevo de esfuerzos: <u>No.</u> Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: <u>Cuerpo: 85% Tapas: 100%</u> Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: <u>---</u> Taller: <u>---</u> ; Campo: <u>Si</u> ; Fondo: <u>Si</u> ; Domo: <u>Si</u> Corr. perm. (in): <u>Tapas: 1/8. Cuerpo: 1/8</u> Coeficiente sísmico: <u>0.08</u> Anillos, Faldon y base: <u>Si</u> ; Silletas: <u>---</u> Patas: <u>---</u> ; Anillos de aislamiento: <u>---</u> Pescante superior: <u>Si</u> . Pintura: <u>Si</u> . Prep. superficie para pintura: <u>Según especificación.</u>	Altura total (m): <u>21.336</u> ; Faldon (m): <u>3.0</u> Diámetro Interno (m): <u>1.75</u> Sup./Inf.: Producto: Metanol-Agua-Butanos. Letal: Moderadamente tóxico. Densidad del producto (Kg/m ³): <u>540</u> Volúmen total (m ³): <u>51.319</u> Espesor cuerpo (m): <u>---</u> ; Tapas: Altura del empaque (m): <u>18.28</u> No. de platos: Nivel de operación (mm.): <u>914</u> . Nivel mínimo de op. desde la base (mm.): <u>152</u> .	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-I	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
01	1	4	150 realzada	forjado	Alimentación MeOH-Hidr.
02	1	1	150 realzada	forjado	Alimentación agua
03	1	4	150 realzada	forjado	Salida de refinado
04	1	1 1/2	150 realzada	forjado	Salida MeOH-Agua
A, D	2	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
B	1	3/4	realzada	forjado	Control de nivel
C	1	2	realzada	forjado	Drenado
E	1	4	realzada	forjado	Desfogue

CROQUIS DEL RECIPIENTE:

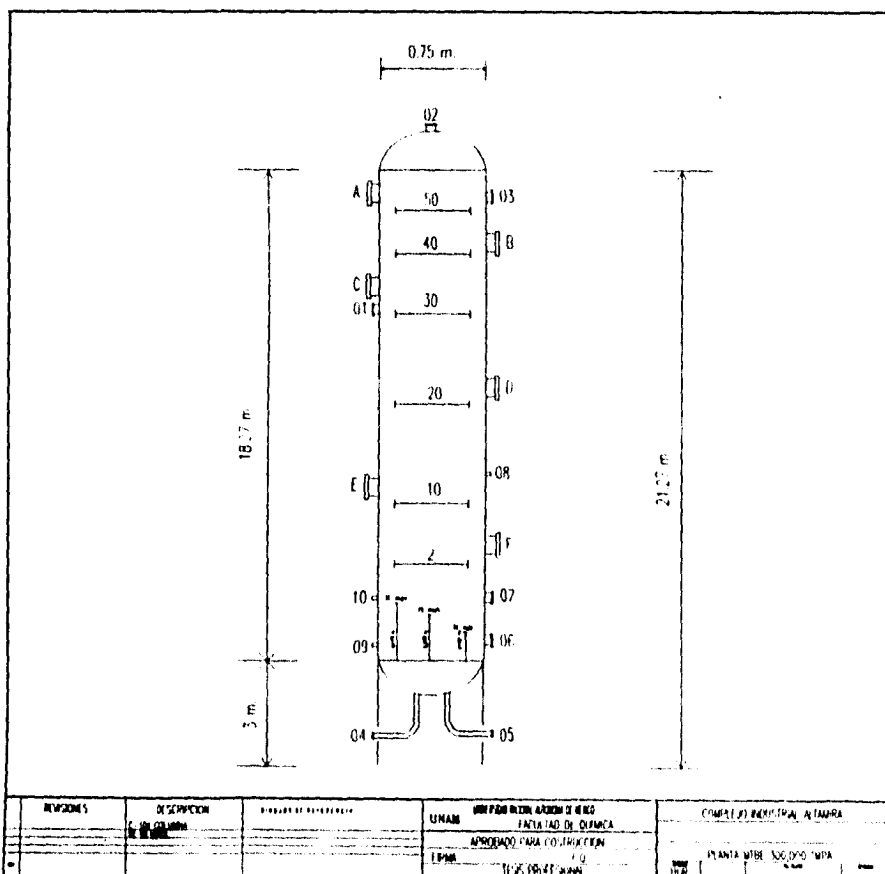


RECIPIENTES A PRESIÓN:

Cliente: Facultad de Química E.P: C-104 Cantidad: 1 Lugar: Complejo Industrial Altamira Tamaulipas. Unidad: MTBE Servicio: Columna de Metanol.		
DATOS: DISEÑO Y FABRICACION:	DIMENSIONES APROXIMADAS:	
Construcción de acuerdo con la última edición del código ASME y ADENDUMS: Otros códigos: <u>No.</u> ; Símbolo de código: Presión de diseño (atm): 2.64 a 104 (C). Pres. de operación (atm): 2.4 a 94 (C). Relevé de esfuerzos: <u>No.</u> Radiografía: <u>Por puntos.</u> Ef. de la junta: Cuerpo: <u>85%</u> Tapas: <u>100%</u> Prueba Hidrostática: <u>Si</u> ; Neumática: <u>—</u> Taller: <u>—</u> ; Campo: <u>Si</u> ; Fondo: <u>Si</u> ; Domo: <u>Si</u> Corr. perm. (In): Tapas: <u>1/8</u> Cuerpo: <u>1/8</u> Coeficiente sísmico: <u>0.08</u> Anillos, Faldón y base: <u>Si</u> ; Silletas: <u>—</u> Patas: <u>—</u> ; Anillos de aislamiento: <u>—</u> Pescante superior: <u>Si</u> . Pintura: <u>Si</u> . Prep. superficie para pintura: <u>Según especificación.</u>	Altura total (m): <u>18.27</u> ; Faldón (m): <u>3.0</u> Diámetro interno (m): <u>0.75</u> Sup./Inf.: Producto: Metanol. Letal: Moderadamente tóxico. Densidad del producto (Kg/m ³): <u>717.7</u> Volumen total (m ³): <u>122.44</u> Espesor cuerpo (m): <u>—</u> ; Tapas: Altura del empaque (m): No. de platos: <u>56</u> Nivel de operación (mm.): <u>375</u> . Nivel mínimo de op. desde la base (mm.): <u>152</u> . DATOS DE DISEÑO Y FAB. DE PLATOS: Tipo de platos: <u>Un paso.</u> Tipo de instalación: De abajo hacia arriba. Los anillos, soportes, platos, bajantes y vertederos, serán diseñados, instalados, y suministrados por: <u>EJ Fabricante.</u>	
MATERIALES (ASTM)		
	EXTERNOS	INTERNOS
Cuerpo	A-285C	
Tapas	A-285C	
Placas		
Perfiles		
Tubería	A-53	
Bridas	A-181-I	
Base		
Tornillos		
Tuercas		
Rondanas		
Empaques		
Cachuchas		
Plat. de orif. var.		
Elevadores o empaque		
Platos o sop. de empaque		
Escalera y abras. de tubería		
Malla de alambre		
Malla tejida		
Soportes	A-36	

TABLA DE BOQUILLAS					
IDENT.	No.	DIAM. (IN.)	CLAS. Y CARA	TIPO	SERVICIO
A,B,C,D, E,F	6	24	realzada	forjado	Registro de Hombre
01	1	1 1/2	150 realzada	forjado	Alimentación
02	1	8	150 realzada	forjado	Salida de vapor
03	1	1	150 realzada	forjado	Reflujo
04	1	1	150 realzada	forjado	Salida de fondo
05	1	2	150 realzada	forjado	Salida a E-111
06	1	2	realzada	forjado	Drenado
07	1	4	150 realzada	forjado	Reflujo de E-111
08	1	3/4	realzada	forjado	Medidor de Temp.
09, 10	2	3/4	realzada	forjado	Transmisor de nivel

CROQUIS DEL RECIPIENTE:



REVISIONES	DESCRIPCION	FECHA DE REVISION	LUNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA APROBADO PARA CONSTRUCCION	COMARCA INDUSTRIAL, ATLAPAZCA

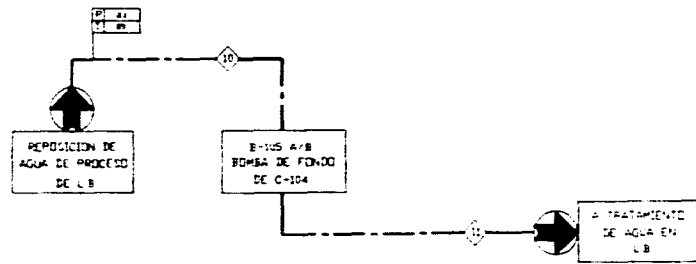
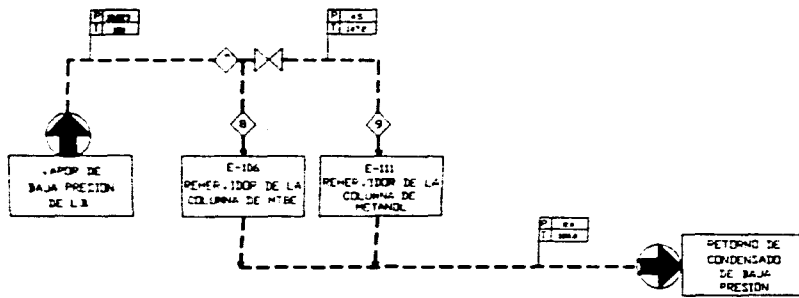
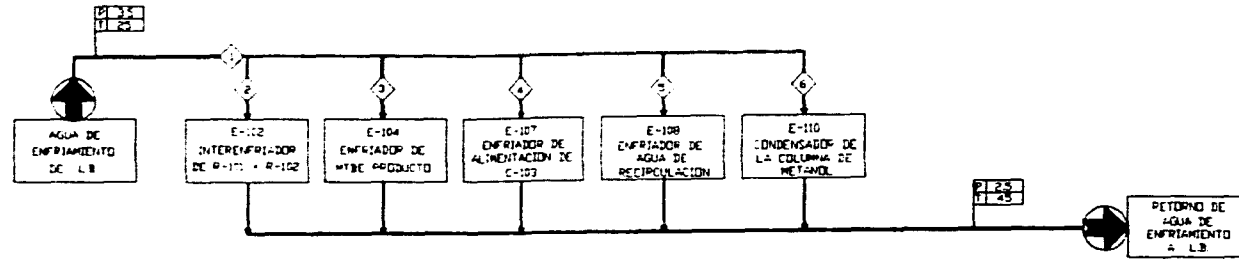
CAPITULO 11
DIAGRAMA DE SERVICIOS AUXILIARES

DIAGRAMA DE SERVICIOS AUXILIARES

En este documento se representan los equipos por bloques, mostrando los servicios que cada uno requiere.

El balance de que consta este diagrama, incluye la numeración de las corrientes de entrada a cada equipo, así como información de flujos, presiones y temperaturas de las mismas.

CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FLUJO kg/h	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00
FLUJO L/h										
COMP. DEL CORRIENTE										
TEMP. °C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
PRESION kg/cm²	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
TEMPERATURA °C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25



SIMBOLOGIA

- AGUA DE PROCESO
- ===== AGUA DE ENFRIAMIENTO
- VAPOR

RELACIONES	DIBUJOS DE REFERENCIA	DESCRIPCION	UNAM UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA
			FIRMA F.O.	DIAGRAMA DE SERVICIOS AUXILIARES
			TESIS PROFESIONAL	PLANTA MTBE 300,000 TPA
				ELABORADO POR: FECHA: REVISADO POR: FECHA:

CAPITULO 11-A
SERVICIOS AUXILIARES Y AGENTES
QUIMICOS

RESUMEN DE SERVICIOS

SERVICIO	CONSUMO		
	Kg/hr.	m ³ /hr.	B.H.P.
Vapor de baja presión	61,213.24		
Condensado de B. P.		68.888	
Agua de enfriamiento		323.467	
Energía Eléctrica			393.765
Agua de Proceso		3.673	
Inertes (N ₂)			
Aire de Instrumentos			
Catalizador			

ENERGÍA ELÉCTRICA

TAG	SERVICIO	OPERACION	RESPALDO
		B.H.P.	B.H.P.
BM-101A.	Accionador de B-101A.	2.5	
BM-101B.	Accionador de B-101B.		2.5
BM-102A.	Accionador de B-102A.	51.7	
BM-102B.	Accionador de B-102B.		51.7
BM-103A.	Accionador de B-103A.	10.2	
BM-103B.	Accionador de B-103B.		10.2
BM-104A.	Accionador de B-104A.	7.1	
BM-104B.	Accionador de B-104B.		7.1
BM-105A.	Accionador de B-105A.	2.1	
BM-105B.	Accionador de B-105B.		2.1
BM-106A.	Accionador de B-106A.	0.165	
BM-106B.	Accionador de B-106B.		0.165
E-105	Motores de ventiladores.	320	40

VAPOR DE BAJA PRESIÓN

Condiciones de suministro: 10.22 Kg/cm² a 180 °C.

Condiciones de retorno: Condensado de baja presión a 2.0 Kg/cm² y 126 °C.

TAG	SERVICIO	CONSUMO	
		Normal (kg/h)	Máximo (kg/h)
E-106	Rehervidor de C-102.	58,019.27	63,821.19
E-111	Rehervidor de C-104.	3,193.97	3,513.36

CONDENSADO DE BAJA PRESIÓN

Condiciones: 2.0 Kg/cm² y 126 °C.

TAG	SERVICIO	CONSUMO	
		Normal (m ³ /h)	Diseño (m ³ /h)
E-106	Rehervidor de C-102.	65.418	71.96
E-111	Rehervidor de C-104.	3.47	3.81

AGUA DE ENFRIAMIENTO

Condiciones de suministro: 3.5 Kg/cm² y 25 °C.

Condiciones de retorno: 2.5 Kg/cm² y 45 °C.

TAG	SERVICIO	CONSUMO	
		Normal (m ³ /h)	Diseño (m ³ /h)
E-102	Interenfriador de R-101 y R-102.	191.93	211.123
E-104	Enfriador de MTBE producto.	28.16	30.976
E-107	Enfriador de alim. de C-103.	17.016	18.717
E-108	Enfriador de agua de recirc.	10.155	11.170
E-110	Condensador de C-104.	76.206	83.826

AGUA DE PROCESO

<p>Consumo: 3.673 m³/hr. Presión: 2.17 Kg/cm². Temperatura: Ambiente.</p>
--

INERTES (N₂)

<p>Inerte: Nitrógeno. Pureza: 99.5 % en mol. Entrega: Autotanques. Consumo: El requerido.</p>
--

AIRE DE INSTRUMENTOS

<p>Presión: 7.03 Kg/cm². Consumo: El requerido.</p>

CONDENSADO DE BAJA PRESIÓN

Condiciones: 2.0 Kg/cm² y 126 °C.

TAG	SERVICIO	CONSUMO	
		Normal (m ³ /h)	Diseño (m ³ /h)
E-106	Rehervidor de C-102.	65.418	71.96
E-111	Rehervidor de C-104.	3.47	3.81

AGUA DE ENFRIAMIENTO

Condiciones de suministro: 3.5 Kg/cm² y 25 °C.

Condiciones de retorno: 2.5 Kg/cm² y 45 °C.

TAG	SERVICIO	CONSUMO	
		Normal (m ³ /h)	Diseño (m ³ /h)
E-102	Interenfriador de R-101 y R-102.	191.93	211.123
E-104	Enfriador de MTBE producto.	28.16	30.976
E-107	Enfriador de alim. de C-103.	17.016	18.717
E-108	Enfriador de agua de rectic.	10.155	11.170
E-110	Condensador de C-104.	76.206	83.826

AGUA DE PROCESO

Consumo: 3.673 m³/hr.
 Presión: 2.17 Kg/cm².
 Temperatura: Ambiente.

INERTES (N₂)

Inerte: Nitrógeno.
 Pureza: 99.5 % en mol.
 Entrega: Autotanques.
 Consumo: El requerido.

AIRE DE INSTRUMENTOS

Presión: 7.03 Kg/cm².
 Consumo: El requerido.

CATALIZADOR

Tipo: Catalizador humedo Amberlyst 15.
Tiempo de vida: 2 años.
Densidad aparente (seco) : 0.6087 g/cm³.
Densidad catalizador (húmedo): 0.77 g/cm³.
LHSV: 3.7 h⁻¹.
Dimensiones:
Reactor primario (R-101)
Diámetro: 1,500 mm.
Altura: 6,000 mm.
Cantidad de catalizador húmedo: 8,162 Kg.
Reactor secundario (R-102)
Diámetro: 1,000 mm.
Altura: 4,000 mm.
Cantidad de catalizador húmedo: 2,419.02 Kg.
Proveedor: Rohm and Haas Co.

RESINA ELIMINADORA DE CONTAMINANTES

Tipo: Resina sulfonada amberlite
Tiempo de vida: 6 meses.
Proveedor: Rohm and Haas Co.

CAPITULO 12
DIAGRAMAS DE TUBERÍA E
INSTRUMENTACIÓN

DIAGRAMAS DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN

En estos diagramas se incluyen todos los equipos de proceso de la planta, tuberías, válvulas, instrumentos, líneas de servicios auxiliares, válvulas de seguridad, clave y nombre de los equipos, así como sus características más representativas. Para los equipos de proceso, se presenta tanto su número como su arreglo definitivos.

A las líneas de proceso se les identifica con diámetro, servicio, número y especificación y se les incluyen los accesorios necesarios para su correcta operación; los instrumentos están numerados; las válvulas de seguridad muestran su localización e identificación, mientras que las líneas de servicios muestran su localización e identificación, indicando su tamaño y diámetros de entrada y salida. Se indica también la altura tentativa de los equipos que la requieran por proceso.

NOMENCLATURA USADA EN EL DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN:

NIVEL:

- LI: Indicador de nivel.
- LT: Transmisor de nivel.
- LY: Convertidor de señal eléctrica a neumática
- LV: Válvula controladora de nivel.
- LIT: Indicador y transmisor de nivel.
- LIC: Convertidor e indicador de nivel.
- LAH: Alarma de alto nivel.
- LAL: Alarma de bajo nivel.

FLUJO:

- FT: Transmisor de flujo.
- FE: Medidor de flujo.
- FO: Placa de orificio
- FY: Convertidor de señal eléctrica a neumática.
- FV: Válvula controladora de flujo.
- FIC: Controlador e indicador de flujo.

PRESIÓN:

- PI: Indicador de presión.
- PT: Transmisor de presión.
- PE: Medidor de presión.
- PV: Válvula controladora de presión.
- PY: Convertidor de señal eléctrica a neumática.
- PIC: Controlador e indicador de presión.
- PAL: Alarma de baja presión
- PSL: Switch de baja presión
- PSV: Válvula de desfogue o de seguridad.
- PDI: Indicador diferencial de presión.
- PDC: Controlador diferencial de presión.
- PDT: Transmisor de presión diferencial.
- PDSH: Switch diferencial por alta presión.
- PDAH: Switch diferencial por baja presión

TEMPERATURA:

- TI: Indicador de temperatura.
- TY: Convertidor de señal eléctrica a neumática.

ELECTRICOS Y NEUMÁTICOS:

- IP: Convertidor de señal eléctrica a neumática o viceversa.
- XA: Accionador automático de las bombas.
- I: Interactuador de las bombas.

DRENAJES Y TOMAS DE MUESTRA:

- SO: Toma de muestra (Slip On).
- SP: Toma de muestra (Set Point).
- DR: Drenaje.

OTROS:

- M: Motor.

LÍNEAS:

- _____ : Línea de proceso.
- : Señal eléctrica.
- ///_///_///_ : Señal neumática.

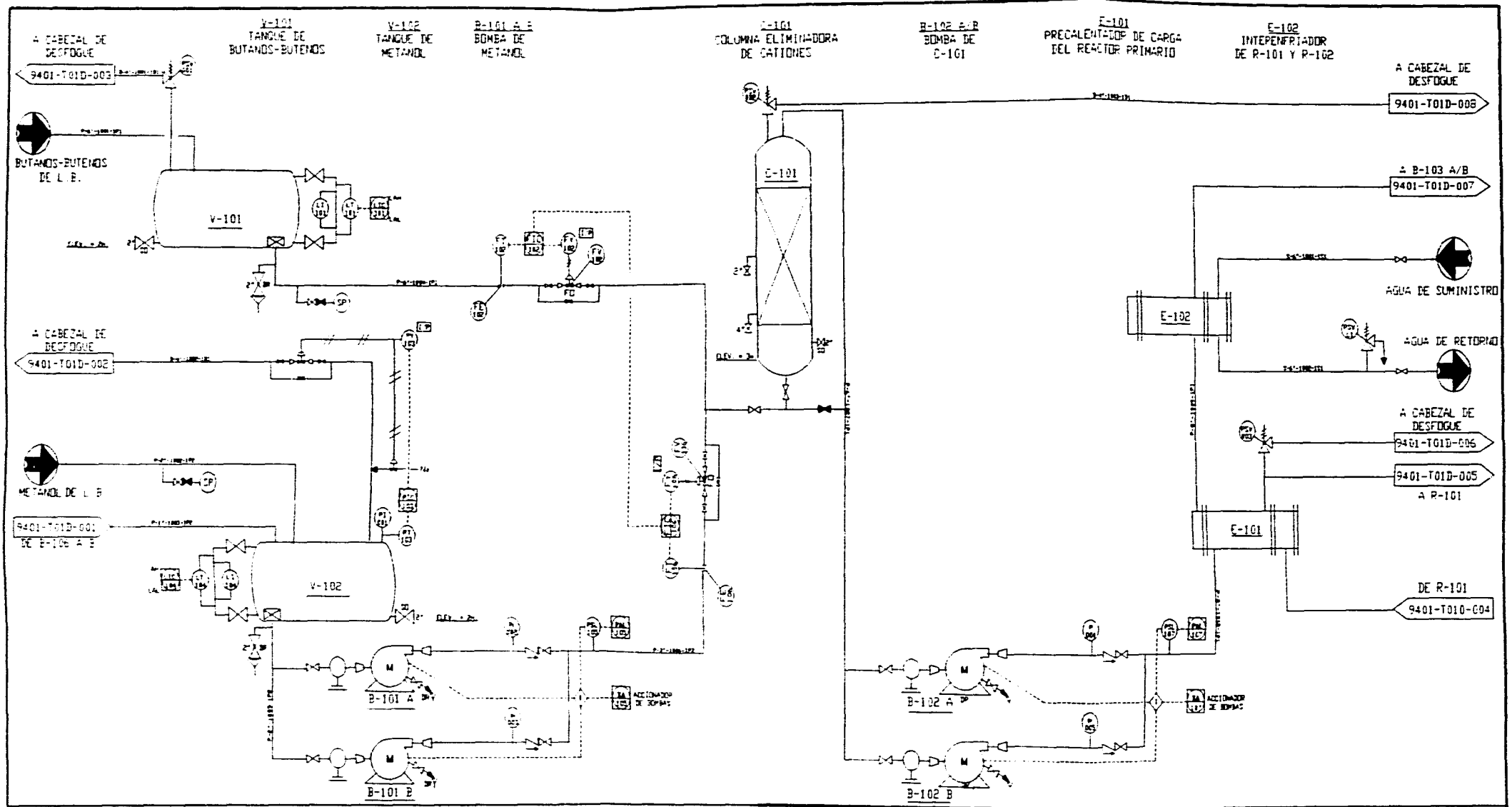
LEYENDAS:

9405-TO1D-001: Indica la corriente de proceso que viene de otro diagrama o se dirige a otro diagrama, significándose 9405 año del proyecto y número de plano, **TO1D** indica que pertenece a los diagramas de tubería e instrumentación, **001** número de entrada o salida del diagrama.

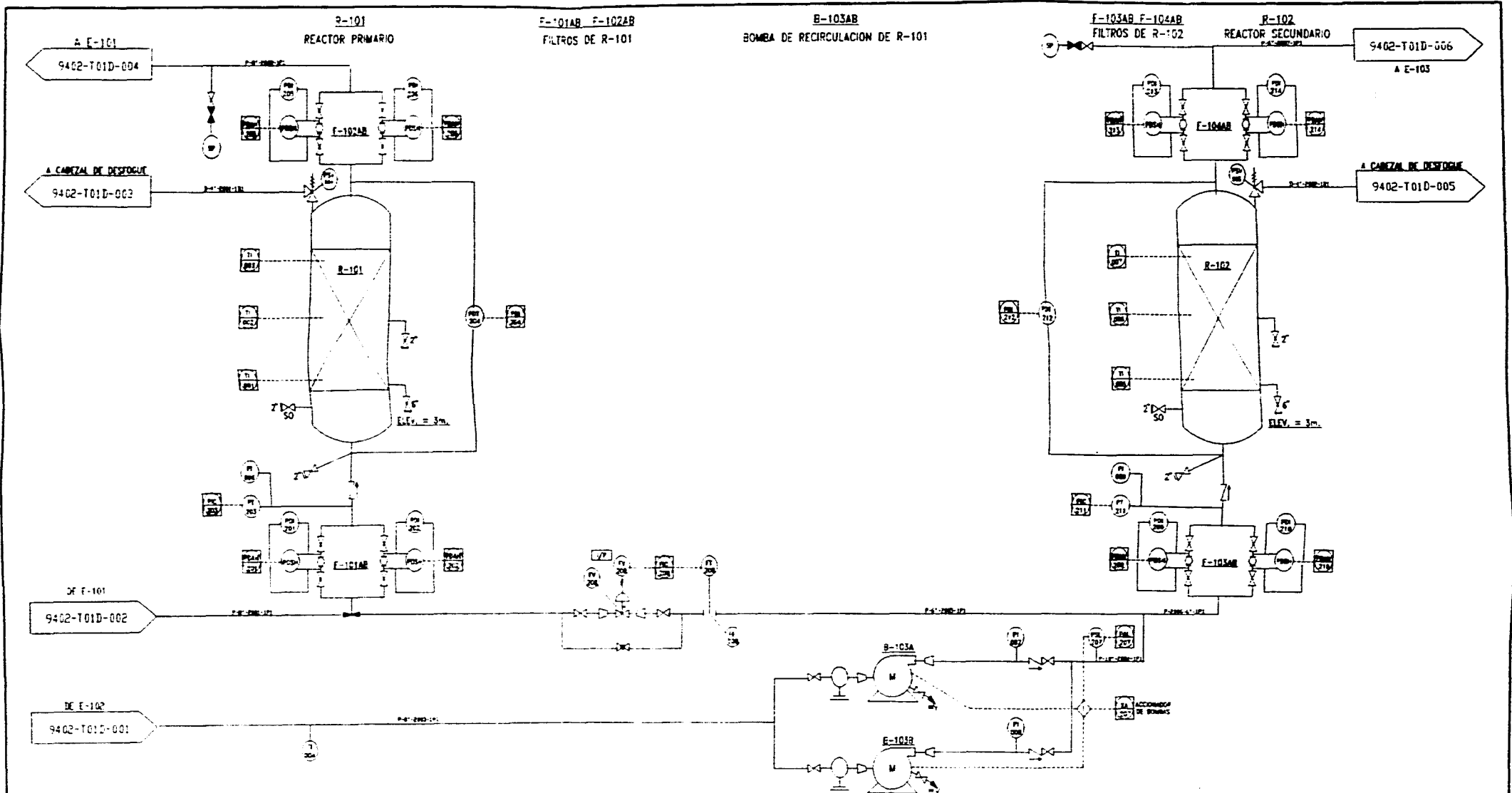
P-1/2"-5004-1P1: La letra **P** indica que la línea es de proceso, **1/2"** indica que la tubería es de media pulgada; **5004** indica el número de línea en el diagrama y **1P1** indica que el rating de la tubería es 150. Así también se usa en esta notación **S:** Servicio y **D:** Drenaje.

-En la realización de los diagramas se utilizó la simbología recomendada por **ISA (Instrument Society of America)**.

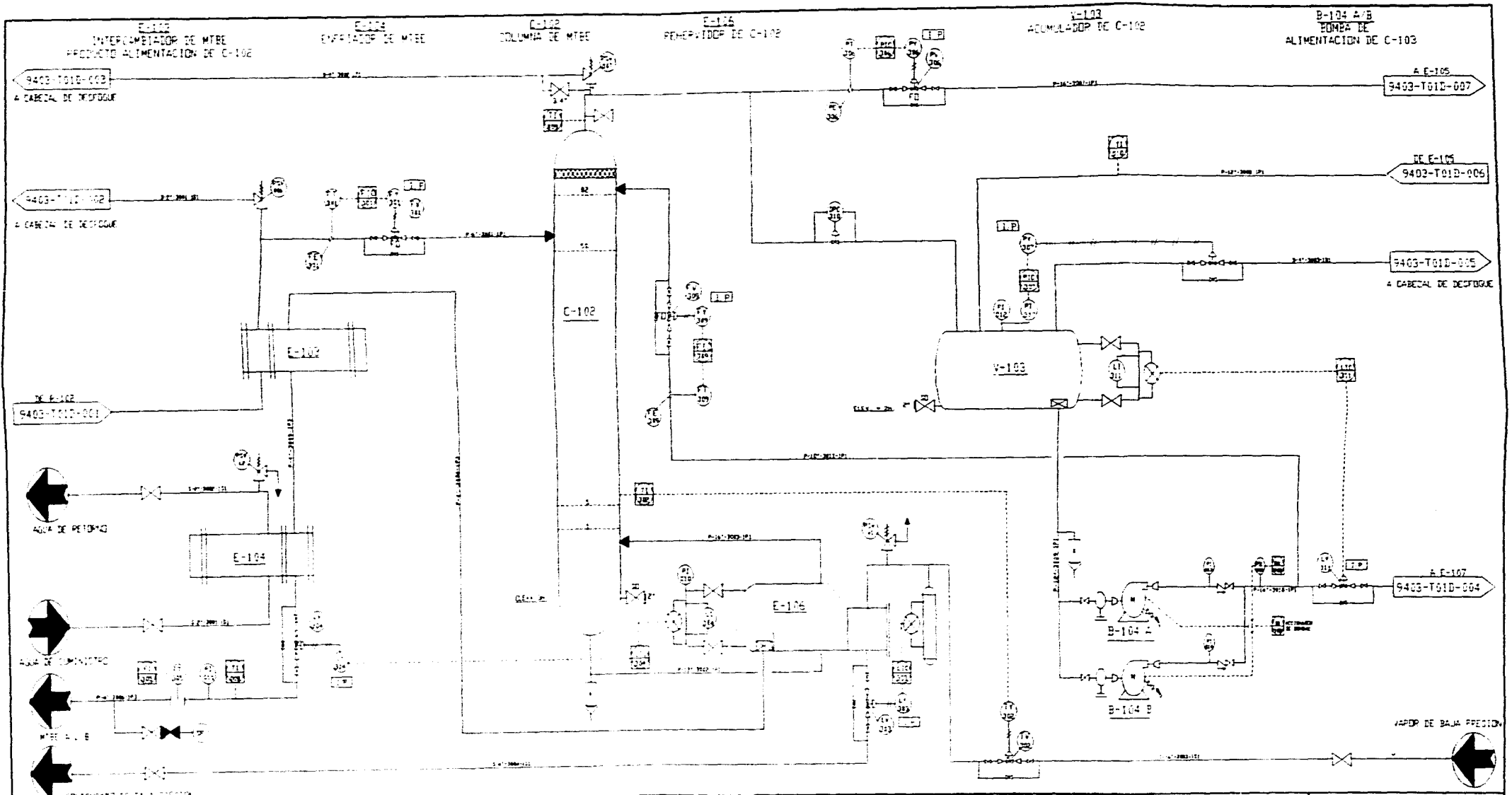
-Debe tomarse en cuenta que para las válvulas y equipos que han sido marcados en negro, esto significa que generalmente están cerradas. Esto se usa generalmente en by-pass, desfuegos o tomas de muestra.



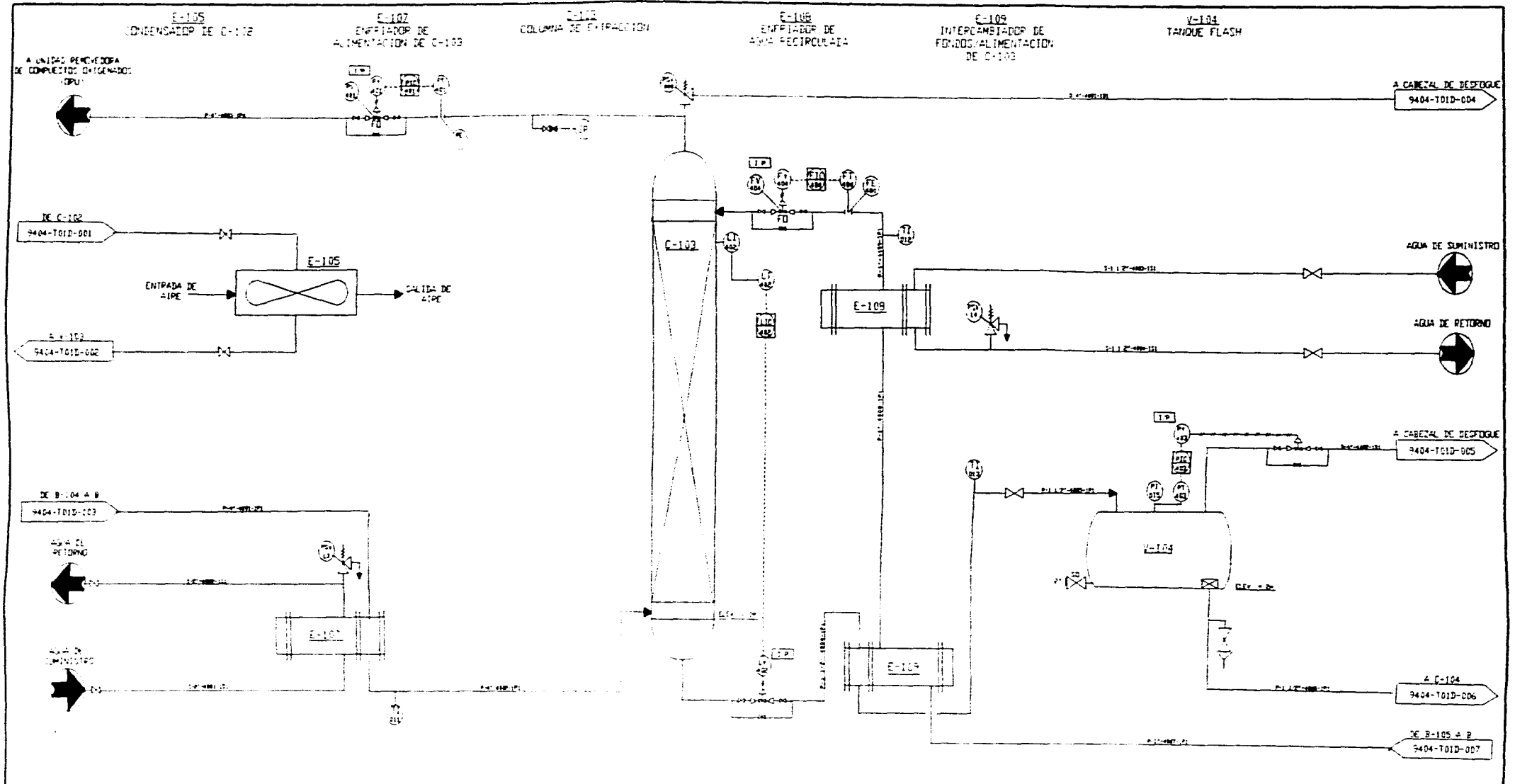
REVISIONES	TIPO DE REFERENCIA	DESCRIPCION	UNAM	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA
		DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION	UNAM UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
		SISTEMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION	FACULTAD DE QUIMICA	PLANTA MTE 300.000 T/M ³
		REACTOR DE CATIONES	APROBADO PARA CONSTRUCCION	HDR 54.91
			FIRMA F.G.	
			TESIS PROFESIONAL	



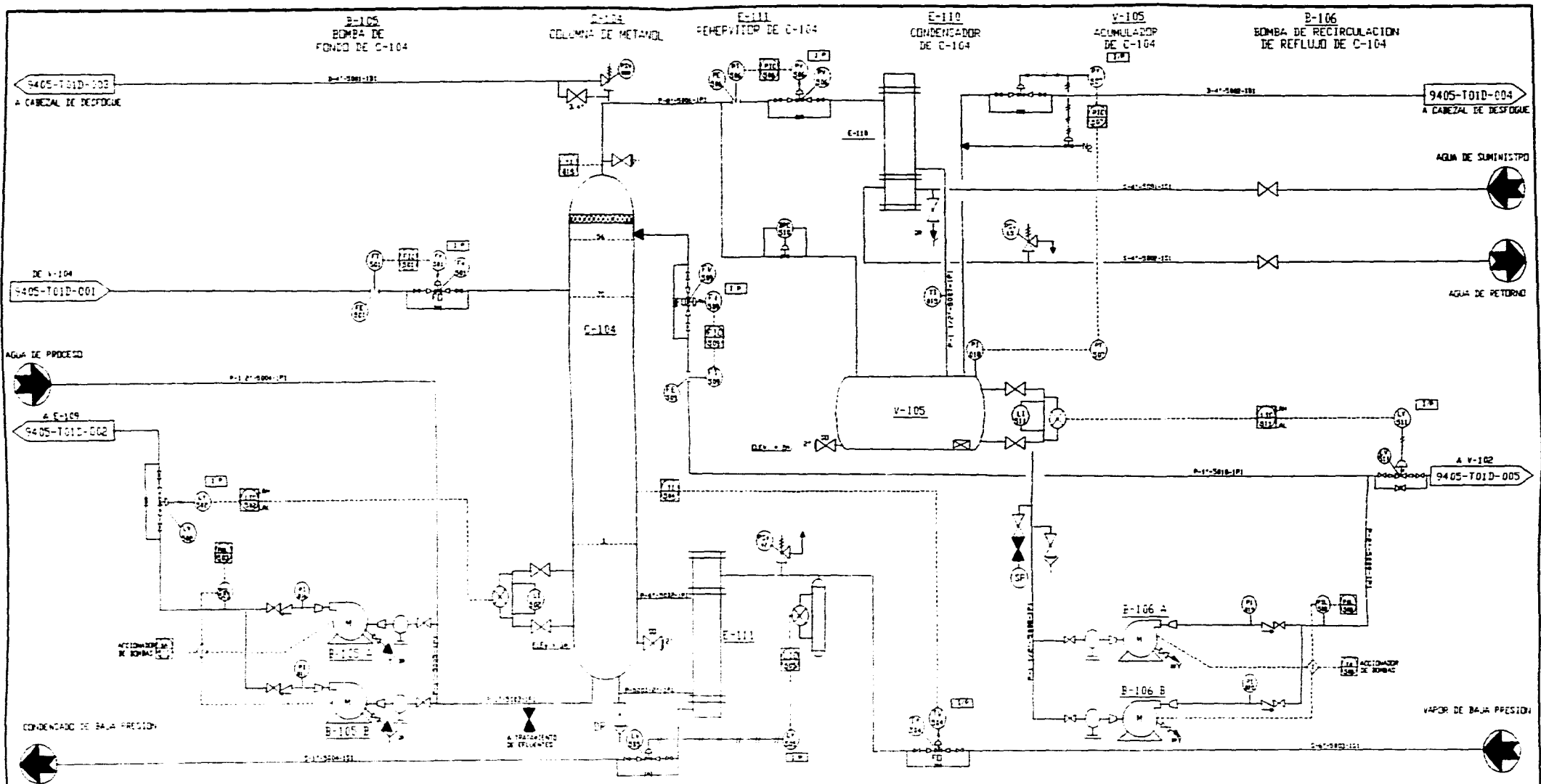
REVISIONES	REFERENCIAS DE REVISIONES	DESCRIPCION	UNAM	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA
		DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION	FACULTAD DE QUIMICA	DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
		SECCION DE REACTORES	APROBADO PARA CONSTRUCCION	PLANTA MTBE 300,000 T/PA
			F.R.M.A. F. Q.	HOP 4302
			YESIS PROFESIONAL	



<p>CONDICIONES</p>	<p>SEÑALES DE REFERENCIA</p>	<p>DESCRIPCION</p>	<p>UNAM</p>	<p>COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA</p>
<p>DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION</p>			<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</p>	<p>FACULTAD DE QUIMICA</p>
<p>APROBADO PARA CONSTRUCCION</p>			<p>FIGURA</p>	<p>PLANTA MTEE 300,000 IMPA</p>
<p>FECHA</p>			<p>PROFESIONAL</p>	<p>MCP</p>



REVISIONES	NO. DE REFERENCIA	DESCRIPCION	UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA
		DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION		FACULTAD DE QUIMICA	DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
		ESPECIFICACION DE EQUIPOS	APROBADO PARA CONSTRUCCION		PLANTA MTBE 300,000 T/MPA
			CSMA	F. G.	
			TESIS PROFESIONAL		
					HOP
					9424



REVISIONES	SEÑALES DE REFERENCIA	DESCRIPCION	UNAM	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIPA
		DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION	UNAM	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIPA
		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE QUIMICA	DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
		APROBADO PARA CONSTRUCCION		PLANTA NTEE 300,000 TPA
		FECHA: F O		HDR: 9405
		TESIS PROFESIONAL		

CAPITULO 13
LISTA DE TUBERÍAS

LISTA DE LÍNEAS DE PROCESO

Esta lista es un sumario de todas las líneas de proceso donde se incluye diámetro, servicio, numeración y especificación, origen y destino de las líneas, así como la presión y temperatura máxima de operación.

#	SERV.	# LINEA.	DIAM. (IN.)	ESPEC-	DESCRIPCIÓN
1	P	1001	6	1P1	Butanos-Butenos
2	P	1002	2	1P2	Metanol
3	P	1003	1	1P2	Metanol
4	P	1004	6	1P1	Butanos-Butenos
5	P	1005	2	1P2	Metanol
6	P	1006	3	1P2	Metanol
7	P	1007	6	1P1	Butanos-Butenos-Metanol
8	P	1008	8	1P1	Butanos-Butenos-Metanol
9	P	1009	8	1P1	Butanos-Butenos-Metanol
10	P	2001	8	1P1	Butanos-Butenos-Metanol
11	P	2002	8	1P1	Butanos-Butenos-Metanol-MTBE
12	P	2003	8	1P1	Butanos-Butenos-Metanol-MTBE
13	P	2004	10	1P1	Butanos-Butenos-Metanol-MTBE
14	P	2005	6	1P1	Butanos-Butenos-Metanol-MTBE
15	P	2006	6	1P1	Butanos-Butenos-Metanol-MTBE
16	P	2007	6	1P1	Butanos-Butenos-Metanol-MTBE
17	P	3001	6	1P1	Butanos-Butenos-Metanol-MTBE
18	P	3002	12	1P1	Butanos-Butenos-Metanol-MTBE
19	P	3003	16	1P1	Butanos-Butenos-Metanol-MTBE
20	P	3004	4	1P3	MTBE
21	P	3005	4	1P3	MTBE
22	P	3006	4	1P3	MTBE
23	P	3007	16	1P1	Butanos-Metanol
24	P	3008	12	1P1	Butanos-Metanol
25	P	3009	12	1P1	Butanos-Metanol
26	P	3010	14	1P1	Butanos-Metanol
27	P	3011	10	1P1	Butanos-Metanol
28	P	4001	4	1P1	Butanos-Metanol
29	P	4002	4	1P1	Butanos-Metanol
30	P	4003	4	1P4	Butanos
31	P	4004	1 1/2	1P1	Metanol-Agua
32	P	4005	1 1/2	1P1	Metanol-Agua
33	P	4006	1 1/2	1P1	Metanol-Agua
34	P	4007	1	1P1	Agua
35	P	4008	1	1P1	Agua
36	P	4009	1	1P1	Agua
37	P	5001	2	1P1	Metanol-Agua
38	P	5002	4	1P1	Metanol-Agua
39	P	5003	1	1P1	Agua
40	P	5004	1/2	1P1	Agua
41	P	5005	1	1P1	Agua
42	P	5006	8	1P1	Metanol
43	P	5007	1 1/2	1P1	Metanol
44	P	5008	1 1/2	1P1	Metanol
45	P	5009	2	1P1	Metanol
46	P	5010	1	1P1	Metanol

De:	A:	PLANO	PD/PO (ATM)	TD/TO (°C)
L. B.	V-101	001	5/4.5	38/48
L. B.	V-102	001	3.5/3.1	28/38
5009	V-102	001	3.5/3.1	90/80
V-101	C-101	001	5/4.5	38/28
V-102	B-101 A/B	001	3.5/3.1	38/28
B-101 A/B	C-101	001	5/4.5	38/28
C-101	B-102 A/B	001	5/4.5	38/28
B-102 A/B	E-101	001	11.7/10.7	38/28
E-101	E-102	001	11.2/10.25	96.6/86.6
E-101	R-101	002	11.7/10.7	52/42
R-101	E-101	002	11.3/10	98.5/88.5
E-102	B-103 A/B	002	11.2/10.2	52/42
B-103 A/B	2005	002	11.8/10.7	52/42
B-103 A/B	2006	002	11.8/10.7	52/42
2005	R-101	002	11.7/11.65	52/42
2006	R-102	002	11.7/11.65	52/42
R-102	E-103	002	11.4/10.4	56.6/46.6
E-103	C-102	003	11.3/10.3	87.3/77.3
C-102	E-106	003	9.3/8.5	87.2/77.2
E-106	C-102	003	9.3/8.5	149.6/139.6
E-106	E-103	003	9.3/8.45	149.6/139.6
E-103	E-104	003	9.2/8.42	80/70
E-104	L. B.	003	6.2/5.7	51/41
C-102	E-105	003	8.7/7.96	80.7/70.7
E-105	V-103	003	8.7/7.9	69.5/59.5
V-103	B-104 A/B	003	8.7/7.9	69.5/59.5
B-104 A/B	3011	003	9.6/8.7	62.1/52.1
3011	C-102	003	9.6/8.7	62.1/52.1
B-104 A/B	4001	003	9.3/8.45	62.1/52.1
4001	E-107	004	9.3/8.45	62.1/52.1
E-107	C-103	004	9.2/8.4	48/38
C-103	URO	004	8.9/8.1	48/38
C-103	E-109	004	8.6/7.85	48/38
E-109	V-104	004	8.6/7.8	72.2/62.2
V-104	C-104	004	2.6/2.4	104/94
B-105 A/B	E-109	004	10.2/9.3	131/121
E-109	E-108	004	9.9/9	104/94
E-108	C-103	004	8.9/8.1	48/38
C-104	E-111	005	2.3/2	104/94
E-111	C-104	005	2.3/2.1	121
C-104	5005	005	2.3/2.1	131.9/121.9
L. B.	5005	005	2.3/2.1	35/25
5005	B-105 A/B	005	2.3/2.1	131.9/121.9

5005	B-105 A/B	005	2.3	131.9/121.9
C-104	E-110	005	1.9/1.72	89.5/79.5
E-110	V-105	005	1.8/1.67	89.5/79.5
V-105	B-106 A/B	005	1.8/1.67	89.5/79.5
B-106 A/B	5010	005	3.41/3.1	90/80
5010	C-104	005	3.41/3.1	90/80
B-106 A/B	1003	001	3.41/3.1	90/80

LISTA DE TUBERÍA DE DESFOGUES

#	SERV.	# LINEA.	DIAM. (IN.)	ESPEC.	DESCRIPCIÓN
1	D	1001	4	1D1	PSV 001 1
2	D	1002	4	1D2	D-9401 1
3	D	1003	4	1D1	PSV 002 1
4	D	1004	4	1D1	PSV-003 1
5	D	2001	4	1D1	PSV-004 1
6	D	2002	4	1D1	PSV-005 2
7	D	3001	4	1D1	PSV-006 2
8	D	3002	4	1D4	PSV-007 3
9	D	1009	4	1D1	D-9203 3
10	D	4001	4	1D1	PSV-008
11	D	4002	4	1D1	D-9404
12	D	5001	4	1D1	PSV-009
13	D	5002	4	1D2	D-9405

LISTA DE TUBERÍA DE SERVICIOS AUXILIARES

#	SERV.	# LINEA.	DIAM. (IN).	ESPEC-	DESCRIPCIÓN
1	S	1001	6	ISI	Agua de Enfriamiento.
2	S	1002	6	ISI	Agua de Retorno.
3	S	3001	2	ISI	Agua de Enfriamiento.
4	S	3002	2	ISI	Agua de retorno.
5	S	3003	16	ISI	Vapor de Baja Presión.
6	S	3004	4	ISI	Condensado de Baja Presión
7	S	4001	2	ISI	Agua de Enfriamiento.
8	S	4002	2	ISI	Agua de retorno
9	S	4003	1 1/2	ISI	Agua de Enfriamiento.
10	S	4004	1 1/2	ISI	Agua de retorno.
11	S	5001	4	ISI	Agua de Enfriamiento.
12	S	5002	4	ISI	Agua de retorno.
13	s	5003	6	ISI	Vapor de Baja Presión.
14	S	5004	1	ISI	Condensado de Baja Presión

LISTA DE TUBERÍA DE SERVICIOS AUXILIARES

#	SERV.	# LINEA.	DIAM. (IN).	ESPEC-	DESCRIPCIÓN
1	S	1001	6	IS1	Agua de Enfriamiento.
2	S	1002	6	IS1	Agua de Retorno.
3	S	3001	2	IS1	Agua de Enfriamiento.
4	S	3002	2	IS1	Agua de retorno.
5	S	3003	16	IS1	Vapor de Baja Presión.
6	S	3004	4	IS1	Condensado de Baja Presión
7	S	4001	2	IS1	Agua de Enfriamiento.
8	S	4002	2	IS1	Agua de retorno
9	S	4003	1 1/2	IS1	Agua de Enfriamiento.
10	S	4004	1 1/2	IS1	Agua de retorno.
11	S	5001	4	IS1	Agua de Enfriamiento.
12	S	5002	4	IS1	Agua de retorno.
13	s	5003	6	IS1	Vapor de Baja Presión.
14	S	5004	1	IS1	Condensado de Baja Presión

CAPITULO 14
ARREGLO GENERAL DEL EQUIPO

PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL DE EQUIPOS

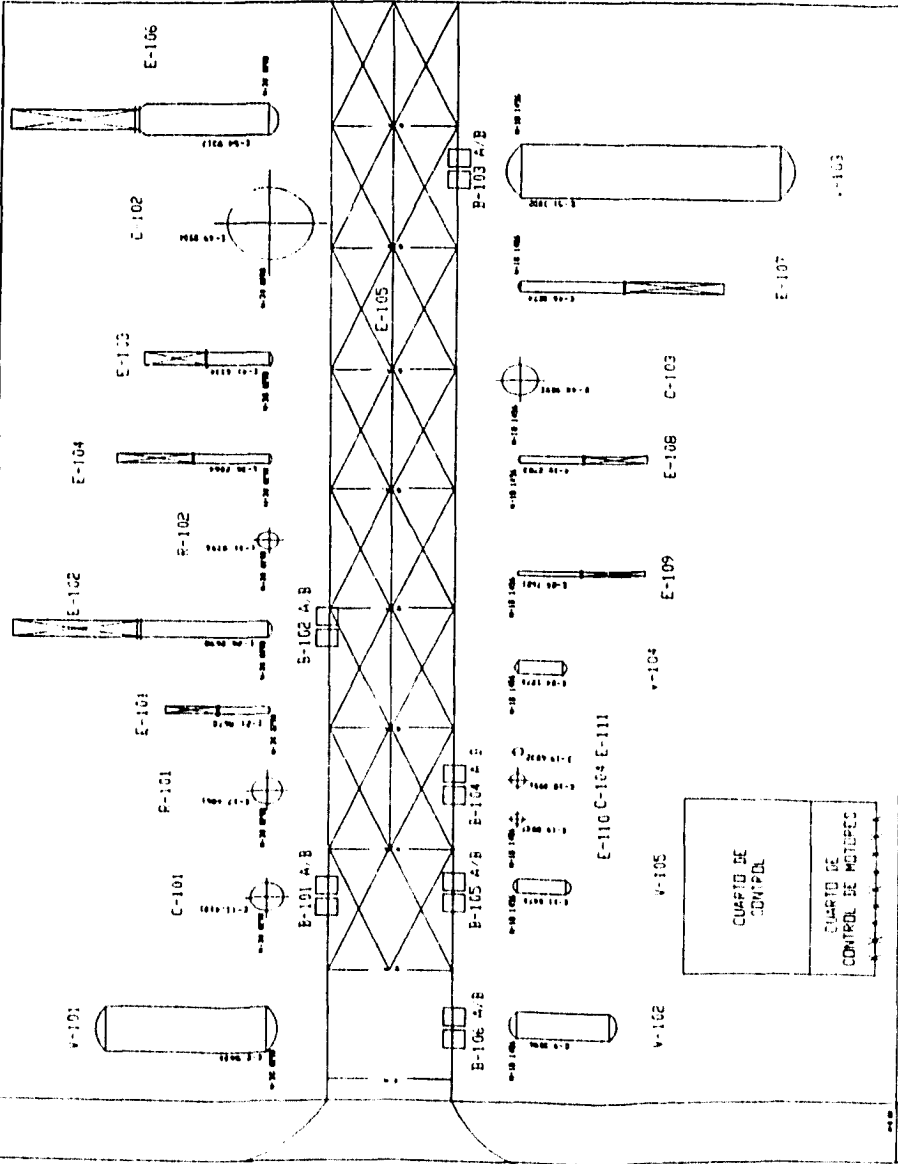
Este plano muestra el arreglo del equipo, mostrando soportería de tuberías, líneas de mantenimiento, cuartos de control y accesos, se elabora tomando en cuenta aspectos operacionales, de mantenimiento, de seguridad y económicos.

En el se muestra el arreglo de los equipos, considerando vientos dominantes y reinantes, e indicando coordenadas para los equipos: al centro para torres y recipientes verticales, a la línea de tangencia para recipientes horizontales, y al centro de los canales en los cambiadores de calor; se representa además la separación de equipos respecto a los soportes de tuberías. Las dimensiones de cambiadores de calor y bombas serán preliminares, mientras que para recipientes y torres serán las indicadas por su diseño.

Se indica también los límites de batería del área referida así como la lista de equipo considerada con sus características principales.

LISTA DE EQUIPO

- B-101 A/B BOMBA DE METANOL
- B-102 A/B BOMBA DE RECIRCULACION DE R-101
- B-103 A/B BOMBA DE RECIRCULACION DE C-101
- B-104 A/B BOMBA DE ALIMENTACION DE C-103
- B-105 A/B BOMBA DE FONDO DE C-104
- B-106 A/B BOMBA DE RECIRCULACION/REFLUJO DE C-104
- C-101 COLUMNA ELIMINADORA DE CATIONES
- C-102 COLUMNA DE MTBE
- C-103 COLUMNA DE EXTRACCION
- C-104 COLUMNA DE METANOL
- E-101 PRECALENTADOR DE CARGA DE R-101
- E-102 INTERCAMBIADOR DE R-101 Y R-102
- E-103 INTERCAMBIADOR DE MTBE PRODUCTO/ALIMENTACION DE C-102
- E-104 ENFRIADOR DE MTBE PRODUCTO
- E-105 CONDENSADOR DE LA COLUMNA DE MTBE
- E-106 PEHEVIVADOR DE LA COLUMNA DE MTBE
- E-107 ENFRIADOR DE ALIMENTACION DE C-103
- E-108 ENFRIADOR DE AGUA RECIRCULADA
- E-109 INTERCAMBIADOR DE FONDO/ALIMENTACION DE C-104
- E-110 CONDENSADOR DE LA COLUMNA DE METANOL
- E-111 REHEVIVADOR DE LA COLUMNA DE METANOL
- F-101 A/B FILTRO DE ENTRADA DE R-101
- F-102 A/B FILTRO DE SALIDA DE R-101
- F-103 A/B FILTRO DE ENTRADA DE R-102
- F-104 A/B FILTRO DE SALIDA DE R-102
- V-101 TANQUE DE BUTANOS-BOTENOS
- V-102 TANQUE DE METANOL
- V-103 ACUMULADOR DE LA COLUMNA DE MTBE
- V-104 TANQUE ESTABILIZADOR DE C-104
- V-105 ACUMULADOR DE LA COLUMNA DE METANOL
- R-101 REACTOR PRIMARIO
- R-102 REACTOR SECUNDARIO



REVISIONES	DESCRIPCION	UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	COMPLEJO INDUSTRIAL ALTAMIRA
		FACULTAD DE QUIMICA		ARREGLO GENERAL DE EQUIPO
		APROBADO PARA CONSTRUCCION		PLANTA MTBE 300,000 TMA
		FIRMA	F. O.	HOR 1:00
			ESTADISTICO	
			ESTADISTICO	

CAPITULO 15
FILOSOFÍAS DE OPERACIÓN

FILOSOFÍAS BÁSICAS DE OPERACIÓN

En éste documento se incluye el análisis de los siguientes puntos:

- 1) Variables de operación y control del proceso.
- 2) Operaciones normales.
- 3) Operaciones especiales.
- 4) Procedimientos de control analítico.

VARIABLES DE OPERACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO.

Sección de lavado de Butanos-Butenos.

- Los contaminantes presentes en la alimentación de Butanos-Butenos, tales como sales y compuestos básicos (fuertes o débiles) aún en muy bajas concentraciones, pueden tener un efecto desfavorable sobre los grupos ácidos de la resina catalítica, lo cual se manifiesta en una disminución de la conversión y de la vida del catalizador.
- Algunos contaminantes comunes son: hidróxido de sodio y dietanolamina proveniente de los tratamientos para la eliminación de compuestos de azufre de los Butanos-Butenos o bien, monoetanolamina, dietanolamina, amoniaco y acetonitrilo provenientes de la unidad de Cracking Catalítico.
- Con la finalidad de eliminar estos contaminantes, la corriente de Butanos-Butenos pasa a través de una columna con un lecho de resina catiónica sulfonada.

Sección de Reacción y Separación de MTBE.

- En ésta sección, se mostrarán las reacciones típicas, que se llevan a cabo entre el Isobuteno contenido en la alimentación de Butanos-Butenos y Metanol. Además se menciona la forma en que éstas reacciones pueden ser controladas a través de las variables de operación, para cumplir con la especificación del producto.

Reacción Principal:

- El MTBE es producido mediante la reacción de adición entre el Metanol e Isobuteno contenido en la corriente de Butanos-Butenos. La reacción se efectúa en presencia de una resina de intercambio iónico como catalizador.
- La reacción es la siguiente:



- Ésta reacción es reversible y exotérmica (9,444.44 Kcal/Kg mol de MTBE a 77°C), por lo tanto, la reacción se ve favorecida a bajas temperaturas de reacción. La reacción tiene lugar en la fase líquida.
- La reacción de síntesis de MTBE se induce hacia la formación de MTBE a bajas temperaturas y está gobernada por el equilibrio termodinámico. La cinética de la reacción, por otro lado, se ve favorecida a altas temperaturas. Por consiguiente, las condiciones de operación de los reactores, son una combinación que mantiene las

FILOSOFÍAS BÁSICAS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA

En este documento se analiza el comportamiento de la planta, definiéndose los lineamientos generales para su adecuada operación en situaciones normales y especiales. Se incluyen los siguientes tópicos:

1) VARIABLES DE OPERACIÓN DE CONTROL DE PROCESO:

Consiste en la descripción del efecto que las variables de operación pueden tener en el proceso, indicando su funcionamiento de los controles básicos del proceso para mantener dichas variables (Presión, Temperatura, Flujo y Reflujo, etc.) dentro de los rangos de operación seleccionados.

2) OPERACIONES ANORMALES: Se refiere a los cambios que puede sufrir el proceso al modificarse una variable.

Existen diferentes situaciones en las cuales se pueden presentar operaciones diferentes a la normal:

a) Dependiendo de la flexibilidad de operación que se especifique en las bases de diseño, se podrán presentar condiciones anormales o especiales de operación (Cambios de carga o capacidad, etc.).

b) De acuerdo a lo establecido en Criterios de Diseño, pudiera anticiparse que la planta continúe operando a paro de determinados equipos secciones o servicios de la misma.

REQUERIMIENTOS DE CONTROL ANALÍTICO: Menciona las corrientes que deberán ser sometidas periódicamente a análisis para control de sus especificaciones, así como las pruebas que deberán realizarse.

3) PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN ESPECIAL: Son aquellas operaciones o situaciones en que la planta se opera fuera del proceso normal, como puede ser limpiezas, cambios en la alimentación y diferentes características de productos, marcándose la secuencia en la cuál deberán arrancar o parar diferentes equipos de proceso, así como las medidas de seguridad que deben tomarse.

restricciones termodinámicas y cinéticas de la reacción, de tal forma que se obtiene la mayor conversión a la temperatura de los reactores.

- La conversión a MTBE también es afectada por factores como: la concentración del Isobuteno, la relación de Metanol a Isobuteno y el tiempo de residencia en el reactor. El incremento de cualquiera de las dos primeras aumenta la conversión de Isobuteno a MTBE.

LAS PRINCIPALES REACCIONES LATERALES SON LAS SIGUIENTES:

1) Hidratación de Isobuteno con formación de Alcohol Terbutílico.



- La formación de Alcohol Terbutílico se incrementa con el aumento en el contenido de Agua en la alimentación a los reactores.

- La baja concentración de Isobuteno también incrementa la producción de Alcohol Terbutílico.

- En las condiciones en que se lleva a cabo la reacción en los reactores, sólo se producen pequeñas cantidades de Alcohol Terbutílico y por consiguiente, no se afecta la calidad y el octano en el MTBE producto.

2) Dimerización de Isobuteno.

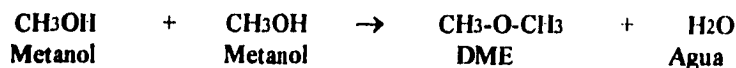


- La producción del Di-Isobuteno se favorece a temperaturas elevadas.

- Los tiempos de residencia pequeños y las concentraciones subestoequiométricas de Metanol también incrementan significativamente la selectividad hacia la conversión de Di-Isobuteno.

- Las condiciones de temperatura, el tiempo de residencia y la relación Metanol/Isobuteno se mantienen en los reactores, en valores tales, que la selectividad hacia el Di-Isobuteno sea muy baja y su presencia no afecte la calidad del MTBE producto.

3) Deshidratación de Metanol con formación de Dimetileter (DME) y Agua.



- La producción de DME es favorecida a temperaturas elevadas y bajas concentraciones de Isobuteno.

- Debido a su bajo punto de ebullición, el DME se separa con los hidrocarburos ligeros por lo que no se encuentra presente en el MTBE producto.
- La selectividad hacia la formación del DME a las condiciones de los reactores es muy baja.

Relación Metanol-Isobuteno.

- El control del reactor primario se efectúa manteniendo la relación Metanol-Isobuteno y la temperatura en la corriente de alimentación de entrada al reactor, en los valores dados en el diagrama de flujo del proceso.
- La concentración de Metanol en la alimentación de Butanos-Butenos, deberá ajustarse para cumplir la siguiente condición: Mantener siempre un exceso de Metanol.
- La conversión de equilibrio también varía con la relación Metanol-Isobuteno. La conversión se incrementa conforme aumenta la relación de Metanol-Isobuteno a temperatura constante. Sin embargo, un exceso mayor de Metanol requiere incrementar los costos para la recuperación de Metanol adicional.
- Esto último indica que el contenido de Metanol está limitado por la composición azeotrópica del MTBE en el domo de la columna.
- El contenido de Isobuteno en la alimentación de Butanos-Butenos y la composición azeotrópica Butanos-Butenos-Metanol en el domo de la columna de MTBE son índices indirectos determinantes de la conversión de Isobuteno que puede ser lograda en la Sección de Reacción.
- Debido a esto, ambos parámetros son cuantificados continuamente en la planta, mediante analizadores en línea para vigilar en forma continua la conversión de Isobuteno a MTBE.
- El exceso de Metanol en el efluente del reactor define la conversión óptima que podrá ser lograda, para cualquiera de las condiciones de operación dadas.
- El flujo de Metanol que se mezcla con la corriente de Butanos-Butenos se ajusta mediante un controlador de relación de flujo que regula el flujo de Metanol en función del contenido de Isobuteno de la corriente de Butanos-Butenos, el cual es determinado por un analizador continuo de concentración, en la línea de Butanos-Butenos que se mezcla con Metanol, manteniendo una relación molar Metanol/Isobuteno de 1.1.

Temperatura.

- La síntesis de MTBE es una reacción catalítica exotérmica, que se lleva a cabo en fase líquida y está gobernada por el equilibrio termodinámico. De acuerdo a la termodinámica, cuando se incrementa la concentración de MTBE en la mezcla de reacción a tal grado que, la relación entre las actividades de los componentes individuales, sea igual a la constante de equilibrio a la temperatura de reacción, se alcanza la conversión termodinámica y la reacción se detiene. Ésta conversión es claramente la máxima alcanzable a una temperatura dada. A temperaturas más bajas, el grado de conversión que se logra es mayor.

- La reacción de síntesis de MTBE está gobernada por el equilibrio termodinámico y se induce hacia la formación de MTBE a bajas temperaturas, mientras que la cinética de la reacción se favorece a altas temperaturas.

- El reactor primario para la síntesis de MTBE deberá alcanzar la máxima conversión termodinámica. Para lograr esto la temperatura de reacción deberá conservarse tan baja como sea posible, de acuerdo con la cinética de la reacción, la cual por el contrario, requiere temperaturas más elevadas para lograr velocidades altas de reacción.

- La baja temperatura minimiza la reacción lateral del DME y maximiza la conversión de MTBE.

- La temperatura del reactor primario deberá limitarse hasta 92 °C como máximo ya que si la temperatura es mayor el catalizador puede dañarse.

Presión.

- El calor de la reacción exotérmica de formación de MTBE eleva la temperatura del reactor hasta el punto de burbuja de manera que la presión de operación determinará la máxima temperatura en el reactor. Ésta es una característica de seguridad inherente al diseño del reactor primario.

- A medida que el catalizador se desactiva la conversión tiende a reducirse. Para compensar ésta reducción se puede incrementar la temperatura de alimentación al reactor primario y la presión a la columna de MTBE.

- La presión en la Sección de Reacción será controlada mediante el ajuste del controlador de presión en el domo de la columna.

- La presión de operación de la columna de MTBE se efectúa controlando el flujo de salida de vapor del domo.

- Cuando se verifique un flujo de vapor muy bajo en el domo de la columna de MTBE y la válvula de control por presión, disminuya el paso de vapor hacia el condensador, para reestablecer la presión de operación en la columna, el condensado tenderá a subenfriarse, ya que dispondrá de toda la capacidad de condensación. Bajo tal situación, la presión del tanque acumulador descenderá, permitiendo que fluya vapor saturado por la derivación hacia el mismo tanque, en donde al entrar en contacto con el condensado subenfriado, éste condensará. De ésta forma, se evitará la acumulación de condensado subenfriado el cual, de ser recirculado como reflujo, provocaría una disminución adicional en la presión de la columna.

- La derivación del vapor caliente regulada mediante un control diferencial de presión, ayuda a tener un control más estable de la presión de operación de una columna de destilación, ya que permite equilibrar en forma suave e inmediata las variaciones en la capacidad de condensación que ocurren en el condensador. Dicho equilibrio se alcanza abatiendo la tendencia a subenfriamiento del condensado mediante su saturación inducida a través del flujo de vapor caliente sobre la superficie del condensado del acumulador de reflujo.

- Por otra parte, la línea de derivación de vapor caliente, permite mantener una presión de operación constante en el tanque acumulador de reflujo, evitando que se force la bomba de reflujo como resultado de alguna disminución de la presión en el tanque acumulador.
- El tanque acumulador de reflujo de la columna de MTBE, cuenta con una línea conectada al sistema de desfogue en la parte superior del mismo.
- El condensado que se recibe en el acumulador de reflujo de la columna de MTBE, se envía una parte como líquido de reflujo, el cual se alimenta a control de flujo al domo de la columna y otra parte se envía a la Sección de recuperación de Metanol como destilado.

SECCIÓN DE RECUPERACIÓN DE METANOL.

- Esta sección tiene como finalidad recuperar el exceso de Metanol que no reaccionó en la Sección de Reacción de MTBE. La Sección de Recuperación está integrada por dos etapas: Una de extracción de Metanol con Agua y otra de destilación de Metanol.

Extracción de Metanol.

- El destilado de la columna de MTBE se alimenta a la columna de extracción de Metanol en donde se alimenta a contracorriente agua desmineralizada en una relación Agua/Metanol en peso de 7.7 .
- Ésta relación se mantiene a través del control del flujo de alimentación de agua desmineralizada.
- La operación a baja temperatura mejora el funcionamiento de la columna de extracción ya que las temperaturas bajas favorecen a la extracción de Metanol. Debido a esto, el agua desmineralizada empleada para la extracción de Metanol, deberá tener una temperatura máxima de 38 °C con objeto de extraer la mayor cantidad de Metanol.
- Es importante mantener el nivel de interfase en la parte superior de la columna de extracción de Metanol. El nivel de interfase se controla mediante un control de nivel el cual ajusta el flujo de salida de la mezcla Agua-Metanol del fondo de la columna o bien mediante el ajuste del flujo de alimentación de Agua a la columna.
- El Agua con que se efectúa la extracción de Metanol, es recuperada y recirculada a la columna de extracción, para nuevamente extraer más Metanol; de ésta forma, dicha Agua se va saturando con Metanol y Alcohol Terbutílico.
- Con el propósito de mantener una baja concentración de Alcohol Terbutílico y otros contaminantes, el Agua que se recircula para extracción de Metanol, se deberá purgar cada dos semanas ya sea en forma discontinua o bien como un pequeño flujo continuo en función de la producción de Alcohol Terbutílico, la operación de la columna de Metanol y la calidad del Metanol alimentado.
- La purga de Agua resultante del sistema, deberá contener menos de 25 p.p.m. en peso de Metanol y será enviada al sistema de tratamiento de efluentes de la refinería de Cd. Madero.

- La presión de operación de la columna de extracción se mantiene mediante un control de presión sobre la salida superior de refinado de Butanos-Butenos, manteniendo una presión en ésta corriente aproximada de 8.1 atm.
- Para mantener un perfil de temperatura adecuado para la recuperación de Metanol en la columna, el flujo de vapor de baja presión que se alimenta al rehervidor de la columna, se ajustará a través de un control de temperatura.
- Cuando se verifique un flujo de vapor muy bajo en el domo de la columna y la válvula de control por presión, disminuya el paso de vapor hacia el condensador, para reestablecer la presión de operación en la columna, el condensado tenderá a subenfriarse, ya que dispondrá de toda la capacidad de condensación. Bajo tal situación, la presión del tanque acumulador desenderá, permitiendo que fluya vapor saturado por la derivación hacia el mismo tanque, en donde al entrar en contacto con el condensado subenfriado, éste condensará. De ésta forma, se evitará la acumulación de condensado subenfriado, el cual de ser recirculado como reflujo, provocaría una disminución adicional en la presión de la columna.
- La derivación del vapor caliente regulada mediante un control diferencial de presión, ayuda a tener un control más estable de la presión de operación de una columna de destilación, ya que permite equilibrar en forma suave e inmediata las variaciones en la capacidad de condensación que ocurren en el condensador. Dicho equilibrio se alcanza abatiendo la tendencia a subenfriamiento del condensado mediante su saturación inducida a través del flujo de vapor caliente sobre la superficie del condensado del acumulador de reflujo.
- Por otra parte, la línea de derivación de vapor caliente, permite mantener una presión de operación constante en el tanque acumulador de reflujo, evitando que se force la bomba de reflujo como resultado de alguna disminución de la presión en el tanque acumulador.
- El tanque acumulador de reflujo de la columna, cuenta con una línea conectada al sistema de desfogue en la parte superior del mismo en la que se tiene una válvula de control la cual se deberá abrir cuando sea necesario.
- El condensado que se recibe en el acumulador de reflujo de la columna, se envía una parte como líquido de reflujo, el cual se alimenta a control de flujo al domo de la columna y otra parte se envía como destilado hacia el tanque de Metanol cuyo flujo está regulado en función del nivel de condensado en el acumulador de reflujo.
- La presión de operación en el tanque de Metanol, se mantiene mediante un sistema de control de presión de rango dividido, el cual en caso de sobrepresión, releva parte de los vapores al sistema de desfogue o bien cuando baja la presión, admite la inyección de Nitrogeno (N_2) para reestablecer la presión de operación establecida para el tanque.

OPERACIONES NORMALES.

Pruebas y preparación para el arranque

Lavado.

- El lavado debe efectuarse dividiendo la planta en circuitos. Se debe introducir agua con presión suficiente por los puntos altos y se drenará por los puntos bajos con bridas suficientemente separadas o válvulas totalmente abiertas.

- Todas las líneas y recipientes deberán lavarse con agua para eliminar toda la suciedad, residuos metálicos de la construcción, restos de soldadura y otros materiales extraños. Antes del lavado deberán abrirse los venteos de todos los recipientes y torres y desconectar las líneas de succión de todas las bombas.

- Todas las placas de orificio y termopozos deben quitarse de la tubería.

- Las válvulas de control deben quitarse o bien desembridarse del lado de la tubería que se va a lavar, cubriendo su propia brida con una pieza de lamina. Cuando se haya comprobado que la tubería antes de la válvula automática ya está perfectamente limpia, conectar nuevamente la válvula y proseguir el lavado corriente abajo de ésta. El mismo procedimiento debe seguirse para cada circuito.

- Todas las líneas pueden lavarse por prodrenaje de columnas y recipientes, de no ser posible ésta operación se deberán lavar con agua contra incendio o introduciendo vapor.

Prueba hidrostática.

- La prueba debe llevarse a cabo dividiendo la planta en circuitos. Con condiciones de operación y prueba hidrostática semejantes. Deben bloquearse los manómetros donde la presión de prueba sea superior a su rango. Deben colocarse juntas ciegas donde existan válvulas de seguridad.

- Todos los equipos bajo pruebas de presión deben ventearse al llenarse con agua.

- Todos los elementos internos que no estén diseñados para la prueba de presión deben aislarse o eliminarse.

- En tuberías de acero al carbón la prueba hidrostática nunca debe llevarse a cabo con agua a menos de 15 °C

Prueba de hermeticidad y continuidad.

- La finalidad es verificar que hayan sido debidamente apretadas todas las bridas que no estuvieron sujetas a la prueba hidrostática.

- El momento más adecuado para llevar a cabo las pruebas de hermeticidad es durante las primeras etapas del arranque.

- Durante el represionamiento de la planta en las secciones en que se maneje gas, las pérdidas de presión deben ser menores de 0.2 Kg/cm² por hora durante 6 horas.

- La continuidad en tuberías, equipo y sistemas pueden comprobarse con un flujo de aire seco y limpio para evitar que se queden juntas ciegas olvidadas y que impidan el flujo normal de operación.

Introducción de servicios.

- Todos los servicios auxiliares a la planta deben introducirse a ésta tan pronto como estén disponibles y sea posible y conveniente hacerlo, ya que ello permitirá realizar las pruebas de los circuitos neumáticos y eléctricos de control y protección, la verificación de instrumentos y válvulas automáticas y la corrida de prueba para bombas, equipo mecánico. En el caso de sistema de vapor debe procurarse un calentamiento gradual de los mismos para evitar daños por golpes de ariete.

OPERACIONES ESPECIALES.

Carga, Descarga y Disposición del Catalizador.

Catalizador de los Reactores.

- El catalizador empleado es suministrado en tambores de 200 lbs.

- La carga de catalizador se efectúa a través del registro de hombre localizado en la parte superior del mismo desde donde se permite la caída libre del catalizador al reactor parcialmente lleno con Agua desmineralizada.

- La resina se recibirá en forma húmeda con un contenido de Agua del 50% en peso, el Agua deberá ser eliminada mediante un lavado con Metanol antes de iniciarse la operación de los reactores para la reacción entre el Isobuteno y Metanol para producir MTBE. La mezcla Metanol-Agua resultante del lavado con Metanol, se enviará a la Sección de Recuperación de Metanol en donde se recuperará el Metanol presente en la mezcla y se recirculará hacia el tanque de Metanol.

- A medida que se sustituye el Agua por Metanol en la resina, ésta se seca y se contrae entre un 10-30% aproximadamente de su volumen original.

- El vaciado del catalizador se realiza a través de la boquilla de descarga de catalizador en la parte inferior de los reactores, de donde el catalizador gastado se colectará en depósitos adecuados para su disposición.

- El catalizador gastado se emplea regularmente como relleno sanitario, sin embargo, puede poseer impurezas como aminas o metales contaminantes eliminados de las corrientes de proceso de hidrocarburos, las cuales requieren de un control más estricto para su disposición, debido a esto, se requiere efectuar un análisis detallado del catalizador antes de ser eliminado.

PROCEDIMIENTO DE PARO NORMAL.

- Éste procedimiento es aplicable a un paro programado de la unidad, como el que se requiere para la inspección o el mantenimiento del equipo. Describe las operaciones principales para preservar al personal y equipo de circunstancias inconvenientes.

- **Disminución de la carga de enfriamiento:** Comenzar a bajar la carga de la planta hasta la mínima capacidad de operación (60 %). En seguida suspender la alimentación de Butanos-Butenos y continuar con la circulación de Metanol a través de los lechos catalíticos. Simultáneamente comenzar a disminuir el flujo de vapor al calentador de carga al reactor primario con objeto de enfriar el catalizador y el equipo. Es importante mantener la temperatura mayor a 40 °C mientras exista Isobuteno en los lechos catalíticos, para evitar pérdida activa del catalizador a causa del depósito del dimero de Isobuleno en la superficie del mismo, que se forma a temperaturas menores de 40 °C.

Mantener la circulación de Metanol el tiempo suficiente para lavar y enfriar los lechos catalíticos hasta lograr una temperatura cercana a la ambiente. Durante toda ésta etapa se deberá mantener la recirculación de Agua a través de los intercambiadores.

Al suspender la alimentación de Butanos-Butenos y bajar la temperatura en el catalizador se detendrá la reacción de tal manera que el metanol de lavado arrastrará hasta la torre separadora, el MTBE y los Butanos-Butenos remanentes para su separación.

Bajo éstas condiciones, el MTBE quedará fuera de especificaciones y se enviará como tal a L.B. Por otra parte los Butanos-Butenos y el Metanol saldrán por el domo de la torre para continuar hasta la torre lavadora en donde se separarán los Butanos-Butenos hasta donde sea posible. En caso de presionamiento del sistema de separación de MTBE, enviará los vapores del tanque acumulador al desfogue, utilizando el control manual instalado en éste recipiente. Con respecto al Metanol éste pasará junto con el agua, desde el fondo de la torre lavadora hasta la torre de separación para continuar con su recuperación y envío hacia la alimentación de manera similar que en el arranque.

Disminuir paulatinamente la circulación de Metanol a través de la planta hasta suspenderla totalmente. Cuidar en todo momento los niveles, temperaturas y presiones de los equipos para actuar oportunamente y evitar riesgos al personal y/o daño a los equipos.

Bloquear todos los cambiadores de calor por el lado de vapor de baja y suspender la recirculación de agua en la sección de separación del Metanol y finalmente bloquear la alimentación de agua a todos los enfriadores.

-Vaciado de equipo:

a) **Sección de reacción:** Bloquear con válvulas la sección de reacción, presionar con gas el reactor o los reactores y drenarlos lentamente hacia el drenaje químico utilizando la conexión que tiene para ello.

El resto del equipo y tubería se vaciarán utilizando su conexión de drene respectivo. Abrir venteos para evitar presiones negativas en el sistema.

Antes de entregar cualquier tubería o equipo a mantenimiento se deberá vaporizar, abriendo sus drenes y venteos, hasta que no se detecten mezclas explosivas.

Bloquear con juntas ciegas las boquillas de los recipientes antes de permitir el acceso de personal al interior de los mismos.

b) Sección de separación de MTBE: Verificar que esté cerrada la válvula de bloqueo de la línea de salida del segundo reactor y bloquear la válvula de control de nivel. Arrancar una de las bombas y retornar a la torre la mayor cantidad posible de líquido contenido en el acumulador, al mismo tiempo que se envía el líquido del fondo de la torre a producto fuera de especificación aprovechando la presión disponible en el sistema.

Depresionar el sistema enviando el gas al desfogue. Bloquear las bombas y abrir los drenes y venteos al desfogue.

c) Sección de separación de Metanol: Habiendo asegurado el bloqueo de la válvula de control, el vaciado de la torre lavadora de Butanos-Butenos, se realizará de la siguiente manera: aprovechando la presión de operación de la torre lavadora, se bloquean las válvulas de control, de ésta manera, se envía el contenido de la torre lavadora a producto fuera de especificación, el vaciado de ésta torre se hace hasta el nivel mínimo; una vez hecho esto, se cierra la válvula para enviar el gas remanente (Butanos-Butenos) hacia desfogue

PROCEDIMIENTO PARO DE EMERGENCIA:

Un paro de emergencia generalmente ocurre debido a falla de servicios auxiliares, falla de alimentación, falla de equipo y fuego.

El personal de operación deberá estudiar con anticipación los pasos a seguir en cualquier situación de emergencia, con el fin de actuar correctamente cuando ésta se presente. En virtud de que es difícil predecir la causa de las fallas, en éste apartado se tratarán las siguientes emergencias.

-Falla de servicios auxiliares:

a) Falla de agua de enfriamiento: La falla de éste servicio obligará al paro de la planta, ya que los condensadores y enfriadores no podrán trabajar. Por lo tanto las acciones a tomar son:

-Cortar el suministro de vapor de baja presión a los rehervidores.

-Cortar la carga de Butanos-Butenos de alimentación al reactor primario.

-Vigilar la presión de los equipos, en caso de un aumento apreciable de ésta, abrir las válvulas de venteo hacia el desfogue.

-Mantener al máximo el reflujo de las torres .

-Vigilar el nivel en las torres así como en los acumuladores de reflujo.

Apartir de éste punto se procede con el paro normal de la planta.

b) Falla de aire de instrumentos: La falla de éste servicio interrumpirá la operación de la planta; sin embargo, la posición que toman las válvulas automáticas es tal, que da seguridad a los equipos.

En ésta emergencia se tomará en cuenta lo siguiente:

-Asegurarse que se corta la carga de Butanos-Butenos mediante el bloqueo de la válvula automática de alimentación al primer reactor.

-Vigilar los niveles y parar bombas.

-Bloquear las válvulas automáticas.

c) Falla de corriente eléctrica: La falla de éste servicio provocará que la planta de producción de MTBE salga de operación, debido a que las bombas son accionadas por motor eléctrico. Por lo tanto las acciones a tomar para ésta situación son las siguientes:

-Proceder al paro de la sección de reacción mediante el corte de la carga de Butanos-Butenos por medio del bloqueo de la válvula de alimentación al primer reactor.

-Cortar el vapor de baja presión a los calentadores y rehervidores (evitando inicialmente que la temperatura de alimentación al primer lecho catalítico sea menor a 40 °C).

-Vigilar la presión de los equipos, si aumentará, ventear hacia el desfogue.

-Bloquear las laterales de las válvulas automáticas y de las descargas de las bombas.

d) Falla de vapor de baja presión: La falla de éste servicio provocará el paro total de la planta debido a la siguiente consecuencia:

1.- En las torres C-102 y C-104 no habrá separación. Por lo tanto, se recomiendan las siguientes acciones:

-Cortar la carga de Butanos-Butenos mediante la válvula de alimentación al primer reactor.

-Vigilar la presión de los equipos, si se requiere, inyectar gas inerte.

-Posteriormente continuar con el paro normal de la planta.

e) **Falla de alimentación:** Cuando esto ocurra se procederá a cerrar la válvula de alimentación de Butanos-Butenos al primer reactor, y proceder enseguida al paro normal de la planta.

f) **Fallas mecánicas:** Es difícil predecir la falla en tuberías, válvulas, instrumentos, bombas, recipientes u otros equipos.

Si los problemas son leves pueden resolverse sin el paro de la planta. Sin embargo, cuando los problemas son más severos deberá procederse al paro de emergencia para evitar serios daños al equipo u ocasionar otros que puedan atentar contra la integridad del personal de operación

g) **Fuego:** Si ocurre ésta emergencia es necesario actuar a lo estipulado en las normas contra incendio locales del complejo industrial. Procederá actuar y bloquear los medios de calentamiento.

Aislar el equipo incendiado y transferir los líquidos contenidos en éste a áreas más seguras. Enviar todos los líquidos procesados fuera de L.B; así mismo aislar en L.B.

Si es imposible proceder conforme a lo indicado con anterioridad bloquear límites de batería.

Sumario de productos laterales y corriente de desecho

a) **Productos laterales:** Como producto lateral principal se tiene el refinado de Butanos-Butenos, obtenido al separarlo por destilación del MTBE producto y después de quitarle el Metanol. Ésta corriente sale a límite de baterías con destino a la unidad OLEFLEX en la cual se le dará tratamiento para convertirlos en Isobuteno mediante una Isomerización seguida de una deshidrogenación y de ahí recircularla a la unidad productora de MTBE. El flujo y características de ésta corriente se encuentran detalladas en el balance de materia y energía.

Otro producto lateral es el constituido por la corriente de Metanol que se obtiene al fraccionar la mezcla de Metanol-Agua efluente de la operación de lavado. La corriente de Metanol se envía hacia el Tanque de almacenamiento de Metanol fresco, ya que tiene la cantidad necesaria para ser recirculada a proceso. Cabe señalar que ésta corriente es resultante del exceso de Metanol con respecto al estequiométrico necesario que se utiliza en la sección de reacción. El flujo y características de ésta corriente también se encuentran en el punto referente al balance de materia y energía.

b) **Corrientes de desecho:** Como corriente de desecho puede clasificarse la purga que se debe hacer del agua de lavado para evitar la acumulación de impurezas, en vista de que la corriente de agua opera en circuito cerrado. La purga se deberá hacer mediante la boquilla de drenaje ubicada en la torre separadora de Metanol-Agua cuando se detecten altas concentraciones de contaminantes por conducto de la toma de muestra correspondiente.

Además de ésta corriente de desecho, se tendrán otras pequeñas cantidades de agua constituidas principalmente por drenes ocasionales en equipos, limpieza de sellos de

bombas, agua de lavado y agua de lluvia. Ésta constituirá la mayor cantidad de éstas corrientes.

El agua tanto de limpieza como de lluvia pueden estar ligeramente contaminadas con Metanol, Butanos-Butenos y/o MTBE, dependiendo de la cantidad y mantenimiento de los sellos de las bombas y del cuidado de los operadores.

c) **Catalizador gastado:** El catalizador gastado utilizado en la síntesis del MTBE, se considera un desecho sólido de la planta y en virtud de que éste material, una vez que ha sido utilizado, no tiene ninguna aplicación conocida, es recomendable eliminarlo enviándolo a confinamiento químico.

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL ANALÍTICO.:

Los métodos de control analítico constituyen una herramienta fundamental para vigilar que en la planta se esté desarrollando el proceso adecuadamente y además permite hacer los ajustes necesarios en las condiciones operacionales a fin de conseguir los objetivos deseados.

Con el fin de mantener un buen control durante la operación de la planta de MTBE se tendrán varios analizadores en línea localizados en las siguientes corrientes:

Corriente	Detector	Componentes Analizados	Rango (%mol)
Alimentación de Hidrocarburos	Conductividad Térmica	-Isobutano -Isobuteno	0-50 0-50
MTBE producto	Ionización de Flama	-Isobutano -Isobuteno -Butano -t-2Buteno -c-2Buteno -Metanol -MTBE	0-5.0 0-5.0 0-5.0 0-5.0 0-5.0 0-5.0 70-100
Destilado (Metanol)	Ionización de Flama	-Isobutano -Isobuteno -Metanol -MTBE	0-50 0-1.0 0-10 0-1.0

El control analítico permitirá analizar las corrientes de alimentación a la planta de MTBE de tal forma que pueda detectarse cuando alguna de ellas, en algún momento dado, no cumpla con las especificaciones establecidas en las bases de diseño, lo cual haría posible notificar la anomalía de la planta de donde proviene la corriente para su pronta corrección.

También permitirá verificar que el MTBE y los Butanos-Butenos salgan hacia L.B. cumpliendo todas las especificaciones que se requieren en los productos.

Asimismo, utilizando las tomas de muestra en los puntos estratégicos de la planta se podrá tener un control que permita verificar el funcionamiento de los sistemas que

bombas, agua de lavado y agua de lluvia. Ésta constituirá la mayor cantidad de éstas corrientes.

El agua tanto de limpieza como de lluvia pueden estar ligeramente contaminadas con Metanol, Butanos-Butenos y/o MTBE, dependiendo de la cantidad y mantenimiento de los sellos de las bombas y del cuidado de los operadores.

c) **Catalizador gastado:** El catalizador gastado utilizado en la síntesis del MTBE, se considera un desecho sólido de la planta y en virtud de que éste material, una vez que ha sido utilizado, no tiene ninguna aplicación conocida, es recomendable eliminarlo enviándolo a confinamiento químico.

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL ANALÍTICO:

Los métodos de control analítico constituyen una herramienta fundamental para vigilar que en la planta se esté desarrollando el proceso adecuadamente y además permite hacer los ajustes necesarios en las condiciones operacionales a fin de conseguir los objetivos deseados.

Con el fin de mantener un buen control durante la operación de la planta de MTBE se tendrán varios analizadores en línea localizados en las siguientes corrientes:

Corriente	Detector	Componentes Analizados	Rango (%mol)
Alimentación de Hidrocarburos	Conductividad Térmica	-Isobutano	0-50
		-Isobuteno	0-50
MTBE producto	Ionización de Flama	-Isobutano	0-5.0
		-Isobuteno	0-5.0
		-Butano	0-5.0
		-t-2Buteno	0-5.0
		-c-2Buteno	0-5.0
		-Metanol	0-5.0
		-MTBE	70-100
Destilado (Metanol)	Ionización de Flama	-Isobutano	0-50
		-Isobuteno	0-1.0
		-Metanol	0-10
		-MTBE	0-1.0

El control analítico permitirá analizar las corrientes de alimentación a la planta de MTBE de tal forma que pueda detectarse cuando alguna de ellas, en algún momento dado, no cumpla con las especificaciones establecidas en las bases de diseño, lo cual haría posible notificar la anomalía de la planta de donde proviene la corriente para su pronta corrección.

También permitirá verificar que el MTBE y los Butanos-Butenos salgan hacia L.B. cumpliendo todas las especificaciones que se requieren en los productos.

Asimismo, utilizando las tomas de muestra en los puntos estratégicos de la planta se podrá tener un control que permita verificar el funcionamiento de los sistemas que

integran el proceso, de tal manera que, en caso de que algunas fallas sean detectadas en algunas de las corrientes de proceso, aquellas puedan ser corregidas oportunamente.

MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LAS MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTO TERMINADO:

Materias primas:

a) **Corriente de Butanos-Butenos de L.B:** Es muy importante determinar frecuentemente la composición de ésta corriente, ya que de su contenido de Isobuteno, dependerá el que se produzca la cantidad de MTBE especificada en la capacidad de la planta.

Adicionalmente es conveniente saber el contenido de ligeros para garantizar que con la presión de operación que se tiene se mantenga la corriente como fase líquida y además para poder hacer la comparación con la corriente de Butanos-Butenos reportada en bases de diseño para que en función de ésta, se efectúen los ajustes operacionales que más convengan a la planta.

Para determinar el contenido de Isobuteno se podrá utilizar el método ASTM D-4424-84 "Análisis de Butenos por cromatografía de gases".

b) **Corriente de Metanol de L.B:** Se tiene localizada una toma de muestra para la corriente de ingreso a la planta que permitirá conocer si la composición de ésta corriente corresponde a lo establecido en las bases de diseño.

Dentro de los componentes presentes, en ésta corriente, resalta la importancia del análisis del contenido de agua, ya que si se rebasan las especificaciones reportadas en las bases de diseño se producirá más Terbutanol en la sección de reacción, afectándose con ello la pureza del MTBE. La pureza del Metanol y su contenido de agua podrá analizarse utilizando el método ASTM E-346-78

c) **Productos terminados:** Las composiciones adecuadas, así como las condiciones de temperatura y presión en los puntos de muestreo para el producto de la planta aparecen reportadas en la tabla siguiente:

Corriente No.:	1	22	9
Fase:	Líquido	Líquido	Líquido
Componentes:	Porcentaje:	Porcentaje:	Porcentaje:
Propeno:	0.0500	0.0000	0.0000
Propano:	0.2200	0.0046	0.0000
Butano:	2.4200	0.0146	0.0000
Isobutano:	54.5200	0.2821	0.0000
Buteno:	0.5500	0.0061	0.0000
Isobuteno:	41.0100	0.0131	0.0000
Alcohol Terbutílico:	0.0000	0.0000	0.0541
Dimetil eter:	0.0000	0.0494	0.0000
Agua:	0.0000	0.5156	0.0023
Metanol:	0.0000	99.0150	1.7866
MTBE:	0.0000	0.0741	98.1560
Cis-2-Buteno:	0.6700	0.0100	0.0000
Trans-2 Buteno:	0.5200	0.0730	0.0000
Temperatura (°C):	28	80	41
Presión (atm):	4.5	3.1	5.7
Densidad (g/cm ³):	0.56	0.71	0.7197
Peso molecular:	57.22	32.10	87.14

d) Corriente de MTBE a L.B.: Con el objeto de tener un control de calidad adecuado para el producto final de la planta se tiene instalada una toma de muestra para la corriente de MTBE que se envía a L.B. y de ésta manera verificar que la separación por destilación de MTBE se esté realizando adecuadamente.

Las muestras, que deberán extraerse con la mayor frecuencia posible, serán sometidas a pruebas tales como "Análisis de MTBE por cromatografía de gases" Para vigilar que el MTBE se encuentre en el rango de especificaciones requeridas.

e) Corriente de Butanos-Butenos a L.B.: Los Butanos-Butenos es un subproducto de la planta que se obtiene en la sección de recuperación de Metanol. Para proceder a su análisis se instalará una toma de muestra en ésta corriente. Se debe hacer hincapie que ésta corriente deberá pasar las especificaciones anotadas en las bases de diseño.

Se utilizará el "Análisis de MTBE por cromatografía de gases", para determinar las composiciones de MTBE y Metanol en la corriente de Butanos-Butenos, que nos dan información de las operaciones de destilación y lavado que se realizan en la planta.

MÉTODOS ANALÍTICOS PARA EL CONTROL DE LA PLANTA:

a) Corriente de MTBE, Butanos-Butenos: Se analizará la corriente de salida del primer lecho catalítico con el objeto de poder extraer muestras que permitan evaluar la conversión obtenida de Isobuteno a MTBE así como la de algunos productos de reacciones laterales como el Terbutanol y el Di-Isobuteno. Es importante el frecuente análisis de ésta corriente, ya que mediante éste se puede determinar si la primera fase de la reacción se está llevando a cabo adecuadamente o si se requiere modificación en las variables importantes para corregir anomalías.

Esta toma de muestra también será de gran utilidad a medida que el catalizador vaya perdiendo su actividad, ya que permitirá ajustar las condiciones de operación al verificarse que la conversión se mantenga en los niveles requeridos y permitirá decidir el momento en que el catalizador deba ser cambiado.

Para determinar la conversión obtenida se podrá considerar el "Análisis de MTBE por cromatografía de gases".

b) Corriente de MTBE efluente del segundo reactor catalítico: Se tiene una toma de muestra localizada en la línea de salida del segundo reactor catalítico con el objeto de poder extraer muestras que permitan evaluar los mismos componentes que en el primer lecho.

El método de análisis que se utilizará para la corriente anterior es aplicable a ésta corriente de proceso.

c) Sección de recuperación de Metanol: En la corriente de Metanol de recirculación se tiene instalada una toma de muestra para conocer si la separación en la columna de Metanol se efectúa adecuadamente, analizando la cantidad de Metanol y Agua que se llevan en ésta corriente.

El método de análisis que se utiliza para ésta corriente es el ASTM E-346-78 "Análisis de Metanol".

d) Corriente de Agua de L.B.: Hay una toma de muestra colocada en la línea de alimentación de ésta corriente con el objeto de verificar que el Agua no lleve exceso de contaminantes. Ésta corriente es importante, ya que debe llevar a cabo el lavado para recuperar el Metanol de la corriente de Butanos-Butenos provenientes de la torre separadora de MTBE. Es particularmente importante vigilar que el Agua no contenga concentraciones de dureza mayores a las permisibles para evitar incrustaciones en los equipos en los que se utiliza. También es conveniente que sean chequeados el contenido de sólidos disueltos y el pH del líquido.

El método ASTM D-1126-80 "Dureza en el Agua", será utilizado para determinar la dureza del Agua. Para la medición de pH se podrá utilizar el método ASTM D-1293-78 "pH del Agua" o el método ASTM D-1067-70 "Acidez o alcalinidad del Agua". Para obtener la cantidad total de sólidos disueltos se podrá utilizar el método ASTM D-1888-78.

e) Corriente de agua de fondos de la torre separadora de Metanol-Agua: Se tiene localizada una toma de muestra en el fondo de la torre separadora de Metanol-Agua con el objeto de comprobar si se realizó una buena separación, por lo cual se analizará el Agua, haciendo énfasis en la cantidad de Metanol contenida en ésta corriente.

El método de análisis utilizado es el ASTM D-3695-82 "Determinación de Alcoholes volátiles en Agua por inyección directa en cromatografía de gases".

TÉCNICAS DE MUESTREO:

Para el muestreo de las distintas corrientes que requieren ser analizadas a fin de tener un control adecuado en la planta de MTBE. Referirse a los estándares indicados a continuación:

1.- Materias primas:

a) Corriente de Butanos-Butenos procedente de la planta OLEFLEX:
Método de muestreo: ASTM E-300-73 "Muestreo de químicos industriales".

b) Corriente de Metanol de L.B.:
Método de muestreo: ASTM E-300-73 "Muestreo de químicos industriales".

2.- Productos:

a) Corriente de MTBE a L.B.:
Método de muestreo: ASTM E-300-73 "Muestreo de químicos industriales".

b) Corriente de Butanos-Butenos a L.B.:
Método de muestreo: ASTM E-300-73 "Muestreo de químicos industriales".

3.- Agua de L.B.:

Método de muestreo: ASTM E-3370-76 "Muestreo del Agua".
ASTM E-1192-70 "Equipo de muestreo de Agua y vapor".

4.- Agua de fondos de la torre separadora de Metanol-Agua:

Método de muestreo: ASTM E-3370-76 "Muestreo del Agua".
ASTM E-1192-70 "Equipo de muestreo de Agua y vapor".

Los métodos analíticos nombrados anteriormente son los métodos recomendados por los estándares ASTM de los cuales se hará mención de la bibliografía al final de éste trabajo.

ARRANQUE DE LA PLANTA:

El procedimiento para el arranque y reinicio de la unidad es descrito a continuación.

Una descripción esquemática de estos procedimientos esta dada en orden para la comprensión de esta filosofía de operación.

Preinicio:

- ✓ Checar todos los circuitos.
- ✓ Checar todos los equipos.
- ✓ Lavado de líneas y equipos.

En orden para evitar el envenenamiento de la resina, la sección de reacción deberá ser lavada con agua desmineralizada. Si los otros equipos son lavados con agua no desmineralizada, después de drenarlos, se hará pasar una corriente con agua desmineralizada.

- Arranque de las bombas (con agua durante el lavado).
- Drenado del agua, presurización y depresurización del aire a bajos puntos para completar el drenado.
- Checar que las líneas de los reactores estén limpias, distribuidores, platos, válvulas.
- Checar el ensamble de los cartuchos en los filtros F-101 A/B al F-104 A/B.
- Preparación de todos los servicios (aire de instrumentos, nitrógeno, agua de enfriamiento, agua de proceso, vapor, etc.).
- Liberar el aire de toda la unidad por medio purgas de nitrógeno.

Primera etapa del arranque:

A) Carga de la resina.

La resina deberá ser almacenada y cargada a una temperatura superior a los 0°C.
Usar un alto nivel de agua desmineralizada en los reactores.

Cargar la resina (a través del manhole en la parte superior de los reactores R-101 y R-102).

B) Lavado y eliminación de finos de la resina.

La resina se lava con agua desmineralizada para eliminar algunos residuos de la sulfonación remanente sobre esta.

Se eliminan los finos de la resina en los reactores para evitar que se presenten durante la operación normal. El agua del lavado es recuperada al mismo tiempo.

Lavado de la resina en los reactores:

Se hace circular agua desmineralizada a través de la resina.

El flujo de agua es con una velocidad superficial de 3 m/hr.

La cantidad de agua circulada es del orden de 5 volúmenes del lecho de resina.

El agua es drenada como agua aceitosa con una ligera presurización de nitrógeno.

Eliminación de finos de la resina en los reactores:

La sección de reacción incluyendo todos los equipos del circuito son llenados con agua desmineralizada.

El flujo de agua es alimentado como este disponible.

Se arrancan las bombas ajustando el flujo para tener una expansión de la resina del 50% en volumen (la velocidad superficial del líquido en los reactores es de 17 m/hr. a 30°C. o 14 m/hr. a 15°C.).

Se recuperan los finos en los filtros y son pesados.

El agua se drena durante el lavado.

La eliminación de finos es finalizada cuando no son recuperados más finos en los filtros y la diferencia de presión no se incrementa.

La cantidad de agua circulada es del orden de 5 volúmenes del lecho de resina.

El agua es drenada como agua aceitosa con una ligera presurización de nitrógeno.

C) Secado de la resina por circulación de Metanol.

El agua remanente en la resina después del drenado es alrededor del 40 o 50% en peso de la resina.

El secado se hace por circulación de Metanol (nunca se debe secar la resina con nitrógeno).

El secado se lleva a cabo en orden para evitar, que la resina tenga un alto contenido de agua y durante un largo periodo haya una baja conversión de MTBE y una alta cantidad de Alcohol Terbutílico y dímeros.

Arranque de la columna de Metanol-Agua (C-104).

El tanque acumulador de la columna de Metanol (V-105) es llenado con Metanol.

El fondo de la columna es llenado con Agua.

El tanque acumulador opera en reflujo total.

Secado de los reactores R-101 y R-102.

La cantidad de Metanol utilizado en la sección de reacción, es suministrado por la línea de alimentación de Metanol.

El secado de los reactores se desarrollo con respecto al siguiente circuito:

- Tanque acumulador de la columna de Metanol (V-105).
- Bomba de recirculación/reflujo de Metanol (B-106 A/B).
- Tanque de Metanol (V-102).
- Bomba de Metanol (B-101 A/B).
- Columna eliminadora de cationes (C-101).
- Bomba de C-101 (B-102 A/B).
- Precalentador de carga del reactor principal (E-101).
- Reactor primario (R-101).
- Reactor secundario (R-102).

Lavado de la resina en los reactores:

Se hace circular agua desmineralizada a través de la resina.

El flujo de agua es con una velocidad superficial de 3 m/hr.

La cantidad de agua circulada es del orden de 5 volúmenes del lecho de resina.

El agua es drenada como agua aceitosa con una ligera presurización de nitrógeno.

Eliminación de finos de la resina en los reactores:

La sección de reacción incluyendo todos los equipos del circuito son llenados con agua desmineralizada.

El flujo de agua es alimentado como este disponible.

Se arrancan las bombas ajustando el flujo para tener una expansión de la resina del 50% en volumen (la velocidad superficial del líquido en los reactores es de 17 m/hr. a 30°C. o 14 m/hr. a 15°C.).

Se recuperan los finos en los filtros y son pesados.

El agua se drena durante el lavado.

La eliminación de finos es finalizada cuando no son recuperados más finos en los filtros y la diferencia de presión no se incrementa.

La cantidad de agua circulada es del orden de 5 volúmenes del lecho de resina.

El agua es drenada como agua aceitosa con una ligera presurización de nitrógeno.

C) Secado de la resina por circulación de Metanol.

El agua remanente en la resina después del drenado es alrededor del 40 o 50% en peso de la resina.

El secado se hace por circulación de Metanol (nunca se debe secar la resina con nitrógeno).

El secado se lleva a cabo en orden para evitar, que la resina tenga un alto contenido de agua y durante un largo periodo haya una baja conversión de MTBE y una alta cantidad de Alcohol Terbutílico y dímeros.

Arranque de la columna de Metanol-Agua (C-104).

El tanque acumulador de la columna de Metanol (V-105) es llenado con Metanol.

El fondo de la columna es llenado con Agua.

El tanque acumulador opera en reflujo total.

Secado de los reactores R-101 y R-102.

La cantidad de Metanol utilizado en la sección de reacción, es suministrado por la línea de alimentación de Metanol.

El secado de los reactores se desarrolla con respecto al siguiente circuito:

- Tanque acumulador de la columna de Metanol (V-105).
- Bomba de recirculación/reflujo de Metanol (B-106 A/B).
- Tanque de Metanol (V-102).
- Bomba de Metanol (B-101 A/B).
- Columna eliminadora de cationes (C-101).
- Bomba de C-101 (B-102 A/B).
- Precalentador de carga del reactor principal (E-101).
- Reactor primario (R-101).
- Reactor secundario (R-102).

- Entonces se manda al tanque acumulador de la columna de Metanol por una línea especial.

Un mínimo de 5 volúmenes de Metanol con respecto a la resina se hacen circular por el circuito y el contenido de agua se elimina de los reactores permaneciendo un máximo de 5,000 p.p.m. en peso.

Posteriormente la circulación de Metanol se detiene.

Entonces el Metanol es drenado de la sección de reacción hacia el tanque acumulador de la columna de Metanol.

El drenado de la sección de reacción se hace bajo presurización de nitrógeno.

D) Agua utilizada.

Para la columna de extracción de Metanol (C-103).

E) Alimentación de Butanos no reactivos.

El llenado debe ser hecho con material no reactivo (conteniendo Isobutileno):

- Para el arranque inicial.
- Para el llenado de un reactor al cual le ha sido cambiada la resina.
- Cuando el Metanol ha sido drenado de la sección de reacción bajo una ligera presurización de nitrógeno.

- Checar que la alimentación al precalentador este fría.

- Los Butanos no reactivos se alimentan a la columna eliminadora de cationes (C-101) hasta su nivel normal.

- Debe ser llenada toda la sección de reacción.

- Checar que todo este lleno al arrancar las bombas.

Continuar alimentando Butanos:

- A la columna eliminadora de cationes (C-101).

- A los reactores (R-101 y R-102).

- A la columna de MTBE (C-102).

- A la columna de extracción (C-103).

F) Circulación de Agua.

El Agua es circulada a:

- La columna de extracción (C-103) de la columna de Metanol (C-104).

G) Recirculación de Butanos no reactivos.

Establecer la siguiente recirculación de Butanos no reactivos:

- Tanque de Butanos-Butenos (V-101).

- Columna eliminadora de cationes (C-101).

- Bomba de C-101 (B-102 A/B).

- Precalentador de carga del reactor principal (E-101).

- Reactor primario (R-101).

- Filtros (F-101 y F-102 A/B).

- Recirculación a R-101

- Reactor secundario (R-102).

- Filtros (F-103 y F-104 A/B).

- Columna de MTBE (C-102).

- Acumulador de C-102 (V-103).

- Bomba de alimentación de C-103 (B-104 A/B).

- Columna de extracción (C-103).
- De aquí se recircula a V-101.

El flujo de Butanos recirculados es alrededor del 50% de la capacidad nominal.

Operar la columna de extracción (C-103).

Checar la relación Metanol/Butanos en el reactor primario. Esta relación ira decreciendo.

Cuando la relación es alrededor del 80% de el máximo valor del azeotropo, inyectar una pequeña cantidad de Metanol al reactor principal (R-101) para mantener la relación entre un 60 y 80% de el máximo valor del azeotropo.

Drenar en caso de ser necesario el exceso de Metanol en el fondo de la columna de MTBE (C-102).

Nota: Este procedimiento permite minimizar el MTBE producido fuera de especificaciones.

H) Alimentación de Butenos reactivos.

La alimentación de Butanos no reactivos es recirculada alrededor de un 50% de su capacidad nominal (como fue descrito anteriormente).

De la alimentación de Butenos reactivos en adición con la recirculación se obtiene:

- Una alimentación de Butanos-Butenos de alrededor del 100% de la capacidad nominal (alrededor del 50% de Butenos reactivos).

- La cantidad de Metanol debe ser rica en un 80% del azeotropo de la columna de MTBE (C-102).

Ajustar la recirculación del reactor primario (R-101).

Incrementar la temperatura de entrada al reactor primario.

Ajustar la columna de MTBE.

Ajustar la relación Metanol/Isobutileno a la entrada del proceso.

Seguir la conversión en los reactores y la especificación de los hidrocarburos.

Cuando las especificaciones son alcanzadas, la capacidad de la unidad se incrementa por pasos:

- Primero por un decrecimiento en la recirculación de Butanos alrededor de la unidad.

- Segundo por un incremento nominal en la alimentación de Butanos-Butenos.

CAPITULO 16

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

.- A manera de conclusión de las tareas realizadas en este trabajo podemos decir que:

Una buena parte del éxito obtenido en el trabajo de Ingeniería Básica radica en la obtención de las correctas propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de los materiales sólidos y fluidos involucrados en el proceso, y que son el fundamento del cálculo para el diseño de líneas, equipo e instrumentos.

.- En el desarrollo de la ingeniería básica de la planta de MTBE se muestra de una forma sencilla, pero se presenta desde su parte inicial que es la evaluación y el estudio de mercado, así como la elaboración de el cuestionario de diseño y el diseño de equipos y posteriormente realizar los distintos diagramas (DFP., DTI., y arreglo general de equipo). Con esto se integran los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Química.

.- Como se puede apreciar durante el desarrollo de la Ingeniería Básica, el uso de programas de computación y software, resultaron de enorme ayuda:

Como fue el caso del Balance de Materia y Energía para el proceso de obtención de MTBE, se utilizó el Simulador de Procesos ASPEN PLUS versión 8.5-4 perteneciente a la Facultad de Química.

Los dibujos de Hojas de Datos y Diagramas fueron elaborados con el software AUTOCAD versión 10.0.

GWBASIC se utilizó para hacer los programas para los diseños de los cambiadores de calor y los reactores.

.- Además se puede ver la conveniencia de que participen varias personas en el desarrollo del trabajo, ya que la cantidad del trabajo y de conocimientos que se requieren, rebasa la capacidad media de una persona.

- Las Horas Hombre utilizadas en la elaboración de éste trabajo fueron aproximadamente dos mil (2,000).

- Muchos de los problemas que tuvimos al realizar este trabajo fueron resueltos en equipo, esto implicaba que si teníamos alguna duda en general buscábamos toda la información posible, con esto discutíamos el caso y lo tratábamos de comprender en una forma integral, con esto planteábamos las posibles soluciones hasta llegar al resultado que nos pareciera más congruente.

- En la Ingeniería Básica desarrollada durante el trabajo, se puede observar que son labores de la Ingeniería de Proceso, las cuales son desarrolladas fundamentalmente por Ingenieros Químicos.

- Otras áreas como pueden ser los estudios previos, tales como estudio de mercado, estudios sociales y ecológicos, lo mismo que las partes posteriores de la Ingeniería Básica como lo es la Ingeniería de Detalle, la participación del Ingeniero Químico es tan importante como lo es en la Ingeniería de Proceso.

- Como se ha podido ver a través del tiempo, las modificaciones en los aditivos y antidetonantes de las gasolinas han sido necesarios de acuerdo a los avances que se han logrado en los vehículos automotores.

- De acuerdo al avance tecnológico en los motores de combustión interna, se ha buscado obtener un combustible que lleve a un porcentaje mayor la relación de combustión, tratando de aprovechar al máximo la energía que se tiene de la combustión y con esto disminuir las emisiones contaminantes.

- La rentabilidad del proceso de MTBE aquí presentado tiene un panorama alentador para su desarrollo industrial, debido a que la demanda del producto continúa en aumento en el mercado nacional e internacional. Es por ello que las mejoras realizadas en

cualquier paso de la producción, como pueden ser la calidad de las materias primas o una mejor tecnología producirán beneficios tanto a la empresa productora como al país. Por lo que queda abierta la posibilidad de un nuevo aditivo que sustituya el uso del MTBE.

En estudios interdisciplinarios como el aquí presentado se debería lograr el apoyo de empresas privadas y gubernamentales para realizar mejoras y desarrollos de procesos, fomentando así una mayor relación Universidad-Industria, y mejorando también la calidad de alumnos egresados de la carrera de Ingeniería Química en el campo del diseño y evaluación de plantas y procesos químicos.

ANEXO A
MEMORIAS DE CÁLCULO

CÁLCULO DE UN RECIPIENTE A PRESIÓN:

RECIPIENTE: V-101

SERVICIO: TANQUE ACUMULADOR BUTANO-BUTENOS

DATOS:

FLUJO $F=60,705 \text{ Kg/hr}$
 DENSIDAD $\rho=562.6 \text{ Kg/m}^3$
 PRESIÓN OPERACIÓN $P=4.37 \text{ atm.}=64.22 \text{ lb/in}^2$
 TIEMPO DE RESIDENCIA $\theta=15 \text{ min.}$

CÁLCULOS:

VOLÚMEN DEL LÍQUIDO:

$$Vl = \frac{F \cdot \theta}{\rho} = (60,705 \text{ Kg/hr})(15 \text{ min})(1 \text{ hr}/60 \text{ min}) / (562.6 \text{ Kg/m}^3) = 26.975 \text{ m}^3$$

L/D recomendada

PRESIÓN (lb/in ²)	L/D
VACIO	1
0	1.5
P<100	3
101 < P < 300	4
301 < P < 600	5

$P=64.22 \text{ lb/in}^2$ Por lo tanto $L/D=3$

CÁLCULO DEL DIÁMETRO:

$$D = .15 \cdot \left(\frac{Vl}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \quad D=D(\text{ft})$$

$$Vl = (26.975 \text{ m}^3) \left(\frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} \right)^3 = 952.62 \text{ ft}^3$$

$$D = 1.15(952.62 \text{ ft}^3 / 3)^{1/3} = 7.84 \text{ ft.} = 2.39 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro comercial} = D + 6 \text{ in} = D + 0.5 \text{ ft}$$

$$D_{\text{com}} = 7.84 + 0.5 = 8.34 \text{ ft} = 2.54 \text{ m}$$

$$L = 3(D) = 3(8.34 \text{ ft}) = 25.02 \text{ ft} = 7.62 \text{ m}$$

CÁLCULO DE ALTURA MINIMA DE LÍQUIDO Y ALTURA DE VAPOR

Si D es mayor o igual que 7 ft $H_v = 0.15 D$

si D es menor que 7 ft $H_v = 12$ in.

si D es mayor que 5 ft $H_{min} = 6$ in.

$H_v = 0.15(8.34 \text{ ft}) = 1.251 \text{ ft} = 0.3813 \text{ m}$.

$H_{min} = 6 \text{ in} = 0.1524 \text{ m}$

CÁLCULO DE UN RECIPIENTE A PRESIÓN (TIPO FLASH):

RECIPIENTE: V-104

SERVICIO: SEPARADOR LÍQUIDO-VAPOR HORIZONTAL.

DATOS:

FLUJO	F=4,457.8093 Kg/hr
DENSIDAD	$\rho=900.7 \text{ Kg/m}^3$
PRESIÓN OPERACIÓN	P=2.4 atm.=35.28 lb/in ²
TIEMPO DE RESIDENCIA	$\theta=5 \text{ min.}$

CÁLCULOS:

VOLÚMEN DEL LÍQUIDO:

$$Vl = \frac{F \cdot \theta}{\rho} = (4,457.8 \text{ Kg/hr})(5 \text{ min})(1 \text{ hr}/60 \text{ min}) / (900.7 \text{ Kg/m}^3) = 0.4124 \text{ m}^3$$

P=35.28 lb/in² Por lo tanto L/D=3

CÁLCULO DEL DIÁMETRO:

$$D = 1.163 \cdot \left(\frac{Vl}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \quad D=D(\text{ft})$$

$$Vl = (0.4124 \text{ m}^3) \left(\frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} \right)^3 = 14.56 \text{ ft}^3.$$

$$D = 1.163 (14.56 \text{ ft}^3 / 3)^{1/3} = 1.969 \text{ ft.} = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro comercial} = D + 6 \text{ in} = D + 0.5 \text{ ft}$$

$$D_{\text{com}} = 1.969 + 0.5 = 2.469 \text{ ft} = 0.7525 \text{ m}$$

$$L = 3(D) = 3(2.469 \text{ ft}) = 7.407 \text{ ft} = 2.257 \text{ m}$$

VELOCIDAD MÁXIMA DEL VAPOR:

$$V_{\text{máx}} = k \cdot \left(\frac{\rho_l}{\rho_v} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\rho_l = 900.7 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\rho_v = 3.3121 \text{ Kg/m}^3.$$

$$k = 0.157$$

$$V_{\text{máx}} = 0.157((900.7/3.3121)-1)^{1/2} = 2.5842 \text{ ft/s} = 0.7876 \text{ m/s.}$$

VELOCIDAD DE DISEÑO:

$$V_d = (0.8) (0.7876) = 0.6301 \text{ m/s}$$

ÁREA REQUERIDA PARA LA SEPARACIÓN DEL VAPOR:

$$A_v = \frac{Q_v}{V_d}$$

$$Q_v = 0.2972 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$A_v = (0.2972 \text{ m}^3/\text{min}) / ((0.6301 \text{ m/s})(60 \text{ s}/1 \text{ min})) = 0.00786 \text{ m}^2$$

ÁREA DISPONIBLE PARA EL VAPOR:

20% DE DIÁMETRO ϕ 2 ft

$$H_v = (0.7525)(0.2) = 0.1505 \text{ m}$$

$$H_v = 2 \text{ ft} (0.3048 \text{ m} / 1 \text{ ft}) = 0.6096 \text{ m}$$

$$A = (\pi / 4) (D)^2 = (\pi / 4) (0.6096)^2 \text{ m}^2$$

Área = 0.2918 > área requerida para separación de vapor
entonces $D = 1 \text{ ft}$.

$$D = 1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m.}$$

$$A = (\pi / 4) (D)^2 = (\pi / 4) (0.3048)^2 \text{ m}^2$$

$$A = 0.07296 \text{ m}^2.$$

ALTURA DEL LÍQUIDO:

$$H_l = 0.2476 \text{ m}$$

ALTURA MÍNIMA

$$H_{\text{min}} = 0.1524 \text{ m}$$

MEMORIA DE CALCULO DE LA BOMBA DE METANOL (B-101A/B).

Datos:

Gasto normal = 83.1 GPM.
 Gasto de diseño = 1.1 * G. normal = 91.41 GPM.
 Ge. = Gravedad especifica = 0.778
 Pv^o = Presión de vapor = 2.8 atm. = 41.16 Psias.
 ρ = Densidad = 48.5689 lb/ft³.
 P1 = 3.1 atm. = 45.57 Psias.
 P2 = 4.5 atm. = 64.239 Psias.

Cálculo de la elevación del recipiente V-102:

1) Con el gasto de diseño se localiza en gráficas de Capacidad vs. NPSH_{req.} del agua y se obtiene el NPSH_{req.-agua} de acuerdo a las RPM recomendadas.

De la página 6-5 del Manual del Ingeniero Químico:

NPSH_{req.-agua} = 4 ft.

$$NPSH_{req.} = \frac{NPSH_{req.-agua}}{Ge} = 4/0.778 = 5.14 \text{ ft.}$$

Elevación = NPSH_{req.} + D

donde:

D = 4 ft. para servicios generales.
 D = 6 ft. para servicios al vacío.
 D = 7 a 10 ft. para sistemas de alimentación a calderas.

Elevación = 5.14 + 4 = 9.14 ft.

Cálculo de la Presión de Succión:

$$P_s = P_1 + \frac{z_1 * \rho}{k} - \Delta P_s - \Delta P_e$$

donde:

P_s = Presión de succión en Psias.
 P₁ = Presión en el tanque de succión en Psias.
 z₁ = Altura en ft. desde la línea de tangencia del tanque de succión hasta la línea de centro de la boquilla de succión.
 ρ = Densidad del fluido en lb/ft³.
 k = Constante dimensional.
 k = 144 lbm./lbf.
 ΔP_s = Caída de presión por fricción en la línea de succión en Psias.
 ΔP_e = Caída de presión provocada por cualquier equipo que existiera en la línea de succión en Psias.

En este caso $\Delta P_e = 0$.

$$P_s = 45.57 + (9.14 \cdot 48.5689 / 144) - 2 = 46.65 \text{ Psias.}$$

Cálculo de la Presión de Descarga:

$$P_D = P_2 + \frac{Z_2 \cdot \rho}{k} + \Delta P_D + \Delta P_{vc} + \Delta P_{po}$$

donde:

P_D = Presión a la descarga de la bomba en Psias.

P_2 = Presión en el recipiente de descarga en Psias.

Z_2 = Altura a la que el fluido ha de llegar en ft.

ΔP_D = Caída de presión por fricción en la tubería de descarga en Psias.

ΔP_{vc} = Caída de presión en válvula de control.

Normalmente va de 10 a 15 Psias.

ΔP_{po} = Caída de presión en la placa de orificio.

En este caso $\Delta P_{po} = 0$.

$$P_D = 64.239 + (10 \cdot 48.5689 / 144) + 2 + 10 = 79.61 \text{ Psias.}$$

Cálculo de la Presión Diferencial de la Bomba:

$$\Delta P_B = P_D - P_s = 79.61 - 46.65 = 32.96 \text{ Psias.}$$

Cálculo de la Cabeza Diferencial:

$$H = \Delta P_B \cdot \left(\frac{k}{\rho} \right) = 32.96 \cdot (144 / 48.5689) = 97.72 \text{ ft.}$$

Cálculo del NPSH disponible:

$$\text{NPSH}_D = (45.57 - 41.16) \cdot (2.31 / 0.778) + 9.14 - 2 \cdot (2.31 / 0.778)$$

$$\text{NPSH}_D = 16.3 \text{ ft.}$$

Cálculo de la Potencia Hidráulica:

$$\text{HP} = \text{GV} \cdot \left(\frac{\Delta P_B}{K_p} \right)$$

donde:

HP = Potencia Hidráulica en HP.

ΔP_B = Presión diferencial de la bomba en Psias.

GV = Gasto de diseño de la bomba en GPM.

K_p = Constante de conversión

En el sistema ingles $K_p = 1715$

$$\text{HP} = 91.41 \cdot (32.96 / 1715) = 1.7567 \text{ HP.}$$

Cálculo de la Potencia de la Bomba:

$$\text{BHP} = \frac{\text{HP}}{\text{E}}$$

donde:

E = Eficiencia de la bomba.

$$\text{BHP} = 1.7567/0.7 = 2.509.$$

MEMORIA DE CÁLCULO DE UN CAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS:

TAG: E-102

SERVICIO: Interenfriador de R-101 y R-102.

Fluido caliente: MTBE-BUTANOS-METANOL.

Flujo: 125,390 Kg/h.

 $T_{entrada}=86.61\text{ }^{\circ}\text{C}.$ $T_{salida}=42^{\circ}\text{C}.$ $T_{media}=64.30^{\circ}\text{C}.$ $C_{ps}=0.56215\text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}.$ $\rho_s=559.01\text{ Kg/m}^3$ $\mu_s=0.18235\text{cp}; 1.8235 \times 10^{-4}\text{ Kg/ms};$ 0.65646 Kg/mh $K_s=0.089185\text{ Kcal/hm}^{\circ}\text{C}.$ Fluido frio: AGUA DE-
ENFRIAMIENTO

Flujo: 191,368.6 Kg/h.

 $T_{entrada}=25^{\circ}\text{C}.$ $T_{salida}=45^{\circ}\text{C}.$ $T_{media}=35^{\circ}\text{C}.$ $C_{pT}=0.99891\text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}.$ $\rho_T=993.665\text{ Kg/m}^3$ $\mu_T=0.79\text{cp};$ $7.9 \times 10^{-4}\text{ Kg/ms};$ 2.844 Kg/mh $K_T=0.5302\text{ Kcal/hm}^{\circ}\text{C}.$ **DIMENSIONES DE TUBERIA:**

Para este cálculo se usaron tubos de 3/4 in 14 BWG con Pt=1 in

 $D_o=3/4\text{ in} = 0.01905\text{ m}$ $D_i=0.584\text{ in} = 0.0148336\text{ m}$ $x=2.03 \times 10^{-3}\text{ m}$ $K_w=37\text{ Kcal/hm}^{\circ}\text{C}.$ $C=Pt-D_o=(1-0.75)\text{in}=0.25\text{in}=6.35 \times 10^{-3}\text{ m}.$

$$D_w = \frac{D_o - D_i}{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)} = (0.01905 - 0.0148336)\text{m} / \ln(0.01905/0.0148336)$$

 $D_w = 0.01685399\text{ m}$

$$A_{FT} = (\pi/4) \cdot D_i^2 = \pi/4 (0.0148336\text{ m})^2 = 1.72815626 \times 10^{-4}\text{ m}^2$$

$$A_{sup} = \pi \cdot D_o = \pi (0.01905\text{ m}) = 0.05984734\text{ m}^2/\text{m}$$

$$Q = 1.06 \times 10^6 \text{ cal/seg} = 3,823,200\text{ Kcal/h}.$$

Cálculo del LMTD:

$$\text{Acercamiento lado caliente} = (86.61^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}) = 41.61^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Acercamiento lado frio} = (42^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) = 17^{\circ}\text{C}$$

$$LMTD = \frac{43.5 - 17}{\ln\left(\frac{43.5}{17}\right)} = 27.49 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R = \frac{86.61 - 42}{45 - 25} = 2.2305 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$S = \frac{45 - 25}{86.61 - 25} = 0.3246 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con los valores de R y S se buscó el valor de F_T (en la figura 19 del libro Kern.)
 $F_T = 0.95$ (Para cambiador de 2 pasos por coraza y N-pasos por tubos).

$$LMTD_{\text{corregida}} = (LMTD) \cdot (F_T) = (27.49 \text{ } ^\circ\text{C}) \cdot (0.95) = 27.072 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Cálculo del número preliminar de tubos:

Por ser mayor el flujo, el fluido que viajará por tubos será el Agua de enfriamiento.

Suponiendo una velocidad del fluido por los tubos de 1.5 m/s

$$A_T = \frac{M_T}{v \cdot \rho_T} = 191,368.6 \text{ Kg/h} / (1.5 \text{ m/s} \cdot 993.665 \text{ Kg/m}^3 \cdot 3,600 \text{ s/h})$$

$$A_T = 0.03566 \text{ m}^2$$

$$N_{TP} = \frac{A_T}{A_{FT}} = 0.03566 \text{ m}^2 / 1.72815626 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 206 \text{ Tubos/paso.}$$

Tomando 4 pasos por tubo $4 \text{ pasos} \cdot 206 \text{ Tubos/paso} = 824 \text{ Tubos.}$

De la tabla 9 del Kern podemos tomar un arreglo triangular con 1128 tubos de 4 pasos por el lado de tubos un pitch de 1 in. y un diametro de la coraza de 35 in.

Cálculo del coeficiente interno h_i :

$$A_{TC} = \frac{N_T}{N_p} \cdot A_{FT} = 1128/4 \cdot 1.72815626 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.038105 \text{ m}^2$$

$$v_T = \frac{M_T}{\rho_T \cdot A_{TC}} = 191,368.6 \text{ Kg/h} / (993.665 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0.038105 \text{ m}^2 \cdot 3,600 \text{ s/h})$$

$$v_T = 1.404 \text{ m/s.}$$

$$Re_T = \frac{D_i \cdot v_T \cdot \rho_T}{\mu_T} = (0.0148336 \text{ m}) (1.404 \text{ m/s}) (993.665 \text{ Kg/m}^3) / 7.9 \times 10^{-4} \text{ Kg/ms}$$

$$Re_T = 26,193.66$$

$$Re_T^{0.8} = 3,424.18$$

$$Pr_T = \frac{Cp_T * \mu_T}{k_T} = (0.99891 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * 2.844 \text{ Kg/ml}) / 0.5302 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C}$$

$$Pr_T = 5.3582$$

$$Pr_T^{0.4} = 1.957$$

$$hi = \left(\frac{k_T}{D_i} \right) * 0.023 * Re_T^{0.8} * Pr_T^{0.4}$$

$$hi = (0.5302 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C} / 0.0148336 \text{ m}) * 0.023 * 3,424.18 * 1.957$$

$$hi = 5,508.94 \text{ Kcal/hm}^2^\circ\text{C}$$

Cálculo del coeficiente externo:

$$Ds = 35 \text{ in} = 0.889 \text{ m}$$

Tomando un espaciamento entre mamparas de Ds/3

$$B = 0.889 \text{ m} / 3 = 0.2963 \text{ m}$$

$$as = \frac{D_s * B * C}{Pr} = (0.889 \text{ m}) (0.2963 \text{ m}) (6.35 \times 10^{-3} \text{ m}) / 0.0254 \text{ m} = 0.06585 \text{ m}^2$$

$$Gs = \frac{M_s}{a_s} = (125,390 \text{ kg/h}) / (0.06585 \text{ m}^2 * 3.600 \text{ s/h}) = 528.92 \text{ Kg/m}^2\text{s}$$

$$De = 0.73 \text{ in.} = 0.018033 \text{ m.} \quad (\text{Para arreglo triangular})$$

$$Re_s = \frac{De * Gs}{\mu_s} = (0.018033 \text{ m}) (528.92 \text{ kg/m}^2\text{s}) / 1.8235 \times 10^{-4} \text{ Kg/ms} = 52,306.08$$

$$Re_s^{0.55} = 393.73$$

$$Pr_s = \frac{Cp_s * \mu_s}{k_s} = (0.56215 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * 0.65646 \text{ Kg/ml}) / 0.089185 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C}$$

$$Pr_s = 4.1378$$

$$Pr_s^{(1/3)} = 1.6054$$

$$ho = \left(\frac{k_s}{De} \right) * 0.36 * Re_s^{0.55} * Pr_s^{(1/3)}$$

$$ho = (0.089185 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C} / 0.01803 \text{ m}) * (0.36) * (393.73) * (1.6054) = 1,125.40 \text{ Kcal/hm}^2^\circ\text{C}$$

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor:

$$Rdi = 0.0006 \text{ hm}^2^\circ\text{C/Kcal}$$

$$Rdo = 0.00012 \text{ hm}^2^\circ\text{C/Kcal}$$

$$\frac{x * D_o}{K_w * D_w} = (2.03 \times 10^{-4} \text{ m}) (0.01905 \text{ m}) / (37 \text{ Kcal/hm}^2^\circ\text{C}) (0.01685399 \text{ m})$$

$$\frac{x \cdot D_o}{K_w \cdot D_w} = 6.20135455 \times 10^{-5} \text{ hm}^2\text{C/Kcal.}$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + Rd_o + \frac{D_o}{D_i} \left(\frac{1}{h_i} + Rd_i \right) + \frac{x \cdot D_o}{K_w \cdot D_w}}$$

$$U_o = 1 / (1/1,125.4 + 0.00012 + 1.28424 / ((1/5,508.94) + 0.0006) + 6.20135455 \times 10^{-5})$$

$$U_o = 482.10 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$$

$$A_o = \frac{Q}{U_o \cdot \text{LMTD}_{\text{corr.}}} = 3,823,200 \text{ Kcal/h} / (482.10 \text{ Kcal/hm}^2\text{C} \cdot 26.12 \text{ }^\circ\text{C}) =$$

$$A_o = 303.61 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{calc}} = N_T \cdot A_{\text{sup}} \cdot L = (1128 \text{ tubos}) \cdot (0.05984734 \text{ m}^2/\text{m}) \cdot (20 \text{ ft/tubo}) \cdot (0.3048 \text{ m/ft}) =$$

$$A_{\text{calc}} = 321.78 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{exceso}} = ((321.78 - 303.61) / 321.78) \cdot 100 = 5.65 \%$$

Cálculo de la caída de presión:

Lado de tubos: $L = (20 \text{ ft}) \cdot (0.3048 \text{ m/ft}) = 6.096 \text{ m}$
 $f_D = 0.03024$

$$\Delta P_{\text{tub.}} = \frac{v_i^2 \cdot \rho_T \cdot N}{2g_c} \cdot \left(\frac{f_D \cdot L}{D_i} + 4 \right)$$

$$\Delta P_{\text{tub.}} = (1.404 \text{ m/s})^2 (4) (993.668) / (2 \cdot (9.81 \text{ N/Kgf})) [(0.03024 \cdot (6.096 \text{ m}) / (0.0148336 \text{ m})) + 4]$$

$$\Delta P_{\text{tub.}} = 0.656 \text{ Kg f / cm}^2.$$

Lado de la coraza:

$$n = \frac{L}{B} = 6.096 \text{ m} / 0.2963 \text{ m} = 21 \text{ mamparas}$$

$$f_s = 0.216$$

$$V_s = \frac{G_s}{\rho_s} = (528.92 \text{ Kg/m}^2\text{s}) / 559.01 \text{ Kg/m}^3 = 0.946 \text{ m/s}$$

$$\frac{\Delta P_s}{\rho_s} = \frac{f_s \cdot V_s^2 \cdot D_s \cdot (n + 1)}{2g_c \cdot De}$$

$$\frac{\Delta P_s}{\rho_s} = 0.216 (0.946 \text{ m/s})^2 (0.889 \text{ m}) (21 + 1) / (2 (9.81 \text{ N/Kgf}) (0.018542 \text{ m})) =$$

$$\frac{\Delta P_s}{\rho_s} = 10.3921 \text{ Kg f m / Kg}$$

$$\Delta P_s = \rho_s \cdot \frac{\Delta P_s}{\rho_s} = (559.01 \text{ Kg/m}^3) (10.3921 \text{ Kg f m / Kg}) (1 \text{ m} / 100 \text{ cm})^2$$

$$\Delta P_s = 0.581 \text{ Kg f / cm}^2$$

CÁLCULO DEL CONDENSADOR DE LA COLUMNA DE MTBE (ENFRIADO CON AIRE)

Fluido caliente: BUTANOS-METANOL

Flujo: 11,170.089 Lb/min.

T_{entrada} = 158 °F.

T_{salida} = 139.1 °F.

T_{media} = 148.55 °F.

C_{ps} = ---- BTU/lb°F.

ρ_s = 0.8284 Lb/ft³

μ_s = 0.01356 cp

λ = 170.88 BTU/Lb.

Fluido frío: AIRE

Flujo: 122,896.17 Lb/min.

T_{entrada} = 84 °F.

T_{salida} = 125 °F.

T_{media} = 104.5 °F.

C_{pT} = 0.357 BTU/lb°F.

ρ_T = 0.07335 lb/ft³

μ_T = ----

K_s = 0.0155 BTU/hft°F.

T de entrada del aire = 84°F

Suponiendo T de salida aire = 125°F

$$Q = 7,562,080 \text{ cal/seg.} = 1.7992 \times 10^6 \text{ Btu/min.} = 1.079 \times 10^8 \text{ Btu/h}$$

Cálculo de la cantidad de aire a 14.7 psía:

$$W = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T} = (1.7992 \times 10^6 \text{ Btu/min.}) / [0.357 \text{ Btu/lb°F} \cdot (125 - 84) \text{°F}]$$

$$W = 122,896.17 \text{ lb/min.}$$

El volumen será:

$$V = \frac{W}{\rho} = (122,896.17 \text{ lb/min}) / 0.07335 \text{ lb/ft}^3$$

$$V = 1.675 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Cálculo de LMTD:

Lado caliente = 158 - 125 = 33°F

Lado frío = 139.1 - 84 = 55.1°F

$$LMTD = \frac{33 - 55.1}{\ln\left(\frac{33}{55.1}\right)}$$

$$LMTD = 43.1 \text{°F}$$

Factor de corrección para flujo cruzado:

$$R = \frac{158 - 139.1}{125 - 84} = 0.4609$$

$$S = \frac{125 - 84}{158 - 84} = 0.554$$

$$F_t = 0.99$$

$$LMTD_{corr.} = LMTD \cdot F_t$$

$$LMTD_{corr.} = 43.1^\circ F \cdot 0.99 = 42.669^\circ F$$

Cálculo del área del condensador:

Se usaron los siguientes valores recomendados para los coeficientes:

$$h_{aire} = 8 \text{ Btu/hft}^2\text{F}$$

$$h_{C_4_8\text{-Metanol}} = h_g = 90 \text{ Btu/hft}^2\text{F}$$

Tipo de material que se va a usar:

Tubos admiralty

Longitud 24 ft.

Diámetro exterior = 1 in

Espesor = 18 BWG.

Aletas:

Material = Aluminio estructurado.

Número de aletas = 8 por pulgada.

Longitud de las aletas = 5/8 in.

Espesor de las aletas = 0.02 in.

Cálculo de la eficiencia de las aletas:

$$\left(r_e - r_b \right) \cdot \sqrt{\frac{h_a}{k \cdot Y_b}}$$

$$r_e = \text{radio del tubo incluyendo las aletas} = 1.125 \text{ in.}$$

$$r_b = \text{radio del tubo} = 0.500 \text{ in.}$$

$$Y_b = \text{Mitad del espesor de una aleta (ft).}$$

$$k = \text{Conductividad térmica de las aletas} = 119 \text{ Btu/hft}^2\text{F.}$$

$$Y_b = 0.02 / (2 \cdot 12) = 0.00083 \text{ ft.}$$

Sustituyendo:

$$(r_e - r_b) * \sqrt{\frac{h_s}{k * Y_b}} = [(1.125-0.5)/12 \text{ in/ft}] * [8/(119*0.00083)]^{1/2} = 0.46$$

$$\frac{r_e}{r_b} = \frac{1.125}{0.5} = 2.25$$

De la figura 16.7 del Kern se obtiene la eficiencia de las aletas:

$$\Omega = 0.92$$

Cálculo del coeficiente de película:

Para obtener el coeficiente de película del aire en función del área interior se obtiene:

$$h_{ai} = (\Omega * A_f + A_o) * \frac{h_s}{A_i}$$

A_f = Área de las aletas (ft²/ft)

A_o = Área del tubo liso (ft²/ft)

A_i = Área interior del tubo (ft²/ft)

$$\text{Área de aletas} = A_f = \frac{\pi}{4} (D_a^2 - D_o^2) * 2 * n_a * 12 =$$

D_o = Diámetro exterior del tubo.

D_a = Diámetro incluyendo aletas.

n_a = Número de aletas

Y = Espesor de aletas

$$A_f = (\pi/4) * (2.250^2 - 1^2) * 2 * 8 * 12 = 612 \text{ pulg}^2/\text{ft}.$$

$$\text{Área del tubo liso} = A_o = \pi * D_o * 12 - \pi * D_o * 12 * n_a * Y$$

$$A_o = \pi * 1 * 12 - \pi * 1 * 12 * 8 * 0.02 = 31.66 \text{ pulg}^2/\text{ft}.$$

$$\text{Área interior del tubo} = A_i = 0.2361 \text{ pulg}^2/\text{ft}. \text{ (De tablas)}$$

Sustituyendo en la ecuación:

$$h_{ai} = (\Omega * A_r + A_o) * \frac{h_a}{A_i} = (0.92 * 612/144 * 31.66/144) * 8/0.2361 = 140 \text{ Btu/hft}^2\text{°F}$$

Con el coeficiente de película del aire corregido y el de la corriente de proceso se obtiene el coeficiente global:

$$U_{di} = \frac{h_{a,i} * h_p}{h_{a,i} + h_p} = (140 * 90)/(140 + 90) = 54.78 \text{ Btu/hft}^2\text{°F}$$

Ahora se obtiene el área:

$$A_c = \frac{Q}{U_{Di} * LMTD_{cor}}$$

$$A_c = (1.079 * 10^8 \text{ Btu/h}) / [54.78 \text{ Btu/hft}^2\text{°F} * 42.609 \text{ °F}] = 46,160.05$$

$$\frac{A_c}{A_i} = (46,160.05 \text{ ft}^2) / (0.2361 \text{ ft}^2/\text{ft}) = 195,510.58 \text{ ft}$$

Como habíamos seleccionado con tubos de 24 ft. se tiene:

$$N_t = 195,510.58 \text{ ft} / 24 \text{ ft} = 8,146.27 \text{ tubos}$$

Se pueden seleccionar 4, 6, 8 y 10 pasos.

Se escogerán 10 pasos:

$$8,146.27 \text{ tubos} / 10 = 814.62 \text{ tubos en hilera}$$

Se formarán varias unidades debido a que no se puede tener una sola de 10 pasos con hileras de 815 tubos.

Se colocarán los tubos en forma triangular con una distancia entre aletas de 1/8 de pulgada. La distancia de paso es de $2 \frac{3}{8}$ de pulgada.

$$2.375 \text{ in} * 815 = 1,935.625 \text{ in}$$

$$1,935.625 \text{ in} / (12 \text{ in/ft}) = 161.3 \text{ ft}$$

Que los distribuiremos en 16 unidades.

$$161.3 \text{ ft} / 16 = 10 \text{ ft}$$

Así tendremos la unidad formada de 10 ft * 24 ft de 10 pasos (con 16 unidades).

Verificación de los coeficientes de película supuestas:

Obtención del coeficiente de película del lado del aire:

$$h'_r = J_r \left(\frac{K}{De} \right) \left(\frac{C_p * \mu}{K} \right)^{\frac{1}{3}}$$

J_r = Factor para la transmisión de calor en tubos aletados

$$J_r = \frac{h'_r * De}{K} \left(\frac{C_p * \mu}{K} \right)^{\frac{1}{3}}$$

k = Conductividad térmica.

C_p = Calor específico.

De = Diámetro equivalente (ft).

μ = Viscosidad.

Cálculo del diámetro equivalente:

$$De = 2 * \left(\frac{\dot{a} \text{ rea aleta} + \dot{a} \text{ rea tubodescubierto}}{\pi * \text{perímetro mojado}} \right)$$

A_r = Área de aletas = 612 in²/ft

A_o = Área del tubo liso = 31.66 in²/ft

$A_r + A_o = 612 + 31.66 = 643.66 \text{ in}^2/\text{ft} = 4.46 \text{ ft}^2/\text{ft}$

Cálculo del perímetro proyectado:

$$P_p = 2 * a_a * 2 * n_a * 12 + 2 * (12 - n_a * Y * 12)$$

$$P_p = 2 * (5/8) * 2 * 8 * 12 + 2 * (12 - 8 * 0.02 * 12)$$

$$P_p = 260.16 \text{ in/ft}$$

Sustituyendo en la ecuación del Diámetro equivalente.

$$De = 2 * (643.66) / (\pi * 260.16) = 1.575 \text{ in} = 0.1312 \text{ ft}$$

Obtención del área de flujo:

$$A_s = L * b - n_t * D_o - n_t * (2 * Y * a_a * n_a * b)$$

Donde:

L = longitud

b = ancho

n_t = número de tubos en hilera

D_o =Diámetro del tubo descubierto

Y =Espesor de aletas

a_a =Altura de las aletas

n_a =Número de las aletas

$$A_s = (10 \cdot 12)(24 \cdot 12) - 51(1 \cdot 24 \cdot 12) - 51(2 \cdot 0.02 \cdot (5/8) \cdot 8 \cdot 24 \cdot 12)$$

$$A_s = 16,934.4 \text{ in}^2$$

$$A_s = 16,934.4 \text{ in}^2 / 144 (\text{in}^2/\text{ft}^2) = 117.6 \text{ ft}^2$$

Para obtener el factor j_f se necesita obtener el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_e \cdot G_s}{\mu}$$

$$G_s = \frac{W}{A_s}$$

$$W = (122,896.17 \text{ lb/min}) / 16 \text{ unidades} = 7,681 \text{ lb/min por unidad}$$

$$G_s = (7,681 \text{ lb/min}) / (117.6 \text{ ft}^2) = 65.31 \text{ lb/min ft}^2 = 3,918.88 \text{ lb/Hr.ft}^2$$

Obtención del número de Reynolds:

$$Re = [0.1312 \text{ ft} \cdot 3,918.88 \text{ lb/Hr.ft}^2] / (0.04654 \text{ lb/hrft}) = 11,047.64$$

De gráfica se obtiene el valor de j_f :

$$j_f = 75$$

$$k = 0.0155 \text{ Btu/hft}^2\text{F}$$

$$Pr = 0.72;$$

$$Pr^{1/3} = 0.8962.$$

Sustituyendo en la ecuación para la obtención del coeficiente de película del aire:

$$h_f = 75 \cdot (0.0155 / 0.1312) \cdot 0.8962 = 7.94 \text{ Btu/hft}^2\text{F}$$

Valor que comparado con el supuesto de $h_a = 8 \text{ Btu/hft}^2\text{F}$. puede considerarse correcto.

Obtención del coeficiente de película para el lado interno de los tubos:

Para tubos horizontales:

$$G' = \frac{W}{0.5 \cdot L \cdot N_t}$$

W= Flujo (lb/h).

L= Longitud de los tubos (ft).

Nt=Número de tubos por hilera.

$$W= (6.702 \times 10^5 \text{ lb/h})/16 \text{ unidades.} = 41,887.5 \text{ lb/h.}$$

$$G''= (41,887.5 \text{ lb/h})/(0.5 * 24 * 51) = 68.44 \text{ lb/hft.}$$

De la figura 12.9 del Kern página 318 se obtiene el valor de hc.

$$hc= 152 \text{ Btu/hft}^{20}\text{F.}$$

Para equipo limpio:

$$Uc= \frac{ha * hc}{ha + hc} = [152 * 140] / [152 + 140] = 72.87 \text{ Btu/hft}^{20}\text{F.}$$

Con este coeficiente se obtiene un área de:

$$Ai= (1.079 \times 10^8 \text{ Btu/h}) / (72.87 \text{ Btu/hft}^{20}\text{F} * 42.669 \text{ } ^\circ\text{F}) = 34,702.45 \text{ ft}^2$$

Obtención del coeficiente de incrustación:

$$Rd= \frac{Uc - Ud}{Uc * Ud} = [72.87 - 54.78] / [72.87 * 54.78]$$

$$Rd= 0.0045 \text{ hft}^{20}\text{F/Btu.}$$

De acuerdo a los resultados, los coeficientes no varían, por lo que el área calculada se considera correcta.

b) Selección del equipo auxiliar de los condensadores:

Se utilizarán unidades de circulación forzada.

Velocidad del aire:

$$W= 122,896.17 \text{ lb/min.}$$

$$\rho_{aire}= 0.07335 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Velocidad}= 1.675 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Como se tienen 16 unidades:

$$(1.675 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{min})/16 = 104,687.5 \text{ ft}^3/\text{min} \text{ por unidad.}$$

De acuerdo con las dimensiones del condensador, se seleccionaron 2 abanicos para cada unidad, con un diámetro de aspas de 10 ft= 120 in.

Por lo cual el abanico manejará:

$$V' = (104,687.5 \text{ ft}^3/\text{min})/2 = 52,343.75 \text{ ft}^3/\text{min} \quad \text{por abanico.}$$

Anteriormente se obtuvo un área de flujo $A_s = 117.6 \text{ ft}^2$

Así que tenemos una velocidad de aire:

$$V_a = 104,687.5 / 117.6 = 890.2 \text{ ft/min.}$$

De gráfica; $\Delta P = 2 \text{ in}$ de H_2O para un haz de 10 hilas de profundidad y $V_a = 890.2 \text{ ft/min}$.

Cálculo de la potencia necesaria para impulsar los abanicos:

$$\text{Aire H.P.} = \frac{62.3 * V' * \Delta P}{12 * 33000} = 0.0001575 * \Delta P * V'$$

$$\text{Aire H.P.} = 0.0001575 * 2 * 52,343.75 = 16.5 \text{ H.P.}$$

La potencia necesaria para el motor será:

$$\text{B.H.P.} = \frac{\text{Aire H.P.}}{\text{Eficiencia del abanico} * \text{Eficiencia de la transmisión}}$$

De manufactura de abanicos la eficiencia es del 85%

$$\text{B.H.P.} = (16.5 \text{ H.P.}) / 0.85 \cong 20 \text{ H.P.}$$

De acuerdo con la capacidades de los motores, se seleccionará un motor de 20 H.P. para mover el abanico y en total se tendrán 32 motores de 20 H.P. cada uno.

Cantidad de calor eliminado:

$$(1.079 \times 10^8 \text{ Btu/hr}) / 32 \text{ unidades} = 3,371,875 \text{ BTU/hr por unidad}$$

De gráfica, el aire se elevará 12°F por millon de BTU eliminados

Temperatura de salida del aire = 124.452 ; se supuso al inicio una temperatura de 125°F . Se considera correcto.

MEMORIA DE CÁLCULO DEL REHERVIDOR DE LA COLUMNA C-102:

TAG: E-106

SERVICIO: Rehervidor de la columna de MTBE C-102.

Fluido caliente: VAPOR DE
BAJA PRESION

Flujo: 58,019.27 Kg/h.

T_{entrada} = 180 °C.

T_{salida} = 180 °C.

T_{media} = 180 °C.

$\rho_{\text{vapor baja}} = 4.793 \text{ Kg/m}^3$

$\mu_{\text{vapor baja}} = 1.5 \times 10^{-5} \text{ Kg/ms}$

$\lambda = 481 \text{ Kcal/Kg.}$

H_v = 663.2 Kcal/Kg.

H_L = 182.2 Kcal/Kg.

Propiedades del condensado:

C_{pcon} = 1.055 Kcal/Kg°C.

K_{con} = 0.5782 Kcal/hm°C.

$\rho_{\text{con}} = 886.9 \text{ Kg/m}^3$

$\mu_{\text{con}} = 0.5616 \text{ Kg/hm}$

Fluido frío: MTBE, Metanol,
Butanos-Butenos

Flujo: 75,390 Kg/h.

T_{e1} = 77.2 °C (Alim a la torre)

T_{e3} = 139.6 °C. (De salida de E-106)

T_{media} = 108.4 °C.

C_{pL} = 0.5027 Kcal/Kg°C.

$\rho_L = 630 \text{ Kg/m}^3$

$\mu_L = 0.92484 \text{ Kg/mh}$

K_L = 0.082075 Kcal/hm°C.

Propiedades del vapor que
regresa a la torre:

$\rho_v = 20.25 \text{ Kg/m}^3$

$\lambda_v = 60.882 \text{ Kcal/Kg.}$

$\gamma = 4.07 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s.}$

$\sigma = 9.252 \times 10^{-3} \text{ N/m.}$

M₃ = 37,295 Kg/h (De salida de E-106)

DIMENSIONES DE TUBERÍA:

Para este cálculo se usaron tubos de 3/4 in 14 BWG con Pt=1 in

Do = 3/4 in = 0.01905 m

Di = 0.584 in = 0.0148336 m

$x = 2.03 \times 10^{-3} \text{ m}$

K_w = 37 Kcal/hm°C.

C = Pt - Do = (1 - 0.75) in = 0.25 in = 6.35 × 10⁻³ m.

$$D_w = \frac{D_o - D_i}{\ln(D_o / D_i)} = (0.01905 - 0.0148336) \text{ m} / \ln(0.01905 / 0.0148336)$$

D_w = 0.01685399 m

$$A_{FT} = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 = (\pi/4) \cdot (0.0148336 \text{ m})^2 = 1.72815626 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sup} = \pi \cdot D_o = \pi \cdot 0.01905 \text{ m} = 0.05984734 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$Q = 7,752,020 \text{ cal/seg} = 27,907,272 \text{ Kcal/h.}$$

Cálculo del LMTD:

$$\text{Acercamiento lado caliente} = (180 - 139.6) = 40.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Acercamiento lado frío} = (180 - 77.2) = 102.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{LMTD} = (102.8 - 40.4)^\circ\text{C} / \ln(102.8/40.4) = 66.81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo del número preliminar de tubos:

Para el vapor de agua que va por tubos se supondrá una velocidad de 30 m/s.

$$\rho_v = \frac{P * PM}{R * T} = [10.225 \text{ Kg/cm}^2 * (1 \text{ atm} / 1.033 \text{ Kg/cm}^2) * 18 \text{ g/mol}] / [0.082057 \text{ Latm/mol}^\circ\text{K} * (180 + 273.15) \text{ } ^\circ\text{K}]$$

$$\rho_v = 4.793 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_v = \frac{Q}{H_v - H_L} = (27,907,272 \text{ Kcal/h}) / [(663.2 - 182.2) \text{ Kcal/kg}]$$

$$M_v = 58,019.27 \text{ Kg/h.}$$

$$A_F = \frac{M_v}{V * \rho_v} = (58,019.27 \text{ Kg/h}) / [30 \text{ m/s} * 4.793 \text{ Kg/m}^3 * 3,600 \text{ s/h}]$$

$$A_F = 0.112083343 \text{ m}^2$$

$$N_{TP} = \frac{A_F}{A_{FT}} = (0.112083343 \text{ m}^2) / (1.72815626 * 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$N_{TP} = 649 \text{ Tubos/paso.}$$

Tomando un arreglo triangular con 1,535 tubos, con 2 pasos por el lado de tubos, un pitch de 1 in. y un diámetro de la coraza de 44 in.

Cálculo de la caída de presión:

$$A_{TC} = \frac{N_T}{N_P} * A_{FT} = (1,535/2) * 1.72815626 * 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.132635993 \text{ m}^2$$

$$v_{T'} = \frac{M_v}{\rho_v * A_{FT}} = (58,019.27 \text{ Kg/h}) / [4.793 \text{ Kg/m}^3 * 0.132635993 \text{ m}^2 * 3,600 \text{ s/h}]$$

$$v_{T'} = 25.35 \text{ m/s.}$$

$$Re_{T'} = \frac{D_i * v_{T'} * \rho_{T'}}{\mu_{T'}} = [0.0148336 \text{ m} * 25.35 \text{ m/s} * 4.793 \text{ Kg/m}^3] / 1.5 * 10^{-5} \text{ Kg/ms}$$

$$Re_{T'} = 120,154.7$$

$$f_D = 0.02016$$

$$\Delta P_T = \left(\frac{\rho_v \cdot V_T^2 \cdot N}{2 \cdot g_c} \right) \cdot \left(\frac{F_D \cdot L}{D_i} + 4 \right) =$$

$$\Delta P_T = \{ [4.793 \text{ Kg/m}^3 \cdot (25.35 \text{ m/s})^2 \cdot 2] / [2 \cdot 9.81 \text{ N/kg} \cdot (100 \text{ cm/m})^2] \} \cdot \{ [(0.02016 \cdot 6.096 \text{ m}) / 0.0148336 \text{ m}] + 4 \}$$

$$\Delta P_T = 0.386 \text{ Kg/cm}^2$$

Cálculo del coeficiente interno hi:

$$h_i \cdot \left(\frac{\mu_{con}^2}{K_{con}^3 \cdot \rho_{con}^2 \cdot g} \right)^{\frac{1}{3}} = 1.51 \cdot \left(\frac{4 \cdot G'}{\mu_{con}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$G' = \frac{W}{(0.5 \cdot L \cdot N_T)} \text{ Donde } W = \text{Cantidad de condensado (Kg/h)}$$

$$G' = (58,019.27 \text{ Kg/h}) / [0.5 \cdot 6.096 \text{ m} \cdot 1,535] = 12.4 \text{ Kg/hm.}$$

$$h_i = \{ (0.5616 \text{ Kg/hm})^{\frac{1}{3}} / [(0.3782 \text{ Kcal/hm}^2\text{C})^{\frac{1}{3}} \cdot (886.9 \text{ Kg/m}^3)^{\frac{1}{3}} \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)^{\frac{1}{3}} \cdot (3,600 \text{ s/h})^{\frac{1}{3}}] \} = 1.51 \cdot \{ (4 \cdot 12.4 \text{ Kg/hm}) / 0.5616 \text{ Kg/hm} \}^{\frac{1}{3}}$$

$$h_i = 13,368.54 \text{ Kcal/hm}^{20}\text{C}$$

Cálculo del coeficiente externo ho:

$$h_o = \frac{K_L \cdot Nu}{\zeta}$$

Donde:

$$Nu = 2.63 \times 10^{-3} \cdot \left(\frac{K_L \cdot \Delta T}{\lambda_v \cdot \rho_v \cdot \gamma} \right)^{1.86} \cdot Pr^{0.932}$$

$$Si \left(\frac{K_L \cdot \Delta T}{\lambda_v \cdot \rho_v \cdot \gamma} \right) \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \geq 1.6$$

$$Nu = 3.91 \times 10^{-3} \cdot \left(\frac{K_L \cdot \Delta T}{\lambda_v \cdot \rho_v \cdot \gamma} \right) \cdot Pr^{\frac{2}{3}}$$

$$Si \left(\frac{K_L \cdot \Delta T}{\lambda_v \cdot \rho_v \cdot \gamma} \right) \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \leq 1.6$$

$$\Delta T = T_s - T_m; \quad T_m = 108.4^\circ\text{C.}$$

$$\zeta = \frac{Cp_L \cdot \rho_L \cdot \sigma \cdot T_m}{(\rho_v \cdot \lambda_v)^2 \cdot 4,185 \frac{\text{J}}{\text{Kcal.}}}$$

$$\zeta = [0.5027 \text{ Kcal/Kg} \cdot 630 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9.252 \times 10^{-4} \text{ N/m} \cdot (108.4 + 273.15)^\circ\text{K}] / [(60.882 \text{ Kcal/Kg} \cdot 20.25 \text{ Kg/m}^3)^2 \cdot 4185 \text{ J/Kcal}]$$

$$\zeta = 1.757572213 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$Pr = \frac{Cp_l \cdot \mu_l}{K_l} = (0.5027 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C} \cdot 0.92484 \text{ Kg/hm}) / 0.082075 \text{ Kcal/hm}^{\circ}\text{C}$$

$$Pr = 5.6645 \quad Pr^{1/3} = 1.7826 \quad Pr^{2/3} = 3.1777 \quad Pr^{0.952} = 5.2121$$

Suponiendo una temperatura de la pared de $T_s = 160^{\circ}\text{C}$

$$\Delta T = 160 - 108.4 = 51.6^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{K_l \cdot \Delta T}{\lambda_v \cdot \rho_v \cdot \gamma} = (0.082075 \text{ Kcal/hm}^{\circ}\text{C} \cdot 51.6^{\circ}\text{C}) / (60.882 \text{ Kcal/Kg} \cdot 20.25 \text{ Kg/hm}^3 \cdot 4.07 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3600 \text{ s/h}) = 2.3445$$

$$\frac{K_l \cdot \Delta T}{\lambda_v \cdot \rho_v \cdot \gamma} \cdot Pr^{1/3} = 2.3445 \cdot 1.7826 = 4.1793$$

Por lo tanto la ecuación a usarse es:

$$Nu = 2.63 \times 10^{-3} \cdot \left(\frac{K_l \cdot \Delta T}{\lambda_v \cdot \rho_v \cdot \gamma} \right)^{1.86} \cdot Pr^{0.952}$$

$$Nu = 2.63 \times 10^{-3} \cdot (2.3445)^{1.86} \cdot 5.2121 = 0.06687$$

$$h_o = (0.082075 \text{ Kcal/hm}^{\circ}\text{C} \cdot 0.06687457164) / 1.757572213 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$h_o = 31,229.05 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$$

$$h_i \cdot (T_s - T_m) = h_o \cdot (T_v - T_s) \Rightarrow T_s = \frac{h_o \cdot T_v + h_i \cdot T_m}{h_o + h_i}$$

$$T_s = (31,229.05 \cdot 180 + 13,368.54 \cdot 108.4) / (31,229.05 + 13,368.54)$$

$$T_s = 158.54^{\circ}\text{C}$$

Con T_s calculada $h_o = 29,605.55 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$

Por no ser ésta una temperatura muy diferente a la supuesta se deja la iteración

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por tubos :

$$R_{di} = 0.00012 \text{ hm}^2\text{C/Kcal.}$$

$$R_{do} = 0.0006 \text{ hm}^2\text{C/Kcal.}$$

$$\frac{x \cdot D_o}{K_w \cdot D_w} = (2.03 \times 10^{-4} \text{ m} \cdot 0.01905 \text{ m}) / (37 \text{ Kcal/hm}^2\text{C} \cdot 0.01685399 \text{ m})$$

$$\frac{x \cdot D_o}{K_w \cdot D_w} = 6.20135455 \times 10^{-5} \text{ hm}^2\text{C/Kcal.}$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R_{do} + \frac{D_o}{D_i} \cdot \left(\frac{1}{h_i} + R_{di} \right) + \frac{x \cdot D_o}{K_w \cdot D_w}}$$

$$U_o = 1 / (1 / 29,605.55 + 0.0006 + 1.284246575 \cdot (1 / 13,368.54 + 0.00012) + 6.20135455 \times 10^{-5})$$

$$U_o = 1,057.12 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$$

Cálculo del coeficiente promedio del haz de tubos :

$$G = \frac{a_o \cdot U_o \cdot \text{LMTD}}{\lambda_v \cdot (P_t - D_o)}$$

$$G = [\pi \cdot 0.0190 \text{ m} \cdot 1,057.12 \text{ Kcal/hm}^2\text{C} \cdot 66.81 \text{ }^\circ\text{C}] / [60.88 \text{ Kcal/Kg} \cdot (0.0254 - 0.01905) \text{ m}]$$

$$G = 10,933.22 \text{ Kg/hm}^2$$

$$\text{Nrv} = \frac{D_i}{2 \cdot P_t \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{44 \text{ in.}}{2 \cdot 1 \text{ in.} \cdot \cos(30^\circ)}$$

$$\text{Nrv} = 25.40341184$$

$$\text{BCF} = 0.714 \cdot \left(\frac{P_t - D_o}{0.305}\right)^{0.86 \cdot 10^{-5} (G)} \cdot \left(\frac{1}{\text{Nrv}}\right)^{-0.24 \cdot \left(1.75 + \ln\left(\frac{1}{\text{Nrv}}\right)\right)}$$

$$\text{BCF} = 0.714 \cdot \left(\frac{0.0254 - 0.01905}{0.305}\right)^{0.86 \cdot 10^{-5} (10,933.22)} \cdot \left(\frac{1}{25.4}\right)^{-0.24 \cdot \left(1.75 + \ln\left(\frac{1}{25.4}\right)\right)}$$

$$\text{BCF} = 0.1566$$

$$\text{hb} = \text{ho} \cdot \text{BCF} = 0.1566 \cdot 29,605.55 = 4,637.68 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$$

Cálculo del coeficiente global del haz de tubos :

$$U_b = \frac{1}{\frac{1}{h_b} + R_{d_o} + \frac{D_o}{D_i} \cdot \left(\frac{1}{h_i} + R_{d_i}\right) + \frac{x \cdot D_o}{K_w \cdot D_w}}$$

$$U_b = 1 / (1 / 4,637.68 + 0.0006 + 1.284246575 \cdot (1 / 13,368.54 + 0.00012) + 6.20135455 \cdot 10^{-5})$$

$$U_b = 886.67 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$$

$$A_b = \frac{Q}{U_b \cdot \text{LMTD}} = (27,907,272 \text{ Kcal/h}) / (886.67 \text{ Kcal/hm}^2\text{C} \cdot 66.81 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$A_b = 471.1 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{calc}} = \text{Nt} \cdot A_{\text{sup}} \cdot L = (1,535 \text{ tubos}) \cdot (0.05984734 \text{ m}^2/\text{m}) \cdot (20 \text{ ft/tubo}) \cdot (0.3048 \text{ m/ft})$$

$$A_{\text{calc}} = 560 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{exceso}} = [(560 - 471.1) / 560] \cdot 100 = 15.87 \%$$

Cálculo del flujo de calor por haz :

$$\left(\frac{q}{A}\right)_b = U_b \cdot \text{LMTD} = 886.67 \text{ Kcal/hm}^2\text{C} \cdot 66.81^\circ\text{C} = 59,238.42 \text{ Kcal/hm}^2$$

$$\left(\frac{q}{A}\right)_{\max} = 3,085 \cdot \Phi \cdot \Psi$$

$$\Phi = \frac{D_i \cdot L}{A_{\text{calc.}}} = (44 \text{ in} \cdot 0.0254 \text{ m/in} \cdot 6.096 \text{ m}) / 560 \text{ m}^2 = 0.01216558463$$

$$\Psi = \rho_v \cdot \lambda_v \cdot \left(\frac{g \cdot \sigma \cdot (\rho_l - \rho_v)}{\rho_v^2} \right)^{0.25}$$

$$\Psi = 20.25 \text{ Kg/m}^3 \cdot 60.882 \text{ Kcal/Kg} \cdot 3,600 \text{ h} \cdot \left(\frac{9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 9.252 \times 10^{-3} \text{ Kg/s}^2 \cdot (630 - 20.25) \text{ Kg/m}^3}{(20.25 \text{ Kg/m}^3)^2} \right)^{0.25}$$

$$\Psi = 2,690,097.59 \text{ Kcal/hm}^2$$

$$\left(\frac{q}{A}\right)_{\max} = 3,085 \cdot 0.01216558463 \cdot 2,690,097.59 \text{ Kcal/hm}^2 = 100,961,591.5 \text{ Kcal/hm}^2$$

$$\left(\frac{q}{A}\right)_{\max} \gg \left(\frac{q}{A}\right)_b$$

Cálculo del calor disponible :

$$Q_{\text{dis}} = M_3 \cdot C_{p_3} \cdot (T_{e_1} - T_{e_1}) + \left(\frac{q}{A}\right)_b \cdot (A_{\text{calc.}} - M_3 \cdot C_{p_3} \cdot \frac{T_{e_3} - T_{e_1}}{U_i \cdot \text{LMTD}})$$

Donde:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_{d_o} + \frac{D_o}{D_i} \cdot \left(\frac{1}{h_i} + R_{d_i} \right) + \frac{x \cdot D_o}{K_w \cdot D_w}}$$

$$h_s = 45.53 \cdot \left(\frac{U_i \cdot \text{LMTD}}{2.7} \right)^{0.25}$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones tenemos:

$$h_s = 101.547 \cdot (U_s)^{0.25}$$

$$h_s = (\text{Kcal/hm}^2\text{C})$$

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{h_s} + 1.04862 \times 10^{-3}} \quad U_s = (\text{Kcal/hm}^{20}\text{C})$$

Ambas ecuaciones deben resolverse simultaneamente, por lo tanto supondremos un valor inicial de h_s :

$$h_s = 420 \text{ Kcal/hm}^{20}\text{C}$$

$h_s(\text{Kcal/hm}^{20}\text{C})$	$U_s(\text{Kcal/hm}^{20}\text{C})$
420	291.58
419.62	291.4
419.55	291.36

$$M_3 = 37,295 \text{ Kg/h}$$

$$M_3 \cdot C_{p3} \cdot (T_{e3} - T_{e1}) = 37,295 \text{ Kg/h} \cdot 0.466 \text{ Kcal/Kg}^0\text{C} \cdot (139.6 - 77.2)^0\text{C}$$

$$M_3 \cdot C_{p3} \cdot (T_{e3} - T_{e1}) = 1,084,478.928 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{dis} = 1.084.478.928 \text{ Kcal/h} + 59.238.42 \text{ Kcal/hm}^2 \cdot [560 \text{ m}^2 - 1.084.478.928 \text{ Kcal/h} / (291.36 \text{ Kcal/hm}^{20}\text{C} \cdot 66.81^0\text{C})]$$

$$Q_{dis} = 30,957,695.92 \text{ Kcal/h.}$$

$$Q_{exeso} = [(30,957,695.92 - 27,907,272) / 30,957,695.92] \cdot 100\%$$

$$Q_{exeso} = 9.85 \%$$

Cálculo del domo de vapor:

$$D_K = \frac{D_t}{0.6} = 44 \text{ in} / 0.6 = 73.33 \text{ in} = 1.863 \text{ m}$$

$$L_K = \frac{0.04242 \cdot M_3}{D_K^2 \cdot \rho_L}$$

$$L_K = 0.04242 \cdot 37,295 / [(1.863)^2 \cdot 630] = 0.723 \text{ m}$$

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{h_s} + 1.04862 \times 10^{-3}} \quad U_s = (\text{Kcal/hm}^{20}\text{C})$$

Ambas ecuaciones deben resolverse simultaneamente, por lo tanto supondremos un valor inicial de h_s :

$$h_s = 420 \text{ Kcal/hm}^{20}\text{C}$$

$h_s(\text{Kcal/hm}^{20}\text{C})$	$U_s(\text{Kcal/hm}^{20}\text{C})$
420	291.58
419.62	291.4
419.55	291.36

$$M_3 = 37,295 \text{ Kg/h}$$

$$M_3 \cdot C_{p3} \cdot (T_{e3} - T_{c1}) = 37,295 \text{ Kg/h} \cdot 0.466 \text{ Kcal/Kg}^0\text{C} \cdot (139.6 - 77.2)^0\text{C}$$

$$M_3 \cdot C_{p3} \cdot (T_{e3} - T_{e1}) = 1,084,478.928 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{dis} = 1,084,478.928 \text{ Kcal/h} + 59,238.42 \text{ Kcal/hm}^2 \cdot [560 \text{ m}^2 - 1,084,478.928 \text{ Kcal/h} / (291.36 \text{ Kcal/hm}^{20}\text{C} \cdot 66.81^0\text{C})]$$

$$Q_{dis} = 30,957,695.92 \text{ Kcal/h.}$$

$$Q_{\text{exeso}} = [(30,957,695.92 - 27,907,272) / 30,957,695.92] \cdot 100\%$$

$$Q_{\text{exeso}} = 9.85 \%$$

Cálculo del domo de vapor:

$$D_K = \frac{D_i}{0.6} = 44 \text{ in} / 0.6 = 73.33 \text{ in} = 1.863 \text{ m}$$

$$L_K = \frac{0.04242 \cdot M_3}{D_K^2 \cdot \rho_1}$$

$$L_K = 0.04242 \cdot 37,295 / [(1.863)^2 \cdot 630] = 0.723 \text{ m}$$

MEMORIA DE CÁLCULO DEL CONDENSADOR DE LA COLUMNA DE METANOL

TAG: E-110

SERVICIO: Condensador de la columna de Metanol.

Fluido caliente: METANOL-AGUA

Flujo (vapor): 5,981.76 Kg/h.

Flujo (condensado): 5,156.175 Kg/h.

T_{entrada} = 78.41 °C.T_{salida} = 78.41 °C.T_{media} = 78.41 °C.

Propiedades de condensado:

 $\rho_{\text{cond}} = 785 \text{ Kg/m}^3$ $\mu_{\text{cond}} = 0.49 \text{ cp}$ $\mu_{\text{cond}} = 1.764 \text{ Kg/mh.}$ $K_{\text{cond}} = 0.18 \text{ Kcal/hm}^{\circ}\text{C.}$

Propiedades del vapor:

 $\rho_{\text{s}} = 1.9218 \text{ Kg/m}^3$ $\mu_{\text{s}} = 0.01 \text{ cp}; 1 \times 10^{-4} \text{ Kg/ms}$

Fluido frío: AGUA DE

ENFRIAMIENTO

Flujo: 75,983.58 Kg/h.

T_{entrada} = 25 °C.T_{salida} = 45 °C.T_{media} = 35 °C. $C_{\text{pT}} = 1 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C.}$ $\rho_{\text{T}} = 994.06 \text{ Kg/m}^3$ $\mu_{\text{T}} = 0.7225 \text{ cp}$ $\mu_{\text{T}} = 7.2255 \times 10^{-4} \text{ Kg/ms}$ $K_{\text{T}} = 0.5298 \text{ Kcal/hm}^{\circ}\text{C.}$

DIMENSIONES DE TUBERÍA

Para este cálculo se usaron tubos de 3/4 in 14 BWG con Pt=1 in

 $D_o = 3/4 \text{ in} = 0.01905 \text{ m}$ $D_i = 0.0148336 \text{ m}$ $x = 2.10 \times 10^{-3} \text{ m}$ $C = Pt - D_o = (1 - 0.75) \text{ in} = 0.25 \text{ in} = 6.35 \times 10^{-3} \text{ m.}$

$$D_w = \frac{D_o - D_i}{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)} = (0.01905 - 0.0148336) \text{ m} / \ln(0.01905 / 0.0148336)$$

 $D_w = 0.01685 \text{ m}$

$$A_{\text{FT}} = (\pi/4) \cdot D_i^2 = \pi/4 \cdot (0.01483 \text{ m})^2 = 1.7282 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{sup}} = \pi \cdot D_o = \pi \cdot (0.01905 \text{ m}) = 0.059847 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$Q = 422,131 \text{ cal/seg} = 1,519,671.6 \text{ Kcal/h.}$$

Cálculo del LMTD:Acercamiento lado caliente = $(78.3^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}) = 33.41 \text{ }^{\circ}\text{C}$ Acercamiento lado frío = $(78.3^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) = 53.41 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$LMTD = \frac{33.41 - 53.41}{\ln\left(\frac{33.41}{53.41}\right)} = 42.63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo del número preliminar de tubos:

Debido a que el vapor va a condensar éste deberá ir por coraza:

Para el fluido que va por tubos se supondrá una velocidad de 1.5 m/s.

$$A_T = \frac{M_T}{v * \rho_T} = (75,983.58 \text{ Kg/h}) / (1.5 \text{ m/s} * 994.06 \text{ Kg/m}^3 * 3,600 \text{ s/h})$$

$$A_T = 0.01415511471 \text{ m}^2$$

$$N_{PT} = \frac{A_T}{A_{FT}} = 0.01415511471 \text{ m}^2 / 1.7281562 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 82 \text{ Tubos/paso.}$$

De la tabla 9 del Kern podemos tomar un arreglo triangular con 352 tubos de 4 pasos por el lado de tubos un pitch de 1 in. y un diámetro de la coraza de 23 1/4 in.

$$A_{TC} = \frac{N_T}{N_P} * A_{FT} = (352/4) * (1.7281562 \times 10^{-4} \text{ m}^2) = 0.01520777456 \text{ m}^2$$

Cálculo del coeficiente interno hi:

$$V_T = \frac{M_T}{\rho_T * A_{TC}} = (75,983.58 \text{ Kg/h}) / (0.01520777456 \text{ m}^2 * 994.06 \text{ Kg/m}^3 * 3,600 \text{ s/h})$$

$$V_T = 1.396 \text{ m/s.}$$

$$h_i = \frac{2,280 * (1.352 + 0.0198 * T_{\text{agua}}) * V_T^{0.8}}{D_{\text{int}}^{0.2}}$$

Donde: D_{int} (cm) y T_{agua} ($^\circ\text{C}$)

$$h_i = [2,280(1.352 + 0.0198(35)) * (1.396)^{0.8}] / (1.48336)^{0.2}$$

$$h_i = 5,627.13 \text{ Kcal/hm}^2\text{ } ^\circ\text{C.}$$

Cálculo del coeficiente externo ho:

$$F = 5,981.76 \text{ Kg/h.}$$

$$W = \frac{F}{N_T} = (5,981.76 \text{ Kg/h.}) / 352 = 17 \text{ Kg/h.}$$

$$\Gamma = \frac{W}{\pi * D_o} = (17 \text{ Kg/h}) / (\pi * 0.01905 \text{ m}) = 283.95 \text{ Kg/hm.}$$

$$LMTD = \frac{33.41 - 53.41}{\ln\left(\frac{33.41}{53.41}\right)} = 42.63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo del número preliminar de tubos:

Debido a que el vapor va a condensar éste deberá ir por coraza:

Para el fluido que va por tubos se supondrá una velocidad de 1.5 m/s.

$$A_T = \frac{M_T}{v \cdot \rho_T} = (75,983.58 \text{ Kg/h}) / (1.5 \text{ m/s} \cdot 994.06 \text{ Kg/m}^3 \cdot 3,600 \text{ s/h})$$

$$A_T = 0.01415511471 \text{ m}^2$$

$$N_{TP} = \frac{A_T}{A_{FT}} = 0.01415511471 \text{ m}^2 / 1.7281562 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 82 \text{ Tubos/paso.}$$

De la tabla 9 del Kern podemos tomar un arreglo triangular con 352 tubos de 4 pasos por el lado de tubos un pitch de 1 in. y un diámetro de la coraza de 23 1/4 in.

$$A_{TC} = \frac{N_T}{N_p} \cdot A_{FT} = (352/4) \cdot (1.7281562 \times 10^{-4} \text{ m}^2) = 0.01520777456 \text{ m}^2$$

Cálculo del coeficiente interno hi:

$$V_T = \frac{M_T}{\rho_T \cdot A_{TC}} = (75,983.58 \text{ Kg/h}) / (0.01520777456 \text{ m}^2 \cdot 994.06 \text{ Kg/m}^3 \cdot 3,600 \text{ s/h})$$

$$V_T = 1.396 \text{ m/s.}$$

$$hi = \frac{2,280 \cdot (1.352 + 0.0198 \cdot T_{\text{agua}}) \cdot V_T^{0.8}}{D_{\text{int}}^{0.2}}$$

Donde: D_{int} (cm) y T_{agua} ($^\circ\text{C}$)

$$hi = [2,280(1.352 + 0.0198(35)) \cdot (1.396)^{0.8}] / (1.48336)^{0.2}$$

$$hi = 5,627.13 \text{ Kcal/hm}^2\text{ } ^\circ\text{C.}$$

Cálculo del coeficiente externo ho:

$$F = 5,981.76 \text{ Kg/h.}$$

$$W = \frac{F}{N_T} = (5,981.76 \text{ Kg/h.}) / 352 = 17 \text{ Kg/h.}$$

$$\Gamma = \frac{W}{\pi \cdot D_o} = (17 \text{ Kg/h.}) / (\pi \cdot 0.01905 \text{ m}) = 283.95 \text{ Kg/hm.}$$

$$Re = \frac{\Gamma}{\pi} = (283.95 \text{ Kg/hm}) / (1.764 \text{ Kg/hm}) = 160.97 \text{ (Régimen laminar).}$$

Suponiendo $T_s = 44 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$T_f = T_v - 3/4(T_v - T_s) = 78.41 - 0.75(78.41 - 44) = 52.6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Se obtienen las propiedades del condensado a estas condiciones:

$$\rho_f = 785 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu_f = 0.49 \text{ cp} = 1.764 \text{ Kg/mh}$$

$$K_f = 0.18 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C}.$$

$$h_o \cdot \left(\frac{L}{K_f} \right) = 1.18 \cdot \left(\frac{\rho_f^2 \cdot g \cdot L^3}{\mu_f \cdot \Gamma} \right)^{1/3}$$

$$h_o = 1.18 \cdot K_f \cdot \left(\frac{\rho_f^2 \cdot g}{\mu_f \cdot \Gamma} \right)^{1/3}$$

$$h_o = 1.18(0.18) [(785^2 \cdot 9.81 \cdot (3,600 \text{ s/h})^2) / (1.764 \cdot 309.91)]^{1/3}$$

$$h_o = 1,111.11 \text{ Kcal/hm}^{20}\text{C}.$$

$$T_s = \frac{h_o \cdot T_v + h_i \cdot T_m}{h_o + h_i}$$

$$T_s = (1,111.11 \cdot 78.41 + 5,627.13 \cdot 35) / (1,111.11 + 5,627.13) = 42.16 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$T_f = 78.41 - 0.75(78.41 - 42.16) = 51.22 \text{ }^\circ\text{C}.$$

La temperatura del film es muy cercana a la supuesta, por lo tanto no se hace otra iteración.

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor:

$$R_{di} = 0.00012 \text{ hm}^{20}\text{C/Kcal}.$$

$$R_{do} = 0.0006 \text{ hm}^{20}\text{C/Kcal}.$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R_{do} + \frac{D_o}{D_i} \left(\frac{1}{h_i} + R_{di} \right) + \frac{x \cdot D_o}{K_w \cdot D_w}}$$

$$U_o = 1 / [1/1,111.11 + 0.00012 + 1.284246575 \cdot (1/5,627.13 + 0.0006) + 6.20135455 \cdot 10^{-5}]$$

$$U_o = 480.59 \text{ Kcal/hm}^{20}\text{C}$$

$$A_o = \frac{Q}{U_o \cdot \text{LMTD}_{\text{corr}}} = (1,519,671.6 \text{ Kcal/h}) / (480.59 \text{ Kcal/hm}^{20}\text{C} \cdot 42.63 \text{ }^\circ\text{C}) =$$

$$A_o = 74.18 \text{ m}^2$$

Se usarán tubos de 12 ft. de longitud.

$$A_{calc} = N_T \cdot A_{sup} \cdot L = (352 \text{ tubos}) (0.05984734 \text{ m}^2/\text{m}) (12 \text{ ft/tubo}) (0.3048 \text{ m/ft})$$

$$A_{calc} = 81.14 \text{ m}^2$$

$$A_{exceso} = (81.14 - 79.58) / 81.14 \cdot 100 = 1.92 \%$$

Cálculo de la caída de presión:

Lado de tubos:

$$Re = \frac{D_i \cdot v_T \cdot \rho_T}{\mu_T} = 28,490.94$$

$$f_D = 0.03024$$

$$\Delta P_{tub.} = \frac{\rho_T \cdot v_T^2 \cdot N}{2g_c} \cdot \left(\frac{f_D \cdot L}{D_i} + 4 \right)$$

$$\Delta P_{tub.} = \frac{994.06 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(1.396 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 4}{2 \cdot 9.81 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \cdot \left(100 \frac{\text{cm}}{\text{m}}\right)^2} \cdot \left(\frac{0.3048 \cdot 3.6576 \text{ m}}{0.0148336 \text{ m}} + 4 \right) = 0.452 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2}$$

Cálculo de la caída de presión:

Lado de la coraza: $D_s = 23.25 \text{ in} = 0.59055 \text{ m}$

Tomando un espaciamento entre mamparas de $B = D_s/2$

$$B = 0.295275 \text{ m}$$

$$a_s = \frac{D_i \cdot B \cdot C}{P_t} = [(0.59055 \text{ m}) (6.35 \text{E-}3 \text{ m}) (0.295275 \text{ m})] / 0.0254 \text{ m}$$

$$a_s = 0.0435937 \text{ m}^2$$

$$G_s = \frac{F}{a_s}$$

$$G_s = (5,981.76 \text{ Kg/h}) / (0.0435937 \text{ m}^2 \cdot 3,600 \text{ s/h}) = 38.12 \text{ Kg/m}^2\text{s.}$$

$$V_s = \frac{G_s}{\rho_s} = (38.12 \text{ Kg/m}^2\text{s.}) / (1.9218 \text{ Kg/m}^3)$$

$$V_s = 19.83 \text{ m/s}$$

donde $\rho_s = \frac{P \cdot PM}{R \cdot T}$; $P = 1.72 \text{ atm}$; $PM = 32.105 \text{ g/mol}$; $T = 78.41^\circ\text{C}$

$$De = \frac{4(0.43 \cdot P_t^2 - 0.3927 D_o^2)}{0.5 \cdot \pi \cdot D_o} = 0.018542 \text{ m.}$$

$$n = \frac{L}{B} = 3.6576 \text{ m} / 0.295275 \text{ m} = 12 \text{ mamparas.}$$

$$\text{Res} = \frac{D_e \cdot G_s}{\mu_s} = (0.018542 \text{ m})(38.12 \text{ Kg/m}^2\text{s}) / 1 \times 10^{-5} \text{ Kg/ms}$$

$$\text{Res} = 70,682$$

$$f_s = 0.2088$$

$$\Delta P_s = \frac{\rho_s \cdot f_s \cdot V_s^2 \cdot D_s \cdot (n+1)}{2g_c \cdot D_e}$$

$$\Delta P_s = [(0.2088)(19.83 \text{ m/s})^2(0.59055 \text{ m})(12+1)] / [(2)(9.81 \text{ N/Kgr})(0.018542 \text{ m})(1 \text{ m}/100 \text{ cm})^2 (1.9218 \text{ Kg/m}^3)^2]$$

$$\Delta P_s = 0.333 \text{ Kgr/cm}^2$$

REHERVIDOR DE LA COLUMNA DE METANOL C-104 (TIPO TERMOSIFÓN VERTICAL)

TAG: E-111

SERVICIO: Rehervidor de la columna de Metanol.

Fluido caliente: VAPOR DE BAJA PRESIÓN

Flujo: 3,193.97 Kg/h.

Tentrada= 147.2 °C.

Tsalida= 147.2 °C.

Tmedia= 147.2 °C.

 $\rho_s=2.087 \text{ Kg/m}^3$ $\mu_s= 0.0135 \text{ cp}; 1.355 \times 10^{-5} \text{ Kg/ms}$ $\lambda = 506.68 \text{ Kcal/Kg.}$ $H_v = 654.68 \text{ Kcal/Kg.}$ $H_L = 148 \text{ Kcal/Kg.}$ Fluido frio: AGUA-
METANOL.

Flujo: 3,566.975 Kg/h.

Tentrada= 94 °C.

Tsalida= 121.7 °C.

Tmedia= 107.85 °C.

 $C_pT=0.6825 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C.}$ $\rho_T= 885 \text{ Kg/m}^3$ $\mu_T=0.25\text{cp}; 2.5 \times 10^{-4} \text{ Kg/ms}$

0.9 Kg/mh

 $K_T=0.29735 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C.}$ $\rho_{vT}=1.045 \text{ Kg/m}^3$

DIMENSIONES DE TUBERÍA

Para este cálculo se usaron tubos de 3/4 in 14 BWG con Pt= 1 in

 $D_o=3/4 \text{ in} = 0.01905 \text{ m}$ $D_i= 0.0148336 \text{ m}$ $\alpha=2.1082 \times 10^{-3}$ $K= 37 \text{ Kcal/hm}^2^\circ\text{C.}$ $C=Pt-D_o=(1-0.75) \text{ in}=0.25 \text{ in}=6.35 \times 10^{-3} \text{ m.}$

$$D_w = \frac{D_o - D_i}{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)} = (0.01905 - 0.015748) \text{ m} / \ln(0.01905 / 0.015748)$$

 $D_w = 0.01685 \text{ m.}$

$$A_{FT} = (\pi/4) \cdot D_i^2 = (\pi/4) \cdot (0.0148336 \text{ m})^2 = 1.72815626 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sup} = \pi \cdot D_o = \pi \cdot (0.01905 \text{ m}) = 0.05984734 \text{ m}^2/\text{in.}$$

$$Q = 449,534 \text{ cal/seg} = 1,618,322.4 \text{ Kcal/h.}$$

Cálculo del L.MTD:

$$\text{Acercamiento lado caliente} = (147.2 - 121.7) = 25.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Acercamiento lado frio} = (147.2 - 94) = 54.25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{LMTD} = \frac{54.25 - 25.5}{\ln\left(\frac{54.25}{25.5}\right)} = 38.083 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{max}} = 32,550.0651 \text{ Kcal/hm}^2$$

$$A_{\text{estimada}} = \frac{Q}{\left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{max}}}$$

$$A_{\text{estimada}} = (1,618,322.4 \text{ Kcal/h}) / (32,550.0651 \text{ Kcal/hm}^2)$$

$$A_{\text{estimada}} = 49.72 \text{ m}^2$$

$$N_t = \frac{A_{\text{estimada}}}{L \cdot \pi \cdot D_o}$$

$$N_t = (49.72 \text{ m}^2) / (3.048 \text{ m} \cdot \pi \cdot 0.01905 \text{ m})$$

$$N_t = 272 \text{ Tubos/paso}$$

Tomando un arreglo de:

$D_s = 21.25 \text{ in. cuadrado Pitch} = 1 \text{ in. } N_t = 277 \quad 1 \text{ Paso.}$

$$A_{\text{calc}} = 277 \cdot \pi \cdot 0.01905 \text{ m} \cdot 3.048 \text{ m} = 50.52 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{estimada}} = \frac{Q}{A_{\text{calc}} \cdot \text{LMTD}}$$

$$U_{\text{estimada}} = (1,618,322.4 \text{ Kcal/h}) / (50.52 \text{ m}^2 \cdot 38.083 \text{ } ^\circ\text{C}) = 840.9967 \text{ Kcal/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Suponiendo una relación de 43 a 1:

$$V_{\text{vapor}} = \frac{1}{\rho_v} = 1 / (1.045 \text{ Kg/m}^3)$$

$$V_{\text{vapor}} = 0.9569 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$V_{\text{liq}} = \frac{1}{\rho_l} = 1 / (885 \text{ Kg/m}^3)$$

$$V_{\text{liq}} = 0.001129 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$\text{Peso del líquido recirculado} = 43 \cdot 3,566.975 \text{ Kg/h} = 153,379.925 \text{ Kg/h.}$$

$$\text{Volumen total líquido} = 153,379.925 \text{ Kg/h} \cdot 0.001129 \text{ m}^3/\text{Kg} = 173.3106 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Volumen de vapor} = 0.9569 \text{ m}^3/\text{Kg} \cdot 3,566.975 \text{ Kg/h} = 3,413.37 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Volumen total} = V_{\text{liq}} + V_{\text{vap}} = 173.3106 \text{ m}^3/\text{h} + 3,413.37 \text{ m}^3/\text{h} = 3,586.6838 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_o = (3,586.6838 \text{ m}^3/\text{h}) / (153,379.925 \text{ Kg/h} + 3,566.975 \text{ Kg/h})$$

$$V_o = 2.28528 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$\rho_m = \frac{\rho_l - \rho_o}{\ln\left(\frac{\rho_l}{\rho_o}\right)} = (885 - 1.045) / \ln(885/1.045) = 131.12 \text{ Kg/m}^3$$

$$P = \left(\frac{2.3 \cdot L}{v_l - v_v} \right) \cdot \log\left(\frac{v_l}{v_v} \right)$$

$$P = [(2.3 \cdot 3.048 \text{ m}) / (0.9569 - 0.001299) \text{ m}^3/\text{Kg} \cdot (100 \text{ cm/m})^2] \cdot \log(0.9569/0.001299)$$

$$P = 2.147423 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_F = N_t \cdot A_{FT} = 277 \cdot 1.72815626 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.047845 \text{ m}^2$$

$$G_T = \frac{V}{A_F} = [(153379.925 + 3,566.975) \text{ Kg/h}] / (0.047845 \text{ m}^2 \cdot 3,600 \text{ s/h})$$

$$G_T = 911.18736 \text{ Kg/m}^2\text{s}$$

$$Re = \frac{D_i \cdot G_T}{\mu} = (911.18736 \text{ Kg/m}^2\text{s}) \cdot (0.0148336 \text{ m}) / 2.55 \times 10^{-4} \text{ Kg/ms} = 53,004.6622$$

$$fb = 0.02664$$

Resistencia a la fricción:

$$\Delta p_{\text{fric}} = \frac{f_D \cdot L \cdot \left(\frac{G_T}{100 \frac{\text{cm}}{\text{m}}} \right)^2}{2 \cdot g_c \cdot \rho_m \cdot D_i}$$

$$\Delta P_{\text{fric}} = [0.02664 \cdot 3.048 \text{ m} \cdot (911.18 \text{ Kg/m}^2\text{s} / 100 \text{ cm/m})^2] / [(2 \cdot 9.81 \text{ Kg m/s}^2/\text{Kgf} \cdot 131.12 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0.0148336 \text{ m})]$$

$$\Delta P_{\text{fric}} = 0.18615 \text{ Kg/cm}^2$$

Resistencia por vaporización:

$$\Delta P_{vap} = \frac{l}{g_c \cdot \rho_m \cdot \left(\frac{G_r}{100 \frac{cm}{m}} \right)^2}$$

$$\Delta P_{vap} = (911.18 \text{ Kg/m}^2\text{s} / 100 \text{ cm/m})^2 / [(9.81 \text{ Kgm/s}^2/\text{Kgf})(131.12 \text{ Kg/m}^3)]$$

$$\Delta P_{vap} = 6.4547 \times 10^{-2} \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\Delta P_T = P + \Delta P_{fric} + \Delta P_{vap} = 0.2528 \text{ Kgf/cm}^2$$

Fuerza impulsora:

$$F = L \cdot \rho_L = 3.048 \cdot m \cdot 885 \text{ Kg/m}^3 \cdot (1m/100 \text{ cm})^2 = 0.2669 \text{ Kgf/cm}^2$$

Por lo tanto la fuerza impulsora es mayor que la suma de las pérdidas por fricción.

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} = (0.6825 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C})(0.918 \text{ Kg/hm}) / 0.29735 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C}.$$

$$Pr = 2.107$$

Cálculo del coeficiente interno :

$$h_i = \left(\frac{k}{D_i} \right) \cdot 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3}$$

$$h_i = [(0.29735 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C}) / (0.015748 \text{ m})] \cdot 0.043 \cdot (53,004.6622)^{0.8} (2.107)^{1/3}$$

$$h_i = 3,350.5002 \text{ Kcal/hm}^{20}\text{C}$$

Cálculo del coeficiente externo :

$$\Gamma = \frac{W}{\pi \cdot D_o} = (3,193.97 \text{ Kg/h}) / (\pi \cdot 0.01905 \text{ m} \cdot 277 \text{ tubos}) = 192.6675 \text{ Kg/hm}.$$

$$Re = \frac{\Gamma}{\mu} = (192.6675 \text{ Kg/hm}) / (0.7543 \text{ Kg/hm}) = 256.1046 \text{ (Regimen laminar).}$$

Suponiendo $T_s = 133.63 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$T_f = T_v - 3/4(T_v - T_s) = 147.2 - 0.75(147.2 - 133.63) = 137.02 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Se obtienen las propiedades del condensado a estas condiciones:

$$\rho_f = 928.68 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu_f = 2.0606 \times 10^{-4} \text{ Kg/ms}$$

$$K_f = 0.58962 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}.$$

$$h_o \cdot \left(\frac{L}{K_f} \right) = 1.18 \cdot \left(\frac{\rho_f^2 \cdot g \cdot L^3}{\mu_f \cdot \Gamma} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_o = 1.18 \cdot K_f \cdot \left(\frac{\rho_f^2 \cdot g}{\mu_f \cdot \Gamma} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_o = 1.18 \cdot 0.58962 \cdot [(928.68^2 \cdot 9.81 \cdot 3600 \text{ s/h}) / (2.0606 \times 10^{-4} \cdot 192.6675)]^{\frac{1}{3}}$$

$$h_o = 6,369.32901 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}.$$

$$T_s = \frac{h_o \cdot T_v + h_i \cdot T_m}{h_o + h_i}$$

$$T_s = (6,369.32901 \cdot 147.2 + 3,571.12 \cdot 107.85) / (6,369.32901 + 3,350.5002) = 133.63^\circ \text{C}.$$

La temperatura es igual a la supuesta, por lo tanto no se hace otra iteración.

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor:

Los valores de los coeficientes de incrustación son $R_{di} = 0.00012 \text{ hm}^2\text{C/Kcal}$.
y $R_{do} = 0.0006 \text{ hm}^2\text{C/Kcal}$. respectivamente.

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R_{do} + \frac{D_o}{D_i} \left(\frac{1}{h_i} + R_{di} \right) + \frac{x \cdot D_o}{K_w \cdot D_w}}$$

$$U_o = 1 / (1/6,369.32901 + 0.0006 + (0.01095/0.0148336) \cdot (1/3,350.5002 + 0.00012) + 6.441769 \times 10^{-5})$$

$$U_o = 726.14 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$$

$$A_o = \frac{Q}{U_o \cdot \text{LMTD}_{\text{corr.}}} = (1,618,322.4 \text{ Kcal/h}) / (726.14 \text{ Kcal/hm}^2\text{C} \cdot 38.083^\circ \text{C})$$

$$A_o = 58.52 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{exceso}} = [(58.52 - 50.52) / 58.52] \times 100 = 13.67 \%$$

CALCULO DE LA COLUMNA DE EXTRACCION C-103:

Datos:

Q_D= Flujo de la fase dispersa= 80.2337 l/min =4.184 m³/h = 170 ft³/h.

Q_C= Flujo de la fase continua= 61.2413 l/min =3.674 m³/h = 130 ft³/h.

ρ_D= Densidad de la fase dispersa= 57.8 lb/ft³ = 926 Kg/m³

ρ_C= Densidad de la fase continua= 61.21 lb/ft³ = 980.5 Kg/m³

μ_D= Viscosidad de la fase dispersa= 0.3117 cp

μ_C= Viscosidad de la fase continua= 0.3208 cp = 0.7763 lb/hft.

σ= tensión superficial 95.64 dinas/cm.

Se usarán anillos Pall metálicos de 1 in.

Datos del empaque:

a_p= area del empaque =63 ft²/ft³.

ε= Fracción hueca del empaque= 0.94

CALCULOS:

$$\frac{a_p}{\varepsilon} = \frac{63}{0.94} = 67.02$$

$$\left(\frac{\mu_c}{\Delta \rho}\right) \left(\frac{\sigma}{\rho_c}\right)^{0.2} \left(\frac{a_p}{\varepsilon}\right)^{1.5} = (0.3208 / (61.21 - 57.8)) * (95.64 / 61.21)^{0.2} * (67.02)^{1.5} = 56.435$$

De la gráfica de Eckert

$$\frac{Q_c}{Q_D} = (130 \text{ ft}^3/\text{h.}) / (170 \text{ ft}^3/\text{h.}) = 0.7647$$

$$\frac{V_c \left[1 + \left(\frac{Q_D}{Q_c} \right)^{0.5} \right]^2 \rho_c}{a_p * \mu_c} = 100$$

$$\frac{V_c \left[1 + \left(\frac{170}{130} \right)^{0.5} \right]^2 61.21}{63 * 0.3208} = 100$$

$$V_c = 7.186 \text{ ft/h.}$$

Considerando un 70% de inundación.

$$A = \text{Area} = \frac{Q_c}{0.7 * V_c} = 130 \text{ ft}^3/\text{h} / (0.7 * 7.186 \text{ ft/h}) = 25.8439 \text{ ft}^2$$

$A = (\pi/4) * D^2$ por lo tanto

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 25.8439}{\pi}} = 5.7363 \text{ ft} = 1.75 \text{ m}$$

Usando un valor recomendado de HETS = $10 * 6 = 60 \text{ ft} = 18.288 \text{ m}$.

Usando dos distribuidores la altura total será alrededor de $70 \text{ ft} = 21.3 \text{ m}$.

MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS REACTORES PRIMARIO Y SECUNDARIO

Modelo: Reactor de Lecho Fijo Adiabático.

Gradientes radiales de concentración y temperatura despreciables.

Capacidad de la mezcla constante.

Simplificación del cálculo con una reacción:



Balance de Materia:

Flujo de entrada + rapidez de transformación = flujo de salida

$$\varepsilon \left|_z + r_p A \Delta Z \rho_{cat} = W_E \right|_{z+\Delta Z}$$

donde:

r_p = Velocidad total de reacción por unidad de masa del catalizador.

A = Area de sección transversal del reactor = $(\pi/4) \times D^2$

con D = diámetro (m.)

ρ_{cat} = Densidad del catalizador.

dividiendo entre ΔZ y tomando el límite cuando $\Delta Z \rightarrow 0$.

$$\lim_{\Delta Z \rightarrow 0} \frac{W_E|_{z+\Delta Z} - W_E|_z}{\Delta Z} + r_p A \rho_{cat} = 0$$

$$\frac{dW_E}{dZ} = - r_p A \rho_{cat} \quad (1)$$

donde:

$W_E = W_{E0} \times (1 - \varepsilon)$ con ε = Conversión del reactante.

Diferenciando con respecto a ε :

$$\frac{dW_E}{dZ} = - W_{E0} \frac{d\varepsilon}{dZ} \quad (2)$$

Combinando las ecs. (1) y (2):

$$\frac{dZ}{d\varepsilon} = \frac{W_{E0}}{r_p A \rho_{cat}} \quad (3)$$

Condiciones iniciales: en $Z=0$, en $\varepsilon=0$.

Balance de Energía:

Flujo de entrada + rapidez de transformación = Flujo de salida

$$\dot{H}|_Z - r_p \Delta H_{R, 298}^0 A \Delta Z \rho_{cat} = \dot{H}|_{Z + \Delta Z}$$

donde:

$$\Delta H_{R, 298}^0 = \text{entalpía de reacción a 298 K}$$

Dividiendo entre ΔZ y tomando el límite cuando $\Delta Z \rightarrow 0$.

$$\lim_{\Delta Z \rightarrow 0} \frac{\dot{H}|_{Z + \Delta Z} - \dot{H}|_Z}{\Delta Z} + r_p A \rho_{cat} \Delta H_{R, 298}^0$$

$$\frac{d\dot{H}}{dZ} = - r_p A \rho_{cat} \Delta H_{R, 298}^0$$

donde $\dot{H} = mH$ con $m = \rho u$ y $H = CpT$.

$$\frac{d(\rho u Cp T)}{dZ} = - r_p \Delta H_{R, 298}^0 \rho_{cat} A$$

Si ρ, u, Cp permanecen constantes:

$$\rho u Cp \frac{dT}{dZ} = r_p \rho_{cat} (-\Delta H_{R, 298}^0) A \quad (4)$$

Resolviendo para r_p en la ecuación (3) y sustituyendo en la ec. (4):

$$r_p = \frac{W_{E_0}}{A \rho_{cat}} \frac{d\mathcal{E}}{dZ}$$

$$\rho u Cp \frac{dT}{dZ} = \frac{W_{E_0}}{A} (-\Delta H_{R, 298}^0) \frac{d\mathcal{E}}{dZ}$$

donde: $WE = \rho u A =$ velocidad de alimentación de la mezcla total.

$$dT = \frac{-\Delta H_{R, 298}^0}{Cp} \frac{W_{E_0}}{W_E} d\mathcal{E}$$

Para $\Delta H_{R, 298}^0$ constante, la integración da:

$$T - T_0 = \frac{-\Delta H_{R, 298}^0}{Cp} \frac{W_{E_0}}{W_E} (\mathcal{E} - \mathcal{E}_0)$$

Balance de Energía:

Flujo de entrada + rapidez de transformación = Flujo de salida

$$\dot{H}|_z - r_p \Delta H_{R, 298}^0 A \Delta Z \rho_{cat} = \dot{H}|_{z+\Delta Z}$$

donde:

$$\Delta H_{R, 298}^0 = \text{entalpía de reacción a 298 K}$$

Dividiendo entre ΔZ y tomando el límite cuando $\Delta Z \rightarrow 0$.

$$\lim_{\Delta Z \rightarrow 0} \frac{\dot{H}|_{z+\Delta Z} - \dot{H}|_z}{\Delta Z} + r_p A \rho_{cat} \Delta H_{R, 298}^0$$

$$\frac{d\dot{H}}{dZ} = - r_p A \rho_{cat} \Delta H_{R, 298}^0$$

donde $\dot{H} = mH$ con $m = \rho u$ y $H = CpT$.

$$\frac{d(\rho u Cp T)}{dZ} = - r_p \Delta H_{R, 298}^0 \rho_{cat} A$$

Si ρ, u, Cp permanecen constantes:

$$\rho u Cp \frac{dT}{dZ} = r_p \rho_{cat} (-\Delta H_{R, 298}^0) A \quad (4)$$

Resolviendo para r_p en la ecuación (3) y sustituyendo en la ec. (4):

$$r_p = \frac{W_{E_0}}{A \rho_{cat}} \frac{d\mathcal{E}}{dZ}$$

$$\rho u Cp \frac{dT}{dZ} = \frac{W_{E_0}}{A} (-\Delta H_{R, 298}^0) \frac{d\mathcal{E}}{dZ}$$

donde: $WE = \rho u A =$ velocidad de alimentación de la mezcla total.

$$dT = \frac{-\Delta H_{R, 298}^0}{Cp} \frac{W_{E_0}}{W_i} d\mathcal{E}$$

Para $\Delta H_{R, 298}^0$ constante, la integración da:

$$T - T_0 = \frac{-\Delta H_{R, 298}^0}{Cp} \frac{W_{E_0}}{W_i} (\mathcal{E} - \mathcal{E}_0)$$

donde T_0 y \mathcal{E}_0 son la temperatura de alimentación y la conversión.

$$T = \frac{-\Delta H_{R298}^0}{C_{pm}} \frac{W_{E_0}}{W_E} (\mathcal{E}) + T_0 \quad (5)$$

Mecanismo de reacción:



$$r_p = K \left(\frac{a_{\text{IB}}}{a_{\text{MeOH}}} - \frac{1}{K_a} \frac{a_{\text{MTBE}}}{a_{\text{MeOH}}^2} \right) \quad (6)$$

donde:

K_a = Constante de equilibrio químico.

K = Constante de reacción.

$a_i = x_i \gamma_i$.

γ_i = Coeficiente de actividad.

Ecuación para K_a :

$$\ln \frac{K_a(T)}{K_a(T_0)} = A_1 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) + A_2 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + A_3 (T - T_0) + A_4 (T^2 - T_0^2) + A_5 (T^3 - T_0^3) + A_6 (T^4 - T_0^4) \quad (7)$$

donde:

T_0	298.15 °K
A_1	-1.49277E3 K
A_2	7.74002E1 K ¹
A_3	5.07563E-1 K ⁻¹
A_4	-9.12739E-4 K ⁻²
A_5	1.10649E-6 K ⁻³
A_6	-6.27996E-10 K ⁻⁴

Ecuación para K :

$$K = K(T_*) \exp \left[-\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_*} \right) \right] \quad (8)$$

donde: $K(T_*)$ = Constante de rapidez a T_* .

Modelo de parámetros para las ecuaciones (6), (7), (8):

Parametro	Unidad	Valor	Intervalo de confianza (95%)
K(90°C)	(mmol/seg.)	243.8	27.0
E	(Kj/mol)	92.4	3.7
K _d (25°C)		300.5	22.8

Entalpia de Reacción Std.

$$\Delta H_{R,298}^0 = -37.7 \text{ Kj/mol}$$

Actividades: a_{MeOH} , a_{IB} , a_{MTBE} .

Restricción: Fase líquida no ideal.

Simplificación: La mezcla de reacción consiste básicamente de cuatro componentes: MeOH, Isobuteno, I-Butano y MTBE, para el cálculo se trata como una mezcla de tres componentes: MeOH, MTBE e Isobuteno.

Método de cálculo para coeficientes de actividad: UNIQUAC.

Parámetros de interacción para el cálculo de coeficientes de actividad con el método UNIQUAC.

a_{ij}	(cal/mol)
a_{12}	-70.3003
a_{21}	1403.5
a_{13}	-174.94
a_{31}	931.43
a_{23}	103.73
a_{32}	-48.931

1=MeOH, 2=Isobuteno, 3=MTBE.

Modelo UNIQUAC:

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^c + \ln \gamma_i^R \quad (9)$$

$$\ln \gamma_i^c = \text{Combinatoria}, \ln \gamma_i^R = \text{Residual}$$

$$\ln \gamma_i^c = \ln \left(\frac{\Phi_i}{x_i} \right) + \left(\frac{Z}{2} \right) q_i \ln \left(\frac{\Theta_i}{\Phi_i} \right) + l_i - \left(\frac{\Phi_i}{x_i} \right) \sum x_j l_j \quad (9a)$$

$$\ln \gamma_i^R = q_i \left[1 - \ln \left(\sum_j \Theta_j \tau_{ji} \right) - \sum_k \frac{\Theta_k \tau_{ki}}{\sum_k \Theta_k \tau_{ki}} \right] \quad (9b)$$

$$l_i = \left(\frac{Z}{2} \right) (r_i - q_i) - (r_i - 1) \quad \text{donde } Z = 10 \quad (9c)$$

$$l_j = \left(\frac{Z}{2} \right) (r_j - q_j) - (r_j - 1)$$

$$\Theta_i = \frac{q_i x_i}{\sum_j q_j x_j} \quad (9d)$$

$$\Phi_i = \frac{r_i x_i}{\sum_j r_j x_j} \quad (9e)$$

$$\tau_{ji} = \exp \left(\frac{-a_{ji} + a_{ii}}{R T} \right) \quad (9f)$$

$$\tau_{ij} = \exp \left(\frac{-a_{ij} + a_{jj}}{R T} \right)$$

$$\text{con } R = 1.987 \frac{\text{cal}}{\text{gmol K}} \quad T = \text{K}$$

$$r_i = \sum_k V_k^{(i)} R_k \quad (9g)$$

$$q_i = \sum_k V_k^{(i)} Q_k \quad (9h)$$

Identificación de grupos:

Molécula (i)	Formúla	$v_j^{(i)}$	R_j	Q_j
Metanol (1)	CH ₃ OH	1	1.4311	1.432
Isobuteno (2)	CH ₂ =C	1	1.1173	0.988
	CH ₃	2	0.9011	0.848
MTBE (3)	C ₅ H ₁₂ O	1	1.1450	1.088

Con las ecuaciones. (9c), (9g) y (9h):

Molécula (i)	r_j	q_j	l_j
Metanol (1)	1.4311	1.432	-0.4356
Isobuteno (2)	2.9195	2.684	-0.5115
MTBE (3)	4.3757	4.032	-1.3135

Fracciones mol (x_i):

MeOH + IB \rightleftharpoons MTBE				
	MeOH	IB	MTBE	Total
n_{j0}	n_{MeOH_0}	n_{IB_0}	n_{MTBE_0}	$n_{MeOH_0} + n_{IB_0} + n_{MTBE_0}$
n_j	$n_{MeOH_0} - n_{IB_0}\epsilon$	$n_{IB_0}(1-\epsilon)$	$n_{MTBE_0} + n_{IB_0}\epsilon$	$n_{MeOH_0} + n_{IB_0} + n_{MTBE_0} - n_{IB_0}\epsilon$
x_j	n_{MeOH}/n_T	n_{IB}/n_T	n_{MTBE}/n_T	1

$$x_{MeOH} = \frac{n_{MeOH_0} - n_{IB_0}\epsilon + n_{IB_0}(1-\epsilon)}{n_{MeOH_0} + n_{IB_0} + n_{MTBE_0} - n_{IB_0}\epsilon}$$

$$x_{IB} = \frac{n_{IB_0}(1-\epsilon)}{n_{MeOH_0} + n_{IB_0} + n_{MTBE_0} - n_{IB_0}\epsilon}$$

$$x_{MTBE} = \frac{n_{MTBE_0} + n_{IB_0}\epsilon}{n_{MeOH_0} + n_{IB_0} + n_{MTBE_0} - n_{IB_0}\epsilon}$$

Solución:

1.- Se supone un diámetro para determinar el área de la sección transversal del reactor (A).

$$A = (\pi/4) \cdot D^2 \quad \text{con } D = \text{diámetro, metros.}$$

2.- Se resuelve la ecuación (5) del balance de energía iniciando con $\epsilon=0$ y T_0 =temperatura de entrada al reactor e incrementos de $\epsilon=0.1$ hasta la conversión final del Isobuteno.

$$T = \frac{-\Delta H_{R,298}^\circ}{C_p} \frac{W_{I_0}}{W_I} \epsilon + T_0$$

3.- Con T en función de ϵ , se calcula la ecuación de rapidez de reacción r_p y se resuelve la expresión (3) del balance de materia numéricamente para ϵ en función de z, empezando en la alimentación ($z=0$, $T=T_0$ y $\epsilon=0$).

$$\frac{dz}{d\epsilon} = \frac{W_{I_0}}{r_p A \rho_{cat}}$$

La expresión se resuelve numéricamente con el procedimiento Runge-Kutta de cuarto orden con un incremento de $\Delta\epsilon = 0.1$

Método de Runge-Kutta de Cuarto Orden:

$$f = \frac{dZ}{d\mathcal{E}} = \frac{W_{F_{ca}}}{r_p A \rho_{cat}}$$

$$z_{i+1} = z_i + \left[\frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] h$$

donde:

$$k_1 = f(\mathcal{E}_i, z_i)$$

$$k_2 = f\left(\mathcal{E}_i + \frac{h}{2}, z_i + \frac{hk_1}{2}\right)$$

$$k_3 = f\left(\mathcal{E}_i + \frac{h}{2}, z_i + \frac{hk_2}{2}\right)$$

$$k_4 = f(\mathcal{E}_i + h, z_i + hk_3)$$

Con $h = \Delta\mathcal{E} = 0.1$

donde: $A = f(\text{diámetro})$, $r_p = f(\mathcal{E}, T, x_i)$

Reactor Primario

Condiciones:

Componente	Entrada (Kmol/hr)	Salida (Kmol/hr)
Propeno	1.04	1.04
Propano	4.01	4.01
Butano	42.88	42.88
Isobutano	962.25	962.25
Buteno	9.81	9.81
Isobuteno	453.1426	45.14
Alcohol terbutílico	0.11	0.28
Dimetil éter	0.08	0.18
Agua	0.17	0.09
Metanol	491.1132	83.08
MTBE	270.5394	678.36
Cis-2-buteno	11.82	11.82
Trans-2-buteno	9.14	9.14
Flujo Total (WE)	2,256.10	1,848.08
Temperatura (C)	42	88.5
(K)	315	361.55

Conversión:

	MeOH	IB	MTBE	Total
n_{i0}	491.11	453.14	270.54	1214.08
n_j	491.11 - 453.14 \mathcal{E}	453.14(1- \mathcal{E})	270.54 +453.14 \mathcal{E}	1214.08 - 453.14 \mathcal{E}

$$x_{\text{MeOH}} = \frac{491.11 - 453.14\mathcal{E}}{1214.8 - 453.14\mathcal{E}}$$

$$x_{\text{IB}} = \frac{453.14(1-\mathcal{E})}{1214.8 - 453.14\mathcal{E}}$$

$$x_{\text{MTBE}} = \frac{270.54 + 453.14\mathcal{E}}{1214.8 - 453.14\mathcal{E}}$$

Análisis de unidades

Expresión del balance de energía:

$$T = \frac{-\Delta H_{R,298}^0}{C_{pm}} \frac{W_{I_0}}{W_E} \mathcal{E} + T_0$$

$$T_0 = 311 \text{ K}$$

$$\Delta H_{R,298}^0 = -37700 \text{ J/gmolK}$$

$$C_{pm} = 230 \text{ J/gmolK}$$

$$W_{E0} = \text{Flujo de la mezcla reaccionante} = 906.2852 \text{ Kgmol/hr.}$$

$$W_E = 2.256.1335 \text{ Kgmol/hr.}$$

$$T = \frac{37700 * 906.2852}{293 * 2256.1335} * \mathcal{E} + 315$$

Expresión del balance de materia:

$$\frac{dZ}{d\mathcal{E}} = \frac{W_{I_0}}{r_p A \rho_{cat}}$$

Con:

$$r_p = (\text{mmol/s.eq.}) \times (1 \text{ gmol}/1000 \text{ mmol}) \times (3600 \text{ s.}/1 \text{ hr.}) \times (1 \text{ Kgmol}/1000 \text{ gmol})$$

$$r_p = 0.0036 \text{ (Kgmol/hr.eq.)}$$

donde:

Cl. = Constante asociada al catalizador.

$$Cl. = 3.3 \text{ (eq./l.)} = \left(\frac{1 - \alpha}{1 + S} \right) q \rho_{cat}$$

Con: α = porosidad del catalizador = 0.319.

$$S = 0.5.$$

$$q = \text{Cap. esp.} = 4.9 \text{ (meq./g)}.$$

$$\rho_{cat} = \text{densidad del catalizador} = 1.515 \text{ g/cm}^3.$$

$$\begin{aligned}r_p &= r_p(\text{Cl}) = 0.0036 \text{ (Kgmol/hr.eq.)} \times (3.3 \text{ eq./l.}) \times (1000 \text{ l/m}^3\text{.)} \\ &= r_p \text{ (11.8 Kgmol/hr.m}^3\text{.)}\end{aligned}$$

$$A = m^2.$$

$$WE_o = 906.2852 \text{ Kgmol/hr.}$$

$$\frac{dZ}{d\mathcal{E}} = \frac{906.2852}{A * r_p}$$

ANEXO B
NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS

MÁXIMAS CONCENTRACIONES PERMITIDAS EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES Y EN EFLUENTES GASEOSOS INDUSTRIALES

MÁXIMAS CONCENTRACIONES PERMITIDAS EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.

De acuerdo a la ley general de equilibrio ecológico y la protección al ambiente, se establece que todas las descargas de aguas residuales en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, deberán satisfacer las normas técnicas ecológicas que establezcan los límites máximos permisibles de contaminantes en dichas descargas, a fin de asegurar la calidad del agua satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

Dicha ley establece que la industria de la refinación del petróleo crudo, sus derivados y petroquímica básica deben de aplicarse las siguientes estrategias de control de descarga de aguas residuales hacia las diferentes fuentes naturales de agua en las zonas aledañas. Por lo tanto deben controlarse las descargas de:

-Aguas residuales del sector industrial.

-Desechos orgánicos e inorgánicos mezclados con aguas excedentes de los procesos de producción, así como las aguas de servicio. Esto es debido a que éstas modifican las características fisicoquímicas y biológicas de las fuentes naturales de agua.

-Contaminantes que caracterizan las aguas residuales y que de acuerdo a su cantidad y tipo son adversos a los ecosistemas, por lo tanto es necesario fijar sus límites de descarga máximos permisibles. La determinación de los límites máximos permisibles se hará de acuerdo a las experiencias nacionales y bibliografía internacional al respecto. Además se consideró la factibilidad técnica y económica de instrumentar procesos de depuración por parte de los responsables de las descargas y la efectividad de estos procesos en las fuentes generadoras.

-Que para no rebasar en lo posible los límites máximos permisibles, los sistemas de tratamiento deben dar resultados similares a los procesos de: Igualación, separación de grasas y aceites, precipitación química de cromo, oxidación de sulfuros, sedimentación y tratamiento biológico.

ACUERDO:

De los artículos 1º al 8º de la NOM-CCA-003-ECOL/1993, se establecen las siguientes medidas y consideraciones para las descargas de aguas residuales, provenientes de la industria de refinación del petróleo crudo, sus derivados y petroquímica básica.:

- Los límites máximos permisibles;
- Procedimientos de determinación de contaminantes;
- Obligatoriedad pública y social de vigilar las descargas de aguas residuales en ríos, cuencas, causas, vasos, aguas marinas y demás corrientes o depósitos de aguas.

-4°.- Los límites máximos permisibles se establecen en la siguiente tabla:

LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES:		
PARAMETROS:	Promedio diario:	Instantaneo:
pH (unidades de pH):	6-9	6-9
Grasas y aceites (mg/l):	30	45
Demanda química de oxígeno (mg/l):	100	120
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l):	60	72
Sulfatos (mg/l):	0.2	0.4
Cromo hexavalente (mg/l)	0.05	0.075
Cromo total (mg/l):	1.0	1.2
Fenoles (mg/l):	0.5	0.75
Sólidos suspendidos totales (mg/l):	70	85

-5°.- Condiciones particulares de descarga como: Temperatura, Sólidos disueltos, Cloruros, Sulfatos, Mercaptanos, Arsénico, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Mercurio, Niquel, Cadmio, Zinc, Aluminio, Vanadio, etc.

-6°.- El procedimiento para la obtención de los valores promedio diarios de contaminantes en las descargas de aguas residuales, se hará mediante el análisis de muestras compuestas que resultan de la mezcla de muestras instantáneas de acuerdo a la siguiente tabla.

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga.	Intervalo entre toma de muestras instantáneas (horas).
8	3
12	3
24	4

-7°.- Los límites máximos permisibles de coliformes totales, medidos como número más probable por cada 100 ml, en las descargas de aguas residuales, considerando las aguas de servicio son:

a) 10,000 como límite promedio diario y 20,000 como límite instantáneo, cuando se permita el escurrimiento libre de las aguas residuales de servicios o su descarga a un cuerpo de agua, mezcladas o no con las aguas residuales del proceso industrial.

b) Sin límite, en el caso de que las aguas residuales de servicio se descarguen separadamente y el proceso para su depuración prevenga su infiltración en terrenos de manera que no se cause un efecto adverso en los cuerpos de agua.

-8°.- Los métodos de prueba que se aplicarán para determinar los valores de los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en la industria, son contenidos en las normas oficiales NOM-AA-3, 7, 8, 14, 20, 28, 30, 38, 34, 42, 44, 46, 50 y 51, que se muestran en la siguiente tabla:

NOM-AA-	DETERMINACION:	METODO DE MUESTREO:
3	Aguas residuales	Muestreo.
5	Grasas y aceites.	Extracción Soxhlet.
7	Temperatura.	Visual con termómetro.
8	pH.	Potenciométrico.
14	Cuerpos receptores.	Muestreo.
20	Sólidos disueltos totales	Gravimétrico.
28	DBO	Incubación por diluciones.
30	DQO.	Reflujo del dicromato.
34	Sólidos en agua.	Gravimétrico.
42	Número más probable de coliformes totales y fecales.	Tubos múltiples de fermentación.
44	Cromo hexavalente	Colorimétrico de la difenil carbazida.
46	Arsénico	Espectrofotométrico del dietil ditio (carbamato de plata).
50	Fenoles	Espectrofotométrico bipiridina de la 4-amino-antipirina.
51	Metales	Espectrofotométrico de absorción atómica.

MÁXIMAS CONCENTRACIONES PERMITIDAS EN EFLUENTES GASEOSOS INDUSTRIALES:

La Norma Técnica Ecológica NTE-CCAT-007/88, establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno provenientes del proceso de combustión de combustibles en fuentes fijas.

De acuerdo a la Ley Federal del Equilibrio Ecológico y la protección al ambiente, se prevé que las emisiones a la atmósfera deberán sujetarse a las normas técnicas ecológicas en que se determinen los niveles máximos permisibles de emisión, por contaminante o por fuente de contaminación a fin de considerar una calidad de aire satisfactoria para el bienestar de la población y para conservar el equilibrio ecológico.

-Que los contaminantes generados tales como, las partículas, el monóxido de carbono, el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, los cuales reaccionan con otros compuestos, formando otros contaminantes con características toxicológicas más severas al ambiente.

-Las emisiones de dichos contaminantes produce deterioro a la calidad del aire si rebasa ciertos límites, por lo que es necesario establecer los límites máximos permisibles, que aseguren que no se originen alteraciones significativas al ambiente.

-Para la determinación de los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera, se tomó únicamente en consideración la utilización del combustóleo, la optimización de los procesos de combustión, las tecnologías de control actuales, así como la aplicación de combustibles de la mejor calidad.

ACUERDO:

-1°.- De acuerdo a los artículos 1° al 7° de la NTE-CCAT-007/88 se establecen los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de proceso de combustión en fuentes fijas, que utilicen únicamente combustóleo como combustible, cuando los gases de combustión no estén en contacto directo con los materiales de proceso.

-2° y 3°.- Se enfoca hacia la obligatoriedad de observar sus emisiones a la atmósfera y respetar los acuerdos del artículo 1° por parte de los responsables de las fuentes fijas.

-4°.- Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno provenientes de procesos de combustión en fuentes fijas, referidos al artículo 1° de esta norma son:

Niveles Máximos Permisibles de Emisión		
Contaminantes	Zonas críticas	Resto del País
	Kg/m ³ (a)	Kg/m ³ (a)
Partículas	4.240	6.740
Monóxido de carbono	0.600	0.660
Bióxido de azufre	57.000	95.000
Oxidos de Nitrógeno (b)	6.600 (c)	6.600 (c)
	8.000 (d)	8.000 (d)

(a) Kilogramos de contaminante por cada metro cúbico de combustóleo consumido a 298° K (25°C).

(b) Los óxidos de nitrógeno expresados como bióxido de nitrógeno.

Los niveles máximos permisibles se especifican de acuerdo al tamaño del equipo, en dos grupos:

(c) Para equipos de combustión de capacidad hasta 106 x 10⁹ joules/hora.

(d) Para equipos de combustión capacidad mayor de 106 x 10⁹ joules/hora.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, se podrá rebasar en caso de operaciones de arranque y soplado del equipo de combustión, siempre y cuando no se extiendan los periodos mayores de 15 minutos y que estos no se presenten más de 3 veces al día

En lo referente a las emisiones en los equipos de combustión con capacidad mayor de 106×10^9 joules/hora, los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, podrán rebasarse durante el inicio de la operación de arranque de los equipos de combustión, Siempre que no se excedan periodos mayores de 7 horas y éstas no se presenten más de dos veces durante el año. durante éste periodo, la opacidad de las emisiones a la atmósfera no deberá ser mayor, en promedio por hora, que la establecida en la carta No.2 de Ringelmann.

Para efectos de cuantificación de las emisiones de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes o en su caso en las que expida la autoridad competente.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFIA

REVISTAS:

-**Bakas, S.T., Pujado, P.R., Et al.** 'Production of ethers from field butanes and refinery streams' Presented at the AIChE Summer Meeting in San Diego, Calif., August 1990.

-**Brockwell, H.C. Sarathy, P.R. and Trotta, R.**, 'Synthesize Ethers'. Hydrocarbon Processing, Vol.70, No.9, Sept. 1991, P.p. 133-141.

-**DeGarmo, J.L. Parulekar, V.N. and Pinjala, V.**, 'Consider Reactive Distillation, Chemical Engineering Progress, March 1992.

-**Gregor, J.H., Bakas, S.T. and Ulowetz, M.A.**, 'Converting Field Butanes Into MTBE'. Gas Processors Association Annual Meeting in Anaheim, Calif. March 1992.

-**Muddarris G.R. and M.J. Pettman.** 'Now, MTBE from butane'. Hydrocarbon Processing, October 1980. P.p 91-95.

-**Palen J.W. and W.M.Small.** 'A New Way to Design Kettle and Internal Reboilers'. Hydrocarbon Processing, November 1964, Vol. 43, No. 11. P.p 199-208.

-**Pujado P.R. and B.V. Vora.** 'Make C₃ - C₄ Olefins Selectively' [Economics are Reviewed for Schemes Using the Oleflex Process to Convert Propane and Butanes to Their Olefins for Various Uses Including the Production of MTBE]. Hydrocarbon Processing, March 1990, P.p. 65-70.

-**Rehfinger Alwin and Ulrich Hoffmann.** 'Kinetics of Methyl Tertiary Butyl Ether Liquid Phase Synthesis Catalyzed by Ion Exchange Resin - I. Intrinsic Rate Expression in Liquid Phase Activities'. Chemical Engineering Science, Vol. 45, No. 6, P.p. 1605-1617, 1990.

-**Rocha Uribe, José Antonio y Macías Salinas, Ricardo.** 'Métodos aproximados de diseño y simulación de equipos de destilación'. IMIQ Series Técnicas, 1988, Pags. 79.

-**Torck B., A. Convers and A. Chauvel.** 'Methanol for Motor Fuel Via The Ethers Route'. Chemical Engineering Progress, August 1982. P.p. 36-45.

-**Vazquez Bravo Isauro, Rangel Ayala Victor Manuel, Et. al.** 'Proceso de Obtención de Eter Metil Terbutílico (MTBE)'. Revista del Instituto Mexicano del Petroleo, Vol. XX, Núm. 3, Julio 1988. P.p. 50-53.

TESIS:

-**Jurado Cardenas, Hector.** "Diseño de intercambiadores de calor de tubos y coraza." Cuautitlan 1990.

-**Loza Treviño, José Alberto.** "50 programas sencillos en basic para transferencia de calor." Química 1990.

-**Mendoza Borja, Luis Fernando.** "Elaboración de la ingeniería básica para un sistema de purificación de butadieno" La Salle 1990.

-**Tafoya Avila José Juan** "Evaluación del proceso de obtención, medidas de seguridad, toxicidad y manejo de MTBE" Química 1994.

-**Pimentel Mestre Elsa Aurora de la Paz** "Paquete de ingeniería básica para una fraccionadora " Química 1990

-**Roa Alejandro, Manuel.** "Influencia de los parametros mecánicos en la evaluación del coeficiente de transferencia de calor en equipos de haz y envolvente" Química 1990.

LIBROS:

-**Kern Donald Q.** 'Procesos de Transferencia de Calor' Editorial C.E.C.S.A. México 1991.

-**PEMEX** 'Anuario estadístico de PEMEX' México D.F. 1993

-**PEMEX** 'Memorias de Labores de PEMEX' México D.F. 1993

-**Perry Robert H. y Chilton H. Cecil.** 'Biblioteca del Ingeniero Químico'. Tomos 1,2,3. México 1990.

-**Rase H.F. y Barrow M.H** 'Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso'. Editorial C.E.C.S.A. México 1984.

-**Reid R.C., Poling B.E. and Prausnitz J.M.** 'Properties of Gases and Liquids. McGraw-Hill Book Compagny. 1987.

-**Treybal Robert E.** 'Operaciones de Transferencia de Masa' segunda edición. México D.F. 1991.

-**Valiente Barderas Antonio.** 'Problemas de Flujo de Fluidos' Editorial Limusa Noriega. México D.F. 1990.

-Valiente Barderas Antonio. 'Problemas de Transferencia de Calor'
Editorial Limusa. México D.F. 1988.

CODIGOS:

-American Petroleum Institute. 'Centrifugal Pumps for General Refinery Services'. Septiembre 1984.

-American Society of Mechanical Engineers. 'ASME Boiler and Pressure Vessel Code'.

-Instrument Society of America. 'Instrumentation Symbols and Identification'. Noviembre 1986.

-Tubular Exchanger Manufacturers Association. 'Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association'. 1988.