

88  
2 es.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Implementación de un programa de cómputo  
para el diseño mecánico y estructural de separadores  
de mezclas de hidrocarburos utilizados en plataformas  
marítimas de PEMEX.

**T E S I S**  
Para obtener el título de:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
p r e s e n t a

**Eduardo Jiménez Lara**

**FACULTAD DE  
INGENIERIA**



**U N A M**

MEXICO, D. F. 25 DE OCTUBRE DE 1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

267415



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

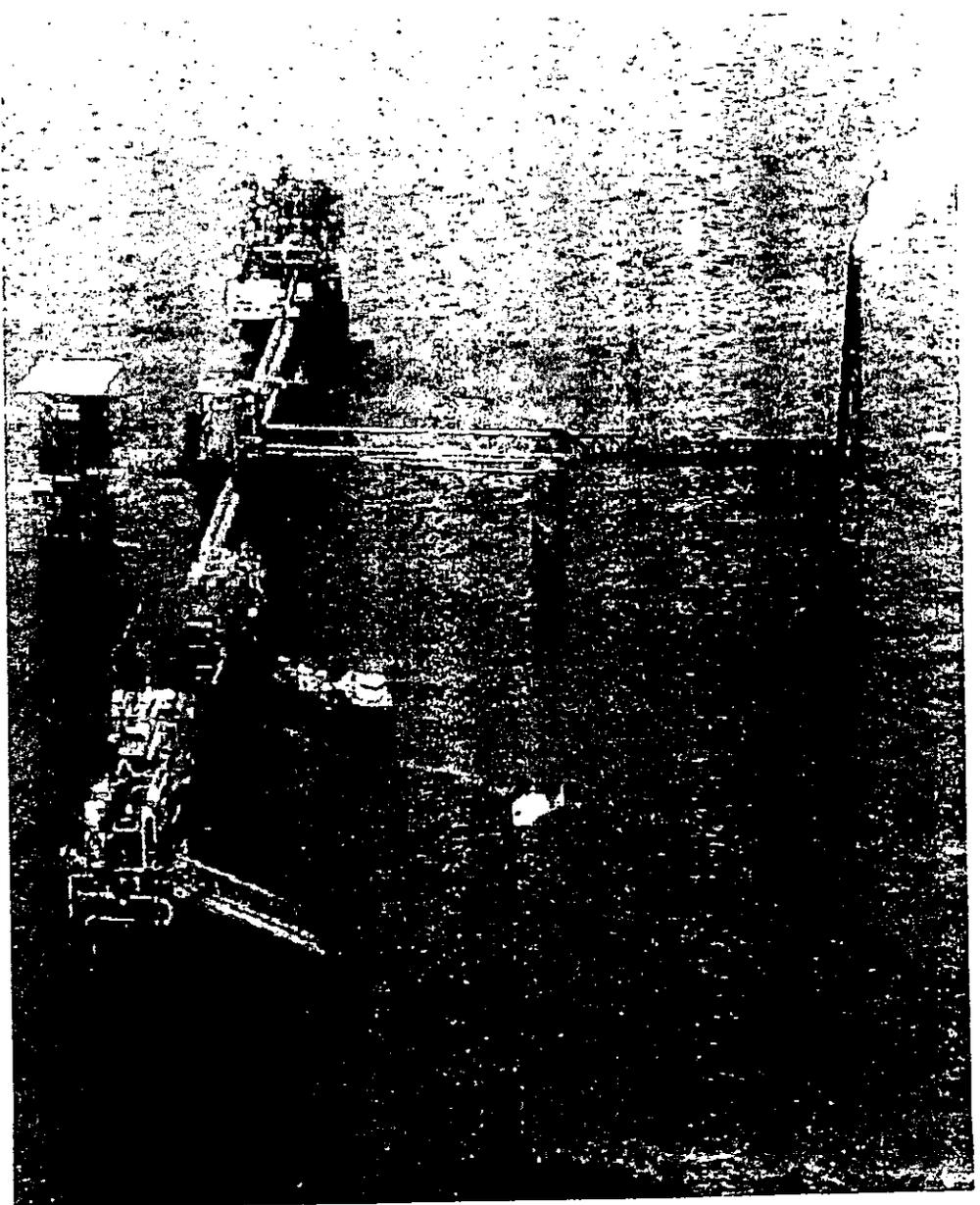
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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.



Implementación de un programa de cómputo para el diseño mecánico y estructural  
de separadores de mezclas de hidrocarburos utilizados en plataformas marítimas de PEMEX.

---



## DEDICATORIAS

A **Dios**, por regalarme de nuevo la oportunidad de vivir y poder concluir mis estudios.

En especial dedico este trabajo a mis padres, quienes son las personas más importantes en mi vida. Con su apoyo han colaborado en la realización de mis metas, mostrándome el camino del éxito, enseñándome virtudes como la honradez, la sinceridad y la más importante de todas: el amor.

Mi mamá, Antonia Lara Ramos  
Mi papá, Francisco Jiménez Borgonio

A mis hermanos, Carlos, Maricarmen, por estar siempre dispuestos a ayudarme, otorgándome sus consejos, paciencia y por confiar en mí.

A Víctor, que siempre está a mi lado en los momentos cruciales de la vida, siendo un hermano ejemplar.

A mis mejores amigos, Luis, Arnulfo, Héctor y Esaú, por que juntos hemos aprendido a vivir.

A mis amigos, Armando, Andrés, Mariana, María Elena, Conchita, Alberto, Julio, Xitlalli, Rosario, Perla, Fabiola, Nancy, Ulises, Daniel, Sigi, Raymundo, Lorena, Lucero, Carlos, Verónica, Natalia, Omar, Aracemi, Manuel, Ilyana, Tania, Juanita, Jazmín, Cristal, Alejandro y a todos los niños que han visitado el museo, por las experiencias compartidas en el Museo *Universum*.

A mi amigo Ing. Federico López García y a todos mis compañeros del **Instituto Mexicano del Petróleo**, por compartir sus conocimientos y experiencias. Gracias por el apoyo que me ofrecieron en el desarrollo y conclusión de este trabajo de tesis.

Dedico este trabajo con gran cariño a una niña que me impulsó en la recta final de la carrera, que me brindó consejos y confianza. Gracias Olga Taide Flores Martínez.

A la **Facultad de Ingeniería UNAM**, institución que me formó y que quiero entrañablemente.

A Bugs Bunny, por brindarme entretenimiento y por distraerme unos momentos de las presiones de la existencia.



INDICE TEMATICO

CAP.	TEMA	PAG.
1.0	INTRODUCCION	
1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Generalidades	2
1.3	Objetivos	4
2.0	CARACTERISTICAS DE SEPARADORES DE HIDROCARBUROS	
2.1	Tipos de equipos de separación	6
2.2	Descripción y funcionamiento de separadores	12
2.3	Descripción de Partes	12
3.0	BASES DE DISEÑO	
3.1	Información precedente	27
3.2	Hoja de datos del diseño hidráulico	28
3.3	Localización del equipo	33
3.4	Criterios y alcance del diseño mecánico	35
4.0	SELECCION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION	
4.1	Formas de suministro	38
4.2	Propiedades físico - químicas	41
5.0	DISEÑO DE PARTES	
5.1	Análisis y cálculo de espesor de envoltente	45
5.2	Análisis y cálculo de tapas	49
5.3	Análisis y cálculo de boquillas	52
5.4	Análisis y cálculo de elementos internos	55
5.5	Análisis y cálculo de pesos	60
5.6	Análisis y cálculo de silletas	62
5.7	Análisis y cálculo de fuerzas externas	67
5.8	Análisis y cálculo de orejas de izaje	70
6.0	ELABORACION DE DIAGRAMAS DE FLUJO	
6.1	Integración de diagrama de flujo	73
6.2	Integración de programa de computo	92
7.0	INTEGRACION DE RESULTADOS AL SISTEMA DE GRAFICOS	
7.1	Plano de arreglo general	94
7.2	Plano de detalle de internos	95
7.3	Plano de registro de hombre	95
7.4	Plano de placa de datos	95
8.0	EJEMPLO NUMERICO	100
9.0	CONCLUSIONES	127
10.0	NOMENCLATURA	130
11.0	APENDICE	137
12.0	BIBLIOGRAFIA	151

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En nuestro país la explotación de hidrocarburos requiere de equipos de proceso para su captación y pretratamiento antes de transportarlo a las instalaciones de procesamiento y refinación. Una vez extraída la mezcla de hidrocarburos es necesario separar los compuestos del fluido principal; los equipos que llevan a cabo la separación física de las fases de la mezcla son los separadores bifásicos de hidrocarburos, que se encuentran en las diferentes instalaciones de Petróleos Mexicanos, en particular en las plataformas marinas.

En estas instalaciones, debido al tipo de operación de los equipos separadores, se presentan problemas de taponamiento, baja eficiencia, desgaste por corrosión y erosión de los elementos internos de separación de estos equipos, razón por la cual, PEMEX implementó con la ayuda del Instituto Mexicano del Petróleo, un programa de investigación, que ha desarrollado tecnología propia para abatir estos problemas, así como disminuir la dependencia tecnológica extranjera, ya que la mayoría de las secciones de separación existentes, cuentan con separadores de mezclas de hidrocarburos, bajo patentes de constructores extranjeros, los cuales cobran altos porcentajes de comisiones por el uso de sus desarrollos tecnológicos, asesorías en el diseño y fabricación de estos equipos, lo cual representa para PEMEX una fuerte erogación de capital en sus programas de mantenimiento y expansión.

Ante esta situación el Instituto Mexicano de Petróleo (I.M.P.) ha desarrollado metodologías propias para el proceso de rehabilitación y diseño de equipos de separación, con el objetivo de incrementar la eficiencia y capacidad de producción de

las plantas de explotación, utilizando mezclas típicas provenientes de los pozos productores.

En el proceso de desarrollo del diseño de estos equipos, se consume una cantidad considerable de tiempo de trabajo (horas - hombre), por lo cual se requiere implementar una nueva tecnología, con la finalidad de ahorrar y optimizar el tiempo consumido en el diseño, pero sin dejar a un lado ciertas consideraciones esenciales del diseñador, como es la creatividad y criterio para desarrollar la Ingeniería Mecánica en Diseño de Equipos de Proceso.

Hoy en día, donde los requerimientos del soporte computacional representan la base de los desarrollos tecnológicos, se presenta este tema de tesis como una herramienta para el desarrollo de Ingeniería en el Diseño de Separadores de Mezclas de Hidrocarburos. Siguiendo así la filosofía del I.M.P., de desarrollar su tecnología propia para la aplicación de la Ingeniería en diseños de equipos de proceso.

## **1.2 GENERALIDADES.**

En la mayoría de las industrias que operan con algún tipo de fluido, generalmente se requiere manejar corrientes de fluidos libres de sólidos, de líquidos o de gases, para poder cumplir con las especificaciones del proceso, y para mantener en perfectas condiciones el funcionamiento del equipo de la planta, como son bombas, turbo – compresores, equipos de transportación.

Generalmente en la industria petrolera, los separadores son los equipos que inician el proceso en el sistema de explotación y producción del petróleo crudo.

Para realizar la separación de dos fases (líquido-gas), se utilizan dos métodos, que son: separación por tiempo de residencia y con elementos internos de separación

como son: mallas separadoras, placas de choque, ciclones, laminas paralelas en zig-zag (vanes). Con elementos internos pueden lograr altas eficiencias de separación, dependiendo de los requerimientos del proceso, estos accesorios se instalan en el interior de un recipiente, el cual es diseñado junto con estos elementos de separación. En la etapa del diseño mecánico de estos equipos, son considerados como recipientes sujetos a presión interna. Para estos se han publicado normas y códigos que describen las recomendaciones de desarrollo del diseño de estos recipientes.

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers) estableció un comité en 1911 con el propósito de formular reglas para la construcción de calderas de vapor y recipientes a presión. Este se conoce actualmente como Comité de Calderas y Recipientes a Presión. La función del Comité de ASME es establecer normas de seguridad para el diseño, la fabricación y la inspección durante la construcción de equipos de procesos y recipientes a presión. El objetivo de las normas es brindar protección a las vidas y propiedades así como proveer las herramientas de cálculo necesarias, con el propósito de dar un período amplio y seguro de vida útil del equipo, en base a un diseño óptimo, selección adecuada de material y criterios respaldados por la experiencia.

Actualmente en nuestro país, la Norma Oficial Mexicana no cuenta con muchos aspectos para la seguridad en la fabricación de estos equipos, por lo que en la industria petrolera nacional existe todavía una gran dependencia tecnológica con EEUU, lo cual nos lleva a que se adopten los códigos de diseño de este país.

En nuestro caso, se aplicará el código ASME sección VIII div. 1 Recipientes a Presión.

Es importante resaltar que la mayoría de los equipos que se encuentran trabajando en las instalaciones de PEMEX están diseñados bajo la norma de ASME, por lo cual para Petróleos Mexicanos es importante que los equipos, que se rehabiliten y diseñen, estén certificados y estampados bajo esta norma.

### 1.3 OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo, es integrar el procedimiento del diseño mecánico estructural ya existente de separadores de mezclas de hidrocarburos, a un sistema automatizado que optimice la secuencia de cálculo, para obtener un mejor aprovechamiento del tiempo de trabajo (horas-hombre) requerido para un diseño convencional.

Por medio de un sistema de computadora personal (PC), se integrará la metodología del proceso de diseño, obteniendo así un programa de cómputo, el cual deberá tener la versatilidad para ser empleado en diversas aplicaciones industriales y no solo en servicios de explotación y producción de la industria petrolera.

Este programa de computadora, será alimentado con la información de los datos de operación de los equipos de separación. El usuario del programa podrá tener la opción de cambiar materiales de construcción, condiciones de operación, dependiendo del servicio y propiedades que se requieran, llegando así a resultados que se podrán manipular aplicando el criterio como diseñador, incluso se podrán establecer los factores de seguridad, obteniéndose un diseño preliminar, sin dejar a un lado la creatividad que se emplea en el desarrollo de la ingeniería de diseño de equipos de proceso.

El objetivo de este trabajo es presentar una metodología computarizada, amigable, accesible en el manejo de datos, capaz de calcular un equipo de separación completo paso por paso y también para un diseño parcial de las partes que constituye el separador de hidrocarburos, a conveniencia del diseñador.

Cuando se requiera diseñar un equipo de separación de hidrocarburos completo, el programa será capaz de entregar resultados gráficos, generando dibujos de construcción como son: "Arreglo General", "Registro de Hombre", "Placa de Datos", "Detalle de Internos".

En la forma de diseño parcial de las diferentes partes del separador, los resultados serán presentados en forma numérica.

## **CAPITULO 2. CARACTERISTICAS DE SEPARADORES DE HIDROCARBUROS**

### **2.1 TIPOS DE EQUIPOS DE SEPARACIÓN.**

En los procesos industriales donde manejan mezclas de diferentes estados de materia, generalmente se requiere una separación de los componentes del flujo para su libre proceso y el cuidado de los equipos que intervienen en el sistema de producción.

En la parte de explotación y producción marítima de PEMEX se emplean diversos equipos de separación, debido a que el flujo que proviene de los pozos petroleros, viene en una mezcla de dos fases de hidrocarburos (líquido - gas).

Este flujo se envía a los equipos de separación, los cuales tienen la capacidad de separar las dos fases de hidrocarburos, y precisamente es aquí, donde cobra mayor importancia el proceso del petróleo, debido a que si no se tiene una eficiencia adecuada de separación, se presentan arrastres de líquido en la corriente gaseosa y altos tiempos de residencia del crudo dentro del recipiente, obstruyendo el procesamiento del hidrocarburo, impactando directamente en la producción.

Para el proceso de separación se conocen diferentes métodos, como son:

- Por tiempo de residencia
- Uso de láminas, por cambio de dirección.
- Uso de elementos ciclónicos
- Uso de mallas eliminadoras de neblina

En la industria petrolera existen diferentes equipos separadores, empleando la combinación de dos ó más de elementos de separación, de acuerdo a la eficiencia que se requiera en el proceso y de las condiciones de la mezcla de hidrocarburos, estos equipos se clasifican de acuerdo a la mezcla de fluidos a separar.

- Separador líquido - líquido
- Separador líquido - gas
- Separador líquido - gas - sólidos

### Separador líquido - líquido

Los separadores de un solo estado Líquido - Líquido funcionan por diferencia de pesos específicos ó densidades relativas y por estar en diferentes fases (Acuosa - Orgánica). El tiempo de residencia es el principal factor para lograr una buena separación.

Los recipientes horizontales proporcionan el tiempo de residencia requerido para romper la emulsión de ambas fases por esta razón los tanques separadores Líquido - Líquido, normalmente son horizontales, como se puede observar en la figura no. 1.

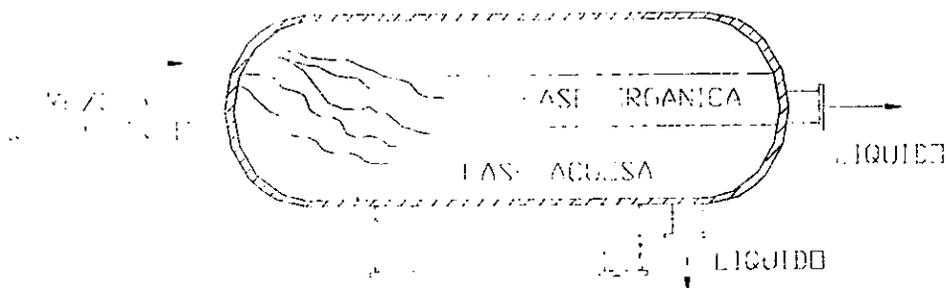


FIG. No. 1 ESQUEMA DE UN SEPARADOR TIPICO LÍQUIDO - LÍQUIDO.

### Separador líquido - gas

Para realizar la separación de dos fases líquido - gas, se recomienda los equipos por gravedad, empleando placas de "vanes" en la salida del gas, que funcionan por el método de cambio de dirección. Para obtener equipos más compactos, otro método que se trabaja es el ciclónico, donde se puede lograr eficiencias de separación más altas, dependiendo de los requerimientos del proceso, incrementando o disminuyendo

la velocidad del flujo de entrada, lo cual permite procesar mayores flujos con equipos más compactos.

Como ya se mencionó, los equipos separadores, se consideran como recipientes sujetos a presión, los cuales están clasificados por su forma, pueden ser cilíndricos o esféricos. Los recipientes esféricos poseen una configuración compleja y el costo de fabricación es más alto en comparación con los recipientes cilíndricos.

Los recipientes cilíndricos se clasifican en horizontales y verticales.

- a) Los separadores cilíndricos verticales son empleados cuando no es crítico el control de nivel del fluido, son apropiados para relaciones altas de líquido/gas, manejando sólidos sin tener problemas de taponamiento.
- b) Los separadores cilíndricos horizontales son apropiados para bajas relaciones de líquido/gas y cuando se emplean fluidos que presentan una baja densidad, con arrastre de sólidos, tierra.

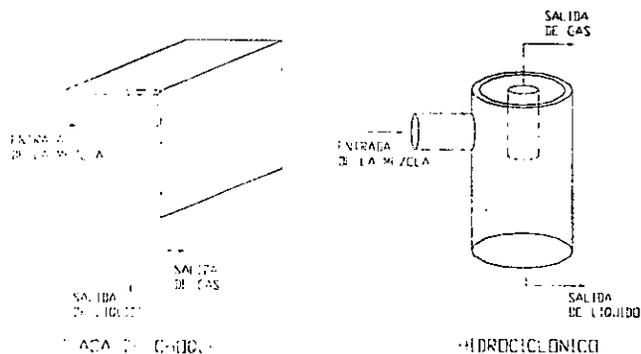
En el presente trabajo, se estudiará los separadores de tipo cilíndrico - horizontal, donde el proceso de separación esta formado por dos o tres secciones internas de separación.

### **SECCIONES DE SEPARACION.**

- **Primera sección de separación.**

En esta sección se logra separar la mayor cantidad de líquido de la corriente principal, motivado por un incremento en la turbulencia del flujo, esto se realiza con un cambio brusco de dirección, instalando una "placa desviadora o de choque" a la entrada del recipiente, con este dispositivo se logra separar grandes volúmenes de líquido, también en algunos casos se emplea un dispositivo llamado "ciclónico". Este dispositivo esta

compuesto por dos tubos concéntricos verticales por el cual entra el flujo de la mezcla (líquido-gas) tangente al tubo externo, girando alrededor de la pared interna del tubo fluyendo hacia la parte inferior del dispositivo, y así provocando una turbulencia, que ayuda a la separación de los compuestos de la mezcla bifásica. La función del tubo concéntrico interno es de recolectar el gas separado y guiarlo hacia la parte superior del elemento ciclónico, como se muestra en la figura no. 2



**FIG. No. 2 ESQUEMA DE ELEMENTOS INTERNOS EN LA SECCION PRIMARIA DE SEPARACION.**

• **Segunda sección de separación.**

En esta sección se separa el gas que se encuentra atrapado en una esfera formada por una película de aceite, lo cual forma burbujas de gas, estas burbujas son generadas por la alta turbulencia que se provoca en la entrada al recipiente y por el proceso de separación de la primera etapa, la espuma generada en la interfase aceite - gas ocurre cuando las burbujas de gas no se rompen y salen a la superficie del líquido; Esta espuma se hace pasar por un paquete de placas de acero paralelas en un arreglo de ZIG-ZAG, por el cual las burbujas llegan a romperse y así liberan el gas atrapado en la esfera de líquido, disminuyendo al máximo la espumación. Por este motivo la

turbulencia del flujo en esta sección debe ser mínima y el recipiente separador se debe diseñar con la longitud suficiente para que se pueda llevar a cabo dicho efecto.

En los diseños del IMP se utilizan dos métodos.

- ◊ Por tiempo de residencia
- ◊ Empleando un banco de placas paralelas en un arreglo de ZIG-ZAG alineadas, como se puede ver en la figura no. 3, llamado paquete de "vanes", con la finalidad principal de reducir la turbulencia del flujo y romper la espuma formada.

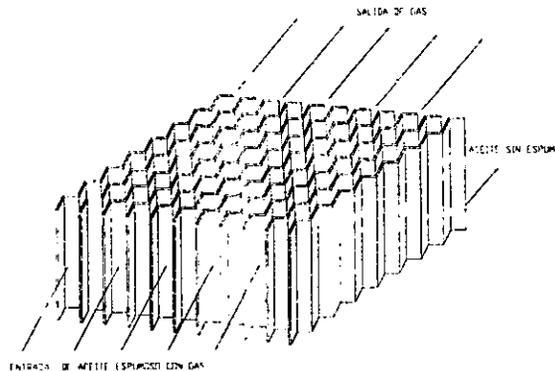


FIG. No. 3 ESQUEMA DE PAQUETE DE "VANES"

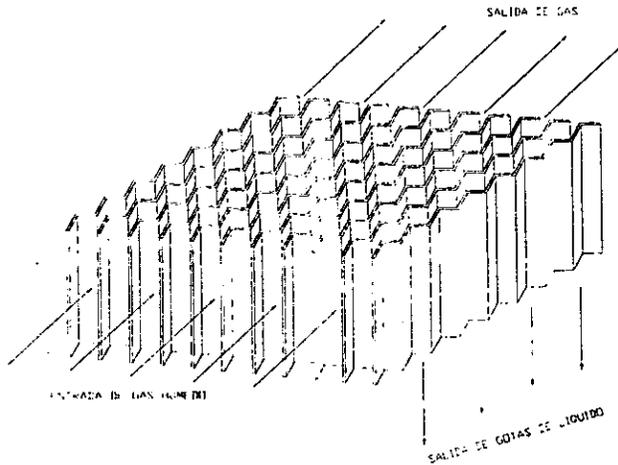
• Tercera sección de separación.

En esta sección se separan del flujo principal de gas, las gotas más pequeñas de líquido. Se utiliza el efecto de choque, cambio de dirección, turbulencia y coalescencia\* como mecanismos de separación. Mediante este método se logra que las gotas muy pequeñas del líquido se recolecten en las trampas de las láminas "vanes" en donde se acumulan y forman gotas más grandes, las cuales coalescen ó bien caen en

\*La coalescencia es el fenómeno que se presenta en algunos líquidos con la capacidad de unir gotas de la misma materia, para formar gotas más grandes y después desprenderse de la base de unión y caer.

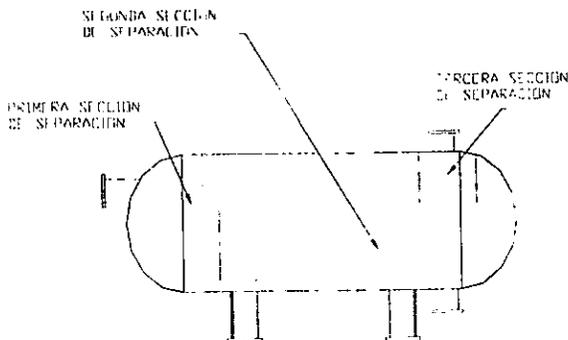
contracorriente del gas para posteriormente llegar a la sección de acumulación de líquido en el recipiente.

El dispositivo utilizado en esta sección es conocido como "Paquete de Vanes", ( figura no. 4 ), el cual esta construido por una serie de placas arregladas en ZIG-ZAG.



**FIG. No. 4 ESQUEMA DE EXTRACTOR DE NEBLINA O "PAQUETE DE VANES"**

En el Figura no. 5 se muestra el arreglo general de los internos dentro del recipiente.



**FIG. No. 5 ESQUEMA DE LOCALIZACION DE PARTES INTERNAS DEL SEPARADOR DE MEZCLAS DE HIDROCARBUROS.**

## **2.2 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE SEPARADORES.**

En la industria petrolera estos equipos de proceso, tienen por objetivo el separar dos estados de materia, dependiendo de la presentación del tipo de hidrocarburo. El flujo de petróleo crudo que entrega los cabezales de los pozos marinos, es una mezcla de dos fases: líquido y gas.

En las instalaciones de PEMEX se encuentran hasta tres etapas de separación instalados en serie, al final de este proceso se obtiene un gas libre de gotas de hidrocarburo líquido. Mientras por otro lado se entrega un líquido libre de burbujas de gas. Cada etapa de separación consta de un recipiente separador de mezclas de hidrocarburos, donde cada uno tiene dos ó más secciones de separación, en algunos casos sólo tienen una sección de separación.

Los equipos de separación deberán estar diseñados de tal forma que mantengan una eficiencia adecuada en el proceso de separación, lo que implica que la caída de presión entre la entrada y la salida del recipiente sea lo menor posible.

## **2.3 DESCRIPCIÓN DE PARTES**

Los equipos separadores de mezclas de hidrocarburos, son recipientes que operan a una presión interna más grande que la presión atmosférica, por lo cual el recipiente y las boquillas se diseñaran con el mismo criterio. En la figura no. 6 se puede observar las partes que constituyen a los separadores horizontales.

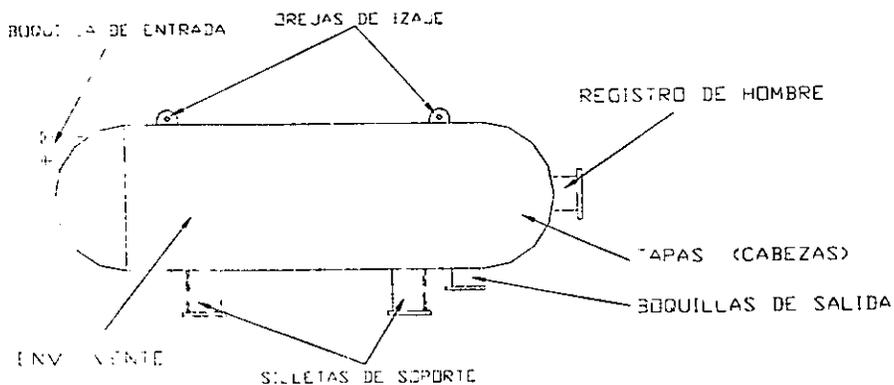


FIG. No. 6 RECIPIENTE CILINDRICO HORIZONTAL

- Envoltente
- Tapas
- Boquillas y conexiones
- Orejas de izaje
- Silletas
- Elementos internos

Envoltente. Este elemento constituye el cascarón del equipo separador donde el material de construcción debe resistir los esfuerzos debidos a las presiones de operación y deben ser adecuado para el uso de los componentes de la mezcla de hidrocarburos y evitar problemas significativos por corrosión y erosión.

Siguiendo con el diseño de esta parte del equipo, también hay que considerar todas las cargas externas e internas que deberá soportar dicho elemento, consideramos los siguientes factores para encontrar el espesor adecuado del material de construcción de este elemento.

- **Presión de operación.** Es la carga aplicada sobre la superficie interna del equipo, ocasionada por la acumulación de líquido y gas dentro del recipiente, provenientes de los equipos de bombeo.
- **Presión externa.** Es la presión atmosférica de la localidad, por motivos de operación en algunos casos la presión interna del recipiente puede llegar a ser menor que la presión externa, a tal grado que la diferencia de estas presiones puede ser tan crítica que ocasionaría un accidente en el equipo separador.
- **Fuerzas por sismo.** Estas cargas aunque son eventuales, son muy peligrosas, debido al comportamiento oscilante y periódico del movimiento de la tierra, que provocan una serie de esfuerzos combinados.
- **Fuerzas por viento.** Al igual que las fuerzas por sismo que son eventuales, al ser más frecuentes, son muy peligrosas, por la combinación de esfuerzos debido al cambio de direcciones y velocidades del viento, que puede dañar las silletas, el patín estructural ó las anclas del equipo separador.

En el momento que se encuentre el espesor adecuado, capaz de soportar dichas fuerzas a las que se someterá el equipo en operación, se calculará la presión máxima de trabajo, la cual será la presión límite máxima que pueda operar el equipo, reduciendo el riesgo de sufrir algún accidente ó falla en el material de construcción.

Tapas. Esta parte se encuentra unida a la envolvente para "cerrar" el recipiente cilíndrico, existen varios tipos de tapas, como se observa en la figura no. 7

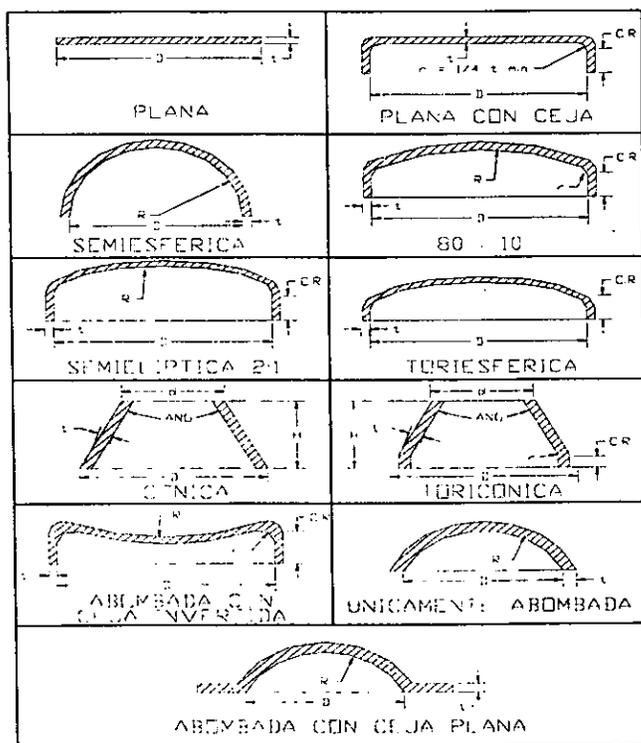


FIG. No. 7 TIPOS DE CABEZAS PARA RECIPIENTES A PRESION INTERNA

Las características principales de las tapas empleadas en los equipos de separación son:

- **Tapas toriesféricas.** Son las que mayor aceptación tiene en la industria debido a su bajo costo ya que soportan altas presiones manométricas, su característica principal es que el radio de abombado es aproximadamente igual al diámetro. Se puede fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 metros.
- **Tapas Semi-elípticas 2:1.** Son empleadas cuando el espesor calculado de un tapa toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semi-elípticas soportan mayores presiones que las toriesféricas. El proceso de fabricación de estas tapas es el

troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1, su costo es alto y en México se fabrican hasta un diámetro máximo de 3 a 6 metros.

- **Tapas semiesférica.** Utilizadas exclusivamente para soportar presiones altas. Como su nombre lo indica, su silueta describe una media circunferencia perfecta, su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación.
- **Tapas 80:10.** Ya que en México no existen prensas lo suficientemente grandes para troquelar tapas semielípticas 2:1 de dimensiones relativamente grandes, se han optado por fabricar este tipo de tapas cuyas características principales son: El radio de abombado es el 80% del diámetro. Estas tapas se usan como equivalentes a la semielíptica relación 2:1.

En el diseño de las tapas se consideran las mismas cargas externas e internas que se utilizaron para el cálculo del diseño de la envolvente, con el espesor calculado de la tapa correspondiente, se procederá a calcular la presión de trabajo máximo que podrá soportar las tapas.

**Boquillas y conexiones.** Todos los recipientes separadores deberán estar provistos como mínimo de boquillas ó conexiones de entrada y salida del producto, válvula de seguridad, entrada de hombre, venteo, etc. A continuación se listan algunas de las boquillas que se deben instalar en los recipientes separadores de mezclas de hidrocarburos.

- A. Entrada de producto ( mezcla )
- B. Salida de gas
- C. Salida de líquido
- D. Registro de hombre

E. Venteo

F. Drene

G. Conexión de servicio

H. Indicador de presión

I. Indicador de temperatura

J. Instrumento de nivel

K. Válvula de seguridad

Para el cálculo de los espesores de los cuellos de las boquillas (cédulas) deberán ser determinadas en base a :

a) Presión interna

b) Tolerancia por corrosión

Calculado por:

**Presión interna.** Generalmente el espesor del cuello de una boquilla calculado para soportar la presión interna, resulta muy pequeño debido al diámetro tan reducido que ellas tienen en comparación con el diámetro del recipiente.

**Tolerancia por corrosión.** La corrosión es uno de los factores decisivos para seleccionar las cédulas de los cuellos de las boquillas, ya que los espesores de los cuellos de tubos de diámetro pequeño son muy reducidos y únicamente la corrosión puede acabar con ellos.

**Conexiones de boquillas.**

Las boquillas de 1 ½" y mayores deberán ser bridadas, de acuerdo a la forma de unir las bridas a los cuellos de las boquillas, existen los siguientes tipos de bridas:

- **Bridas de cuello soldable.** Se distinguen de las demás por su cono largo y por su cambio gradual de espesor en la región de la soldadura que las une al tubo. El cono largo suministra un refuerzo importante a la brida desde el punto de vista de resistencia. La ligera transición desde el espesor de la brida hasta el espesor de la pared del tubo, efectuada por el cono de la brida, es extremadamente benéfico bajo los efectos de flexión repetida, causada por la expansión de la línea u otras fuerzas variables.

Por lo anterior, este tipo de bridas se prefiere para todas las condiciones severas de trabajo, ya sea debido a altas presiones, temperaturas elevadas o menores de cero, ya sea también para condiciones de carga que sean substancialmente constantes o que fluctúen entre límites amplios. Las bridas de cuello soldable se recomiendan para el manejo de fluidos explosivos, inflamables o costosos, donde una falla puede ser acompañada de desastrosas consecuencias.

- **Brida deslizable.** Estas bridas se prefieren sobre las de cuello soldable, debido a su costo más bajo, a la menor precisión requerida al cortar los tubos a la medida, a la mayor facilidad de alineamiento en el ensamble.

Su resistencia calculada bajo presión interna, es del orden de 2/3 de tipo cuello soldable y su vida bajo condiciones de fatiga es aproximadamente 1/3 de la anterior.

Por estas razones las bridas deslizables en presiones de 1500 psi existen solamente en diámetros de ½" a 2 ½" y no existen en presiones de 2500 psi. El manual de construcción de calderas ASME limita su uso a 4" de diámetro.

- **Bridas de traslape.** Generalmente se instalan en tuberías de acero inoxidable o aleaciones especiales. Siempre que utilicemos este tipo de brida, debemos acompañarla de un extremo adaptador (stub end).
- **Bridas roscadas.** Se usan para unir tuberías difíciles de soldar, como aluminio, PVC, etc. se recomienda usarlas en diámetros menores de 6". Las bridas roscadas son inconvenientes para condiciones que involucren temperaturas o esfuerzos de flexión de cualquier magnitud, particularmente bajo condiciones cíclicas donde puede haber fugas a través de las cuerdas, en pocos ciclos de esfuerzos o calentamiento.
- **Bridas ciegas.** Se usan para cerrar los extremos de boquillas, tuberías y válvulas. Desde el punto de vista de presión interna y fuerzas ejercidas sobre los pernos, estas bridas principalmente en tamaños grandes son las que están sujetas a esfuerzos mayores. Al instalar las bridas ciegas debe tomarse en consideración la temperatura y el golpe de ariete, si existiera.

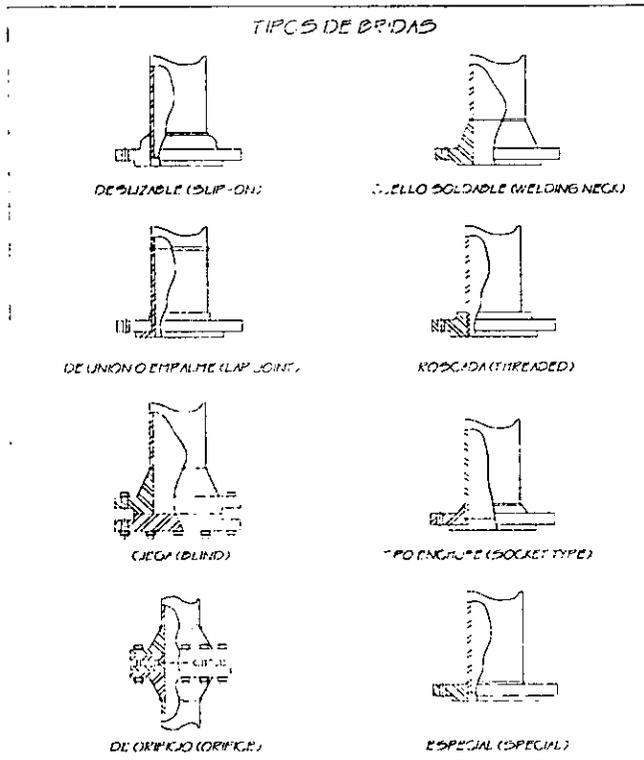


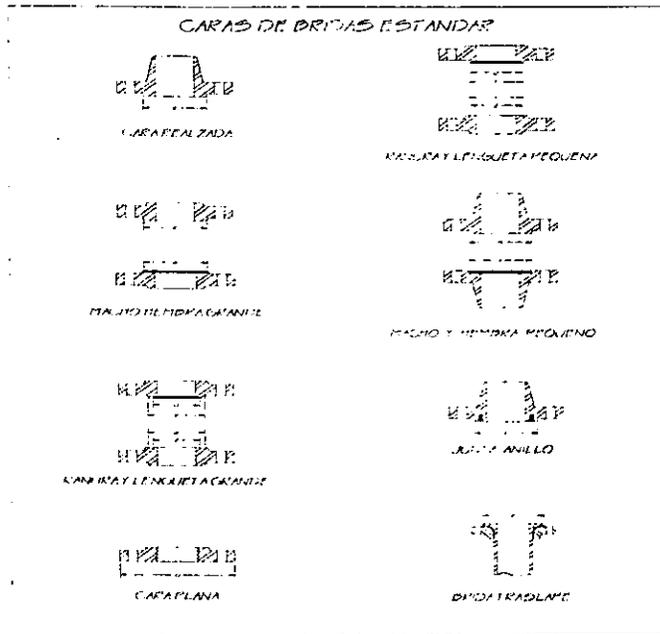
FIG. No.8 TIPOS DE BRIDAS QUE SE EMPLEAN EN LAS BOQUILLAS EN LOS RECIPIENTES A PRESION INTERNA

### Tipos de caras de bridas.

De acuerdo con la presión y fluido que se maneja, debemos seleccionar el tipo de cara que tendrán las bridas que instalaremos en equipos de separación. Los tipos de cara de bridas más comunes se muestran en la figura no. 9

- Bidas de cara plana ( Flat Face ). Se usan generalmente para bajas presiones y cuando la brida será recubierta con algún material como hule, vidrio, etc.

- Bridas de cara realzada. Son las de uso más común en equipos de separación, ya que el realce nos ayuda a tener un buen sello entre caras.
- Las bridas de cara macho y hembra, ranura y lengüeta, junta de anillo, se usan en equipos de separación y tuberías que manejan fluidos tóxicos, explosivos y peligrosos en general, donde las fugas del fluido manejado representan grandes riesgos.



**FIG. No 9 TIPOS DE CARAS DE BRIDAS PARA BOQUILLAS**

**Placas de Refuerzo.**

En concordancia con el código ASME sección VIII división 1, todas las boquillas mayores de 3 pulgadas de diámetro, instaladas en recipientes a presión, deberán tener una placa de refuerzo en la unión del cuello de la boquilla con el recipiente, como se indica en la fig. no. 10

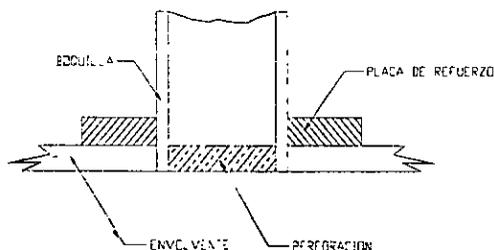


FIG. No.10 PLACA DE REFUERZO

Para instalar una boquilla en un recipiente a presión, es necesario hacer un agujero en el cuerpo o tapa en que se vaya a instalar. Al efectuar esta perforación estamos quitando superficie de material y las líneas de esfuerzos que pasaban por esta área ahora pasarán tangentes al agujero practicado, ocasionando con ello una concentración de esfuerzos en la periferia de dicho agujero. Para evitar fallas en la periferia de donde practicamos la perforación, es necesario reponer el material que quitamos.

#### Registro de hombre.

Por lo general todos los equipos de separación de grandes dimensiones requieren tener acceso al interior del recipiente, ya sea para dar mantenimiento, carga o descarga de sólidos, etc., por lo cual es necesario instalar en el un registro de hombre. El diámetro mínimo para este tipo de registros es de 16", aunque este no es muy recomendable porque dificulta el rápido acceso al interior del equipo, lo usual es instalar registros de 18 a 24 pulgadas de diámetro.

Al abrir un registro de este tipo, los operadores tendrían que cargar la tapa y estas son muy pesadas, se recomienda instalar un pescante en la tapa del registro. En la figura no. 11 se muestra los detalles de los registros y pescantes recomendables.

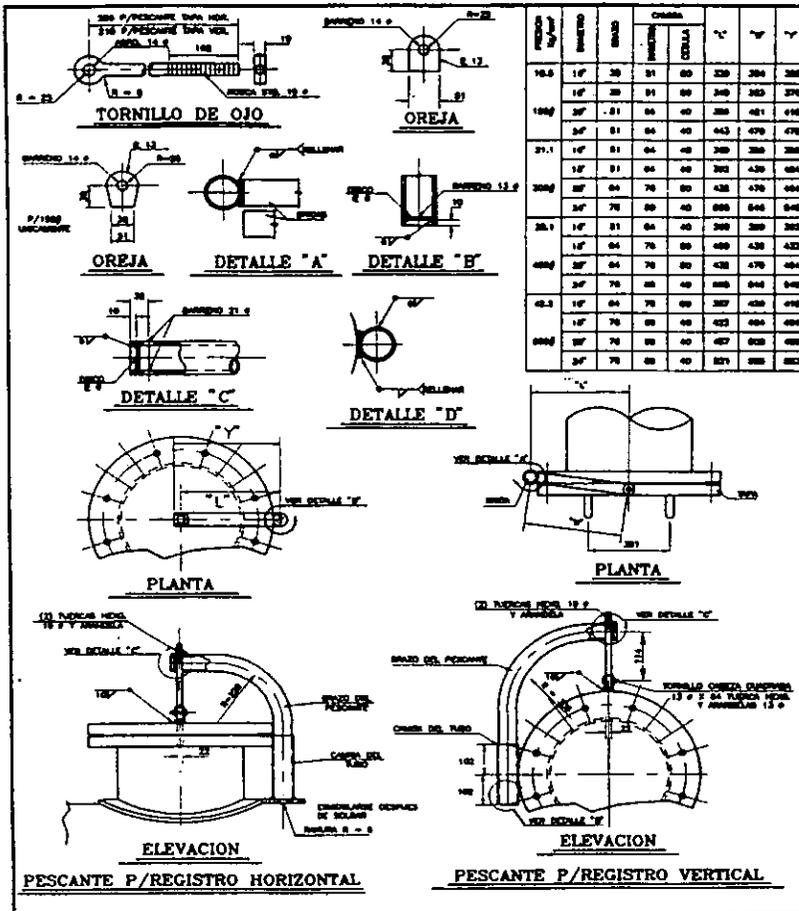


FIG. No.11 REGISTRO DE HOMBRE.

Orejas de Izaje.

Con el fin de transportar, dar mantenimiento, localizar el equipo, etc. es necesario equiparlos por lo menos con dos orejas de izaje.

Es muy común que en los recipientes horizontales se instalen las orejas de izaje en la parte superior de la envolvente, como se muestra en la figura no. 12

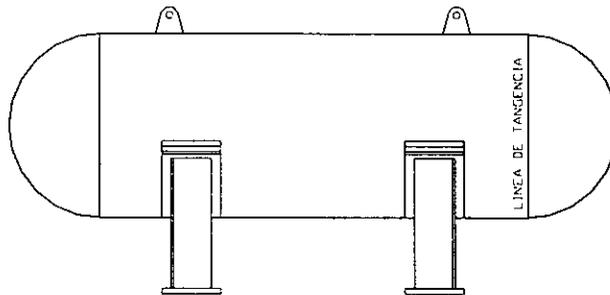


FIG. No.12 OREJA DE IZAJE

Silletas.

Los recipientes horizontales soportados en silletas se comportan como una viga simple, apoyada con las siguientes consideraciones.

1. Las condiciones de carga son diferentes cuando consideramos el recipiente total o parcialmente lleno.
2. Los esfuerzos en el recipiente son función del "ángulo de agarre" de las silletas.
3. Las cargas generadas por el peso propio del recipiente están combinadas con otras cargas, por ejemplo:
  - Reacción de las silletas
  - Presión interna
  - Cargas del viento
  - Cargas por sismo

**CAPITULO 2. CARACTERISTICAS DE SEPARADORES DE HIDROCARBUROS**

Cuando se emplea más de dos silletas como soporte, se corre el riesgo de que alguna de ellas se "sienten" y en vez de ayudarnos a soportar el equipo, los soportes serán soportados por este, involucrando cargas que originalmente no se había considerado.

A continuación, en las figuras no. 13 y 14 se muestran dos diseños de silletas dependiendo del tamaño del recipiente del equipo separador.

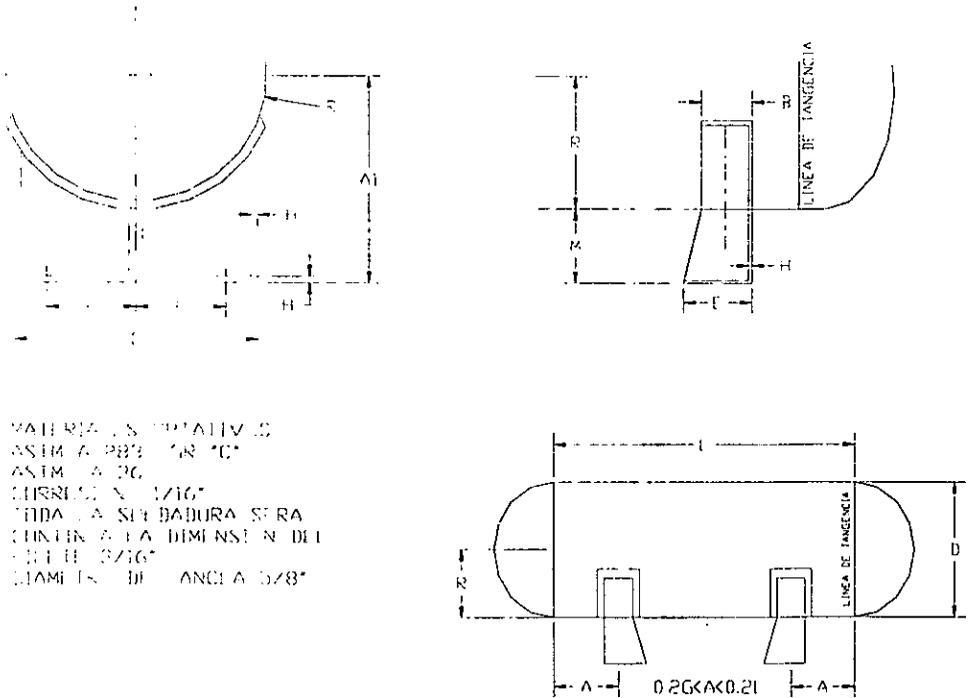


FIG. No.13 TIPO DE SILLETA PARA RECIPIENTES DE DIAMETRO DE 6" A 20" DIAM.

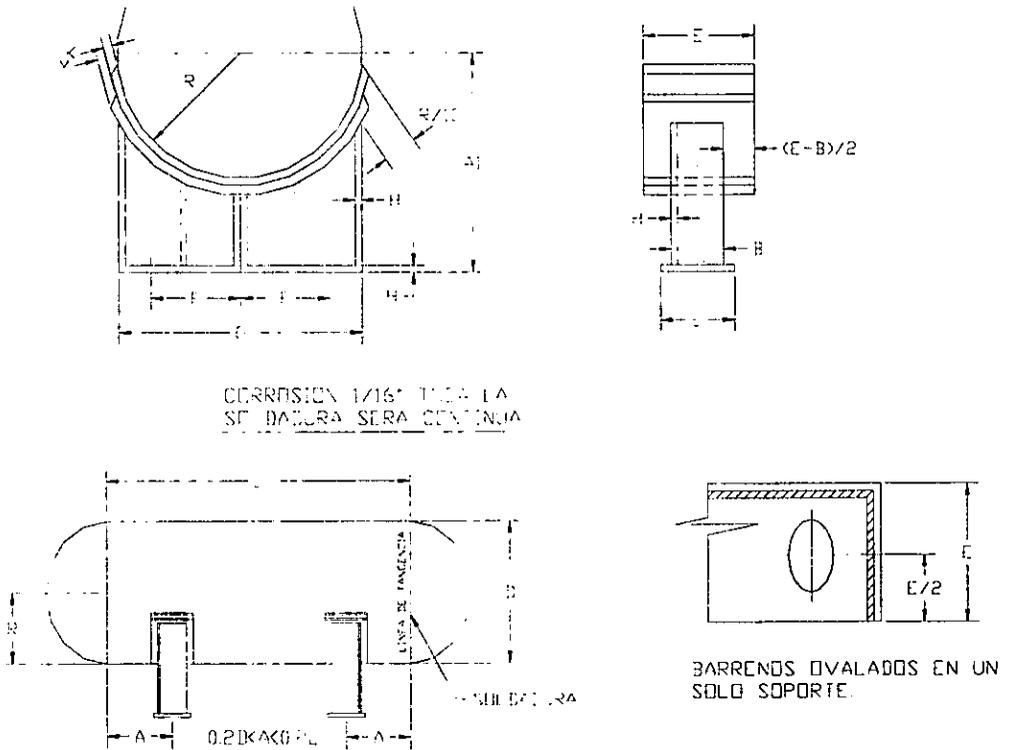


FIG. No.14 TIPO DE SILLETA PARA RECIPIENTES DE DIAMETRO DE 24" A 144" DIAM.

\*NOTA: LAS ACOTACIONES QUE SE MUESTRAN EN LAS FIGURAS 13 Y 14, SON LAS PRINCIPALES PARA ESPECIFICAR LAS DIMENSIONES DE LAS SILLETAS. LOS VALORES ESTAN ESTANDARIZADOS DE ACUERDO AL TAMAÑO Y PESO DEL EQUIPO, SE PUEDEN CONSULTAR EN LA REF. [13] PAG. 120.

---

---

## CAPITULO 3. BASES DE DISEÑO

### 3.1 INFORMACIÓN PRECEDENTE.

El diseño de los equipos separadores están basados por un conjunto de datos, que se genera en el área de Ingeniería de Procesos (I.M.P.). Esta información describe en otras, las condiciones de operación máximas y mínimas del equipo separador, a continuación se describe los parámetros necesarios para el desarrollo del proceso de diseño de los equipos de separación.

- Es necesario conocer la presión de operación, que también se identifica como la presión de trabajo, es la presión manométrica a la cual estará sometido el equipo en condiciones de operación normal, con este dato se calcula la presión de diseño, valor que debe usarse en las ecuaciones para el cálculo de las partes constitutivas del equipo.
- La temperatura máxima de operación, es importante para el diseño, debido a que las propiedades mecánicas de los materiales de construcción, como son: dureza, resistencia a la tensión, resistencia al impacto y corrosión, se ven afectados por la presencia de una temperatura alta o baja
- Capacidad de producción. La dimensión del recipiente y el tamaño de los internos están en función de este dato, por lo cual el flujo total de la mezcla de hidrocarburos determinará cual será su capacidad de separación de los equipos instalados. Conociendo el tipo de líquidos y gases que se manejarán durante el proceso de separación nos ubicaremos en un rango de selección de material y su comportamiento corrosivo en un período específico de funcionamiento del equipo,

fijando un sobreespesor al cuerpo del recipiente y boquillas debido a la corrosión que se permitirá, en el funcionamiento del equipo separador.

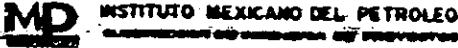
### 3.2 HOJA DE DATOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO.

Para empezar con un diseño preliminar del equipo separador, es necesario conocer los parámetros de operación del equipo y el tipo de fluidos que se manejarán. Esta información es proporcionada en una hoja de datos de diseño hidráulico del equipo separador.

Esta hoja de datos nos muestra un conjunto de información que sirve para conocer las propiedades térmicas de la mezcla de hidrocarburos, como son las presiones, temperaturas máximas y mínimas de operación, incluyendo las características hidráulicas la cual operará el equipo separador.

En la parte superior de la primera hoja de datos, en la figura no. 15, hay un recuadro que describe la localización, donde se instalará el equipo; el cual se empleará para el análisis de esfuerzos por las cargas externas que se puede presentar en la localidad, en nuestro caso hay que mencionar las fuerzas por fenómenos naturales que se presentan en las instalaciones marítimas de PEMEX, por ejemplo las fuerzas por viento, fuerzas por sismo.

Posteriormente hay otro cuadro, donde se mencionan todas las características y propiedades térmicas - hidráulicas de los compuestos de la mezcla de hidrocarburos como son presión y temperaturas máximas de operación, así como los flujos de líquido y gas, dimensiones aproximadas del recipiente, materiales tentativos para la construcción de la envolvente y tapas, corrosión permisible en el recipiente y una lista de boquillas.



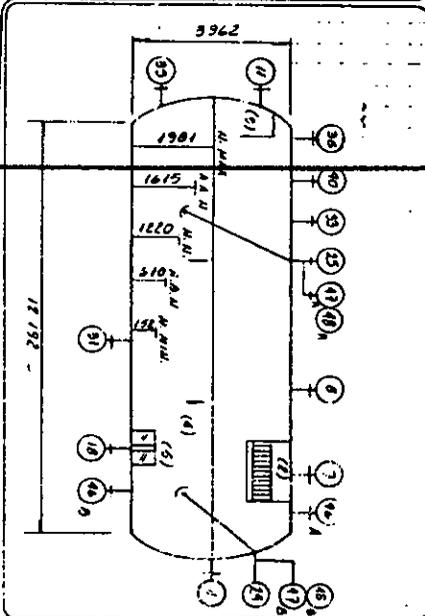
PLANTA PLATAFORMA DE PERFORACION TIPICA				HOJA 1 DE 8	
LOCALIZACION	SONDA DE CAMPECHE	EDICION		FECHA	1/ABR/97
CONTRATO NO	PA-4873A	PRELIMINAR		HECHA POR	SAY/MS
CLASE	PA-1101	PARA DISEÑO		11/JUN/97	922/52
NO. DE UNIDADES	UNO (1)				

RECIPIENTES  
(HOJA DE DATOS DE PROCESO)

SERVICIO SEPARADOR REMOTO		POSICION: HORIZONTAL	
TIPO DE FLUIDO	LIQUIDO HIDROCARBURO + AGUA	FLUJO	17067
	APOR O GAS HIDROCARBURO	FLUJO	10.2
TEMPERATURA OPERACION	72 °C	MAXIMA	80 °C
		DISEÑO	88 °C
PRESION OPERACION	3.5 MPa	MAXIMA	5.5 MPa
		DISEÑO	170 MPa
DIMENSIONES LONGITUD T.	12192 mm	DIAMETRO	3962 mm
		CAP. TOTAL	150316 l
NIVEL NORMAL	1220 mm	MAXIMO	1981 mm
		MINIMO	132 mm
ALARMA ALTO NIVEL	1615 mm	ALARMA BAJO NIVEL	610 mm
		% VL. DE PAGO	-
MATERIALES CARCASON A.C. CABEZAS A.C.			
MALLA SEPARADORA ESPESOR (2) mm METAL A.1002 (8)			
TIPO CIRCULAR DIAMETRO - mm			
TIPO RECTANGULAR LONGITUD (2) mm ANCHO (2) mm			
CORROSION PERM. CARCASON 9.8 mm CABEZAS 9.8 mm			
AISLAMIENTO mm SI (C)			
RECAMBIOS INTERNOS NO. mm			

NO.	NO. REC.	CTO. NOMINAL	SERVICIO
1	1	610	ENTRADA DE HOMBRE
2	1	762	SALIDA DE GAS
3	1	51	VEHICULO
4	1	762	ALIMENTACION DE MEZCLA
5	1	610	SALIDA DE LIQUIDO
6	1	76	DRENE
7	1	51	CONEXION DE SERVICIO
8	1	38	INDICADOR DE PRES. JAJ
9	1	38	INDICADOR DE TEMPERATURA
10	2	51	INSTRUMENTO DE NIVEL
11	1	38	ENTRADA DE GAS DE INSTRUMENTOS
12	1	38	SALIDA DE GAS DE INSTRUMENTOS
13	2	25	INDICADOR DE TEMPERATURA
14	2	19	INDICADOR DE PRESION
15	1	102	TARJETA DE SEGURIDAD

- NOTAS
- 1) ACOTACION EN mm.
  - 2) REMITO TPO UNO VER ANEXO
  - 3) PLACA DE CHEQUE DE A.C.
  - 4) ROMPEOLAS DE A.C.
  - 5) ROMPEDOR DE REMOLINOS
  - 6) PARA PROTECCION DE PERSONAL



REVISOR	
FECHA POR	
NO. DE UNIDADES	

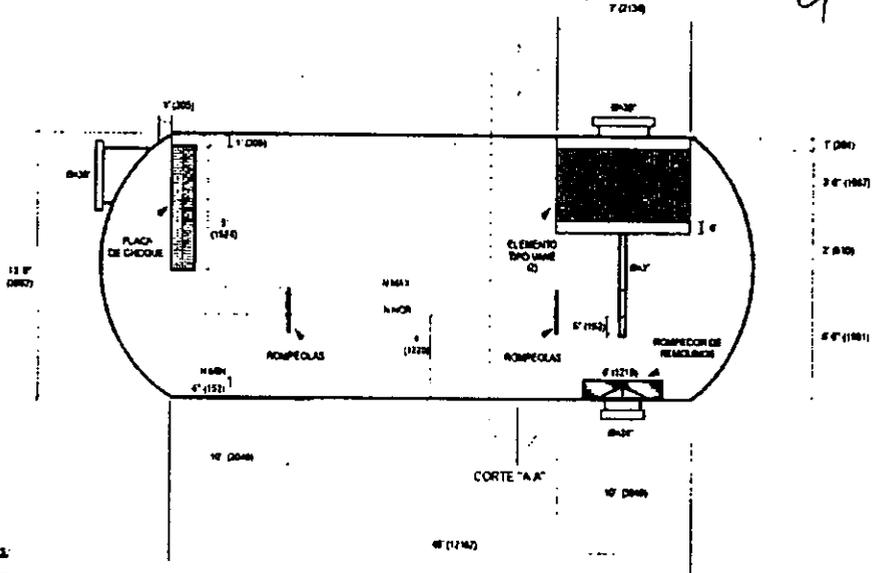
FIG. No.15 HOJA DE DATOS.

 INGENIERIA DE PROCESO 

SEPARADOR REMOTO (FA-1101)

**ELEVACION**

*Handwritten signature* 25



- NOTAS:**  
 1. TPO  
 2. VISA NCM 1

INGENIERIA DE PROCESO

SEPARADOR REMOTO

FA-1101



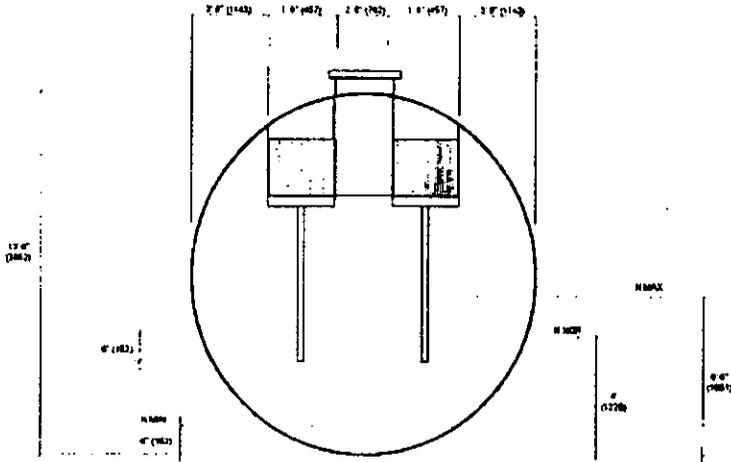
INGENIERIA DE PROCESO



SEPARADOR REMOTO (FA-1101)

ARREGLO DE INTERNO ELIMINADOR DE NIEBLA

*Conf* 35

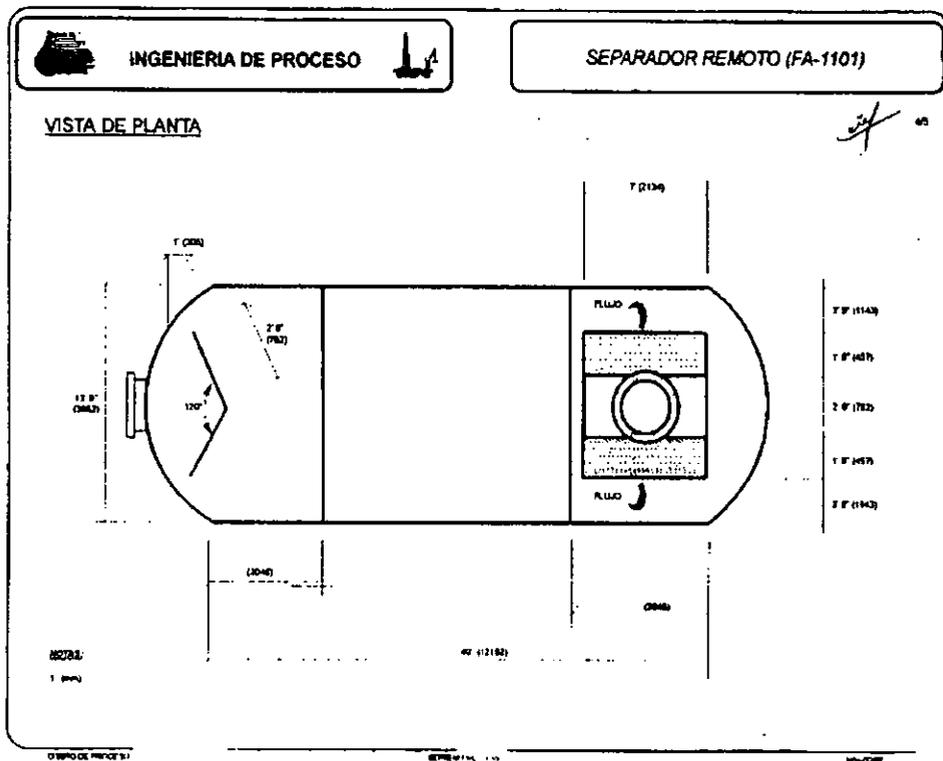


00232  
1 sheet

PROYECTO DE PROCESO

SEPARADOR REMOTO

00232



En los dos últimos dibujos viene el dimensionamiento del paquete de placas tipo "VANE" ordenadas en ZIG-ZAG, para las secciones segunda y tercera del equipo de separación.

### 3.3 LOCALIZACIÓN DEL EQUIPO.

Para el análisis de esfuerzos producidos por el viento, en equipos separadores de mezclas de hidrocarburos, es necesario conocer la localización de las plataformas marítimas de PEMEX, esta información es proporcionada en la hoja de datos de diseño de proceso.

Para realizar este análisis debemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El diámetro exterior.
2. Para obtener el valor de la presión del viento, debemos tomar en consideración un factor de forma el cual tendrá un valor de 1.0 para superficies planas y 0.6 para superficies cilíndricas.
3. Los valores de la velocidad del viento (fig. no. 16) y consecuentemente la presión del viento, las cuales dependerán del lugar geográfico donde vayamos a instalar el equipo y de la altura del mismo.

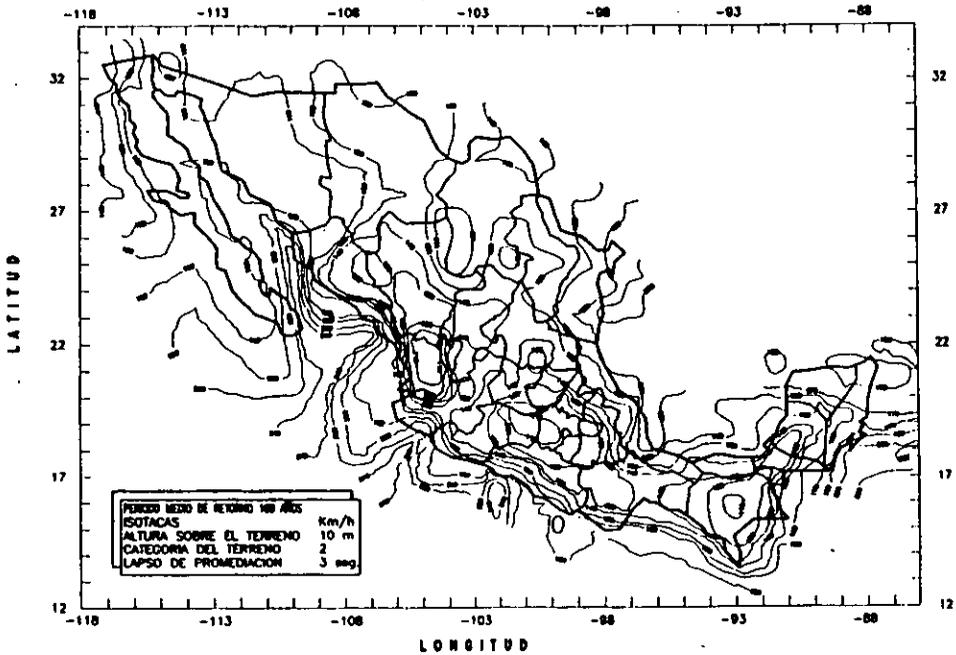


FIG. No.16 REGIÓN EÓLICA DE LA REPÚBLICA MEXICANA.

Para el análisis de esfuerzos por sismo, también es importante conocer el sitio de localización del equipo, así podemos conocer si se encuentra en una zona sísmica alta. Estos esfuerzos generados dependerán de la intensidad de los sismos, y estos variarán de acuerdo a la zona geográfica donde vayamos a instalar el equipo separador. El manual de la Comisión Federal de Electricidad edición 1993 nos muestra en un mapa las diferentes zonas sísmicas de la República Mexicana, este mapa se muestra en la figura no. 17.

En los casos donde se presentan sismos y vientos, se calcularán los valores de los esfuerzos producidos por estos dos agentes y en el análisis de esfuerzos tomaremos en consideración solamente el mayor de ellos.

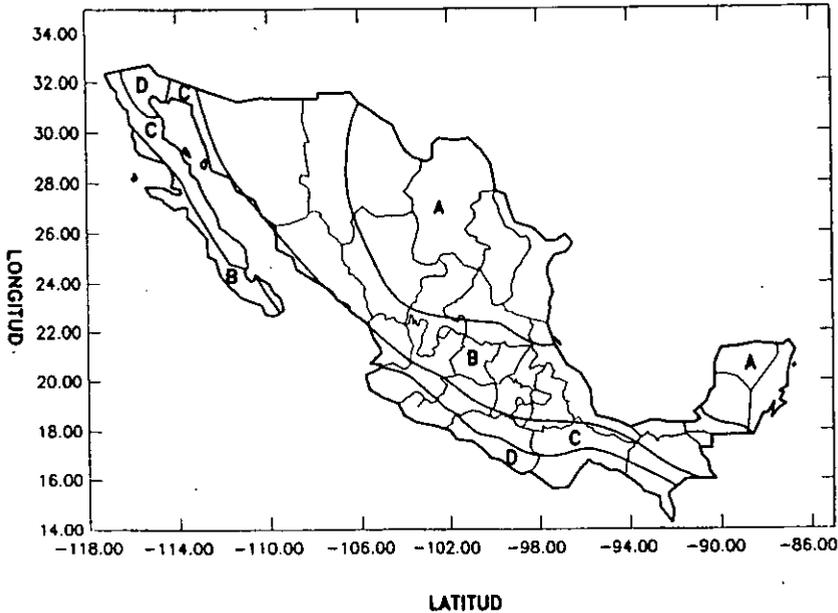


FIG. No.17 REGIÓN SÍSMICA DE LA REPÚBLICA MEXICANA.

### 3.4 CRITERIOS Y ALCANCE DEL DISEÑO MECÁNICO.

La habilidad para soportar la presión y las cargas a que estará sometido es quizá la parte importante en el diseño. Sin embargo, se deben cubrir tres aspectos para considerar que el diseño mecánico es satisfactorio:

- a) Los elementos estructurales deben ser capaces de soportar la presión y las cargas a la que estará sometido.

b) Debe ser, si es posible la construcción más económica.

Para cumplir estos objetivos básicos, el diseñador dispone de "herramientas" que le permiten llegar a soluciones satisfactorias, las cuales son:

1. El conocimiento de las propiedades de los materiales de construcción
2. El análisis de la resistencia estructural o mecánica.
3. Los códigos, especificaciones y estándares

Por otra parte, aún y cuando no existe una metodología precisa para efectuar el proceso de diseño de los equipos de separación de hidrocarburos, si existen pasos lógicos para realizar el diseño, siendo relevantes los siguientes:

- a) Los requisitos del comportamiento del equipo, lo cual implica la total definición de los propósitos para los cuales se diseñan todas las partes constitutivas del equipo de separación de mezcla de hidrocarburos.
- b) La forma y ubicación del separador. Esto es particularmente importante ya que de ellos dependen los esfuerzos y cargas a la que estará sometido y también definirá la forma en que deberá ser soportado.
- c) Condiciones de carga y operación. Esto nos ayudará a definir las cargas combinadas a que estará sometido, incluyendo las cargas operacionales y las cargas muertas las cuales en algunos casos, son superiores a las cargas de presión o temperatura.
- d) Diseño preliminar. Este es básicamente la primera suposición de cómo consideramos debe ser el equipo y nos permite explorar si nuestras consideraciones y selección de materiales son correctas ya sea desde el diseño por esfuerzo máximo permisible o por diseño plástico.

- e) Análisis. Con la información obtenida en el diseño preliminar, podemos realizar el análisis completo para determinar los puntos en donde haya concentración de esfuerzos o se produzcan esfuerzos críticos, además de poder revisar los módulos de las secciones propuestas o la capacidad del momento elástico de los materiales seleccionados.
- f) Selección de materiales, formas y espesores. Esta será la selección definitiva de espesores, formas y materiales una vez que ha concluido el análisis y cálculos correspondientes.
- g) Diseño Secundario. Antes de dar por terminado el diseño, debe hacerse una revisión global de todos los factores que afecten o vayan afectar el comportamiento del equipo de separación, incluyendo condiciones de operación, presiones y temperaturas máximas y mínimas, cargas vivas y muertas, forma de conectarse con la alimentación de la mezcla y la descarga de los componentes de la mezcla de hidrocarburos, cargas mecánicas adicionales, acción del viento, nieve, sismos.

## **CAPITULO 4. SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCION.**

### **4.1 FORMAS DE SUMINISTRO**

El amplio uso de materiales metálicos, especialmente los aceros, en la construcción de equipos de proceso, puede atribuirse a sus excelentes propiedades mecánicas, a la abundancia de las materias primas para fabricarlo y a su precio competitivo.

Para la construcción de equipos separadores de mezclas de hidrocarburos, existe una gran cantidad de aceros y materiales metálicos identificados bajo designaciones estandarizados por diversas asociaciones, entre las que destacan son: ASTM, ASME, AISI, DIN, JIS, etc. Es importante asegurar que el material de construcción exista en su forma comercial.

Es común encontrar que determinada especificación sólo se produce comercialmente hasta ó a partir de determinado espesor o diámetro y que en caso de que se fabrique, deberemos comprar un mínimo de "X" toneladas y este material tendrá un tiempo de entrega de "n" meses.

Esta situación puede resolverse con las especificaciones ASTM con las DIN o con las JIS, etc. de tal manera que se evalúe en que grado son iguales ó en que nos afectan las variantes que se presenten, recalculando los factores esenciales que puedan afectar el comportamiento de nuestro diseño.

#### **Importancia de la selección de materiales.**

Es evidente que para cumplir los requisitos de seguridad, funcionamiento y economía, existe una amplísima variedad de materiales que pueden seleccionarse ó de donde escoger.

El reto para los diseñadores es entonces, seleccionar el material más conveniente para una función o trabajo específico.

Bajo estas consideraciones, la selección debe basarse entonces en:

1. El cumplimiento de las condiciones de servicio.
2. El cumplimiento de las condiciones de seguridad.
3. El cumplimiento de las expectativas mecánicas de los materiales.
4. La economía.

En el análisis, es importante considerar que en muchas ocasiones es más económico utilizar materiales base más resistentes, aparentemente más caros pero, que requerirán espesores menores y consecuentemente estructuras y/o cimentaciones más ligeras. Este mismo criterio debe utilizarse cuando se requieran materiales resistentes a la corrosión o a la abrasión, analizando la posibilidad de utilizar materiales revestidos, aplicación de soldadura de revestimiento, etc.

El diseñador, bajo ninguna circunstancia, puede ni debe violar el código sobre el que esta basado el diseño en aras de la economía o de alguna condición operativa. Para el diseñador, lo único que no es negociable ni esta sujeto a análisis ni consideraciones de ningún tipo es la seguridad que debe tener el diseño ó el equipo durante la operación.

En la etapa de diseño de separadores de mezclas de hidrocarburos, la selección de los materiales de construcción es de relevante importancia, para lo cual el código ASME indica la forma de suministro de los materiales más utilizados, la cual va implícita en su especificación. A continuación se dan algunos ejemplos de materiales, su especificación y forma de suministro.

**PLACA**

Especificación	SA - 516 -70	SA -285- C	SA - 36
Composición nominal	C - Si	C - Si	C - Si
Esfuerzo de cedencia Kpsi	38	30	36
Esfuerzo último en Kpsi	70	55	58
Esfuerzo de diseño en Kpsi (de -20 a 650 °F)	17.5	13.8	12.7

**FORJA (Bridas)**

Especificación	SA - 105	SA -181	SA - 266 - II
Composición nominal	C - Si	C - Si	C - Si
Esfuerzo de cedencia Kpsi	36	36	35
Esfuerzo último en Kpsi	70	70	70
Esfuerzo de diseño en Kpsi (de -20 a 650 °F)	17.5	17.5	17.5

**TUBOS DE CEDULA**

Especificación	SA - 106 - B	SA - 53	SA - 333 - 1
Composición nominal	C - Si	C - Si	C - Si
Esfuerzo de cedencia Kpsi	30	30	30
Esfuerzo último en Kpsi	48	48	55
Esfuerzo de diseño en Kpsi (de -20 a 650 °F)	15	15	13.7

Entre los materiales comúnmente usados en la fabricación de equipos de proceso, esta principalmente el acero al carbón, y algunas aleaciones especiales como:

Titanio	Incoloy
Zirconio	Hastelloy
Hafnio	Monel
Tantalo	Inconel
Molibdeno	Admiralty

**PROPIEDADES FISICO - QUIMICAS.**

Propiedades Mecánicas. Al considerar las propiedades mecánicas del material, es deseable que tenga buena resistencia a la tensión, alto punto de cedencia, alto porcentaje de alargamiento y mínima reducción de área, con estas propiedades principalmente, se establecen los esfuerzos de diseño para el material en cuestión, también se buscará que el material deseado tenga bajo coeficiente de dilatación térmica.

Propiedades Químicas. La principal propiedad química que debemos considerar en el material que utilizaremos en la fabricación de equipos de separación de mezclas de hidrocarburos, es su resistencia a la corrosión. Este factor es de gran importancia, ya que un material mal seleccionado nos causará múltiples problemas, las consecuencias que se derivan de ello son:

- 1.- Sobrediseño en las dimensiones. Para materiales poco resistentes a la corrosión, es necesario dejar un excedente en los espesores, dejando margen para la corrosión, esto trae como consecuencia que los equipos resulten más pesados, encarecen el diseño y además de no ser siempre la mejor solución.
- 2.- Mantenimiento preventivo. Para proteger a los equipos del medio ambiente corrosivo es necesario usar pinturas protectoras.
- 3.- Paros debidos a la corrosión de los equipos. Un separador de mezclas de hidrocarburos que ha sido atacado por la corrosión, necesariamente debe ser retirado de operación, lo cual implica pérdidas en la producción.
- 4.- Contaminación o pérdida del producto. Cuando las partes que componen al equipo separador se han llegado a producir perforaciones en las paredes metálicas, los productos de la corrosión contaminan el fluido principal, lo cual en algunos casos el costo es muy elevado.
- 5.- Daños a equipos adyacentes. La destrucción de un equipo separador por corrosión, puede dañar los equipos que intervienen en el proceso.
- 6.- Consecuencias de tipo social. La falla repentina de un separador de mezclas de hidrocarburos (SMH) corroído puede ocasionar desgracias personales, además de

que los productos de la corrosión pueden ser nocivos para el proceso de transformación del petróleo.

7.- Soldabilidad. Los materiales usados para fabricar los equipos de proceso (SMH), deben tener buenas propiedades de soldabilidad, dado que la mayoría de sus componentes son de construcción soldada. Para el caso en que se tengan que soldar materiales diferentes entre sí, estos deberán ser compatibles en lo que a soldabilidad se refiere. Un material, cuantos más elementos de aleación contenga, mayores precauciones deberán tomarse durante los procedimientos de soldadura, de tal manera que se conserven las características que proporcionan los elementos de aleación.

Una herramienta principal de que dispone un diseñador para determinar el comportamiento mecánico, son los diagramas esfuerzo - deformación. Sin embargo, las propiedades importantes en el diseño mecánico y estructural que deben considerarse son:

1. Punto de cedencia
2. Resistencia a la tensión
3. Modulo de elasticidad
6. Soldabilidad
7. Maquinabilidad
8. Formabilidad
9. Resistencia a la corrosión y a la abrasión
10. Resistencia a la fatiga
11. Tenacidad
13. Resistencia al impacto

Prácticamente todas estas propiedades pueden deducirse al observar un diagrama esfuerzo deformación completo. En diseños de alto riesgo, es muy importante evaluarlas conjuntamente ya que todas están íntimamente relacionadas.

**Factores que afectan las propiedades mecánicas.** Los factores que afectan los valores medidos o previstos de las distintas propiedades mecánicas de los aceros y de los materiales metálicos son:

1. Composición química.
2. Tratamiento Térmico.
3. Geometría
4. Temperatura
5. Estado de esfuerzos

Los factores 1 y 2 dependen exclusivamente del proceso de manufactura del material base. Los factores del 3 al 5 dependen de la aplicación, de la funcionalidad y de los detalles de diseño de cada miembro o componente.

**Determinación de las propiedades mecánicas.** Esta es una parte importante del proceso de diseño - fabricación. En diseños de alto riesgo deben tomarse probetas normalizadas y someterlas a las distintas pruebas indicadas en los códigos y/o especificaciones para corroborar que el material recibido cumple con las características mecánicas consideradas en el diseño. El ASTM cuenta con procedimientos escritos, incluyendo la descripción de los aparatos requeridos para la determinación y evaluación de todas y cada una de las propiedades que debe tener un material conforme a una especificación predeterminada y los criterios de aceptación y rechazo.

## CAPITULO 5. DISEÑO DE PARTES

## 5.1 ANALISIS Y CÁLCULO DE ESPESOR DE ENVOLVENTE.

Análisis longitudinal.

Un cilindro que contenga un fluido a una presión (P) y que este sometido a fuerzas de tracción de acuerdo a sus secciones longitudinal y transversal, las paredes deberán de resistir estas fuerzas para evitar que fallen.

La fuerza elemental que actúa normal a un elemento diferencial de la pared del cilindro, a una distancia angular del diámetro horizontal es:

$$dF = P dAe = P L \left(\frac{D}{2}\right) d\theta$$

De acuerdo a la figura no. 18.

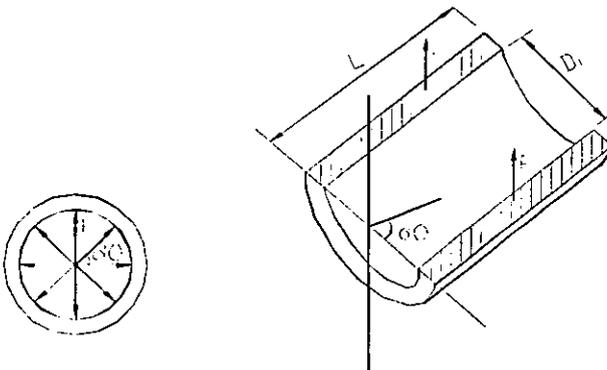


FIG. No. 18

Por simetría con respecto a cada  $dF$  le corresponde otra (No dibujada) cuya componente horizontal será igual pero de sentido contrario, como se muestra en la figura no. 19

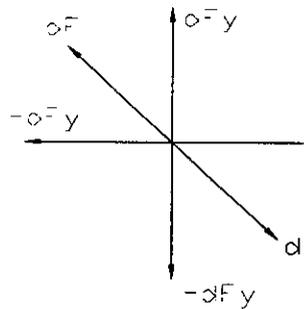


FIG. No. 19

Por lo que todos los pares de componentes horizontales se anulan y la fuerza total (F) que tiende a separar las mitades del cilindro es la suma de las componentes verticales.

$$\int_0^{\pi} (PL \frac{D}{2}) * \text{SEN}\theta$$

$$F = PL \frac{D}{2} \int_0^{\pi} \text{SEN}\theta = PL(\frac{D}{2})[-\text{COS}\theta]_0^{\pi}$$

$$F = PL \frac{D}{2} \{-\text{COS}\pi - (-\text{COS}0)\}$$

$$F = PL \frac{D}{2} (1 + 1) = PL \frac{D}{2} (2)$$

$$F = PLD$$

El esfuerzo en la sección longitudinal se obtiene dividiendo la fuerza entre las dos áreas de las secciones:

$$S = (PLD) / Ae = (PLD) / (2tL) = (PD) / (2t) = (PR) / t$$

Y se obtiene el esfuerzo en el corte longitudinal. **S = PR / t** ----- EC. 1

Análisis Circunferencial.

El área donde se ejerce F es igual al espesor de la pared multiplicado por la longitud de la circunferencia media, cuya media será:  $3.1416 \times (D + t)$

$$Ae = 3.1416 (D + t) t$$

Y como t es muy pequeño, se obtiene:

$$Ae = 3.1416 \times (D t)$$

$$S = F/Ae$$

$$F = S \times Ae$$

$$F = S \times 3.1416 \times D \times t$$

$$P = F/Ae; \quad Ae = 3.1416 \left( \frac{D^2}{4} \right)$$

$$F = P \times Ae \quad F = 3.1416 \left( \frac{D^2}{4} \right) P$$

$$F = 3.1416 D \times t \times S = 3.1416 \times \left( \frac{D^2}{4} \right) \times P$$

Despejando S

$$S = \frac{D \times P}{4 \times t}$$

$$S = \frac{R \times P}{2 \times t}$$

Y se obtiene el esfuerzo en el corte circunferencial.

$$S = (PR) / (2t) \text{ ----- EC. 2}$$

Como se puede observar en las ecuaciones Ec. 1 y Ec.2 , el esfuerzo longitudinal es mayor al esfuerzo circunferencial, por lo tanto en el diseño de la envoltente de los

equipos de separación de mezclas de hidrocarburos, se usará la Ec. 1 por ser la más crítica.

De la Ec. 1  $S = PR / t$

Despejamos PR, obtenemos:  $St = PR$

Despejamos el espesor de pared:  $t = PR / S$

Aplicando criterios de seguridad

tenemos la siguiente expresión:  $t_s = Pd Ri / (SE - 0.6 Pd) + C$  ----- Ec. 3

Donde E es un factor por eficiencia de soldadura, si los cordones de soldadura de la envolvente es inspeccionada por radiografía al 100% E = 1, si es por puntos entonces, E = 0.75.

Y por último al esfuerzo del material (S), corregido por la eficiencia (E), se le resta (0.6 P), que representa un factor de distribución no homogénea de la presión en el interior del recipiente y por último para prevenir un daño prematuro en el recipiente causado por corrosión se suma la corrosión permisible (C) al espesor calculado.

Con la Ec. 3 se calcula el espesor del material de la envolvente del recipiente horizontal del separador de mezclas de hidrocarburos.

Donde:

Donde: S : Esfuerzo permisible del material de construcción

P : Presión ejercida en el interior del recipiente

Pd: Presión de diseño.

t : espesor de material de construcción

t<sub>s</sub>: espesor calculado envolvente

D : Diámetro interior del recipiente.

$D_i$  : Diámetro interior de diseño del recipiente.

$A_e$  : Area donde se ejerce la fuerza  $F$

$F$  : Fuerza normal que actúa sobre el área.

$R$  = Radio interno del recipiente

$E$  = Eficiencia de soldadura

$C$  = Corrosión permisible

$S$  = Esfuerzo permisible del material de construcción

El valor del primer cálculo del espesor, se aproxima al espesor comercial ( $t_{sc}$ ) del material obteniéndose de esta manera el espesor nominal del equipo.

Con la misma Ec. 3, se despeja la presión.

$$P_N = \frac{SEt_{sc}}{Ri + 0.6t_{sc}} \text{ -----Ec. 4}$$

$$P_C = \frac{SE(t_{sc} - C)}{(Ri + C) + (0.6(t_{sc} - C))} \text{ -----Ec. 5}$$

Encontrando la Ec. 4, que representa la presión de trabajo en condiciones nuevas y la Ec. 5. representa la presión de trabajo en condiciones corroídas.

#### Limitantes.

Esta ecuación, sólo se emplea cuando el espesor calculado no exceda  $1/2R$  ó bien cuando la presión de operación sea menor ó igual que  $0.385 SE$ , (ASME VIII, UG – 27).

### 5.2 ANALISIS Y CÁLCULO DE TAPAS

Para encontrar el espesor adecuado de las Tapas del recipiente, se acude a la Ec. 3 que fue analizada en la sección anterior. Pero ahora en este caso el factor  $0.6 P$  cambia por  $0.2 P$ , según sea el caso del tipo de tapa que se emplee.

A continuación se muestran las tapas más usuales y las ecuaciones para poder calcular el espesor del material y la presión máxima que podrá soportar dicho elemento.

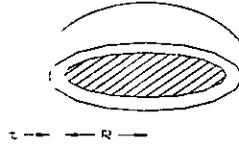


FIG. No. 20 TAPA SEMIELIPTICA 2:1.

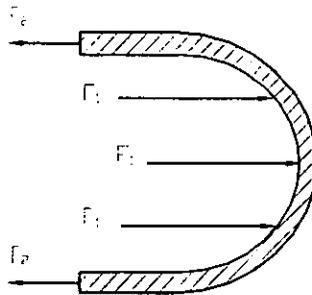


FIG. No. 21 CORTE LOGITUDINAL DE TAPA SEMIELIPTICA 2:1.

La fuerza  $F_1$  que ejerce el fluido a la tapa está expresada por:

$$F_1 = P \times Ae$$

$$Ae = \frac{\pi}{4} D^2 \times 2$$

Factor de seguridad por geometría semielíptica 2:1 = 2

$$F_1 = P \left( \frac{\pi}{2} D^2 \right)$$

La fuerza  $F_2$  que aparece en la reacción de la tapa, esta dada por la siguiente expresión.

$$S = F_2 / Ae$$

El área donde se ejerce  $F_2$  es igual al espesor de la pared multiplicado por la longitud de

la circunferencia media:

$$Ae = t \pi (D + t)$$

Como t es muy pequeño, se obtiene:

$$Ae = \pi D t$$

Entonces:

$$S = \frac{F_2}{\pi D t}$$

$$F_2 = S \pi D t$$

Equilibrando el sistema obtenemos:

$$F_1 + F_2 = 0$$

$$\left(\frac{\pi}{2} D^2 P\right) + (-S \pi D t) = 0$$

Despejando S se encuentra:

$$S = \frac{D P}{2 t}$$

$$t = \frac{D P}{2 S}$$

Aplicando criterios de seguridad, en base al Código ASME sec. VIII div. 1, tenemos:

$$t_r = (P d D_i) / (2SE - 0.2 P d) + C \text{ ----- Ec. 6, Espesor de diseño.}$$

$t_r = t_{TC}$  El espesor de diseño se aproxima al espesor comercial inmediato superior.

Despejando la presión encontramos:

$$P_{NT} = [2SE t_{TC}] / [D_i + 0.2 t_{TC}] \text{ ----- Ec. 7}$$

Presión máxima de trabajo en condiciones nuevas.

$$P_{UT} = [2SE(t_{TC} - C)] / [D_i + 0.2(t_{TC} - C)] \text{ ----- Ec. 8}$$

Presión máxima de trabajo en condiciones corroídas.

### 5.3 ANALISIS Y CÁLCULO DE BOQUILLAS

Debido a que el diámetro de la boquilla dependerá de las condiciones del proceso y de las necesidades del servicio. A continuación se muestran los requerimientos para la selección del espesor de tubería comercial.

1.- El espesor será el calculado para la presión de diseño más la tolerancia por corrosión, pero no debe ser menor que el mayor de los siguientes:

- a) El espesor calculado para la envoltura o cabeza (donde esta conectada la boquilla) necesario para soportar la presión interna (suponiendo  $E = 1$ ) más el margen por corrosión.
- b) El espesor mínimo de la pared del tubo estándar más el margen por corrosión.

Una vez teniendo el espesor calculado del cuello de la boquilla, se aproxima a un espesor comercial de tubo (cédula), lo cual será el espesor final del cuello de la boquilla.

Selección del rango de bridas.

El cálculo de rango de bridas estará en función de la presión marcada para la prueba hidrostática y temperatura de operación de acuerdo con la siguiente tabla.

CLASE	150 Lbs	300 Lbs	400 Lbs	600 Lbs	900 Lbs	1500 Lbs	2500 Lbs
PRESION DE LA PRUEBA HIDROSTATICA psig.	450	1125	1500	2225	3350	5575	9275
Temperatura °F	<b>PRESION MAXIMA PERMITIDA (NO DE IMPACTO ) Lbs/ pulg<sup>2</sup> Man.</b>						
-20 a 100	285	740	990	1480	2220	3705	6170
200	260	675	900	1350	2025	3375	5625
300	230	655	875	1315	1970	3280	5470
400	200	635	845	1270	1900	3170	5280
500	170	600	800	1200	1795	2995	4990
600	140	550	730	1095	1640	2735	4560

Placa de Refuerzo.

El requisito básico es que en torno a la abertura, el recipiente debe reforzarse con una cantidad de metal igual a la que se quito para hacer la abertura. El refuerzo puede formar parte del recipiente y de la boquilla en forma integral, o bien puede ser un parche adicional, como se muestra en la figura no. 22

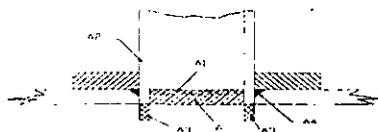


FIG. No. 22 PLACA DE REFUERZO.

Sin embargo, esta regla sencilla necesita de consideraciones extras, de acuerdo con lo siguiente:

1. No es necesario reponer la cantidad total de metal que se eliminó, sino solo la cantidad requerida para resistir la presión interna ( $A_{RE}$ ). El espesor requerido del recipiente en las aberturas, generalmente es menor que en otros puntos del casco o la cabeza.
2. La placa que se emplea y el cuello de la boquilla son por lo general de mayor espesor que el que se requeriría por cálculo. Este exceso que hay en la pared del recipiente ( $A_{B1}$ ), y el que hay en la pared de la boquilla ( $A_{B2}$ ) sirven como refuerzo. De modo semejante pueden tomarse también como refuerzo la extensión interior del tubo de la boquilla en la abertura ( $A_{B3}$ ) y el área de metal de la soldadura ( $A_{B4}$ ).
3. El refuerzo debe estar comprendido dentro de ciertos límites.
4. El área del refuerzo debe aumentarse en forma proporcional si su valor de esfuerzo es más bajo que el de la pared del recipiente.
5. El requisito de área del refuerzo debe satisfacerse para todos los planos que pasen por el centro de la abertura y sean normales a la superficie del recipiente.

El área de sección transversal requerida para el esfuerzo será entonces:

El área requerida en el casco o la cabeza para resistir la presión interna, ( $A_{RE}$ ). De esta área se restan las áreas excedentes disponibles dentro del límite ( $A_{B1}$   $A_{B2}$   $A_{B3}$   $A_{B4}$ ). Si la suma de las áreas disponibles para refuerzo ( $A_{B1} + A_{B2} + A_{B3} + A_{B4}$ ) es igual o mayor que el área que debe reponerse ( $A_{RE}$ ), la abertura esta reforzada adecuadamente. De lo contrario debe complementarse la diferencia por un parche de refuerzo ( $A_{B5}$ ).

**5.4 ANALISIS Y CÁLCULO DE ELEMENTOS INTERNOS.**

El siguiente procedimiento de cálculo es aceptado por manuales de diseño industrial. Este procedimiento de diseño de separadores de mezclas de hidrocarburos horizontales incorpora una optimización en el tamaño del recipiente como es diámetro y longitud del equipo, así mismo minimizando el peso de la envolvente y tapas.

1. Se calcula el flujo volumétrico del gas y del líquido.

$$Q_v = \frac{W_v}{(3600)(\rho_v)} \quad [ \text{ft}^3/\text{s} ] \quad \text{----- Ec. 9}$$

$$Q_L = \frac{W_L}{(60)(\rho_L)} \quad [ \text{ft}^3/\text{min} ] \quad \text{----- Ec. 10}$$

donde:  $W_v$  (Lb / hr) : Flujo másico de gas

$W_L$  (Lb / hr) : Flujo másico de líquido

$\rho_v$  (Lb / ft<sup>3</sup>) : Densidad de gas

$\rho_L$  (Lb / ft<sup>3</sup>) : Densidad de líquido

Se calcula la velocidad del gas terminal vertical ( $U_T$ ), usando la ecuación no 11, de la REF. [ 14 ] pag 55

$$U_T = K \left( \frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v} \right)^{1/2} \quad \text{----- Ec. 11}$$

K es evaluada de la REF. [ 1 4 ] pag 54, en la siguiente tabla.

❖ Eliminador de Neblina	
$P \leq 15$	$K = 0.1821 + 0.0029P + 0.046 \ln(P)$
$15 \leq P \leq 40$	$K = 0.35$
$40 \leq P \leq 5,500$	$K = 0.43 - 0.023 \ln(P)$

Donde P (psi) : presión de diseño

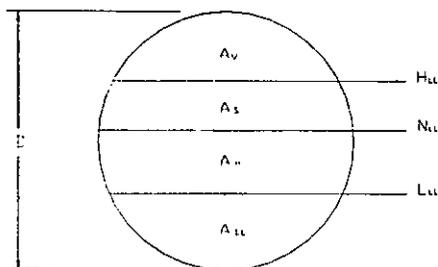


FIG. No. 23 NIVELES DE OPERACION.

Donde:

$A_v$	Area de gas
$A_s$	Area de arrastre
$A_H$	Area de transición (holdup)
$A_{LL}$	Area de nivel liquido
$H_{LL}$	Nivel de líquido alto
$N_{LL}$	Nivel de líquido normal
$L_{LL}$	Nivel de líquido bajo

A continuación se selecciona un tiempo de "Holdup" de la siguiente tabla, obtenida de la misma referencia y calculamos el volumen de "Holdup" ( $V_H$ ) usando la ecuación no 12.

SERVICIO	TIEMPO HOLDUP ( $T_H$ ) (min)	TIEMPO DE AGITACION ( $T_s$ ) (min)
1. Alimentación a columna	10	5
2. Alimentación a otro equipo o tanque de almacenamiento	5	3
a) Con bomba	5	2
b) Sin bomba	2	1

$$V_H = (T_H) (Q_L) \quad [\text{ft}^3] \quad \text{----- Ec. 12}$$

Si el volumen del liquido agitado no es especificado, seleccione el tiempo de agitación de la tabla anterior y se calcula el volumen de agitación ( $V_s$ ), usando la siguiente ecuación.

$$V_s = (T_s) (Q_L) \quad [\text{ft}^3] \quad \text{----- Ec. 13}$$

Obteniendo una estimación de  $L/D$  de la tabla que se presenta a continuación de la misma referencia, se calcula el diámetro con la ecuación:

$$D = \left( \frac{4(V_H + V_S)}{(\pi)(0.6)(L/D)} \right)^{1/3} \quad [\text{ft}] \quad \text{----- Ec. 14}$$

Presión de Operación (psig)	L/D
$0 < P_o < 250$	1.5 – 3.0
$250 < P_o < 500$	3.0 – 4.0
$500 < P_o$	4.0 – 8.0

Posteriormente se calcula el área de la sección transversal total ( $A_T$ ):

$$A_T = \frac{\pi}{4} D^2 \quad \text{----- Ec. 15}$$

Calculando el nivel alto del líquido  $H_{LL}$ , se usa la siguiente ecuación:

$$H_{LL} = 0.5 D + 7 \quad [\text{pulg}] \quad \text{----- Ec. 16}$$

Donde  $D$  esta en [ ft ],

Si  $D \leq 4' 0"$ , entonces  $H_{LL} = 9$  [ pulg ]

Empleando  $H_{LL}/D$ , en la ecuación no. 17, se obtiene  $A_{LL}/A_T$ , posteriormente se calcula el área de nivel de líquido  $A_{LL}$ .

$$Y = \frac{(a + cX + eX^2 + gX^3 + iX^4)}{(1.0 + bX + dX^2 + fX + hX^4)} \text{ ----- Ec. 17}$$

$$\frac{H}{D} a \frac{A}{A_r}$$

$$Y = \frac{A}{A_r}$$

$$X = \frac{H}{D}$$

$$a = 4.755930e^{-5}$$

$$b = 3.924091$$

$$c = 0.174875$$

$$d = - 6.358805$$

$$e = 5.668973$$

$$f = 4.018448$$

$$g = - 4.916411$$

$$h = -1.801705$$

$$i = - 0.145348$$

Si este equipo separador no contiene un paquete eliminador de neblina, el tamaño mínimo del área disponible del gas recomendable (  $A_v$  ) es de 0.2D ó 1 [ft<sup>2</sup>]; Si el equipo contiene el paquete eliminador de neblina, el tamaño mínimo del área disponible recomendable del gas es 0.2 D ó 2 [ft<sup>2</sup>].

Calculando la longitud mínima, acomodando el Holdup de líquido y la sección de agitación es:

$$L = \frac{V_H + V_S}{A_r - A_v - A_{LL}} \text{ [ ft ] ----- Ec. 18}$$

Calculando el tiempo de goteo de líquido.

$$\phi = \frac{H_v}{U_v} \quad [\text{seg}] \text{----- Ec. 19}$$

Donde :  $H_v$  (ft) nivel del volumen de gas

$U_v$  (ft/seg) velocidad de gas

Calculando la velocidad de gas actual.

$$U_{vA} = \frac{Q_v}{A_v} \quad [\text{ft / s}] \text{----- Ec. 20}$$

Calculando la longitud mínima requerida para la separación del gas - líquido

$$L_{min} = U_{vA} \cdot \phi \quad [\text{ft}] \text{----- Ec. 21}$$

- ❖ Si  $L_{min} > L$ , entonces  $L = L_{min}$  (la separación Vapor / Líquido es controlada).
- ❖ Si  $L_{min} \gg L$ , entonces se incrementa  $H_v$ , se calcula de nuevo  $A_v$  y se repite el procedimiento.
- ❖ Si  $L_{min} < L$ , el diseño es aceptable para la separación gas / líquido.
- ❖ Si  $L_{min} \ll L$  (el holdup líquido es controlado),  $L$  puede ser decrementado y  $L_{min}$  incrementado si  $H_v$  es decrementado.

Verificar que el factor  $L / D$  se encuentra en el rango 1.5 a 6.0

Con el tamaño del recipiente óptimo, peso mínimo, calcular el nivel normal y máximo del líquido.

$$A_{NL} = A_{LL} + \frac{V_H}{L} \text{----- Ec. 22}$$

Con  $A_{NLL} / A_T$ , obtener  $H_{NLL}$  de la ecuación no. 23 de la REF. [ 14 ] pag 58

$$Y = \frac{(a + cX + eX^2 + gX^3 + iX^4)}{(1.0 + bX + dX^2 + fX + hX^4)} \text{ ----- Ec. 23}$$

$$\frac{A}{A_T} = a \frac{H}{D}$$

$$Y = \frac{H}{D}$$

$$X = \frac{A}{A_T}$$

$$a = 0.00153756$$

$$b = 26.787101$$

$$c = 3.299201$$

$$d = -22.923932$$

$$e = 24.353518$$

$$f = -14.844824$$

$$g = -36.999376$$

$$h = 10.529572$$

$$i = 9.892851$$

Con este proceso de cálculo se logra obtener un diseño del recipiente, óptimo a los requerimientos que se pide por parte del diseño térmico - hidráulico.

## 5.5 ANALISIS Y CÁLCULO DE PESOS

### A) Cálculo de volúmenes totales

- Volumen total de la envolvente.

$$V_C = \frac{\pi}{4} D_i^2 L_{T-T} \text{ ----- Ec. 24}$$

- Volumen de tapas semielípticas 2:1

$$V_{SE} = 0.2618Di^3 \text{ (plg}^3\text{)} \text{ -----Ec. 25}$$

B) Cálculo de volúmenes de operación

- Volumen parcial de envolvente

$$V_{PC} = V_C \times C_C \text{ -----Ec. 26}$$

Donde:  $C_C$ : Coeficiente calculado en tablas de la REF. [ 7 ] pags. 192, 193

- Volumen parcial de tapas semielípticas 2:1

$$V_{PSE} = V_{SE} \times C_{SE} \text{ -----Ec. 27}$$

Donde:  $C_{SE}$ : Coeficiente calculado en tablas de la REF. [ 7 ] pags. 195, 196

C) Cálculo de pesos

De acuerdo al diámetro interior del recipiente y del espesor de pared, se consulta en la REF. [ 7 ] pags. 197-203, encontrando el peso específico (Lbs/ft) de la envolvente ( $W_C$ ) y el peso total (Lbs) de las tapas ( $W_{SE}$ ).

En la REF. [ 7 ] pags. 376-381, se consulta el peso total (Lbs) de las boquillas (cuello, brida, espárragos, placa de refuerzo).

El peso de los elementos internos, se puede consultar en la REF. [ 1 ] pags. 115, 116 ó se calcula obteniendo el volumen del material de construcción multiplicando por la densidad del mismo material.

Para calcular el peso total en vacío ( $W_{Vacio}$ ), se suman los pesos de la envolvente, de las tapas, de las boquillas, de los elementos internos. El cálculo del peso en operación ( $W_{TO}$ ),

*NOTA: Las variables que intervienen en las ecuaciones deben estar en las unidades que se especifican y las ecuaciones que no especifican son aplicables para cualquiera de los tres sistemas de unidades.*

se suman el peso en vacío más el peso de la mezcla de hidrocarburos al nivel máximo de operación.

### **5.6 ANALISIS Y CÁLCULO DE SILLETAS.**

En los figuras no. 13 y 14 se muestran dos tipos de soportes tipo estándar, conociendo el diámetro del recipiente, longitud y peso total del equipo separador se puede obtener las dimensiones de las silletas en la REF. [ 13 ] pag 120 y posteriormente hacer un análisis de esfuerzos debido al peso propio del equipo y de fenómenos naturales: esfuerzos debido a viento y sismo.

Si en este análisis de esfuerzos, el diseño propuesto por la referencia mencionada no cumple con el resultado del análisis, se propone otro material u otro espesor de placa más grande y se realiza de nuevo el análisis de esfuerzos. A continuación se presenta una tabla de análisis de esfuerzos, tomada de la REF. [ 13 ] pag 109.

CONDICIONES DE DISEÑO		L = PULG.	A = PULG.	b = PULG.	d = PULG.	P = LB/PULG <sup>2</sup>	PROCESO DE SOLDADURA	S = LB/PULG <sup>2</sup>	VALOR DE TENSIÓN EN CORVA DE UNA SILLETA	
		R = PULG.	H = PULG.	h = PULG.	o = GRAD.	E =	ESPECIFICACION DE SOLDADURA	O = LIBRAS		
ESFUERZOS	CONDICIONES	MAXIMO ESFUERZO EN		ECUACIONES		CALCULOS		MAXIMO ESFUERZO PERMISIBLE		
PANDEO LONGITUDINAL	CUERPO REFORZADO POR TAPAS O ANILLOS O CUERPO SIN REFORZAR	EN LAS SILLETAS (TENSION EN LA PARTE SUPERIOR COMPRESION EN EL FONDO)		$S_1 = \pm \frac{Q \left( \frac{1 - \frac{A}{L} \frac{R^2 - H^2}{2A}}{1 + \frac{4H}{3L}} \right)}{K_1 R^2 t_s}$ (VER IMPORTANTE EN PAG. SIG.)				21 A TENSION MAS EL ESFUERZO DEBIDO A LA PRESION INTERNA PR/2 ts NO DEBERIA EXCEDIR EL VALOR DEL ESFUERZO PERMISIBLE DEL MATERIAL DEL CUERPO CONSIDERANDO LA EFICIENCIA DE LA SOLDADURA PERIMETRAL. EN COMPRESION EL ESFUERZO DEBIDO A LA PRESION DEL TEMA MENOS ts NO DEBERIA EXCEDIR LA MITAD DEL VALOR DEL LIMITE DE CEDENCIA A COMPRESION DEL MATERIAL O VALOR DADO POR:		
		EN EL CENTRO (TENSION EN EL FONDO COMPRESION EN LA PARTE SUPERIOR)		$S_1 = \pm \frac{Q \left( \frac{1 + 2 \frac{R^2 - H^2}{L} - \frac{6A}{L}}{1 + \frac{4H}{3L}} \right)}{7T R^2 t_s}$				$S = \left( \frac{E}{25} \right) \sqrt{10} \times [2 - 0.5/100] \sqrt{10}$ E = MODULO DE ELASTICIDAD DEL MATERIAL DEL CUERPO O ANILLO REFORZADOR LB/PULG. <sup>2</sup>		
CORTE TANGENCIAL	SILLETAS LEJANAS A LAS TAPAS A > R/2 (VER NOTA)	EN EL CUERPO		$S_2 = \frac{K_2 Q}{R t_s} \left( \frac{L - 2A}{L + 4/3H} \right)$				22 NO DEBERIA EXCEDIR 0.8 VECES DEL ESFUERZO A TENSION PERMISIBLE DEL MATERIAL DEL RECIPIENTE		
		EN EL CUERPO		$S_2 = \frac{K_3 Q}{R t_s} \left( \frac{L - 2A}{L + 4/3H} \right)$				23 MAS EL ESFUERZO DEBIDO A LA PRESION INTERNA NO DEBERIA EXCEDIR DE 1.25 VECES EL ESFUERZO A TENSION PERMISIBLE DEL MATERIAL DE LA TAPA.		
	SILLETAS CERCANAS A LAS TAPAS A < R/2	EN EL CUERPO		$S_2 = \frac{K_4 Q}{R t_s}$				NOTA: USE LA FORMULA CON EL FACTOR K4 SI NO SE USAN ANILLOS DE REFORZADO O SI ESTOS ESTAN PROXIMOS A LA SILLETA USE LA ECUACION CON EL FACTOR K5 SI EL ANILLO DE REFORZADO ESTA EN EL PLANO DE LA SILLETA		
		EN LAS TAPAS		$S_2 = \frac{K_4 Q}{R t_h}$						
		ESFUERZOS ADICIONALES EN LAS TAPAS		$S_3 = \frac{K_5 Q}{R t_h}$						
CIRCUNFERENCIAL	CON O SIN ATIESADORES	L > BR	EN UNION CON LA SILLETA		$S_6 = \frac{Q}{4t_s (b + 1.56 \sqrt{Rb})} - \frac{3K_6 Q}{2 t_s^2}$				24 NO DEBERIA EXCEDIR 1.5 VECES EL VALOR DE ESFUERZO A LA TENSION DEL MATERIAL DEL CUERPO.	
					$S_6 = \frac{Q}{4t_s (b + 1.56 \sqrt{Rb})} - \frac{12K_6 Q}{L t_s^2}$				25 NO DEBERIA EXCEDIR 0.8 VECES EL VALOR A COMPRESION DEL LIMITE DE FLUJENCIA DEL MATERIAL DEL CUERPO.	
	L < BR		EN LA PARTE INFERIOR DE LA SILLETA		$S_6 = \frac{K_7 Q}{t_s (b + 1.56 \sqrt{Rb})}$					

\*NOTA: Las constantes Ki, se pueden consultar en la REF. [ 13 ] pag 112.

Esfuerzo por pandeo longitudinal ( $S_1$ ) : ----- Ec. 28

Esfuerzo Tangencial ( $S_2$ ) : ----- Ec. 29

Esfuerzos adicionales en tapas ( $S_3$ ) : ----- Ec. 30

Esfuerzo circunferencial ( $S_4$ ) : ----- Ec. 31

Esfuerzo circunferencial en la parte inferior de la silleta ( $S_5$ ) : Ec. 32

Para absorber la expansión y contracciones térmicas, debe permitirse el movimiento de una de las silletas, de preferencia del lado opuesto al de las conexiones de tubería. En dicha silleta deben usarse ranuras en vez de agujeros circulares para los tornillos de anclaje. La longitud de las ranuras debe determinarse por la magnitud esperada del movimiento. El coeficiente de dilatación lineal para el acero al carbono por unidad de longitud y por grado °F es igual a 0.0000067.

**Cálculo de pesos de silletas.**

**a) Placa de refuerzo.**

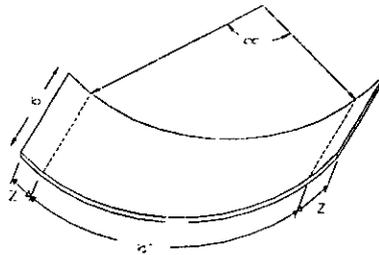


FIG. No. 24 PLACA DE REFUERZO.

$$R_o = R_i + t_{sc} \quad \text{----- Ec. 33}$$

$$b' = \frac{\pi}{180} \times R_o \times \alpha \quad \text{----- Ec. 34, REF. [ 17 ] pag B3}$$

$$b'' = b' + (Z \times 2) \quad \text{----- Ec. 35}$$

$$V = b'' \times b \times t_1 \text{ (plg}^3\text{)} \text{ ----- Ec. 36}$$

$$W_1 = V \times \rho_{\text{ACERO}} \text{ ----- Ec. 37}$$

**b) Placa de silleta.**

$$b' = \frac{\pi}{180} \times R_0 \times \alpha \text{ ----- Ec. 38, REF. [ 17 ] pag B3}$$

$$b'' = b' + (Z_2 \times 2) \text{ ----- Ec. 39}$$

$$V = b'' \times b \times t_2 \text{ (plg}^3\text{)} \text{ ----- Ec. 40}$$

$$W_2 = V \times \rho_{\text{ACERO}} \text{ ----- Ec. 41}$$

**c) Placa base**

$$V = H_S \times b \times t_3 \text{ (plg}^3\text{)} \text{ ----- Ec. 42}$$

$$W_3 = V \times \rho_{\text{ACERO}} \text{ ----- Ec. 43}$$

**d) Cálculo de peso del atiesador no. 3**

$$h_3 = L_c - R_0 - t_1 - t_2 \text{ ----- Ec. 44}$$

$$V = t_4 \times b \times h_3 \text{ (plg}^3\text{)} \text{ ----- Ec. 45}$$

$$W_{S3} = V \times \rho_{\text{ACERO}} \text{ ----- Ec. 46}$$

**e) Cálculo de peso del atiesador no. 2**

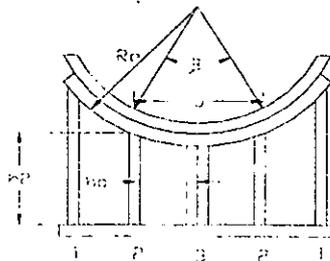


FIG. No. 25 ARREGLO DE ATIESADORES NO. 2.

$$Re = Ro + t_1 + t_2 \quad \text{----- Ec. 47}$$

$$\beta = 2 \times \text{sen}^{-1} \left[ \frac{J}{2x Re} \right] \quad \text{----- Ec. 48, REF. [ 17 ] pag B3}$$

(rad)

$$h_2 = L_c - \frac{b_o}{\tan\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad \text{----- Ec. 49}$$

$$V = t_5 \times b \times h_2 \text{ (plg}^3\text{)} \quad \text{----- Ec. 50}$$

$$W_{S2} = V \times \rho_{ACERO} \times 2 \quad \text{----- Ec. 51}$$

f) Cálculo de peso del atiesador no. 1

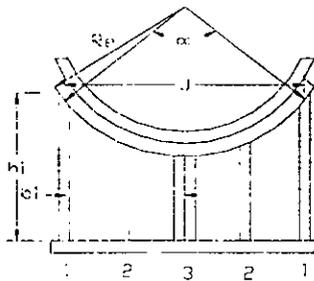


FIG. No. 26 ARREGLO DE ATIESADORES NO. 1.

$$h_1 = L_c - \frac{b_1}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad \text{----- Ec. 52}$$

$$V = t_6 \times b \times h_1 \text{ (plg}^3\text{)} \quad \text{----- Ec. 53}$$

$$W_{S1} = V \times \rho_{ACER} \times 2 \quad \text{----- Ec. 54}$$

g) Cálculo de peso de placa central.

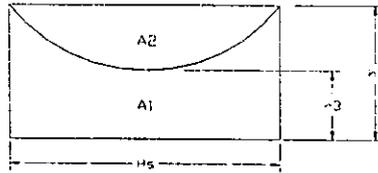


FIG. No. 27 PLACA BASE.

$$h_2 = h_1 - h_3 \quad \text{----- Ec. 55}$$

$$A_0 = A_1 - A_2 \quad \text{----- Ec. 56}$$

$$A_1 = h_1 \times H_s \quad \text{----- Ec. 57}$$

$$A_2 = \frac{h_2}{6H_s} (3h_2^2 + 4H_s^2) \quad \text{----- Ec. 58, REF. [ 17 ] pag B3}$$

$$V = A_0 \times t_7 \text{ (plg}^3\text{)} \quad \text{----- Ec. 59}$$

$$W_1 = V \times \rho_{ACER} \quad \text{----- Ec. 60}$$

h) Cálculo de peso total de las silletas.

$$W_{TS} = W_1 + W_2 + W_3 + W_{S1} + W_{S2} + W_{S3} + W_4 \quad \text{----- Ec. 61}$$

5.7 ANALISIS Y CÁLCULO DE FUERZAS EXTERNAS.

A) Fuerzas de viento.

De la REF. [ 13 ] pag. 139, se obtiene una velocidad media del viento de la región ( $V_r$ ).

En la REF. [ 4 ] pag. 1.4.9 , se da una clasificación a los equipos, donde los separadores de mezclas de hidrocarburos entran en el Grupo A, posteriormente consultando la tabla de la pag. 1.4.10 de la misma referencia, se puede conocer la zona eólica donde se ubicará el equipo, con estos datos, se obtiene el factor de topología ( $F_{T0}$ ) en la tabla de la REF. [ 4 ] pag. 1.4.11 .

A continuación se calcula la velocidad básica.

$$V_B = V_T * F_{T0} \text{ ----- Ec. 62}$$

Conociendo la altura al nivel del mar ( $A_{NM}$ ), donde se instalará el equipo se obtiene un coeficiente de categoría de exposición ( $C_e$ ) REF. [ 4 ] pag. 1.4.8, de la misma referencia se obtiene un factor de importancia ( $F_i$ ) y posteriormente se calcula un factor de reducción de densidad de aire :

$$G = \frac{8 + A_{NM}}{8 + (2 * A_{NM})} \text{ ----- Ec. 63}$$

La presión de diseño por viento, con la siguiente ecuación.

$$P_V = 0.00256 * C_e * (F_i * V_B)^2 \text{ (lbs / ft}^2\text{) ----- Ec. 64}$$

Cálculos de fuerzas por viento.

a) Fuerza longitudinal.

$$A_f = \frac{\pi * D_o^2}{4} \text{ ----- Area proyectada ----- Ec. 65}$$

$$F_{V_L} = A_f * C_f * G * P_V \text{ (Lbs) ----- Ec. 66}$$

b) Fuerza Transversal del viento

$$A_f = D_o * (L_{T.T} + (2 * h)) \text{ ----- Area proyectada ----- Ec. 67}$$

$$F_{V_T} = A_f * G * P_V * C_f * 0.5 \text{ (Lbs) ----- Ec. 68}$$

**A) Fuerzas por sismo.**

En la REF. [ 5 ] pag. 1.3.9, se localiza la zona sísmica donde se ubicará el equipo, posteriormente en la tabla de la REF. [ 5 ] pag. 1.3.15 dependiendo del tipo de estructura se encuentra un factor de ductilidad ( $Q_u$ ) y en la misma REF. [ 5 ] pag. 1.4.13 se obtiene

un coeficiente sísmico (Csi). A continuación con la siguiente ecuación se calcula un coeficiente de diseño sísmico:

$$C_S = \frac{C_{Si}}{Q_U} \text{ ----- Ec. 69}$$

Cálculos de fuerzas por sismo.

a) Fuerza longitudinal.

$$F_{SL} = C_S \times W_{TA} \text{ -----Ec. 70}$$

b) Fuerza Transversal.

$$F_{ST} = C_S \times \left( \frac{W_{TA}}{2} \right) \text{ -----Ec. 71}$$

**A) Reacciones de Silletas.**

Carga máxima de sileta.

$$Q = \frac{W_{TA}}{2} \text{ -----Ec. 72}$$

a) Reacción Longitudinal.

$$Q_L = Q + (F_L \times (L_C / L_S)) \text{ -----Ec. 73}$$

Donde : Sí  $F_{VL} > F_{SL}$  ,  $F_L = F_{VL}$

Sí  $F_{VL} < F_{SL}$  ,  $F_L = F_{SL}$

$L_C$  : Altura al centro del recipiente, fig. no. 29

$L_S$  : Distancia entre silletas, fig. no. 29

b) Reacción transversal.

$$Q_T = Q + (6 \times F_T \times (L_C / H_S)) \text{ -----Ec. 74}$$

Donde : Sí  $F_{VT} > F_{ST}$  ,  $F_T = F_{VT}$

Sí  $F_{VT} < F_{ST}$  ,  $F_T = F_{ST}$

$H_s$  : Largo de silleta

**5.8 ANALISIS Y CÁLCULO DE OREJAS DE IZAJE.**

Con el fin de transportar, localizar, dar mantenimiento, etc. a los equipos separadores, es necesario equiparlos por lo menos con dos orejas de izaje, el espesor de estas se calcula por medio de la siguiente ecuación:

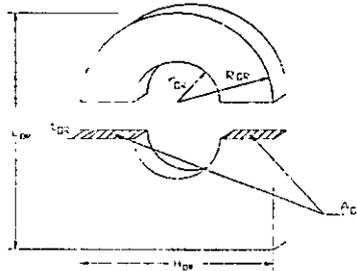


FIG. No. 28 OREJA DE IZAJE.

$$F_R = \frac{W_{VACIO}}{\text{sen } 45^\circ} \quad \text{----- Ec. 75}$$

$$S = \frac{F_R}{A_{OR}} \quad \text{----- Ec. 76}$$

$$A_{OR} = (R_{OR} - r_{OR}) \times t_{OR} \times 2 \quad \text{----- Ec. 77}$$

$$S = \frac{F_R}{(R_{OR} - r_{OR}) \times t_{OR} \times 2} \quad \text{----- Ec. 78}$$

$$t_{OR} = \frac{F_R}{2 S_C (R_{OR} - r_{OR})} \quad \text{----- Ec. 79}$$

Donde :  $t_{OR}$  : Espesor mínimo requerido en la oreja de izaje.

$W_{VACIO}$  : Peso del equipo vacío.

$F_R$  : Componente vertical del peso del equipo

$R_{OR}$  : Radio del arco superior de la oreja

$r_{OR}$  : Radio del barreno para el perno de anclaje.

**b) Cálculo de esfuerzos.**

Esfuerzo permisible al corte:  $S_{oc} = 0.4 \times S$  ----- Ec. 80

Esfuerzo permisible a flexión:  $S_f = 0.6 \times S$  ----- Ec. 81

Esfuerzo al corte:

$$S_{oc} = \frac{F_R}{2 \times t_{OR} \times (R_{OR} - r_{OR})} \text{ ----- Ec. 82}$$

Esfuerzo a Tensión:

$$S_{OT} = \frac{F_R}{t_{OR} \times L_{OR}} \text{ ----- Ec. 83}$$

Esfuerzo a flexión:

$$S_{OF} = \frac{\text{Momento Flexionante}}{\text{Modulo de sección}} \quad \text{REF. [ 17 ] pag P3}$$

$$S_{OF} = \frac{W_{VACIO} \times L_{OR}}{\left( t_{OR} \times \frac{H_{OR}^2}{6} \right)} \text{ ----- Ec. 84}$$

**a) Cálculo de esfuerzos en soldadura.**

Longitud de soldadura.  $L_{SO} = (2 \times t_{OR}) + (2 \times H_{OR})$  ----- Ec. 85

Modulo de Sección :  $S_x = (t_{OR} \times t_{OR}) + \left( \frac{t_{OR} \times H_{OR}^2}{6} \right)$  ----- Ec. 86 , REF. [ 17 ] pag P3

Esfuerzo Flexionante:

$$S_{SF} = \frac{\left( \frac{W_{VACIO}}{2} \times L_{OR} \right)}{(t_{OR} \times t_{OR}) + \left( \frac{t_{OR} \times H_{OR}^2}{6} \right)} \text{----- Ec. 87}$$

Esfuerzo Cortante:

$$S_{SC} = \frac{\left( \frac{W_{VACIO}}{2} \right)}{L_{SO}} \text{----- Ec. 88}$$

Esfuerzo a Tensión:

$$S_{ST} = \frac{\left( \frac{W_{VACIO}}{2} \right)}{L_{SO}} \text{----- Ec. 89}$$

Esfuerzos Combinados:

$$S_{COM} = \sqrt{(S_{SF} + S_{ST})^2 + S_{SC}^2} \text{----- Ec. 90}$$

Máximo esfuerzo permisible de soldadura:

$$M_{sp} = 0.45 \times S_{MAT} \text{----- Ec. 91}$$

Tamaño de soldadura:

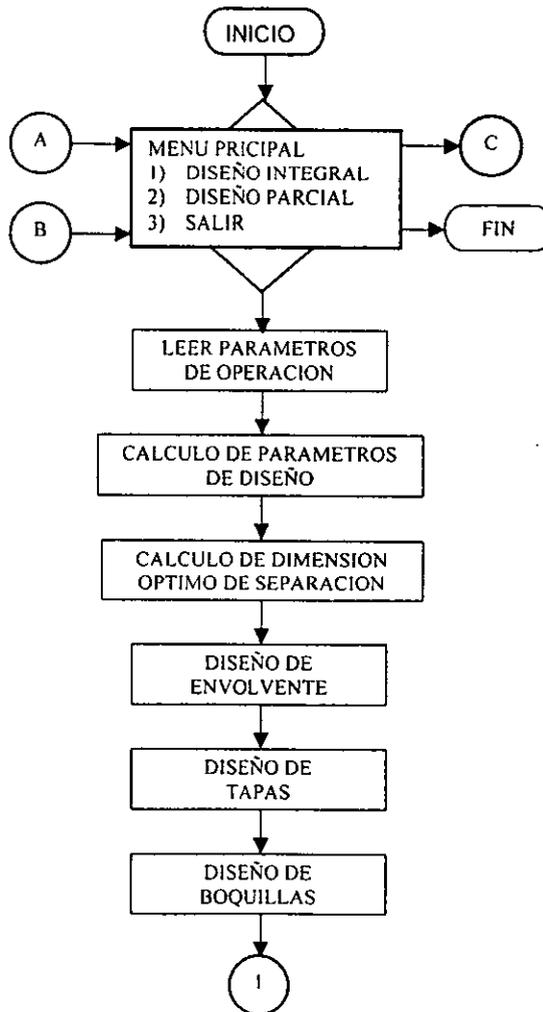
$$T_s = \frac{S_{COM}}{M_{SP}} \text{----- Ec. 92}$$

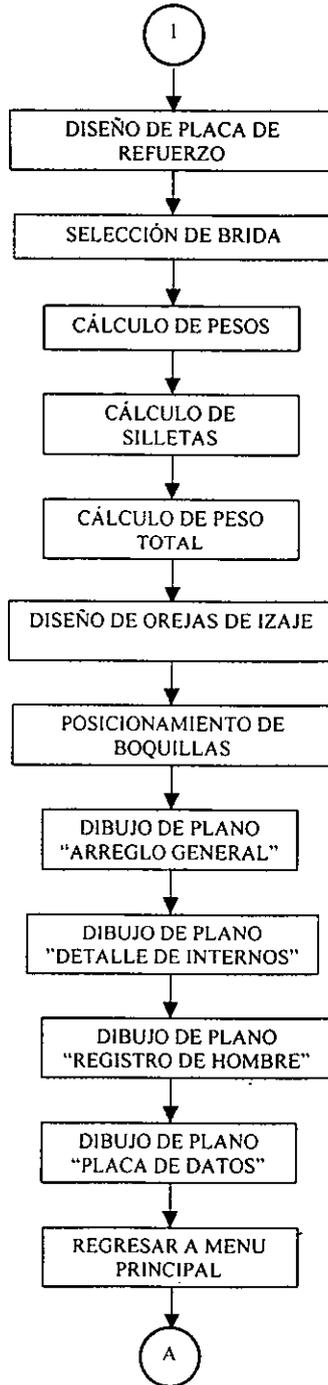
CAPITULO 6. ELABORACION DE DIAGRAMAS DE FLUJO

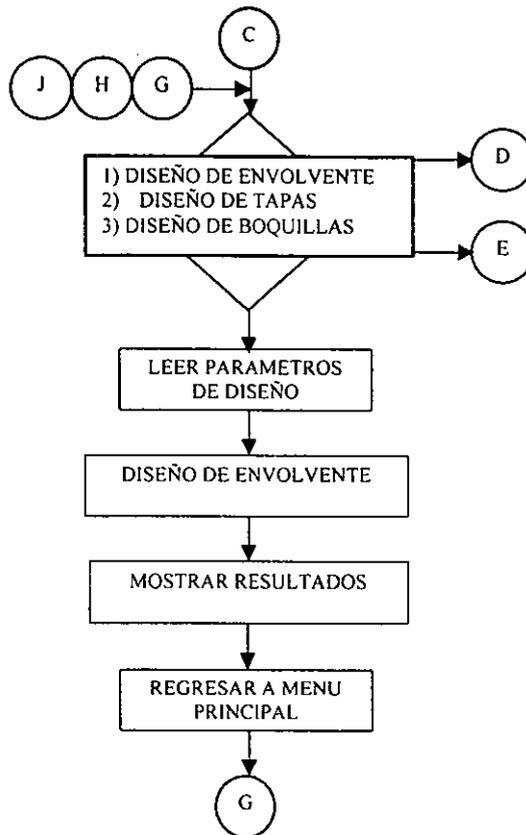
6.1 INTEGRACION DE DIAGRAMA DE FLUJO.

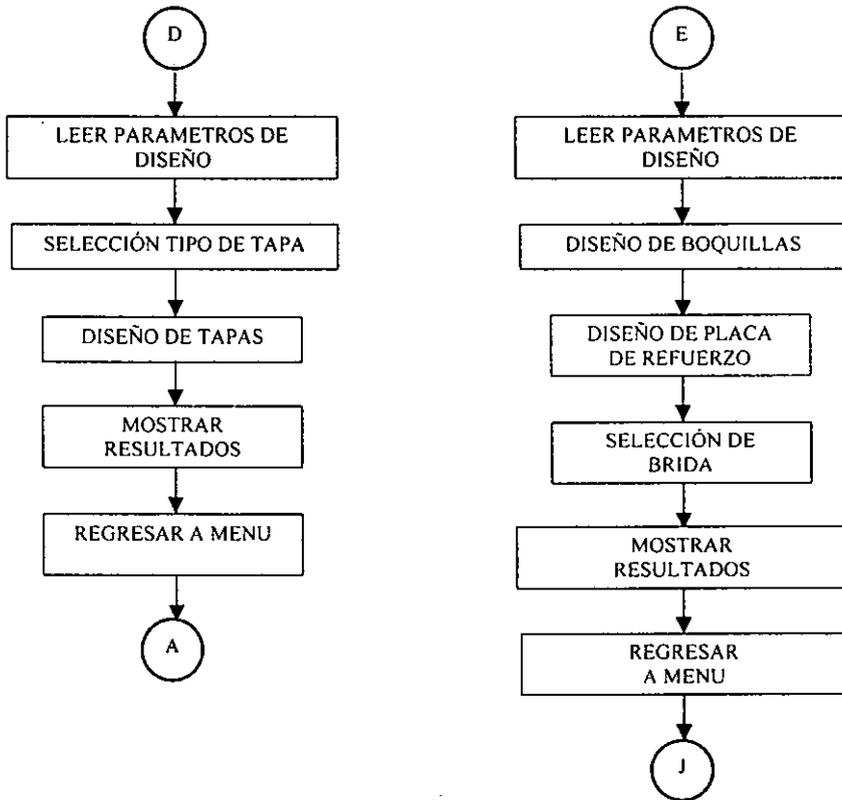
En este capitulo se elaborará la secuencia de cálculo para el desarrollo de diseño de equipos de separación, con diagramas de flujo que a continuación se presentan:

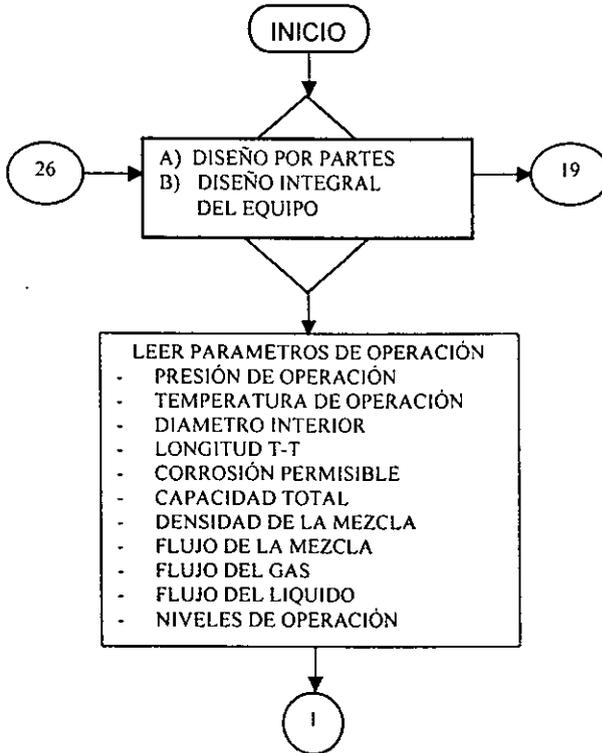
- Diagrama de flujo maestro para el diseño de equipos separadores de mezclas de hidrocarburos.

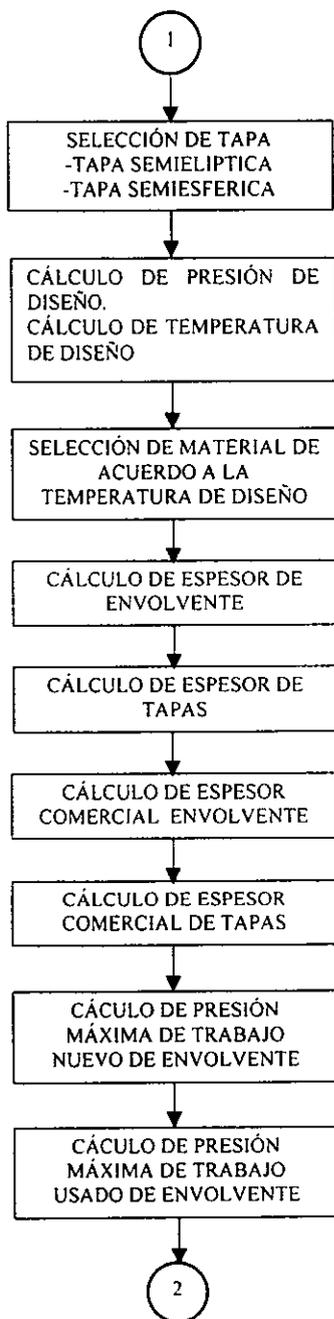


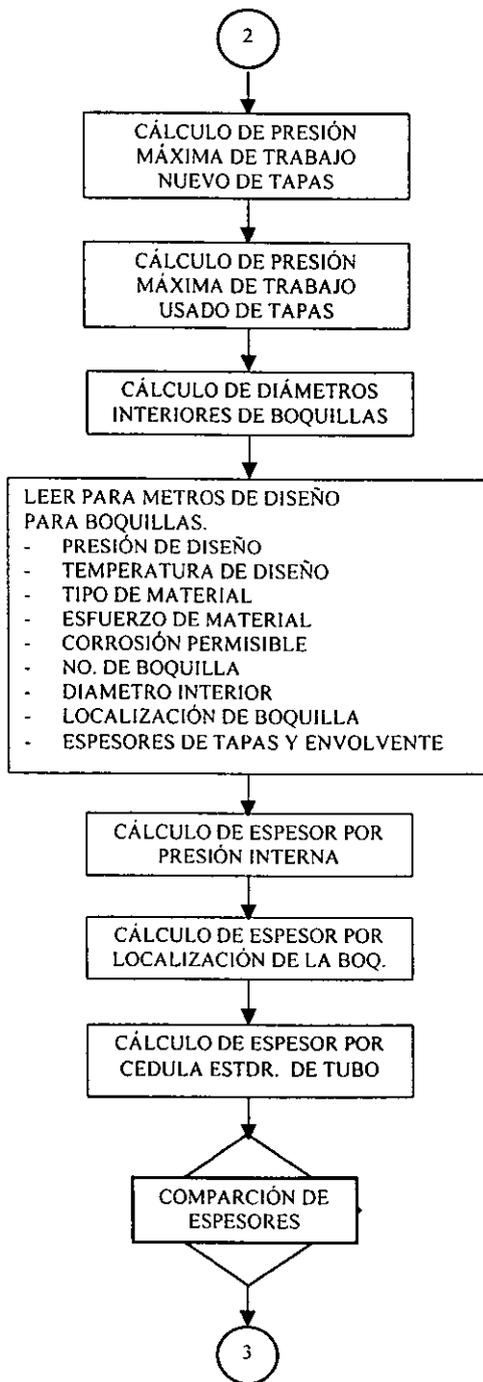




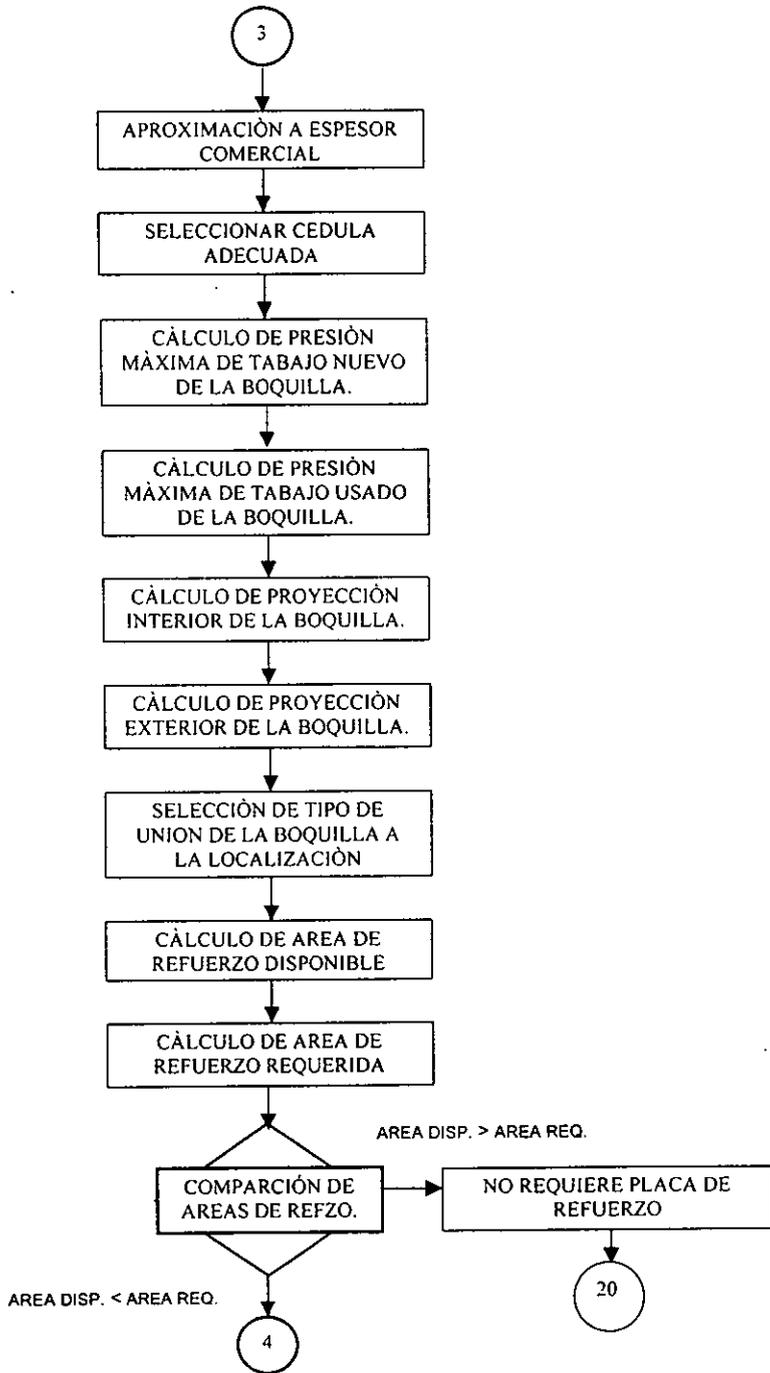


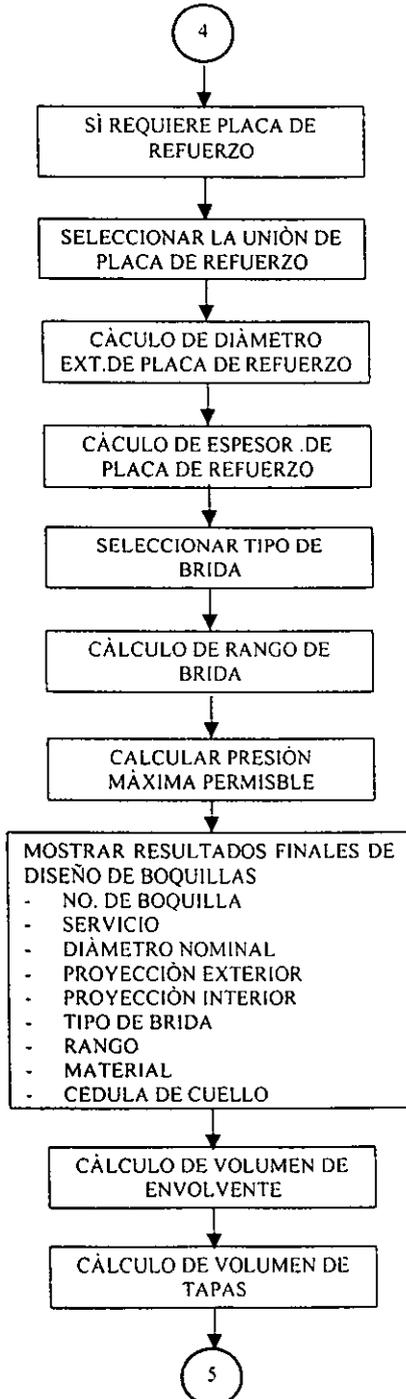


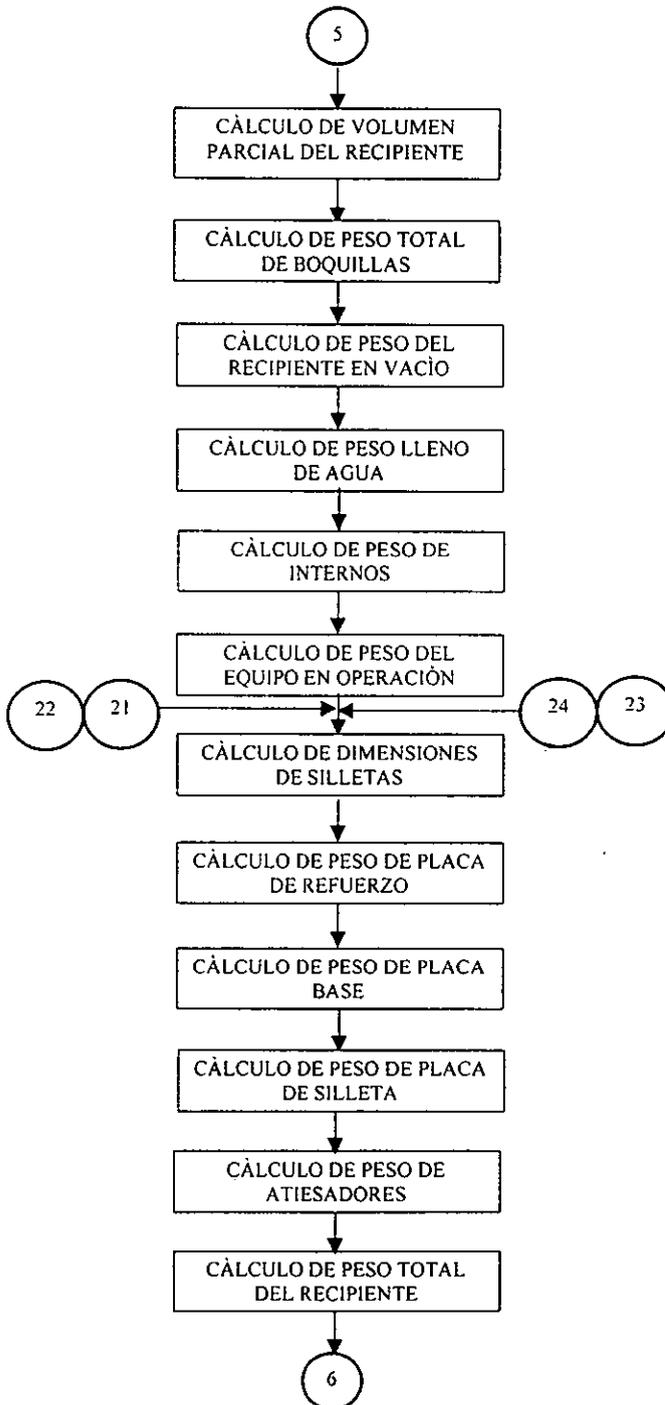


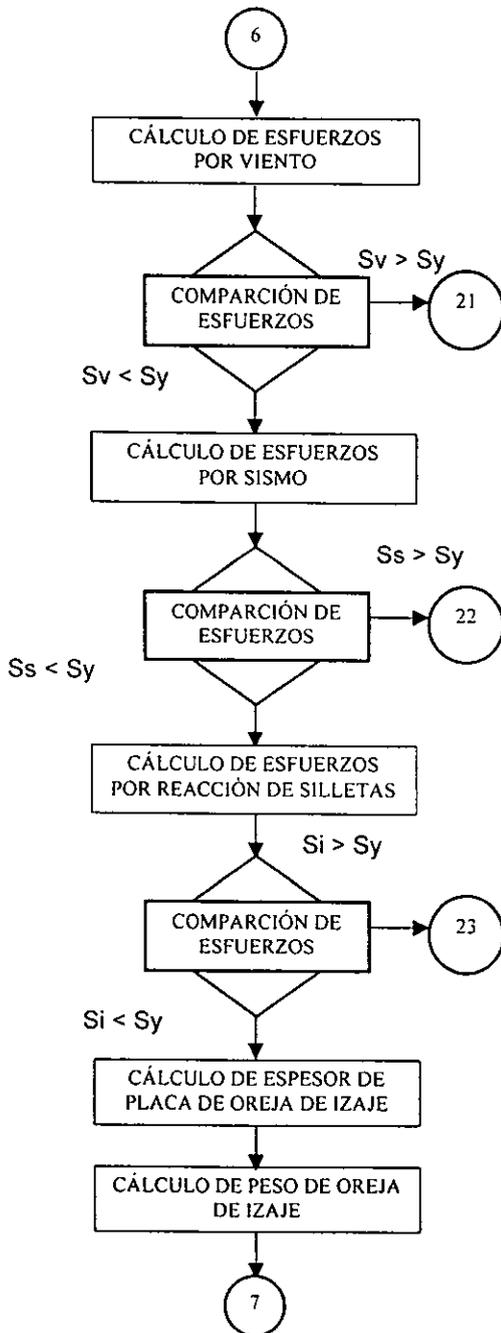


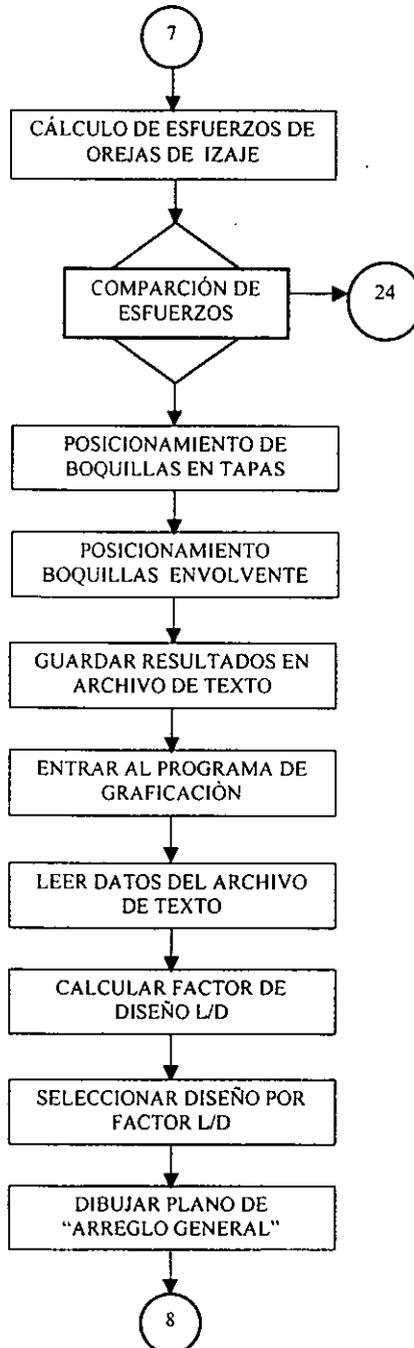
**ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA**

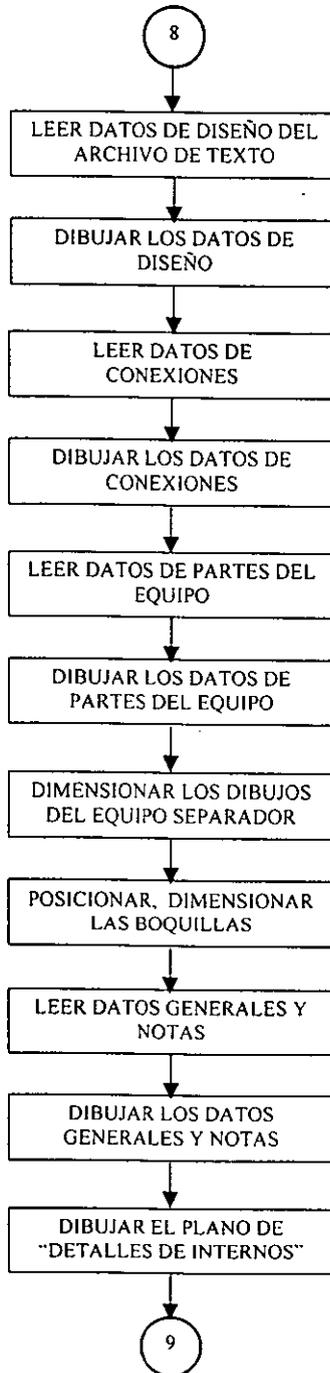












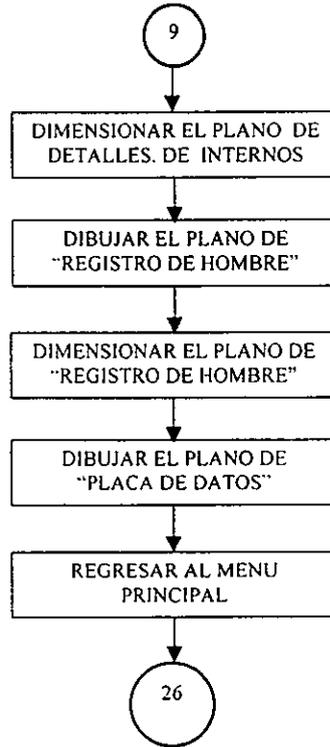
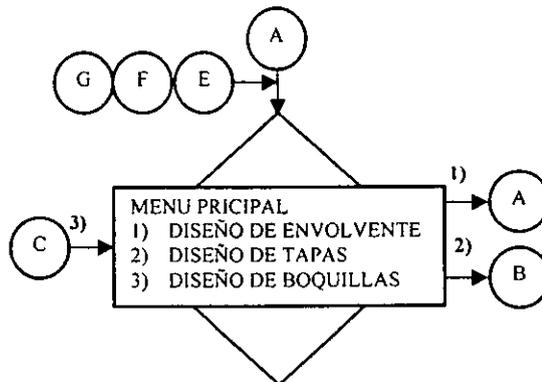
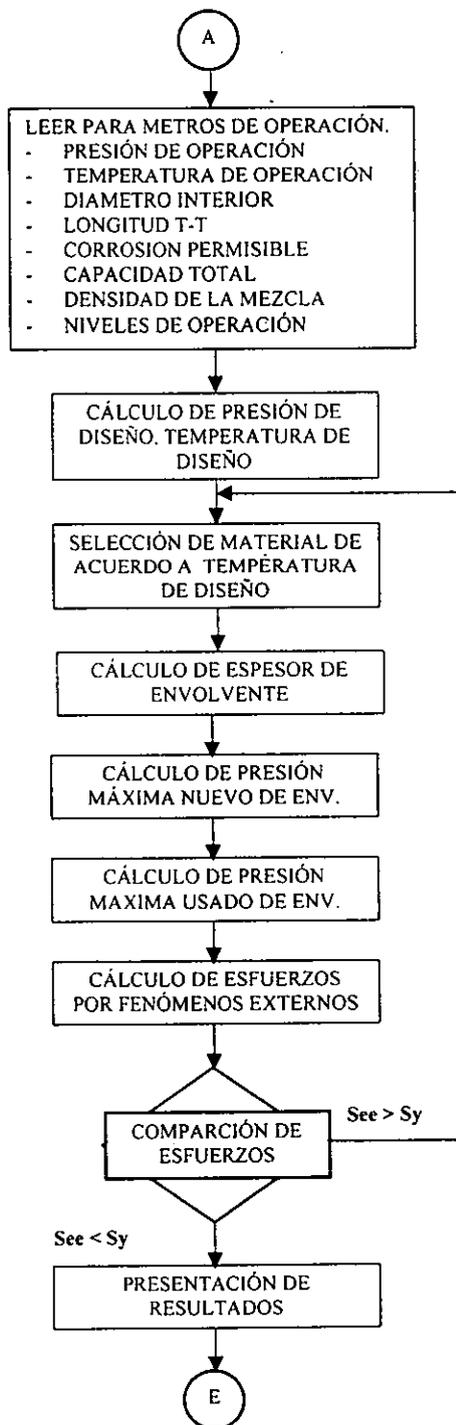
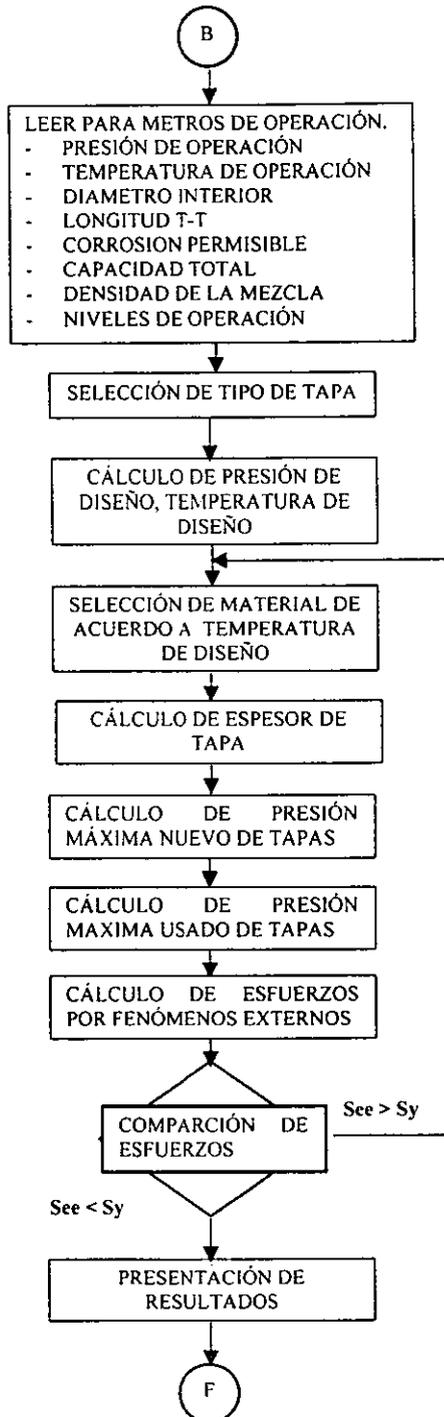
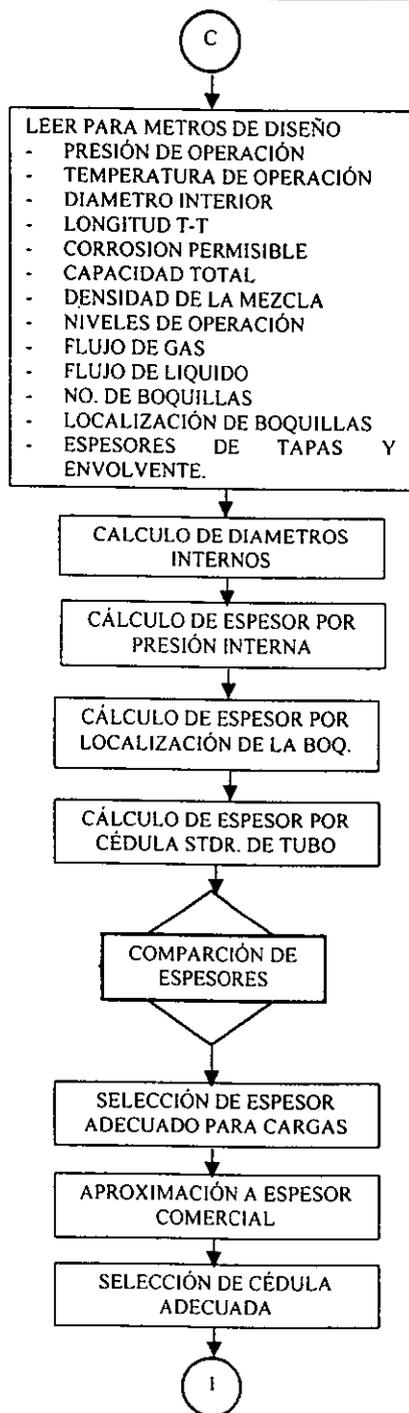


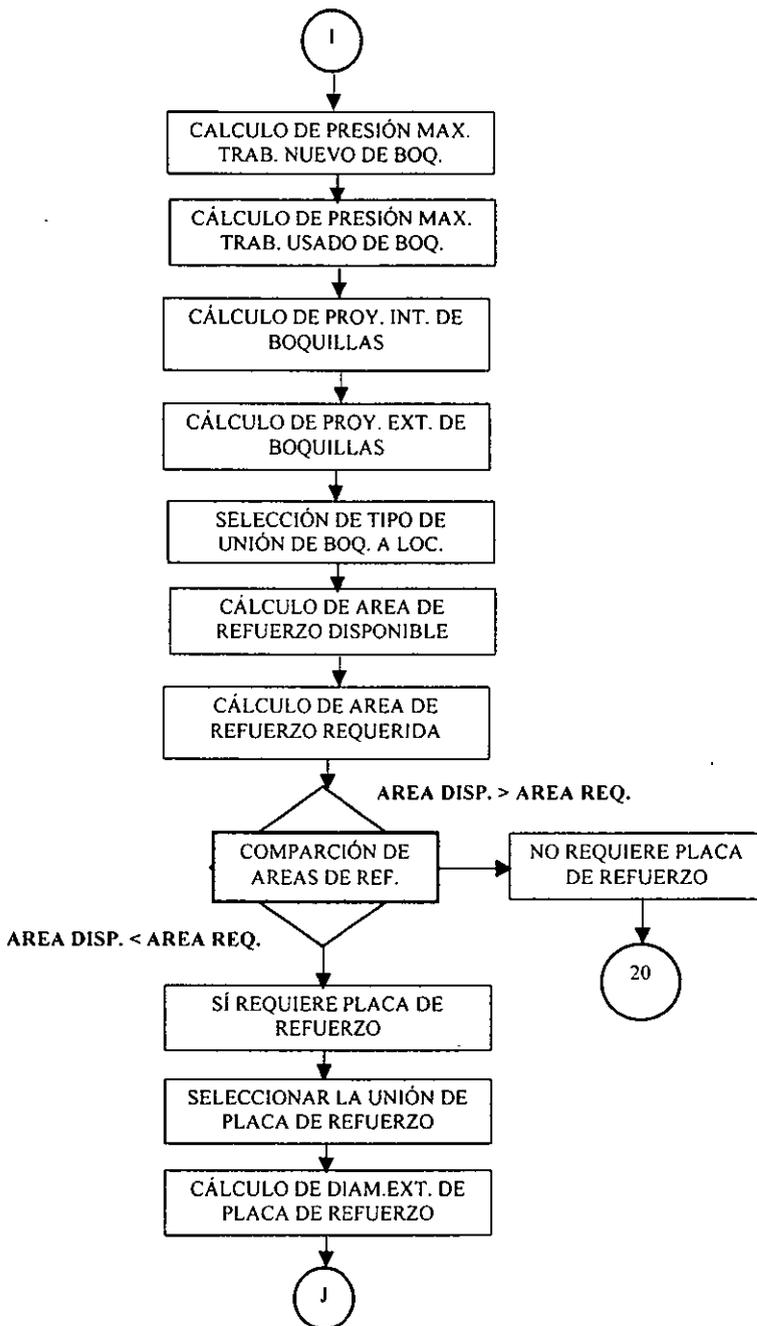
Diagrama de flujo, para el cálculo en forma parcial de separadores de mezclas de hidrocarburos.

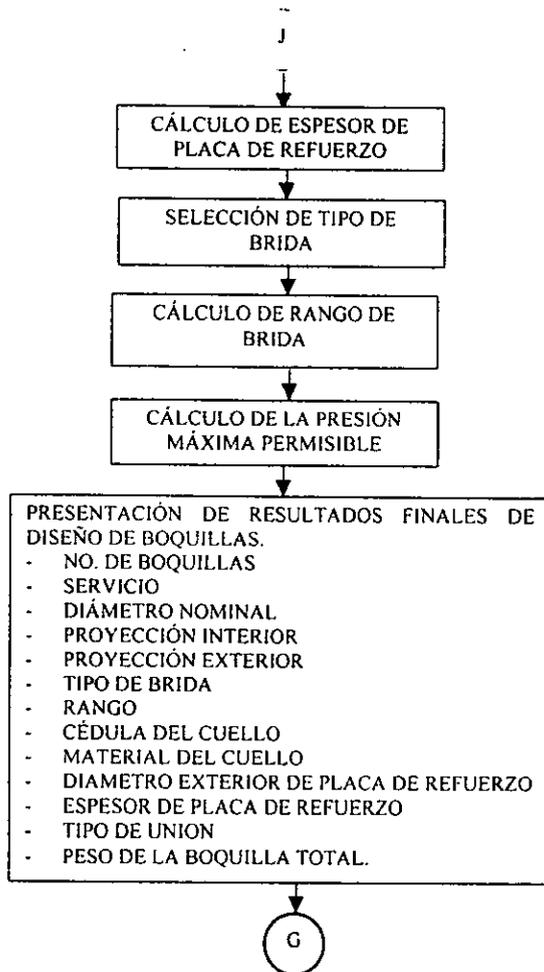












### 6.2 INTEGRACION DE PROGRAMA DE COMPUTO.

Teniendo el desarrollo del diagrama de flujo de las diferentes etapas de diseño del equipo separador de mezclas de hidrocarburo, se procede a integrar esta secuencia de cálculo a un código de programación para PC's. En la actualidad, con el desarrollo nuevos programas y sistemas computacionales, la mayoría de estas tecnologías se desarrolla en ambiente Windows, por esta razón el programa desarrollado en este trabajo de tesis se integrará en un lenguaje que funcione bajo este sistema mencionado.

Después de hacer un análisis comparativo, el lenguaje de programación seleccionado para integrar la secuencia de cálculo desarrollado en los diagramas de flujo es el Lenguaje Visual Basic ver. 4.0 Prof. por su versatilidad, compatibilidad con otros sistemas y fácil manejo para bases de datos, en la siguiente pagina se muestra la tabla comparativa que se realizó para seleccionar el lenguaje de programación.

Teniendo una selección del lenguaje de programación y los diagramas de flujo de la secuencia de cálculo, se procede a integrar el código respectivo, para el desarrollo del programa de computo. En el apéndice se muestra el código en lenguaje Visual Basic ver. 4.0 que compone el programa desarrollado, el cual es nombrado DISEMEZ.

**CAPITULO 6. ELABORACION DE DIAGRAMAS DE FLUJO**

---

FACTOR	LENGUAJE	LENGUAJE
	VISUAL "C"	VISUAL BASIC
Fácil manipulación de variables.	0	1
Versatilidad en funciones para el manejo de variables.	0	1
Compatibilidad con otros programas, especialmente con AutoCad.	1	0
Sistema amigable, para los usuarios del lenguaje.	0	1
Versatilidad en herramientas, para aplicaciones especiales.	1	0
Compatible para maquinas PCs, con procesador 486	1	1
<b>CALIFICACION</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

## **CAPITULO 7. INTEGRACION DE RESULTADOS AL SISTEMA DE GRAFICOS**

### **7.1 PLANO DE ARREGLO GENERAL.**

El plano de "Arreglo General" muestra a detalle la distribución de los diferentes componentes del equipo separador, como son: envolvente, tapas, boquillas, secciones de separación (Elementos Internos), silletas, orejas de izaje, y nos presenta el dimensionamiento del equipo, así también tres tablas, una de ellas contiene las condiciones de operación y de diseño otra de ellas una lista del número de boquillas, servicio de cada una de ellas, condiciones de operación de las conexiones y la última tabla muestra un listado de las partes que constituye el equipo separador.

Este plano se emplea como herramienta para la construcción de estos equipos, así también para la rehabilitación de los separadores de mezclas de hidrocarburos. Es muy importante que la información contenida en estos dibujos sea clara y precisa, para que el empleo de los datos de estos planos no sea confuso y no exista conflicto en la interpretación de esta información.

En la figura no. 28 se muestra un ejemplo del plano de "Arreglo General" de un equipo típico de separadores de mezclas de hidrocarburos.

### **7.2 PLANO DE DETALLE DE INTERNOS.**

En este plano se muestran todo los detalles de las partes internas del equipo, como son uniones, distribución en el interior del recipiente, forma geométrica de los paquetes de separación y detalles de fabricación. (fig no. 29)

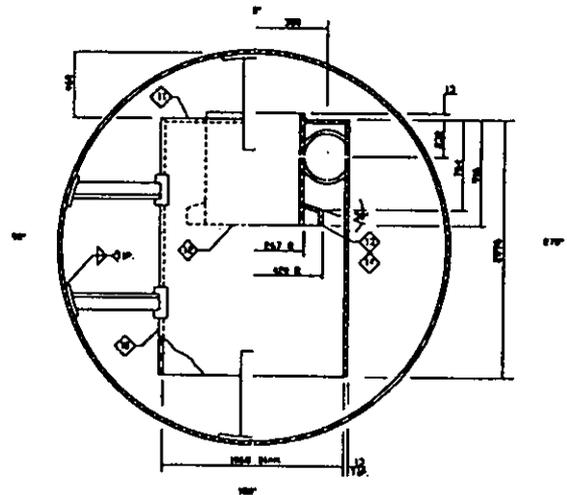
### **7.3 PLANO DE REGISTRO DE HOMBRE.**

Como se puede observar en la figura no. 30, esta minuciosamente detallado el diseño de un registro de hombre, este dibujo, se encuentra estandarizado, y se selecciona de acuerdo al tamaño del recipiente, principalmente.

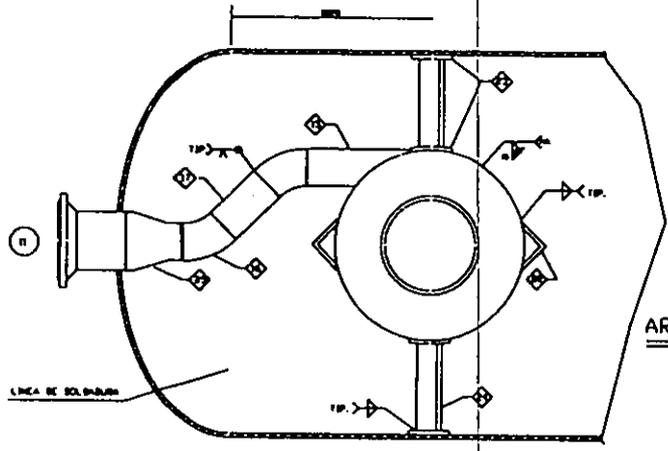
### **7.4 PLANO DE PLACA DE DATOS**

Los parámetros de operación y los datos de diseño del equipo, que se fue generando en la memoria de cálculo del programa, se vacía en este plano (fig. no. 31), el cual se emplea para la fabricación de una placa de datos única, solo para el equipo correspondiente para el plano de fabricación del equipo de separación.



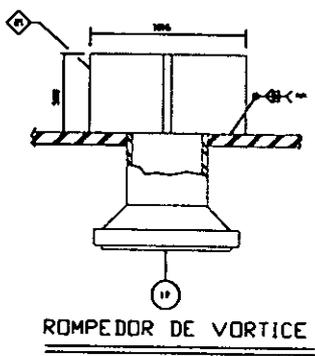


CORTE " B - B "

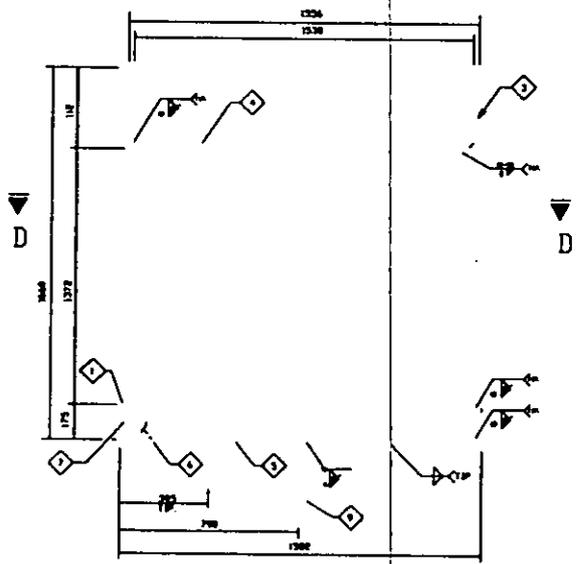


ARREGLO DEL CICLON

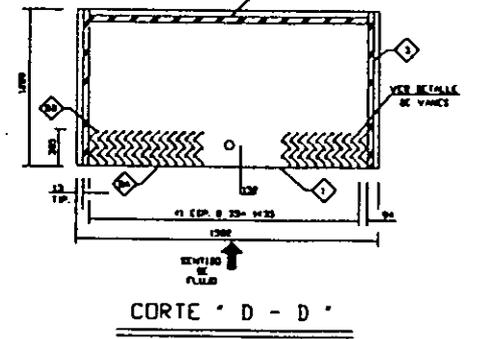
- |    |                        |    |            |
|----|------------------------|----|------------|
| 1  | PLACA BASE             | 1  | SA-240-264 |
| 2  | PLACA POSTERIOR        | 1  | SA-260-70  |
| 3  | PLACA SELLO FRONTAL    | 1  | SA-260-70  |
| 4  | PLACA SUPERIOR         | 1  | SA-240-264 |
| 5  | PLACA SOPORTE INTERIOR | 1  | SA-260-70  |
| 6  | PLACA SOPORTE LATERAL  | 2  | SA-260-70  |
| 7  | PLACA SOPORTE FRONTAL  | 2  | SA-260-70  |
| 8  | LAMINA PARA "VANES"    | 80 | SA-240-264 |
| 9  | TUBO PARA BOCHE        | 1  | SA-180-0   |
| 10 | CONO VORTICE CICLON    | 1  | SA-260-70  |
| 11 | TAPA CICLON            | 1  | SA-260-70  |
| 12 | CILINDRO INTERNO       | 1  | SA-260-70  |
| 13 | CILINDRO EXTERNO       | 1  | SA-260-70  |
| 14 | TAPA CILINDRO          | 1  | SA-260-70  |
| 15 | TUBO CORTINA CICLON    | 1  | SA-180-0   |
| 16 | CONO PARA CONEXION     | 2  | SA-224-VF2 |
| 17 | TUBO INTERCONEXION     | 1  | SA-180-0   |
| 18 | CONO DE APOYO          | 2  | SA-260-70  |
| 19 | PLACA DE APOYO         | 2  | SA-260-70  |
| 20 | PLACA SOPORTE OLAS     | 2  | SA-260-70  |
| 21 | ROMPEDOR DE VORTICE    | 2  | SA-260-70  |
| 22 | SOPORTE VERTICAL       | 4  | SA-260-70  |
| 23 | PLACA PARA SOPORTE     | 12 | SA-260-70  |
| 24 | SOPORTE HORIZONTAL     | 4  | SA-260-70  |
| 25 | REDUCCION              | 1  | SA-224-VF2 |



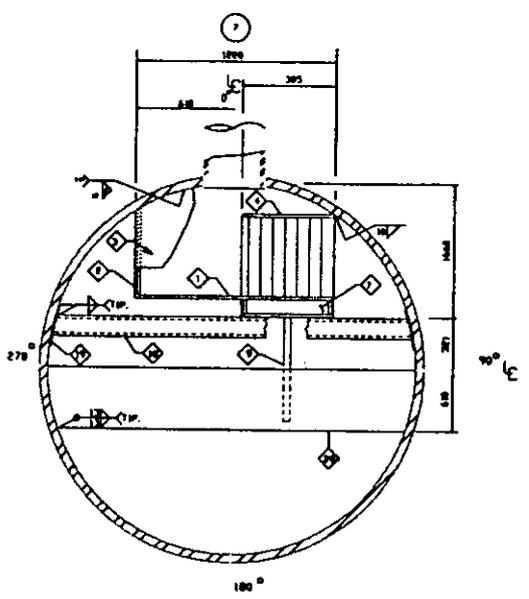
ROMPEDOR DE VORTICE



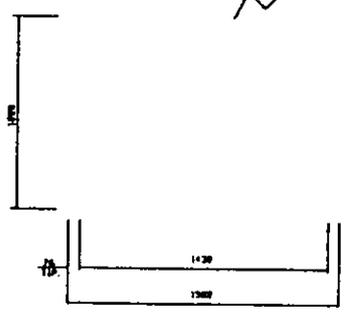
PAQUETE DE VANES



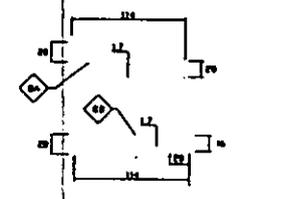
CORTE " D - D "



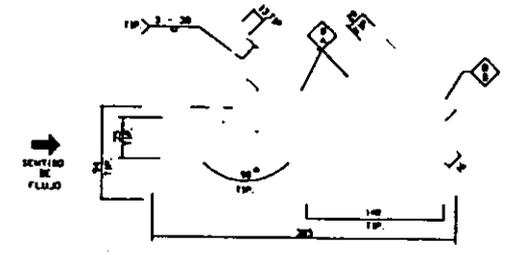
CORTE " C - C "



PLACA BASE



DESARROLLO DE VANES



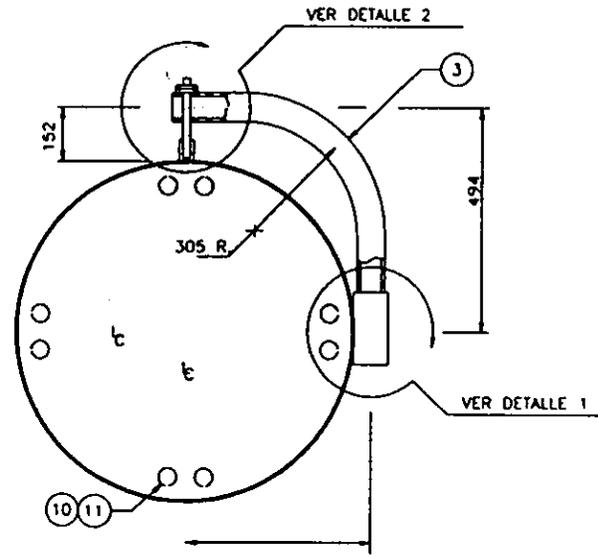
DETALLE DE VANES

ANEXO B: RECONSTRUCCION DE LA PLACA DE SELLO FRONTAL DEL CICLON Y SOPORTE DE REFERENCIA		LISTA DE CAMBIOS		DESCRIPCION		EDICION		FECHA		AUTORIZACION		OBSERVACIONES	

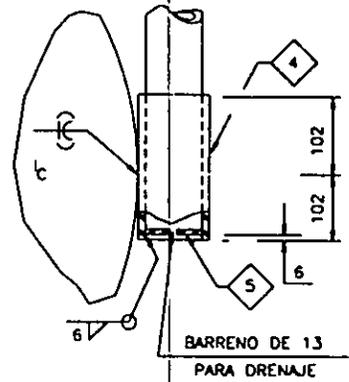
SCHMIDT LIQUID - GAS  
 EDUARDO JIMENEZ LARA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 TESIS PROFESIONAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 DETALLES DE INTERNOS

CLAVE: 1878  
 ESCALA: 1/10  
 DISEÑO: M  
 DIBUJO: B

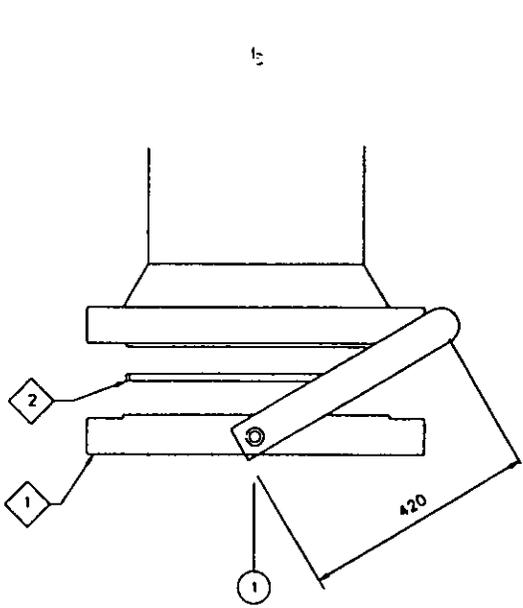


VISTA FRONTAL

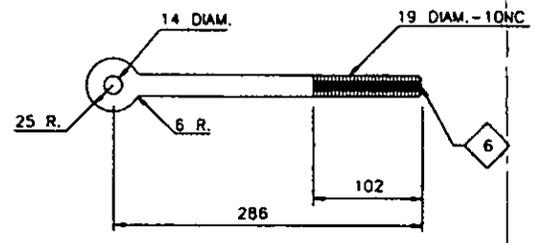


DETALLE 1

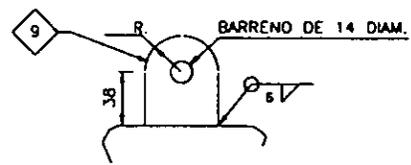
LISTA DE PARTES			
No. DE PARTES	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL
1	TAPA TIPO CARA REALIZADA	1	SA-105
2	EMPAQUE FLEXIBLE CO.	1	AC. INOX.
3	TUBO PARA PESCANTE	1	SA-53
4	SOPORTE DE PESCANTE	1	SA-53
5	TAPA DE SOPORTE	1	SA-36
6	PERNO DE OJO	1	SA-36
7	TUERCA HEXAGONAL	2	SA-194-2H
8	ARRANDELA PLANA	1	SA-36
9	OREJA DE IZAJE	2	SA-36
10	ESPAARROS	20	SA-193-87
11	TUERCA HEXAGONALES	40	SA-194-2H
12	TORNILLO HEXAGONAL	1	SA-193-87
13	TAPA PARA PESCANTE	1	SA-36



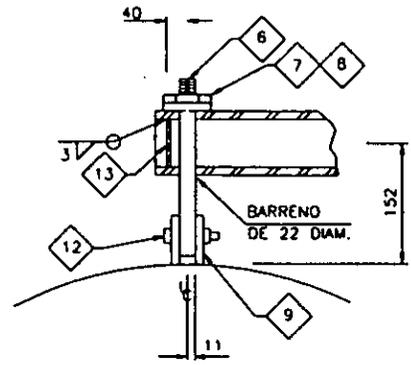
VISTA SUPERIOR



PERNO

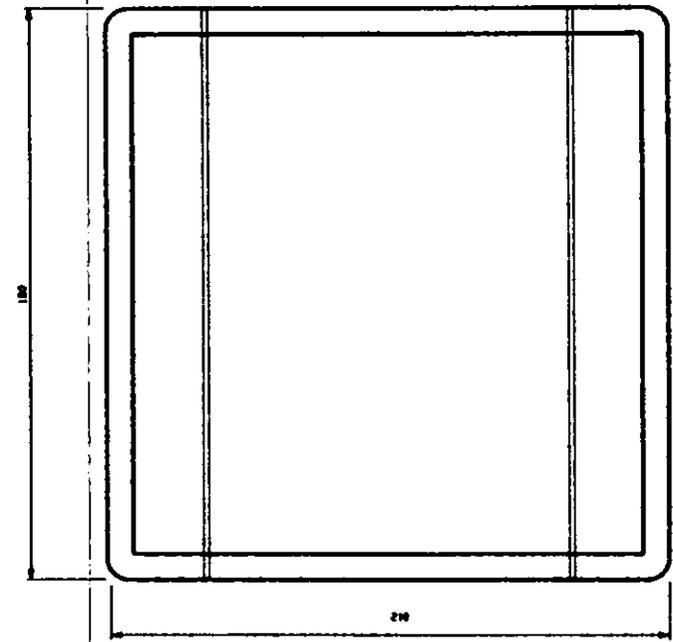
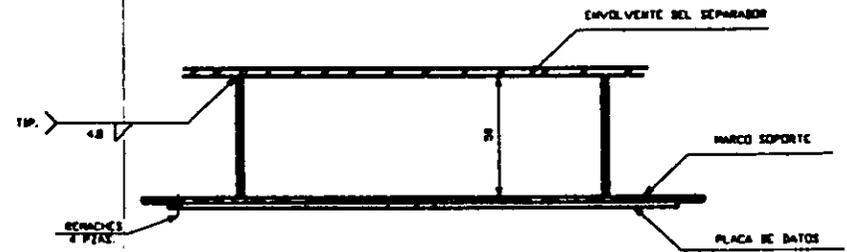
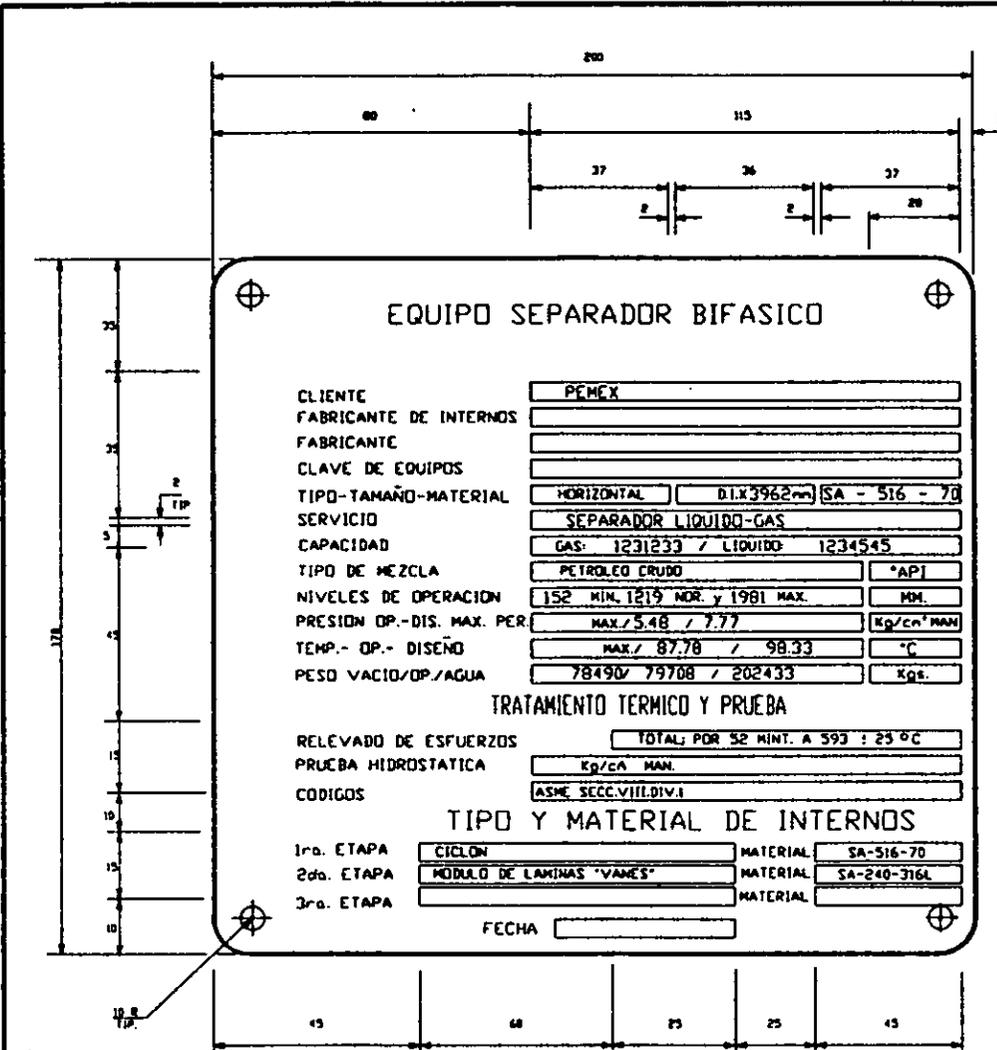


OREJA DE IZAJE



DETALLE 2

SEPARADOR LIQUIDO - GAS										3962.4		CLAVE : 12192				
EDUARDO JIMENEZ LARA																
FACULTAD DE INGENIERIA TESIS PROFESIONAL																
REV.	DESCRIPCION	DOB.	VER.	SPVR.	INC. ESP.	J. DEPTO.	J. DIV.	COORDINATE	J. PROJ.	FECHA	QUENTE	FECHA	ESC. ACOT.	SIN MAL.	Dir. No.	REV. 0



**NOTAS**

- 1- LOS MATERIALES UTILIZADOS SON:  
PLACA - AL. 1/16" (1.6 mm) DE ESPESOR MÍNIMO  
MARCO - ACERO AL CARBON ESPESOR DE 3/16" (4.8 mm)
- 2- LA SUPERFICIE EN RELIEVE DEBEA ESTAR ESMERILADA
- 3- EL GRABADO DEBEA TENER 1/16" DE PROFUNDIDAD Y ESTAR RELLENADO CON ESMALTE NEGRO
- 4- LAS LETRAS DEBERAN SER MAYUSCULAS
- 5- TODA LA SUPERFICIE DEBEA TENER UN RECUBRIMIENTO DE PLASTICO BURRO O SIMILAR.
- 6- USAR REMANOS DE ACERO INDEFORMABLE DE 60 o mm PARA SUJETAR LA PLACA DE DATOS.

PLACA DE DATOS

REV.	DESCRIPCION	DIB.	VER.	SPVR.	ING. ESP.	DEPTO.	DIR.	GERENTE	PROY.	FECHA CLIENTE	FECHA

EDUARDO JIMENEZ LARA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL

INICIADO EL  
APROBADO FECHA

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**PLACA DE DATOS**

REV. 0

## CAPITULO 8. EJEMPLO NUMERICO.

MEMORIA DE CÁLCULO.• DATOS DE OPERACIÓN.

$$P_o = 5.5 \text{ Kg / cm}^2 = 78 \text{ psi}$$

$$T_o = 88 \text{ }^\circ\text{C} = 190 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q_L = \text{Hidrocarburo} = 17067 \text{ lpm} = 10.045 \text{ pie}^3 / \text{seg}$$

$$\rho_L = 0.893 \text{ gr / cm}^3 = 0.03226 \text{ lbs / pulg}^3$$

$$Q_V = \text{hidrocarburo} = 10.3 \text{ m}^3 / \text{seg} = 364 \text{ pie}^3 / \text{seg}$$

$$\rho_V = 0.004 \text{ gr / cm}^3 = 1.4452 \times 10^{-4} \text{ lbs / pulg}^3$$

$$D_i = 3962 \text{ mm} = 156 \text{ pulg}$$

$$L = 12192 \text{ mm} = 480 \text{ pulg}$$

$$C_T = 152312 \text{ lts.}$$

$$N_{mi.} = 152 \text{ mm} = 6 \text{ pulg}$$

$$N_{no.} = 1220 \text{ mm} = 48 \text{ pulg}$$

$$N_{ma.} = 1981 \text{ mm} = 78 \text{ pulg}$$

• DATOS DE DISEÑO

$$\text{Si } P_o > 300 \text{ psi, entonces: } P_d = 1.1 \times P_o$$

$$P_o < 300 \text{ psi, entonces: } P_d = P_o + 30 \text{ psi}$$

Como minimo  $P_d = 75 \text{ psi}$

$$P_d = 78 + 30 = 108 \text{ psi} *$$

\* Estos resultados se aproximan a valores cerrados próximos inmediatos

$$P_d = 110 \text{ psi}$$

$$D_i = 156 \text{ pulg}$$

$$L_{T,T} = 480 + 4 = 484 \text{ pulg}$$

$$P_{dext} = 2.5 \text{ psi}$$

Inspección Rx = Total en envoltente y tapas, E = 1.0 en envoltente y tapas

Corrosión: C = 0.125 pulg

Material para envoltente y tapas : SA - 516 - 70

Tipo de tapas : Semi-elíptica 2:1

Material para soportes : SA - 283 - C

• Cálculo de espesor de envoltente.

$$\text{Espesor mínimo por ASME} = 3/32 + C = 0.094 + 0.125 = 0.219 \text{ pulg}$$

a) Espesor de envoltente.

Cálculo de presión hidrostática.

$$P_h = 48 \times 0.03226 = 1.54 \text{ psi} \text{ ----- Presión Hidrostática}$$

$$P_d = 110 + 1.54 = 111.54 \text{ psi} \text{ ----- Presión de diseño corregida}$$

Sustituyendo en la Ec. 3

$$t_s = \frac{111.54 \times (78 + 0.125)}{(17500 \times 1) - (0.6 \times 111.54)} + 0.125 = 0.6248 \text{ pulg}$$

Aproximando este valor al espesor comercial que es de  $t_{sc} = 5/8 = 0.625 \text{ pulg}$

b) Máxima presión permisible. (nuevo). Sustituyendo en la Ec. 4

$$P_N = \frac{17500 \times 1 \times 0.625}{78 + (0.6 \times 0.625)} = 139.55 \text{ psi}$$

c) Máxima presión permisible de trabajo (usado) ó corroído.

Sustituyendo en la Ec. 5

$$P_u = \frac{(17500 \times 1 \times 0.5)}{78.125 + (0.6 \times 0.5)} = 111.57 \text{ psi}$$

• Cálculo de espesor de tapas.

a) Espesor de tapas. Sustituyendo en la Ec. 6

$$t_r = \frac{111.54 \times 156}{(2 \times 17500 \times 1) - (0.2 \times 111.54)} + 0.125 = 0.622 \text{ pulg}$$

Aproximando este valor al espesor comercial que es de  $t_{TC} = 5/8 \text{ pulg} = 0.625 \text{ pulg}$

b) Máxima presión permisible (nuevo). Sustituyendo en la Ec. 7

$$P_{NT} = \frac{(2 \times 17500 \times 0.625)}{156 + (0.2 \times 0.625)} = 140.112 \text{ psi}$$

c) Máxima presión permisible de trabajo (usado) ó corroído.

Sustituyendo en la Ec. no. 8

$$P_{UT} = \frac{(2 \times 17500 \times 1 \times 0.5)}{156.25 + (0.2 \times 0.5)} = 111.93 \text{ psi}$$

• Cálculo de boquillas.

a) Boquilla No. 11

Alimentación de la mezcla, localización en la tapa, 8 pulg de diámetro nominal

1.- Espesor calculado:

$$t_{cal} = \frac{111.54 \times (4 + 0.125)}{(15000 \times 1) - (0.6 \times 111.54)} + 0.125 = 0.156 \text{ pulg}$$

2.- Espesor de localización:-  $t_{loc} = 0.625 \text{ pulg}$

3.- Espesor de tubo estandar:  $t_{std} = 0.322 + 0.125 = 0.447 \text{ pulg}$

De acuerdo a la norma UG-45 del código ASME sec VIII div. 1

El valor menor de 2. y 3. es 0.447 pulg. El mayor de este valor y 1 es: 0.447 pulg

Espesor Adecuado = 0.447 pulg

Tubo ced XS esp. 0.5 pulg, **REF. [7] pag 322**

Presión máxima permisible de trabajo = 1121 psi

b) Boquilla No. 7

Salida de gas, localización en la envolvente, 6 pulg de diámetro nominal

1.-

$$t_{cal.} = \frac{11154x(3+0.125)}{(15000x1) - (0.6x11154)} + 0.125 = 0.148 \text{ pulg}$$

2.- Espesor de localización:-  $t_{loc.} = 0.625 \text{ pulg}$

3.- Espesor de tubo estandar:  $t_{std.} = 0.28 + 0.125 = 0.405 \text{ pulg}$

De acuerdo a la norma UG-45 del código ASME sec VIII div. 1

El valor menor de 2. y 3. es 0.405 pulg. El mayor de este valor y 1 es: 0.405 pulg

Espesor Adecuado = 0.405 pulg

Tubo ced XS esp. 0.432 pulg, **REF. [7] pag 322**

Presión máxima permisible de trabajo = 1181 psi

c) Cálculo de espesor de Registro de Hombre.

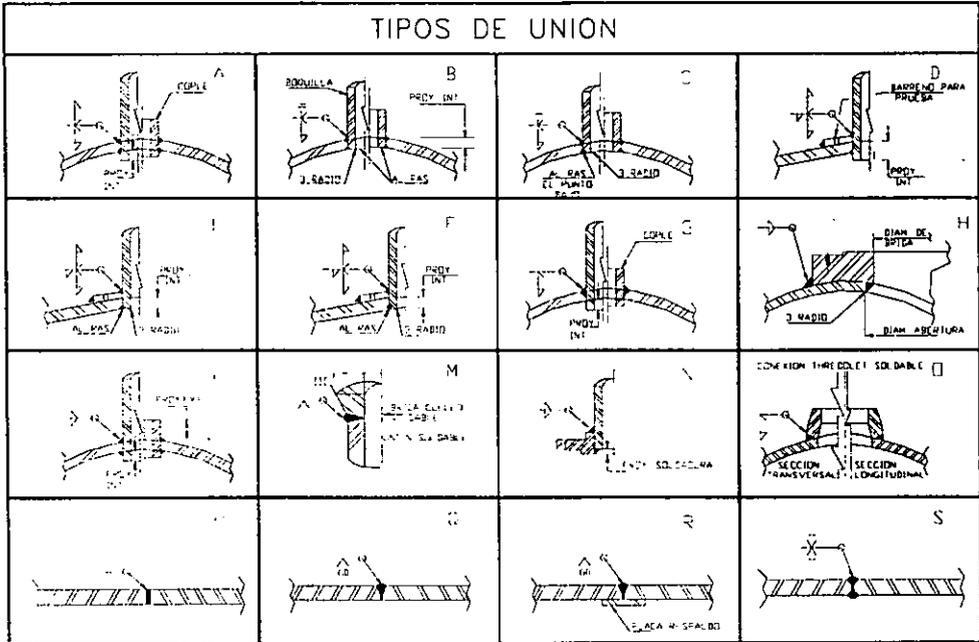
$$t_{RH} = \frac{11154x(12+0.125)}{(15000x1) - (0.6x11154)} + 0.125 = 0.216 \text{ pulg}$$

Este espesor se aproxima al valor comercial que es de 0.25 pulg, tubo de ced. 10

Se listan los resultados de las siguientes boquillas calculadas:

No.Boq.	Diam. Pulg.	Esp. Calc. Pulg.	Esp. Loc. Pulg.	Esp. Stdr. Pulg.	Ced.	Esp. Boq. Pulg.	Pres. Max. Psi
8	1.5	0.1306	0.654	0.27	160	0.281	5035.24
18	6	0.147	0.654	0.405	XS	0.432	2064
31	2	0.1324	0.654	0.279	160	0.343	4898.6
35	2	0.1324	0.654	0.279	160	0.343	4898.6
36	1.5	0.1306	0.654	0.27	160	0.281	3035.24
40	1.5	0.1306	0.654	0.27	160	0.281	3035.24
46	2	0.1324	0.654	0.279	160	0.343	4898.6
47	2	0.1324	0.654	0.279	160	0.343	4898.6
33	2.5	0.1343	0.654	0.328	160	0.375	4368.9

- Selección de tipo de unión de la boquilla al cuerpo del recipiente.



No. Boq.	Servicio	Diam. Nom.	Tipo de union	Area Requerida pulg <sup>2</sup>	Area Disponible pulg <sup>2</sup>
1	Registro de Hombre	24	C	14.375	2.495
7	Salida de Gas	6	E	3.6	2.08
8	Venteo	1.5	E	0.835	1.137
11	Alimentación de la mezcla	8	A	4.765	2.26
18	Salida del líquido	6	E	3.6	2.08

CAPITULO 8. EJEMPLO NUMERICO

31	Drene	2	C	1.055	2.08
35	Conexión de Servicio	2	B	1.055	1.574
36	Indicador de Presión	1.5	B	0.835	1.231
40	Indicador de Temperatura	1.5	B	0.835	1.231
46 A	Instrumento de Nivel	2	B	1.055	1.574
46 B	Instrumento de Nivel	2	B	1.055	1.574
33	Válvula de Seguridad	2.5	B	1.328	1.779

No Boq.	Análisis	Requiere Refuerzo	Diámetro de la placa de refuerzo (pulg)	Espesor de la placa de refuerzo (pulg)
1	Ar>Ad	SI	43.56	0.625
7	Ar>Ad	SI	9.06	0.625
8	Ar<Ad	NO	-----	-----
11	Ar>Ad	SI	12.63	0.625
18	Ar>Ad	SI	9.06	0.625
31	Ar<Ad	NO	-----	-----
35	Ar<Ad	NO	-----	-----
36	Ar<Ad	NO	-----	-----
40	Ar<Ad	NO	-----	-----
46	Ar<Ad	NO	-----	-----

47	Ar<Ad	NO	-----	-----
33	Ar<Ad	NO	-----	-----

• Cálculo de Presión de Prueba.

Selección de la presión permisible máxima del equipo.

$$P_U = 111.57 \text{ psi} \text{ ----- Cuerpo}$$

$$P_{UT} = 111.93 \text{ psi} \text{ ----- Tapas}$$

$$P_{IB} = 1121 \text{ psi} \text{ ----- Boquillas}$$

El valor menor es de 111.57 psi redondeando a 112 psi, por lo cual el cuerpo es el elemento que gobierna la presión permisible máxima del equipo, con este valor se calcula la presión de prueba.

$$P_p = P_d \times 1.5 \times \left( \frac{S_{ta}}{S_{td}} \right)$$

Donde:  $S_{ta}$  : Esfuerzo a tensión del material a temperatura ambiente

$S_{td}$  : Esfuerzo a tensión del material a temperatura de diseño.

$$\frac{S_{ta}}{S_{td}} = 1$$

$$P_p = 111.54 * 1.5 * 1$$

$$P_p = 167.31 \text{ psi}$$

• Cálculo de Pesos.

a) Volumen total de la envolvente

Cálculo de volumen de envolvente. Sustituyendo valores en la Ec. 24

$$V_C = (3.1416 / 4) (156)^2(484) = 9250909.657 \text{ plg}^3$$

$$V_C = 5353.54 \text{ ft}^3$$

Cálculo de volumen de tapas. Sustituyendo valores en la Ec. 25

$$V_{SE} = 0.2618 \times (156)^3$$

$$V_{SE} = 993901.70 \text{ plg}^3, \quad V_{SE} = 575.17 \text{ ft}^3$$

Cálculo de volumen total del recipiente.

$$V_T = V_C + (2 \times V_{SE})$$

$$V_T = 11238713.06 \text{ plg}^3, \quad V_T = 6503.88 \text{ ft}^3, \quad V_T = 184189.882 \text{ Its}$$

b) Volumen en operación

$$N_{no} = 48 \text{ plg}$$

$$V_C = 5353.54 \text{ ft}^3$$

$N_{no} / D_i = 48 / 156 = 0.307$ , De la REF. [7] pag. 192 se obtiene el coeficiente

$$C_C = 0.260512$$

Volumen parcial de la envolvente

Sustituyendo en la Ec. 26 :  $V_{PC} = (5353.54)(0.260512) = 1394.66 \text{ ft}^3$

Volumen parcial de las tapas 2:1,  $V_{SE} = 575.17 \text{ ft}^3$

$N_{no} / D_i = 0.307$  , coeficiente:  $C_{SE} = 0.224879$ , REF.[ 7] pag. 196

Sustituyendo en la Ec. 27 :  $V_{PSE} = (575.17)(0.224879)$ ,  $V_{PSE} = 129.34 \text{ ft}^3$

Volumen parcial total del recipiente.

$$V_{PT} = 1394.66 + 129.34 + 129.34 \qquad V_{PT} = 1653.34 \text{ ft}^3$$

$$V_{PT} = 2856971.52 \text{ plg}^3$$

c) Peso vacío

- Peso de la envolvente.

De la REF. [7] pags. 197-203, se obtiene el valor de 1119 lbs / ft

$$W_C = ( 1119 \text{ lbs / ft } ) \times ( 40.33 \text{ ft } )$$

$$W_C = 45129.27 \text{ lbs}$$

- Peso de las dos tapas 2:1

$$W_{SE} = 13000 \text{ lbs, REF. [7] pags. 197-203}$$

Peso de las boquillas, (REF. 7 pp. 376, 381)

No. Boq.	Cantidad	Peso boquilla lbs.
1	1	860
7	1	218
8	1	75
11	1	476
18	1	590
31	1	134
35	1	134
36	1	75
40	1	75

46	1	134
47	1	134
33	1	248

**Peso total de boquillas : 3153 Lbs.**

Peso de Internos = 8500 lbs

Peso de Silletas = 8360 lbs

Peso total en vacío:  $W_{\text{VACIO}} = 44760 + 13000 + 3153 + 8500 + 8360$

**$W_{\text{VACIO}} = 77773 \text{ lbs}$**

d) Peso lleno de agua

$$W_{\text{TA}} = W_{\text{vacio}} + W_{\text{agua}} + W_{\text{INT}}$$

$$W_{\text{agua}} = V_T \times \rho_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$W_{\text{agua}} = (6503.88 \text{ ft}^3) (62.28 \text{ lbs / ft}^3), \quad W_{\text{agua}} = 405061.64 \text{ lbs}$$

$$W_{\text{TA}} = 77773 + 405061.64 + 8500 \text{ lbs}$$

**$W_{\text{TA}} = 491334.64 \text{ lbs}$**

e) Peso en operación

$$W_{\text{TO}} = W_{\text{vacio}} + W_{\text{aceite}} + W_{\text{INT}}$$

$$W_{\text{aceite}} = V_{\text{PT}} \times \rho_{\text{ACEITE}}$$

$$W_{\text{aceite}} = (2856971.52 \text{ plg}^3) \times (0.03556 \text{ lb/plg}^3) = 101593.91 \text{ lbs}$$

$$W_{\text{TO}} = 77773 + 101593.91 + 8500 \text{ lbs}$$

**$W_{\text{TO}} = 187866.91 \text{ lbs}$**

f) Carga máxima por silleta

$$Q = \frac{W_{TA}}{\text{No. Silletas}}$$

$$Q = \frac{491334.64}{2} = 245667.32 \text{ (lbs)}, \text{ aproximando a } 246000 \text{ lbs}$$

Cálculo de Silletas de Soporte. REF. [13] pag. 119

	Símbolo	Valor	Unidad
Presión de diseño	Pd	111.54	psi
Peso Total recipiente (Lleno de agua)	$W_{TA}$	491 334	lbs
Máxima Carga por silleta	Q	246000	lbs
Radio exterior de recipiente	$R_o$	78.625	plg
Espesor de pared del recipiente (corroído)	$t_c$	0.5	plg
Esfuerzo permisible del material de construcción	S	17500	psi
Centro de silleta a línea de tangencia	A	72	plg
Angulo de contacto de silleta	$\alpha$	120°	
Profundidad en tapa	H	42	plg
Ancho de silletas	b	12	plg
Distancia entre silletas	$L_s$	340	plg
Longitud T-T recipiente	$L_{T-T}$	484	plg
Altura al centro del recipiente	$L_c$	86	plg
Altura de silleta	hs	7 3/8	plg
Velocidad del viento (regional)	$V_r$	154	Millas / hr

*Coeficiente de exposición	Ce	1.6	
*Factor de importancia	Fi	1.05	
*Factor de forma	Cf	0.8	
*Factor de respuesta de ráfaga	Gh	1.4	
*Zona sísmica		B	
*Factor de ductilidad	Qu	6	
*Coeficiente sísmico	Csi	0.24	

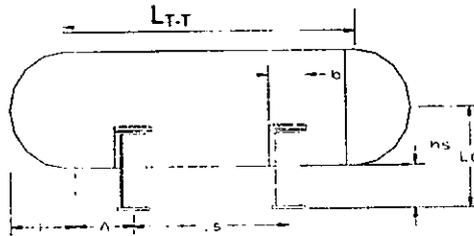


FIG. No. 29 ESQUEMA DEL RECIPIENTE.

1. Fuerzas de viento sobre el recipiente.

$$V_r = 154 \text{ Mi / hr}$$

Estructuras Grupo A --- Sonda de Campeche, REF.[4] pag. 1.4.9

Zona Eólica = 4, REF. [4] pag. 1.4.9

Factor de Topología  $F_{TO} = 1.0$ , REF. [4] pag. 1.4.11

Sustituyendo en la Ec 62

$$V_B = 154 \times 1.0 = 154.0 \text{ Mi / hr} \text{ --- Velocidad básica del viento}$$

Categoría de exposición = Ce, REF. [4] pag. 1.4.8

$$Ce = 1.6$$

- Altura de la plataforma al nivel del mar.

Altura de Posición:  $A_{NM} = 100$  pies

Factor de Importancia  $F_i = 1.05$

Factor de reducción de densidad. Sustituyendo en la Ec. 63

$$G = \frac{8 + 100}{8 + (2 \times 100)} = 0.52$$

Presión de diseño por viento. Sustituyendo en la Ec. 64

$$P_v = 0.00256 \times 1.6 \times (1.05 \times 154)^2$$

$$P_v = 107.30 \text{ lbs / ft}^2 = 525 \text{ Kg / m}^2$$

2.- Fuerza longitudinal del viento

Area proyectada. Sustituyendo en la Ec. 65

$$A_f = \frac{3.1416 \times (157.25)^2}{4} = 19421.02 \text{ plg}^2$$

$$A_f = 134.86 \text{ ft}^2$$

Sustituyendo en la Ec. 66

$$F_{vL} = 134.86 \times 0.8 \times 0.52 \times 107.3 = 6019.72 \text{ lbs}$$

$$F_{vL} = 6019.72 \text{ lbs}$$

3.- Fuerza Transversal del viento

Area proyectada. Sustituyendo en la Ec. 67

$$A_f = 157.25 \times (484 + (2 \times 42))$$

$$A_f = 89318 \text{ plg}^2, \quad A_f = 620.26 \text{ ft}^2$$

Sustituyendo en la Ec. 68

$$F_{vT} = 620.26 \times 0.52 \times 107.3 \times 0.8 \times 0.5$$

$$F_{VT} = 13843.21 \text{ lbs}$$

4.- Fuerzas de sismo sobre el recipiente.

Zona sísmica B, REF. [5] pag. 1.3.9

Factor de ductilidad  $Q_U = 6$ , REF. [5] pag. 1.3.15

Coefficiente sísmico  $C_{Si} = 0.24$ , REF. [5] pag. 1.3.13

Coefficiente de diseño sísmico, Sustituyendo en la Ec. 69

$$C_s = 0.24 / 6 = 0.04$$

5.- Fuerza Sísmica Longitudinal, Sustituyendo en la Ec.70

$$F_{SL} = 0.04 \times 491334.64$$

$$F_{SL} = 19\ 653.38 \text{ lbs}$$

6.- Fuerza Sísmica Transversal, Sustituyendo en la Ec.71

$$F_{ST} = 0.04 \times (491334.64 / 2)$$

$$F_{ST} = 9826.69 \text{ lbs}$$

Las cargas por sismo rigen el diseño.

7.- Reacción de la silleta.

Carga máxima por silleta

$$Q = 245\ 667.32 \text{ lbs}$$

$$F_{VL} < F_{SL} \text{ entonces } F_L = 19653.38 \text{ Lbs}$$

$$F_{VT} > F_{ST} \text{ entonces } F_T = 13843.21 \text{ Lbs}$$

a) Reacción longitudinal. Sustituyendo en la Ec.73

$$Q_L = 245\ 667.32 + (19653.38 \times (86 / 340)),$$

$$Q_L = 250638.47 \text{ lbs}$$

Reacción transversal. Sustituyendo en la Ec.74

$$Q_T = 245\,667.32 + (6 \times 13843.21 \times (\frac{86}{140}))$$

$$Q_T = 296689.44 \text{ lbs}$$

La reacción transversal rige el diseño

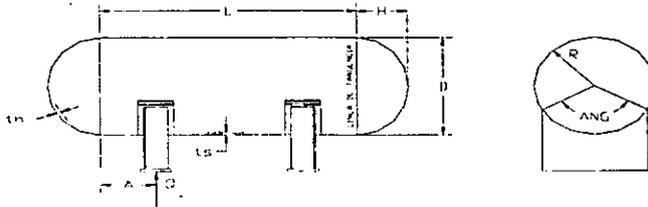


FIG. No. 30 ESQUEMA DEL RECIPIENTE.

*Q = 246 000 Lbs	$\alpha = 120^\circ$
Ro = 78.625 plg	A = 72 plg
S = 17500 psi	H = 42 plg
t <sub>c</sub> = 0.5 plg	L <sub>T-T</sub> = 484 plg

8.- Esfuerzo flexionante longitudinal en las siletas, REF. [13] pag. 109.

$$K_1 = 0.335 \quad \text{REF. [13] pag. 112}$$

\* Nota: Se aproxima a un valor entero superior

$$S_1 = \pm \frac{QA \left\{ 1 - \frac{A}{L_{T-T}} + \frac{R_o^2 - H^2}{2AL_{T-T}} \right\}}{K_1 R_o^2 t_c \left( 1 + \frac{4H}{3L_{T-T}} \right)}$$

$$S_1 = \pm \frac{246000 \times 72 \times \left\{ 1 - \frac{72}{484} + \frac{78.625^2 - 42^2}{2 \times 72 \times 484} \right\}}{0.335 \times 78.625^2 \times 0.5 \left( 1 + \frac{4 \times 42}{3 \times 484} \right)}$$

$$S_1 = \pm 5026.43 \frac{\text{Lbs}}{\text{plg}^2}$$

9.- Esfuerzo flexionante a la mitad del claro, REF. [13] pag. 110

$$S_1 = \pm \frac{\frac{QL_{T-T}}{4} \left\{ \frac{1 + 2x \left( \frac{R_o^2 - H^2}{L_{T-T}^2} \right)}{1 + \frac{4H}{3L_{T-T}}} - \frac{4A}{L_{T-T}} \right\}}{\pi R_o^2 t_c}$$

$$S_1 = \pm \frac{\frac{246000 \times 484}{4} \left\{ \frac{1 + 2x \left( \frac{78.625^2 - 42^2}{484^2} \right)}{1 + \frac{4 \times 42}{3 \times 484}} - \frac{4 \times 72}{484} \right\}}{\pi \times 78.625^2 \times 0.5}$$

$$S_1 = \pm 1027.08 \frac{\text{Lbs}}{\text{pulg}^2}$$

Se usara el mayor:  $S_1 = \pm 5026.43 \frac{\text{Lbs}}{\text{pulg}^2}$

**10.- Esfuerzo debido a la presión interna.**

$$\frac{Pd \times R_o}{2 \times t_c} = \frac{111.54 \times 78.625}{2 \times 0.5} = 8769.83 \frac{\text{Lbs}}{\text{pulg}^2}$$

**11. Suma de esfuerzos.**

$$5026.43 + 8769.83 = 13796.26 \text{ lbs / plg}^2$$

La suma no es mayor que el esfuerzo en la costura circunferencial.

$$13796.26 \text{ lbs / plg}^2 < 17500 \text{ lbs / plg}^2, \text{ OK.}$$

**12. Esfuerzo Corte Tangencial , REF. [13] pag. 110**

$$K_2 = 1.171 \text{ REF. [13] pag. 112}$$

$A > \frac{R}{2}$  : Factor para seleccionar ecuación, Silletas lejanas a las tapa

$$72 > \frac{78.625}{2}, \quad 72 > 39.313, \text{ Por lo tanto : silletas lejanas a las tapas}$$

$$S_2 = \pm \left\{ \frac{K_2 Q}{R_o t_c} \right\} \times \left\{ \frac{L_{T,T} - 2A}{L_{T,T} + \frac{4}{3} H} \right\}$$

$$S_2 = \pm \left\{ \frac{1.171 \times 246000}{78.625 \times 0.5} \right\} \times \left\{ \frac{484 - (2 \times 72)}{484 + \left( \frac{4}{3} \times 42 \right)} \right\}$$

$$S_2 = \pm 4613.67 \frac{\text{Lbs}}{\text{pulg}^2}$$

$$S_2 = 4613.67 < 17500 \text{ lbs / plg}^2 \text{ OK.}$$

**13.- Esfuerzo Circunferencial, REF. [13] pag. 109**

Esfuerzo en el centro de la silleta.

Como :  $L_{T-T} < 8R_o$ ,  $484 < (8 \times 78.625)$

$$484 < 629$$

$A/R = 72/78.625 = 0.9157$ , aprox = 0.92 , entonces  $K_6 = 0.047$

$K_6 = 0.047$  REF. [13] pag. 112

$$S_4 = -\frac{Q}{4t_c(b+1.56\sqrt{R_o t_c})} - \frac{12 K_6 Q R_o}{L_{T-T} t_c^2}$$

$$S_4 = -\frac{246000}{4 \times 0.5 \times (16 + 1.56 \sqrt{78.625 \times 0.5})} - \frac{12 \times 0.047 \times 246000 \times 78.625}{484 \times 0.5^2}$$

$S_4 = -94925.86 \text{ psi} > -17500 \times 1.5$

$-87625 > -26250$  **No pasa**

Se usará placa de refuerzo con un espesor de ½

Esfuerzo cortante tangencial (recalculado).

$t_c = 0.5 + 0.5 = 1 \text{ pulg}$

$$S_2 = \pm \left\{ \frac{1.171 \times 246000}{78.625 \times 1} \right\} \times \left\{ \frac{484 - (2 \times 72)}{484 + \left( \frac{4}{3} \times 42 \right)} \right\}$$

$S_2 = 2306.84 \text{ Lbs / pulg}^2$

$2306.84 < 17500 \text{ lbs/ plg}^2$  OK.

Esfuerzo circunferencial de la silleta

$$S_4 = -\frac{246000}{4 \times 1 \times (16 + 1.56 \sqrt{78.625 \times 1})} - \frac{12 \times 0.047 \times 246000 \times 78.625}{484 \times 1^2}$$

$S_4 = -24600.23 \text{ lbs / pulg}^2$

$17500 \times 1.5 = 26250 \text{ lbs / plg}^2$

$$-24600.23 \text{ lbs / plg}^2 < -26250 \text{ lbs / plg}^2 \quad \text{OK.}$$

14. Esfuerzo en la parte inferior de la silleta.

REF. [13] pag. 109,  $K7=0.760$  REF. [13] pag. 112

$$S_s = - \frac{K_7 Q}{t_c (b + 1.5x \sqrt{R_o t_c})}$$

$$S_s = - \frac{0.760 \times 246000}{0.5 (16 + 1.56x \sqrt{78.625 \times 0.5})}$$

$$S_s = - 14503.62 \text{ lbs / pulg}^2$$

$$S_s < \frac{\text{Punto de cedencia}}{2}$$

$$S_s = \frac{-38000}{2}$$

$$-14503.62 < -19000 \quad \text{OK.}$$

15. Cálculo de pesos de las silletas.

Material : SA-283-C

a) Placa de refuerzo.

Espesor  $\frac{1}{2}$  plg

$$\text{Ec. 33 : } R_o = 78.625 \text{ plg}$$

$$\text{Ec. 34 : } b' = \frac{\pi}{180^\circ} \times 78.625 \times 120^\circ$$

$$b' = 164.67'' , \quad \text{aprox. } b' = 165''$$

$$\text{Ec. 35 : } b'' = 165'' + (8 \times 2)$$

$$b'' = 181''$$

$$\text{Ec. 36: } V = 181 \times 16 \times 0.5 = 1448 \text{ plg}^3$$

$$\rho_{\text{ACERO}} = 0.2833 \text{ lbs / pulg}^3$$

Ec. 37:  $W_1 = 1448 \times 0.2833$

$W_1 = 417.46 \text{ lbs}$

b) Placa de silleta.

Ec. 38:  $b' = \frac{\pi}{180^\circ} \times 78.625 \times 120^\circ$

$b' = 164.67''$ , aprox.  $b' = 165''$

Ec. 39:  $b'' = 165'' + (2 \times 2)$ ,  $b'' = 169''$

Ec. 40:  $V = 169 \times 16 \times 0.5$ ,  $V = 1352 \text{ plg}^3$

Ec. 41:  $W_2 = 1352 \times 0.2833$ ,

$W_2 = 383.02 \text{ lbs}$

c) Placa Base.

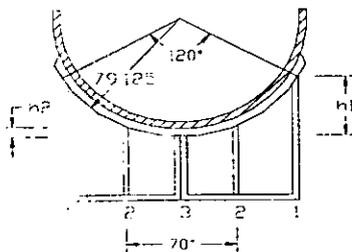
Espesor de la placa 7/8"

Ec. 42:  $V = 140 \times 16 \times 0.875$ ,  $V = 1960 \text{ plg}^3$

Ec. 43:  $W_3 = 1960 \times 0.2833$

$W_3 = 555.27 \text{ lbs}$

Atiesadores



**d) Peso del atiesador No. 3**

Altura del atiesador No. 3

**Ec. 44:**  $h_3 = 86 - 78.625 - 0.5 - 0.5$

$h_3 = 6.375$

**Ec. 45:**  $V = 0.75 \times 12 \times 6.375 \quad V = 57.375 \text{ plg}^3$

**Ec. 46:**  $W_{S3} = 57.375 \times 0.2833 \times 2,$

**$W_{S3} = 32.51 \text{ lbs}$**

**e) Peso del atiesador No. 2**

Altura del atiesador No. 2

**Ec. 47:**  $Re = 78.625 + 0.5 + 0.5$

$Re = 79.625$

**Ec. 48:**  $\beta' = 2 \times \text{sen}^{-1} \left[ \frac{70}{2 \times 79.625} \right]$

$\beta' = 52.15^\circ$

**Ec. 49:**  $h_2 = 86 - \frac{35}{\tan \left( \frac{52.15^\circ}{2} \right)}$

$h_2 = 14.47 \text{ pulg}$

**Ec. 50:**  $V = 0.75 \times 12 \times 14.47$

$V = 130.23 \text{ pulg}^3$

**Ec. 51:**  $W_{S2} = 130.23 \times 0.2833 \times 2$

**$W_{S2} = 73.78 \text{ lbs}$**

**f) Peso del atiesador No. 1**

Altura del atiesador No. 1

$$\alpha = 120^\circ$$

$$\text{Ec. 52: } h_1 = 86 - \frac{70}{\tan\left(\frac{120^\circ}{2}\right)}$$

$$h_1 = 45.58 \text{ pulg}$$

$$\text{Ec. 53: } V = 0.75 \times 12 \times 45.58$$

$$V = 410.22 \text{ pulg}^3$$

$$\text{Ec. 54: } W_{s2} = 410.22 \times 0.2833 \times 2$$

$$W_{s1} = 232.43 \text{ lbs}$$

**g) Peso de la placa central**

$$\text{Ec. 55: } h_s = 45.58 - 6.375$$

$$h_s = 39.205 \text{ pulg}$$

$$\text{Ec. 57: } A_1 = 45.58 \times 140$$

$$A_1 = 6381.2 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Ec. 58: } A_2 = \left(\frac{39.205}{6 \times 140}\right) \times [(3 \times 39.205^2) + (4 \times 140^2)]$$

$$A_2 = 3874.34 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Ec. 56: } A_0 = 6381.2 - 3874.34$$

$$A_0 = 2506.86 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Ec. 59: } V = 2506.86 \times 0.75$$

$$V = 1880.145 \text{ pulg}^3$$

$$\text{Ec. 60: } W_4 = 1880.145 \times 0.2833$$

$$W_4 = 532.645 \text{ lbs}$$

**h) Peso total de las silletas.**

$$W_{TS} = (417.46 + 383.02 + 555.27 + 232.43 + 73.78 + 32.51 + 532.645) \times 2$$

$$W_{TS} = 4454.23 \text{ Lbs}$$

**i) Diseño de Orejas de Izaje**

Carga Total = Peso del recipiente vacío + Peso total de silletas

$$CT = 77773 + 4454.23$$

$$CT = 82227.23 \text{ lbs}$$

Donde: CT es carga total

$$\text{Ec. 75: } F_R = \frac{82227.23}{\text{sen } 45^\circ}$$

$$F_R = 116286.86 \text{ lbs}$$

Material : SA-516-70, REF. [13] pag. 20

$$S = 38000 \text{ psi}$$

**Esfuerzo Permisible al corte**

$$\text{Ec. 80: } S_c = 0.4 \times 38000, \quad S_c = 15200 \text{ psi}$$

**Esfuerzo Permisible a la flexión.**

$$\text{Ec. 81: } S_f = 0.6 \times 38000, \quad S_f = 22800 \text{ psi}$$

**Espesor Requerido de la oreja.**

$$\text{Ec. 79: } t_{OR} = \frac{116286.86}{2 \times 15200 \times (5 - 1)}$$

$$t_{OR} = 0.956 \text{ pulg}$$

Se aproxima a un valor comercial de acero:  $t_{OR} = 1$  pulg

**Esfuerzo al corte.**

$$\text{Ec. 82: } S_{oc} = \frac{116286.86}{2 \times 1 \times (5-1)}$$

$$S_{oc} = 14535.86 \text{ psi}$$

$$14535.86 < 15200 \text{ psi OK.}$$

**Esfuerzo a la tensión.**

$$\text{Ec. 83: } S_{ot} = \frac{82227.23}{1 \times 15}$$

$$S_{ot} = 5481.81 \text{ psi}$$

**Esfuerzo a la flexión.**

$$\text{Ec. 84: } S_{of} = \frac{82227.23 \times 15}{\left(\frac{1 \times 15^3}{6}\right)}$$

$$S_{of} = 32890.89 \text{ psi}$$

**Esfuerzo a tensión y flexión**

$$S_{ot} + S_{of} = 5481.81 + 32890.89$$

$$S_{ot} + S_{of} = 38372.7 \text{ psi}$$

$$38372.7 > 22800 \text{ psi NO PASA.}$$

Tomando un espesor de 1.5 pulg,  $L_{OR} = 10$  pulg,  $H_{OR} = 15$  pulg

**Esfuerzo al corte recalculado.**

$$\text{Ec. 82: } S_{oc} = \frac{116286.86}{2 \times 1.5 \times (5-1)}$$

$$S_{OC} = 9690.57 \text{ psi}$$

$$9690.57 < 15200 \text{ psi} \quad \text{OK.}$$

**Esfuerzo a la tensión recalculado.**

$$\text{Ec. 83: } S_{OT} = \frac{82227.23}{1.5 \times 10}$$

$$S_{OT} = 5481.81 \text{ psi}$$

**Esfuerzo a la flexión.**

$$\text{Ec. 84: } S_{OF} = \frac{82227.23 \times 10}{\left( \frac{1.5 \times 15^2}{6} \right)}$$

$$S_{OF} = 14618.17 \text{ psi}$$

**Esfuerzo a tensión y flexión**

$$S_{OT} + S_{OF} = 5481.81 + 14618.17$$

$$S_{OT} + S_{OF} = 20099.98 \text{ psi}$$

$$20099.98 < 22800 \text{ psi} \quad \text{OK.}$$

**Cálculo de esfuerzos en soldadura.**

**Longitud de soldadura.**

$$\text{Ec. 85: } L_s = (2 \times 1.5) + (2 \times 10)$$

$$L_s = 23 \text{ pulg}$$

**Modulo de sección.**

$$\text{Ec. 86: } S_x = (1.5 \times 1.5) + \left( \frac{1.5 \times 10^2}{6} \right)$$

$$S_x = 27.25$$

**Esfuerzo flexionante**

$$\text{Ec. 87: } S_{SF} = \frac{\frac{82227.23}{2} \times 15}{27.25}$$

$$S_{SF} = 22631.35 \text{ psi}$$

**Esfuerzo cortante**

$$\text{Ec. 88: } S_{SC} = \frac{82227.23}{23}$$

$$S_{SC} = 1787.55 \text{ psi}$$

**Esfuerzo a tensión**

$$\text{Ec. 89: } S_{ST} = \frac{82227.23}{23}$$

$$S_{ST} = 1787.55 \text{ psi}$$

**Esfuerzos combinados**

$$\text{Ec. 90: } S_{COM} = \sqrt{(22631.35 + 1787.55)^2 + 1787.55^2}$$

$$S_{COM} = 24484.24 \text{ psi}$$

$$\text{Ec. 91: } M_{SP} = 0.45 \times 38000$$

$$M_{SP} = 17100 \text{ psi}$$

**Tamaño de soldadura.**

$$\text{Ec. 92: } T_s = \frac{24484.2}{17100}$$

$$T_s = 1.43 \text{ pulg.}$$

## CAPITULO 9. CONCLUSIONES

La integración del procedimiento de cálculo para el diseño de separadores de mezclas de hidrocarburos en un programa de cómputo, ha permitido determinar los siguientes puntos, como conclusiones al trabajo desarrollado.

- El programa que se desarrollo en este trabajo de tesis se bautizó con el nombre de DISEMEZ, el cual significa Diseño de Separadores de Mezclas de Hidrocarburos.
- Al integrar el procedimiento de diseño de separadores de mezclas de hidrocarburos se logró un saneamiento en la información manipulada en el proceso de cálculo, el cual originó una técnica de diseño más limpio, agradable y ágil en el manejo de información, manteniendo una lógica de cálculo óptimo en el diseño de los equipos separadores.
- Una de las ventajas de emplear el programa DISEMEZ, es la ausencia de errores en las operaciones de cálculo, que se presentan en algunas ocasiones en el procedimiento manual.
- El programa DISEMEZ es capaz de manipular factores de diseño, dimensiones, materiales y otros datos en la memoria de cálculo para encontrar un diseño óptimo a los requerimientos planteados por el proceso, para el diseño de equipos de separación.

- Por políticas y razones de seguridad de derechos reservados de patentes para el diseño de partes internas de los separadores de mezclas de hidrocarburos, no se incluyó en la integración de proceso de diseño de estos equipos, por lo cual se optó por que estas partes ya estuvieran prediseñadas y el programa se ocuparía en ubicarlas en el interior del recipiente.
- Los resultados finales obtenidos en la memoria de cálculo automatizado son los suficientes para realizar los planos de "Arreglo General", "Detalles de Internos", "Registro de Hombre", "Placa de Datos", los cuales también están integrados dentro del programa de cómputo.
- Esta técnica de diseño, logra reducir ampliamente el tiempo de trabajo (horas-hombre) que se consume en realizar la memoria de cálculo de los equipos de separación, esta reducción implica también una disminución de costos, por tiempo de diseño y fabricación de planos de construcción.
- El programa **DISEMEZ** desarrolla el diseño de equipos separadores, en un ambiente amigable, accesible en la selección de materiales y componentes, así también muestra una secuencia de cálculo, el cual permite que el usuario visualice resultados de operaciones internas del proceso de diseño.
- Al realizar un diseño de separadores de mezclas de hidrocarburos mediante un sistema de cómputo, se deja a un lado muchas consideraciones de criterio del

Ingeniero de diseño. La selección de lenguaje y técnica de programación que se empleó para la creación de DISEMEZ disminuyó esta problemática, pero aun así, en algunas etapas de la secuencia de cálculo el usuario deberá tener conocimientos básicos en mecánica de materiales y propiedades de materiales, para poder tomar una decisión, en base a los resultados mostrados en cada etapa de la secuencia de cálculo.

- El programa DISEMEZ diseña solo una combinación de secciones de separación:  
Ciclónico en la entrada de la mezcla (1era sección)  
Tiempo de residencia (2da. Sección)  
Paquete de "vanes" (3era. Sección)  
La selección de esta combinación de elementos internos esta basada, por ser la más eficiente en el proceso de separación de mezclas de hidrocarburos.
- El equipo necesario para instalar DISEMEZ, es una computadora personal con procesador Pentium, monitor SVGA "color", con sistema Microsoft Windows 95 ó posteriores.
- El trabajo del programa DISEMEZ, queda abierto para poder diseñar más combinaciones de secciones de separación.

## CAPITULO 10. NOMENCLATURA

<b>F</b>	Fuerza
<b>P</b>	Presión
<b>Ae</b>	Area
<b>D</b>	Diámetro
<b>R</b>	radio
<b>t</b>	espesor de material
<b>C</b>	Corrosión
<b>E</b>	Eficiencia de unión
<b>Po</b>	Presión de Operación
<b>Pd</b>	Presión de Diseño
<b>Pp</b>	Presión de Prueba
<b>Pdext</b>	Presión de diseño exterior
<b>Ph</b>	Presión hidrostática
<b>P<sub>N</sub></b>	Presión máxima de envoltante nuevo
<b>P<sub>U</sub></b>	Presión máxima de envoltante usado
<b>P<sub>NT</sub></b>	Presión máxima de tapas nuevo
<b>P<sub>UT</sub></b>	Presión máxima de tapas usado
<b>To</b>	Temperatura de Operación
<b>Td</b>	Temperatura de Diseño
<b>Di</b>	Diámetro Interior del recipiente
<b>Do</b>	Diámetro Exterior del recipiente
<b>L<sub>T-T</sub></b>	Longitud de envoltante
<b>L<sub>T-T</sub></b>	Longitud de tangente a tangente del recipiente
<b>C<sub>T</sub></b>	Capacidad Total
<b>t<sub>s</sub></b>	Espesor calculado de envoltante

$t_T$	Espesor calculado de Tapas
$t_{sc}$	Espesor de material comercial de envolvente
$t_{TC}$	Espesor de material comercial de tapas
$t_{cal}$	Espesor calculado para boquillas
$t_{std}$	Espesor de tubo estándar
$t_{LOC}$	Espesor de localización de la boquilla
$t_C$	Espesor corroído del equipo
$t_{OR}$	Espesor de placa de oreja de izaje
$Q_L$	Flujo volumétrico de líquido
$Q_V$	Flujo volumétrico de gas
$W_L$	Flujo másico de líquido
$W_V$	Flujo másico de gas
$\rho_L$	Densidad del líquido
$\rho_V$	Densidad del gas
$\rho_{ACERO}$	Densidad del acero de construcción
$\rho_{H_2O}$	Densidad del agua
$N_{mi}$	Nivel mínimo de operación del equipo separador
$N_{no}$	Nivel normal de operación del equipo separador
$N_{ma}$	Nivel máximo de operación del equipo separador
$V_C$	Volumen de envolvente
$V_{SE}$	Volumen de tapas
$V_{PC}$	Volumen parcial de envolvente
$V_{PSE}$	Volumen parcial de tapas
$V_T$	Volumen total del recipiente
$V_{PT}$	Volumen parcial del recipiente

$C_C$	Coficiente de volumen parcial de envolvente
$C_{SE}$	Coficiente de volumen parcial de tapas
$W_C$	Peso de la envolvente
$W_{SE}$	Peso de las tapas
$W_{VACIO}$	Peso total del equipo vacio
$W_{AGUA}$	Peso del agua
$W_{INT}$	Peso de elementos internos
$W_{TA}$	Peso del equipo lleno de agua
$W_{TO}$	Peso del equipo en operación
$W_{ACEITE}$	Peso del aceite a nivel normal del equipo
$A_{RE}$	Area de material que se eliminó en las aberturas para las conexiones
$A_{B1}$	Area de exceso de espesor de pared en el recipiente
$A_{B2}$	Area de exceso de espesor de pared en la boquilla
$A_{B3}$	Area de espesor de pared en la extensión interior del tubo de la boquilla
$A_{B4}$	Area de soldadura
$A_{B5}$	Area que debe complementarse para refuerzo de la boquilla
$S$	Esfuerzo de material de construcción
$S_1$	Esfuerzo por pandeo longitudinal
$S_2$	Esfuerzo en el corte tangencial
$S_3$	Esfuerzos adicionales en tapas
$S_4$	Esfuerzo circunferencial
$S_5$	Esfuerzo en la parte inferior de la sileta
$S_{ta}$	Esfuerzo a tensión del material a temperatura ambiente
$S_{td}$	Esfuerzo a tensión del material a temperatura de diseño
$S_c$	Esfuerzo cortante
$S_{oc}$	Esfuerzo permisible al corte

$S_{OF}$	Esfuerzo permisible a flexión
$S_{OT}$	Esfuerzo permisible a Tensión
$S_x$	Modulo de sección
$S_{SF}$	Esfuerzo a flexión en la oreja de izaje
$S_{SC}$	Esfuerzo cortante en la oreja de izaje
$S_{ST}$	Esfuerzo a tensión en la oreja de izaje
$S_{COM}$	Esfuerzos combinados
$M_{SP}$	Máximo esfuerzo permisible de soldadura
$L_{OR}$	Altura de oreja de izaje
$H_{OR}$	Longitud de oreja de izaje
$T_s$	Tamaño de soldadura
$L_{SO}$	Longitud de soldadura
$b$	Ancho de silletas
$b'$	Longitud de placas de silletas
$b''$	Longitud total de placas de silletas
$Z$	Sobrante de longitud de placa de refuerzo
$Z_2$	Sobrante de longitud de placa de sileta
$V$	Volumen de placas para silletas
$t_1$	Espesor de placa de refuerzo
$t_2$	Espesor de placa de sileta
$t_3$	Espesor de placa base
$t_4$	Espesor de placa del atiesador no.3
$t_5$	Espesor de placa del atiesador no.2
$t_6$	Espesor de placa del atiesador no.1
$t_7$	Espesor de placa central
$W_1$	Peso de placa de refuerzo

$W_2$	Peso de placa de sileta
$W_3$	Peso de placa base
$W_{s3}$	Peso del atiesador no.3
$W_{s2}$	Peso del atiesador no.2
$W_{s1}$	Peso del atiesador no.1
$W_4$	Peso de placa central
$W_{TS}$	Peso total de sileta
$H_s$	Largo de sileta
$L_c$	Altura al centro del recipiente
$L_s$	Distancia entre sillelas
$h_3$	Altura del atiesador no. 3
$h_2$	Altura del atiesador no. 2
$h_1$	Altura del atiesador no. 1
$h_5$	Diferencia de alturas entre atiesadores 1 y 2
$h_s$	Altura de sillelas
$Re$	Radio exterior a placa de sileta
$J$	Distancia entre atiesadores no. 2
$b_o$	Distancia entre atiesadores 3 y 2
$b_1$	Distancia entre atiesadores 1 y 3
$\beta'$	Angulo entre atiesadores no. 2
$\alpha$	Angulo de contacto de sillelas
$Q$	Carga máxima por sileta
$A$	Centro de sileta a línea de tangencia
$H$	Profundidad de tapas
$A_o$	Area superficial de placa central
$A_1$	Area de rectángulo de placa central

$A_2$	Area sobrante de placa central
$F_{SL}$	Fuerza sísmica longitudinal
$F_{ST}$	Fuerza sísmica transversal
$F_{VL}$	Fuerza viento longitudinal
$F_{VT}$	Fuerza viento transversal
$F_L$	Fuerza longitudinal
$F_T$	Fuerza transversal
$V_r$	Velocidad regional del viento
$V_B$	Velocidad básica del viento
$F_{TO}$	Factor de topología
$C_f$	Factor de forma
$C_e$	Categoría de exposición
$A_{NM}$	Altura de localización a nivel del mar
$F_i$	Factor de importancia
$G$	Factor de reducción de densidad
$P_v$	Presión de diseño por viento
$A_f$	Area proyectada
$Q_u$	Factor de ductilidad
$C_{SI}$	Coficiente sísmico
$C_s$	Coficiente de diseño sísmico
$Q_L$	Reacción longitudinal
$Q_T$	Reacción transversal
$A_{OR}$	Area transversal de oreja de izaje
$R_{OR}$	Radio exterior de oreja de izaje
$r_{OR}$	Radio del barreno en la oreja de izaje
$U_T$	Velocidad del gas terminal vertical

$A_v$	Area de depósito de gas
$A_s$	Area de arrastre
$A_H$	Area de transición (holdup)
$A_{LL}$	Area de nivel de liquido
$H_{LL}$	Nivel de liquido alto
$N_{LL}$	Nivel de liquido normal
$L_{LL}$	Nivel de liquido bajo
$T_H$	Tiempo de holdup
$T_s$	Tiempo de agitación
$V_H$	Volumen de holdup
$V_s$	Volumen de agitación
$A_T$	Area de sección transversal
$\phi$	Tiempo de goteo del liquido
$H_v$	Nivel de volumen de gas
$U_v$	Velocidad de gas
$U_{VA}$	Velocidad de gas final
$L_{min}$	Longitud mínima requerida para el proceso de separación
$A_{NLL}$	Area de nivel de liquido normal
$H_{NLL}$	Nivel de liquido normal en operación

**CAPITULO 11. APENDICE.  
LISTADO DE PRGRAMA DISEMEZ.**

En el inicio del programa se da la bienvenida al usuario y se le pide su clave personal de acceso al programa, lo cual se compara con una lista de claves para verificar si tiene el permiso para hacer el uso de esta herramienta.

VERSION 4.00

```
Private Sub Command1_Click()
  If Text1.Text = "SECRETO" Then
    Timer1.Enabled = False
    Dim MENSAJE
    MENSAJE = "POR FAVOR, ESCRIBA SU NOMBRE"
    NOMBRE = InputBox$(MENSAJE)
    if NOMBRE = EDUARDO JIMENEZ LARA Then

      HOJA2.Show 1

    Else
      MsgBox ("LO SIENTO, SOCIO NO LE CONOZCO")
      MsgBox ("REPITA SU CONTRASEÑA")
    End If
  End Sub
Private Sub Form_Load()
HOJA1.WindowState = 2
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
  MsgBox ("LO SIENTO, SU TIEMPO HA EXPIRADO")

  End
End Sub
```

A continuación se muestra el código para un diseño integral del equipo.

En esta sección del programa se pide al usuario los parámetros térmicos - hidráulicos de operación del equipo separador.

**PEDIR LOS PARAMETROS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO SEPARADOR.**

```
Po = Text1.Text
T = Text2.Text
Di = Text6.Text
L = Text15.Text
C = Text13.Text
CAPACIDAD = Text7.Text
REL = List2.ListIndex
TipoLiq = Text8.Text
DenLiq = Text9.Text
```

```
TipoGas = Text16.Text
DenGas = Text17.Text
NMi = Text10.Text
NNo = Text11.Text
NMa = Text12.Text
```

CÁLCULO DE PARAMETROS DE DISEÑO.

```
Private Sub Text1_Change()
Po = Val(Text1.Text)
If Po > 300 Then
    Pd = 1.1 * Po
Else
    Pd = Po + 30
End If
End Sub
Private Sub Text10_Change()
NMi = Val(Text10.Text)
NMi = (NMi / Di) * 100
Label11.Caption = NMi
End Sub
Private Sub Text11_Change()
NNo = Val(Text11.Text)
NNo = (NNo / Di) * 100
Label10.Caption = NNo
End Sub
Private Sub TIPOITEM_Click()
HOJA2A.Show 1
End Sub
Private Sub Text12_Change()
NMa = Val(Text12.Text)
NMa = (NMa / Di) * 100
Label26.Caption = NMa
End Sub
Private Sub Text15_Change()
L = Text15.Text
LT = Text15.Text
End Sub
Private Sub Text2_Change()
T = Val(Text2.Text)
Td = 1.1 * T
Text14.Text = Td
End Sub
Private Sub Text3_Change()
C = Text3.Text
End Sub
Private Sub Text6_Change()
Di = Val(Text6.Text)
Ri = (Di / 2)
End Sub
Private Sub Text7_Change()
CAPACIDAD = Text7.Text
End Sub
```

PORCENTAJE DE RADIOGRAFIADO AL RECIPIENTE, PARA DETERMINAR EL FACTOR DE EFICIENCIA DE SOLDADURA (E).

Private Sub Command2\_Click()

RAD = Text4.Text

Select Case RAD

Case Is <= 50

E = 0.7

Case Is <= 70

E = 0.85

Case Is <= 90

E = 0.9

Case Is <= 100

E = 1

Case Is > 1

MsgBox ("VALOR DE LA RADIOGRAFIA, NO VALIDO")

End Select

SELECCIÓN DE MATERIAL.

Select Case List1.ListIndex

Case 0

MAT\_BOQS = "SA-283-C"

Case 1

MAT\_CUERPO = "SA-285-C"

Case 2

MAT\_CUERPO = "SA-515-55"

Case 3

MAT\_CUERPO = "SA-515-60"

Case 4

MAT\_CUERPO = "SA-515-65"

Case 5

MAT\_CUERPO = "SA-515-70"

Case 6

MAT\_CUERPO = "SA-516-55"

Case 7

MAT\_CUERPO = "SA-516-60"

Case 8

MAT\_CUERPO = "SA-516-65"

Case 9

MAT\_CUERPO = "SA-516-70"

Case 10

MAT\_CUERPO = "SA-105"

Case 11

MAT\_CUERPO = "SA-181-L"

Case 12

MAT\_CUERPO = "SA-350-LF1"

Case 13

MAT\_CUERPO = "SA-350-LF2"

Case 14

MAT\_CUERPO = "SA-53-B"

Case 15

MAT\_CUERPO = "SA-106-B"

Case 16

MAT\_CUERPO = "SA-193-B7"

End Select

SELECCIÓN DE TAPAS

Private Sub Picture1\_Click()  
TAPAS = "PLANA"

Private Sub Picture10\_Click()  
TAPAS = "AB\_CEJA"

Private Sub Picture11\_Click()  
TAPAS = "ABOMBADA"

Private Sub Picture12\_Click()  
TAPAS = "OPCIONAL"

Private Sub Picture2\_Click()  
TAPA = "CEJA"

Private Sub Picture3\_Click()  
TAPAS = "SEMIESFERICA"

Private Sub Picture4\_Click()  
TAPAS = "OCHENTA"

Private Sub Picture5\_Click()  
TAPAS = "SEMIELIPTICA"

Private Sub Picture6\_Click()  
TAPAS = "TORIESFERICA"

Private Sub Picture7\_Click()  
TAPAS = "CONICA"

Private Sub Picture8\_Click()  
TAPAS = "TORICONICA"

Private Sub Picture9\_Click()  
TAPAS = "AB\_CEJA\_INV"

MEMORIA DE CÁLCULO

```

If Po > 300 Then
    Pd = 1.1 * Po
Else
    Pd = 30 + Po
End If
Td = (1.1 * T)
Text10.Text = (Pd * 1.5)
Ph = NMa * DenLiq
Text11.Text = Ph
Pd = (Pd + Ph)
Text9.Text = Pd
Ri = (Di / 2) + C
    
```

```
If RAD = 100 Then
    E = 1
    ElseIf RAD = 50 Then
        E = 0.75
End If
```

```
espesorM = ((Pd * Ri) / ((S * E) - (0.6 * Pd))) + C
```

```
Text1.Text = espesorM
```

```
If espesorM <= 0.125 Then
    espesorC = 0.125
Elseif espesorM <= 0.25 Then
    espesorC = 0.25
Elseif espesorM <= 0.375 Then
    espesorC = 0.375
Elseif espesorM <= 0.5 Then
    espesorC = 0.5
Elseif espesorM <= 0.625 Then
    espesorC = 0.625
Elseif espesorM <= 0.75 Then
    espesorC = 0.75
Elseif espesorM <= 0.875 Then
    espesorC = 0.875
Elseif espesorM <= 1 Then
    espesorC = 1
Elseif espesorM <= 1.125 Then
    espesorC = 1.125
Elseif espesorM <= 1.25 Then
    espesorC = 1.25
Elseif espesorM <= 1.375 Then
    espesorC = 1.375
Elseif espesorM <= 1.5 Then
    espesorC = 1.5
Elseif espesorM <= 1.625 Then
    espesorC = 1.625
Elseif espesorM <= 1.75 Then
    espesorC = 1.75
Elseif espesorM <= 1.875 Then
    espesorC = 1.875
Elseif espesorM <= 2 Then
    espesorC = 2
Elseif espesorM <= 2.125 Then
    espesorC = 2.125
Elseif espesorM <= 2.25 Then
    espesorC = 2.25
Elseif espesorM <= 2.375 Then
    espesorC = 2.375
Elseif espesorM <= 2.5 Then
    espesorC = 2.5
Elseif espesorM <= 2.625 Then
    espesorC = 2.625
Elseif espesorM <= 2.75 Then
    espesorC = 2.75
Elseif espesorM <= 2.875 Then
```

```

    espesorC = 2.875
    Elself espesorM <= 3 Then
        espesorC = 3
    Elself espesorM <= 3.125 Then
        espesorC = 3.125
    Elself espesorM <= 3.25 Then
        espesorC = 3.25
    Elself espesorM <= 3.375 Then
        espesorC = 3.375
    Elself espesorM <= 3.5 Then
        espesorC = 3.5
    Elself espesorM <= 3.625 Then
        espesorC = 3.625
    Elself espesorM <= 3.75 Then
        espesorC = 3.75
    Elself espesorM <= 3.875 Then
        espesorC = 3.875
    Elself espesorM <= 4 Then
        espesorC = 4
    Else
        MsgBox ("espesor no valido")
    End
End If
    Text2.Text = espesorC
PPnuevo = (S * E * espesorC) / (Ri + (0.6 * espesorC)) - Ph
Text3.Text = PPnuevo
PPusado = (S * E * (espesorC - C)) / ((Ri - C) + (0.6 * (espesorC - C))) - Ph
Text4.Text = PPusado
Text12.Text = Td
Select Case TAPAS
    Case Is = "SEMIELÍPTICA"
        espesorTM = ((Pd * Ri) / ((S * E) - (0.1 * Pd))) + C
    Case Is = "TORIESFERICA"
End Select
Text5.Text = espesorTM
If espesorTM <= 0.125 Then
    espesorTC = 0.125
    Elself espesorTM <= 0.25 Then
        espesorTC = 0.25
    Elself espesorTM <= 0.375 Then
        espesorTC = 0.375
    Elself espesorTM <= 0.5 Then
        espesorTC = 0.5
    Elself espesorTM <= 0.625 Then
        espesorTC = 0.625
    Elself espesorTM <= 0.75 Then
        espesorTC = 0.75
    Elself espesorTM <= 0.875 Then
        espesorTC = 0.875
    Elself espesorTM <= 1 Then
        espesorTC = 1
    Elself espesorTM <= 1.125 Then
        espesorTC = 1.125

```

```
ElseIf espesorTM <= 1.25 Then
    espesorTC = 1.25
ElseIf espesorTM <= 1.375 Then
    espesorTC = 1.375
ElseIf espesorTM <= 1.5 Then
    espesorTC = 1.5
ElseIf espesorTM <= 1.625 Then
    espesorTC = 1.625
ElseIf espesorTM <= 1.75 Then
    espesorTC = 1.75
ElseIf espesorTM <= 1.875 Then
    espesorTC = 1.875
ElseIf espesorTM <= 2 Then
    espesorTC = 2
ElseIf espesorTM <= 2.125 Then
    espesorTC = 2.125
ElseIf espesorTM <= 2.25 Then
    espesorTC = 2.25
ElseIf espesorTM <= 2.375 Then
    espesorTC = 2.375
ElseIf espesorTM <= 2.5 Then
    espesorTC = 2.5
ElseIf espesorTM <= 2.625 Then
    espesorTC = 2.625
ElseIf espesorTM <= 2.75 Then
    espesorTC = 2.75
ElseIf espesorTM <= 2.875 Then
    espesorTC = 2.875
ElseIf espesorTM <= 3 Then
    espesorTC = 3
ElseIf espesorTM <= 3.125 Then
    espesorTC = 3.125
ElseIf espesorTM <= 3.25 Then
    espesorTC = 3.25
ElseIf espesorTM <= 3.375 Then
    espesorTC = 3.375
ElseIf espesorTM <= 3.5 Then
    espesorTC = 3.5
ElseIf espesorTM <= 3.625 Then
    espesorTC = 3.625
ElseIf espesorTM <= 3.75 Then
    espesorTC = 3.75
ElseIf espesorTM <= 3.875 Then
    espesorTC = 3.875
ElseIf espesorTM <= 4 Then
    espesorTC = 4
Else
    MsgBox ("esesor no valido")
End
End If
Text7.Text = espesorTC
PPnuevoT = (2 * S * E * espesorTC) / (Di + (0.2 * espesorTC))
Text6.Text = PPnuevoT
```

```

PPusadoT = (2 * S * E * (espesorTC - C)) / ((Di + (2 * C)) + (0.2 * (espesorTC - C)))
Text8.Text = PPusadoT
End Sub
Private Sub INICIOITEM_Click()
HOJA1.Show 1
End Sub

```

### MEMOERIA DE CÁLCULO DE BOQUILLAS.

```

Private Sub Command3_Click()
'PEDIR VALORES
Td = Val(Text1.Text)
Pd = Val(Text5.Text)
C = Val(Text2.Text)
SB = Val(Text6.Text)
NoBOQ = Val(Text7.Text)
espesorC = Text11.Text
espesorTC = Text12.Text
X = 0
For Y = 1 To 5
NoBOQUILLAS(X) = Text8(X).Text
SERVICIO(X) = Text9(X).Text
DIAM_BOQ(X) = Text10(X).Text
X = X + 1
Next Y
Select Case List1.ListIndex
Case 0
MAT_BOQS = "SA-283-C"
Case 1
MAT_BOQS = "SA-285-C"
Case 2
MAT_BOQS = "SA-515-55"
Case 3
MAT_BOQS = "SA-515-60"
Case 4
MAT_BOQS = "SA-515-65"
Case 5
MAT_BOQS = "SA-515-70"
Case 6
MAT_BOQS = "SA-516-55"
Case 7
MAT_BOQS = "SA-516-60"
Case 8
MAT_BOQS = "SA-516-65"
Case 9
MAT_BOQS = "SA-516-70"
Case 10
MAT_BOQS = "SA-105"
Case 11
MAT_BOQS = "SA-181-L"
Case 12
MAT_BOQS = "SA-350-LF1"
Case 13
MAT_BOQS = "SA-350-LF2"

```

Case 14

MAT\_BOQS = "SA-53-B"

Case 15

MAT\_BOQS = "SA-106-B"

Case 16

MAT\_BOQS = "SA-193-B7"

End Select

HOJA7.WindowState = 2

Inicializar valores

TIPO DE MATERIAL

Text1.Text = Td

Text5.Text = Pd

Text2.Text = C

Text7.Text = 12

Text11.Text = espesorC

Text12.Text = espesorTC

X = 0

For Y = 1 To NoBOQ

Text8(X).Text = NoBOQUILLAS(X)

Text9(X).Text = SERVICIO(X)

Text10(X).Text = DIAM\_BOQ(X)

X = X + 1

Next Y

Else

X = 0

For Y = 1 To 5

Text8(X).Visible = True

Text9(X).Visible = True

Text10(X).Visible = True

Text8(X).Text = NoBOQUILLAS(X)

Text9(X).Text = SERVICIO(X)

Text10(X).Text = DIAM\_BOQ(X)

X = X + 1

Next Y

Check1.Visible = True

Check2.Visible = True

Check3.Visible = True

Check4.Visible = True

Check5.Visible = True

Check6.Visible = True

Check7.Visible = True

Check8.Visible = True

Check9.Visible = True

Check10.Visible = True

If LOCALIZACION(0) = "TAPAS" Then

Check1.Value = 1

Else

Check2.Value = 1

End If

If LOCALIZACION(1) = "TAPAS" Then

Check3.Value = 1

Else

Check4.Value = 1

```

End If
If LOCALIZACION(2) = "TAPAS" Then
    Check5.Value = 1
Else
    Check6.Value = 1
End If
If LOCALIZACION(3) = "TAPAS" Then
    Check7.Value = 1
Else
    Check8.Value = 1
End If
If LOCALIZACION(4) = "TAPAS" Then
    Check9.Value = 1
Else
    Check10.Value = 1
End If
End Sub
Private Sub Option1_Click()
LOCALIZACION(0) = "TAPAS"
End Sub
Private Sub Option10_Click()
LOCALIZACION(4) = "CUERPO"
End Sub
Private Sub Option2_Click()
LOCALIZACION(0) = "CUERPO"
End Sub
Private Sub Option3_Click()
LOCALIZACION(1) = "TAPAS"
End Sub
Private Sub Option4_Click()
LOCALIZACION(1) = "CUERPO"
End Sub
Private Sub Option5_Click()
LOCALIZACION(2) = "TAPAS"
End Sub
Private Sub Option6_Click()
LOCALIZACION(2) = "CUERPO"
End Sub
Private Sub Option7_Click()
LOCALIZACION(3) = "TAPAS"
End Sub
Private Sub Option8_Click()
LOCALIZACION(3) = "CUERPO"
End Sub
Private Sub Option9_Click()
LOCALIZACION(4) = "TAPAS"
End Sub
Private Sub List1_Click()
Select Case Td
    Case Is > -20 Or Td < 650
        Select Case List1.ListIndex
            Case 0
                SB = 12700

```

Case 1  
SB = 13800

Case 2  
SB = 13800

Case 3  
SB = 15000

Case 4  
SB = 16300

Case 5  
SB = 17500

Case 6  
SB = 14800

Case 7  
SB = 15000

Case 8  
SB = 16300

Case 9  
SB = 17500

Case 10  
SB = 17500

Case 11  
SB = 15000

Case 12  
SB = 15000

Case 13  
SB = 17500

Case 14  
SB = 15000

Case 15  
SB = 15000

Case 16  
SB = 25000

End Select

Private Sub Text4\_Change(Index As Integer)

End Sub

Private Sub Text7\_Change()

NoBOQ = Val(Text7.Text)

'BORRAR LAS BOQUILLAS

X = 0

For Y = 1 To 5

Text8(X).Visible = False

Text9(X).Visible = False

Text10(X).Visible = False

X = X + 1

Next Y

Check1.Visible = False

Check2.Visible = False

Check3.Visible = False

```

Check4.Visible = False
Check5.Visible = False
Check6.Visible = False
Check7.Visible = False
Check8.Visible = False
Check9.Visible = False
Check10.Visible = False
Check1.Value = 0
Check2.Value = 0
Check3.Value = 0
Check4.Value = 0
Check5.Value = 0
Check6.Value = 0
Check7.Value = 0
Check8.Value = 0
Check9.Value = 0
Check10.Value = 0

```

```

'-----
'REINICIAR los valores de check
If NoBOQ <= 5 Then
  Select Case NoBOQ
    Case 1
      Command2.Visible = True
      Command3.Visible = False
      If LOCALIZACION(0) = "TAPAS" Then
        Check1.Value = 1
      Else
        Check2.Value = 1
      End If
    Case 2
      Command2.Visible = True
      Command3.Visible = False
      If LOCALIZACION(0) = "TAPAS" Then
        Check1.Value = 1
      Else
        Check2.Value = 1
      End If
      If LOCALIZACION(1) = "TAPAS" Then
        Check3.Value = 1
      Else
        Check4.Value = 1
      End If
    Case 3
      Command2.Visible = True
      Command3.Visible = False
      If LOCALIZACION(0) = "TAPAS" Then
        Check1.Value = 1
      Else
        Check2.Value = 1
      End If
      If LOCALIZACION(1) = "TAPAS" Then
        Check3.Value = 1
      Else

```

```

End If
'DIAMETRO NOMINAL
X = 0
For Y = 1 To NoBOQ
'ESPESOR DE LA PARED DE LOCALIZACION
If LOCALIZACION(X) = "TAPAS" Then
    ESP_LOC(X) = espesorTC
Else
    ESP_LOC(X) = espesorC
End If

'ESPESOR DEL TUBO ESTANDAR
DIAMETRO(X) = DIAM_BOQ(X)
ESP_ESTANDAR(X) = CEDULA(DIAMETRO) + C 'LLAMA A LA FUNCION CEDULA
'ESPESOR CALCULADO
ESPESORE(X) = ((Pd * DIAMETRO(X)) / ((2 * SB * E) - (1.2 * Pd))) + C
ESP_CAL(X) = ESPESOR(ESPESORE) 'LLAMA A LA FUNCION ESPESOR
'ESPESOR ADECUADO
If ESP_LOC(X) > ESP_ESTANDAR(X) Then
    If ESP_ESTANDAR(X) > ESP_CAL(X) Then
        ESP_ADE(X) = ESP_ESTANDAR(X)
    Else
        ESP_ADE(X) = ESP_CAL(X)
    End If
Else
    If ESP_LOC(X) > ESP_CAL(X) Then
        ESP_ADE(X) = ESP_LOC(X)
    Else
        ESP_ADE(X) = ESP_CAL(X)
    End If
End If

DIAMETRO(X) = CEDULA1(DIAMETRO, ESPESOR_ADE) 'LLAMA A LA FUNCION CEDULA1
'CÁLCULO DE LA MÁXIMA PRESIÓN PERMITIDA
MAX_PRES(X) = (2 * SB * E * ESPESOR_NOM(X)) / (DIAM_INT(X) + (1.2 * ESPESOR_NOM(X)))
'CÁLCULO DE LA PROYECCIÓN INTERIOR
Select Case LOCALIZACION(X)
Case "TAPAS"
    If (2.5 * espesorTC) < (2.5 * ESPESOR_NOM(X)) Then
        PROY_INT(X) = 2.5 * espesorTC
    Else
        PROY_INT(X) = 2.5 * ESPESOR_NOM(X)
    End If
Case "CUERPO"
    If (2.5 * espesorC) < (2.5 * ESPESOR_NOM(X)) Then
        PROY_INT(X) = 2.5 * espesorC
    Else
        PROY_INT(X) = 2.5 * ESPESOR_NOM(X)
    End If
End Select
'LLAMA A LA FUNCION RANGO PARA EL CÁLCULO LA PROYECCION EXTERIOR
Pp = 1.5 * Pd
Select Case Pp
Case Is <= 450
    RANGO(X) = 150

```

```

Select Case Td
  Case Is <= 100
    PRES_BRID(X) = 285
  Case Is <= 200
    PRES_BRID(X) = 260
  Case Is <= 300
    PRES_BRID(X) = 230
  Case Is <= 400
    PRES_BRID(X) = 200
  Case Is <= 500
    PRES_BRID(X) = 170
  Case Is <= 600
    PRES_BRID(X) = 140
  Case Is <= 650
    PRES_BRID(X) = 125
  Case Is <= 700
    PRES_BRID(X) = 110
End Select

```

End Select

```

'ESPESOR CALCULADO
  Text6(X).Text = ESP_CAL(X)
'ESPESOR LOCALIZACION
  Text7(X).Text = ESP_LOC(X)
'ESPESOR ESTANDAR
  Text8(X).Text = ESP_ESTANDAR(X)
'ESPESOR ADECUADO
  Text9(X).Text = ESPESOR_NOM(X)
'CEDULA DEL TUBO
  Text10(X).Text = DESIGNACION(X)
'MAXIMA PRESION
  Text11(X).Text = MAX_PRES(X)
'PROYECCION EXTERIOR
  Text12(X).Text = PROY_EXT(X)
'PROYECCION INTERIOR
  Text13(X).Text = PROY_INT(X)
End Sub
Pp = 1.5 * Pd

```

**CAPITULO 12. BIBLIOGRAFIA**

**1. CHEMICAL ENGINEERING SERIES SEPARATION PROCESSES**

Judson King C  
2da. Edición, . McGraw-Hill

**2. EQUIPMENT DESIGN HANDBOOK FOR REFINERIES  
AND CHEMICAL PLANTS,**

Evans, Frank L.  
Vol. 1, año 1971, GULF Publishing Company

**3. ESTIMATOR'S MANUAL OF EQUIPMENT AND  
INSTALLATION COST**

Evans, Frank L.  
año 1971, Houston, GULF Publishing Company

**4. MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES ESTRUCTURAS  
C.1.4 DISEÑO POR VIENTO**

C.F.E., I.I.E., año 1981

**5. MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES ESTRUCTURAS  
C.1.3 DISEÑO POR SISMO**

C.F.E., IIE, año 1981

**6. MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES ESTRUCTURAS  
C.2.5 TANQUES Y DEPÓSITOS,**

C.F.E., IIE, año 1981

**7. PROCESS EQUIPMENT DESIGN**

Lloyd E. Brownel and Edwin H. Young  
Edición 1959

**8. CÓDIGO ASME SECCIÓN VIII DIVISIÓN 1**

Edición 1995 más adendas

**9. TÉCNICAS AVANZADAS DE DISEÑO CON AUTOCAD  
THOMÁS**

1993 año, McGraw-Hill

**10. ESSENTIAL AUTOLISP**

Harkow Ray  
1991 año, McGraw-Hill

**11. APRENDA VISUAL BASIC YA, VER. 4.0**

Michael Halvorson, trad. Jorge Rodriguez Vega  
1ª. Edición, 1997, McGraw-Hill

**12. ENCICLOPEDIA DE VISUAL BASIC 4.0**

Francisco Javier Ceballos  
1ª Edicion, 1996, Computec RAMA

**13. APUNTES DIPLOMADO EN INGENIERIA DE CALDERAS Y RECIPIENTES  
SUJETOS A PRESION**

**MODULO I: MATERIALES Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESION.**

Facultad de Ingeniería, Ing. León Estrada  
1997

**14. CHEMICAL ENGINEERING PROGRESS, DESING TWO-PHASESE  
SEPARATORS WITHIN THERIGHT LIMITS.**

W. Y. Svrcek, W. D. Monnery, University of Calgary  
October 1993

**15. TEORIA DE PLACAS Y LAMINAS**

Timoshenko Stephen 1878

**16. APUNTES DE CURSO DE PROGRAMACION EN AUTOLISP**

Facultad de Ingeniería, UNICA, Ing.  
1997

**17. MANUAL DE FORMULAS TECNICAS**

Kurt Gieck, AlfaOmega.  
18° edición