



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**DISEÑO MECANICO Y CONSTRUCCION
DE UNA TORRE DE DESTILACION**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRISISTA
P R E S E N T A :

JAIME BARRAZA SILVA

MEXICO, D.F.

1982



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.

C O N T E N I D O

| | Pág. | |
|-----|--|-----|
| 1.0 | OBJETIVO | 1 |
| 2.0 | INTRODUCCION | 4 |
| 3.0 | GENERALIDADES | 10 |
| | 3.1 ASPECTOS GENERALES DE DESTILACION | |
| | 3.2 TIPOS DE DESTILACION | 14 |
| 4.0 | DESCRIPCION DEL PROCESO | 41 |
| | 4.1 CARACTERISTICAS DEL CRUDO A PROCESAR | 47 |
| | 4.2 CONDICIONES DE PROCESO Y DE OPERACION | 51 |
| 5.0 | SELECCION DE MATERIALES | 55 |
| 6.0 | DISEÑO DE CASCARONES | 62 |
| | 6.1 CALCULO Y TIPO DE CABEZAS | 73 |
| | 6.2 VERIFICACION DE ESPESORES POR PRESION EXTERNA | 87 |
| | 6.3 PRESION DE TRABAJO MAXIMA PERMISIBLE | 98 |
| 7.0 | PLACAS DE REFUERZOS PARA BOQUILLAS Y REGISTROS DE HOMBRE | 101 |
| 8.0 | MOMENTO MAXIMO DE VOLCAMIENTO DEBIDO AL VIENTO | 112 |
| | 8.1 MOMENTO MAXIMO DEBIDO AL SISMO | 125 |
| | 8.2 DISEÑO DEL FALDON | 137 |
| | 8.3 PRESION DE LA PRUEBA HIDROSTATICA | 150 |

| | Pág. |
|-----------------------------|------|
| 8.4 TRATAMIENTO TERMICO | 156 |
| 9.0 PROCESOS DE FABRICACION | 165 |
| 9.1 INSPECCION | 178 |
| 10.0 BIBLIOGRAFIA | 198 |

1.0 OBJETIVO

Nuestro país cuenta con un enorme potencial de hidrocarburos, que requieren ser refinados y procesados para su mejor aprovechamiento, la refinación y tratamiento del crudo se realiza en una gran cantidad de plantas de refinación y petroquímicas. La primer refinación a que se someten los hidrocarburos, se lleva a cabo en las Plantas de Destilación Primaria, cuya finalidad es efectuar la primera separación de los hidrocarburos del petróleo crudo; esta separación se lleva a cabo por medio de una destilación fraccionada a una presión casi atmosférica.

Existen dos criterios para una Planta de Destilación Primaria: 1) Producción de materia prima para la industria petroquímica. 2) Alta producción de gasolinas. Cualquier decisión so -

bre la política de producción, sólo afecta los parámetros termodinámicos que rigen a la torre como son, las temperaturas de condensación de los diferentes productos obtenidos. Para este estudio, el criterio de producción de la torre de destilación es el de alta producción de gasolinas. La torre de destilación es el corazón de la planta y a partir de este equipo se inicia el complejo proceso de industrialización del petróleo crudo.

Actualmente, la industria de refinación del crudo, requiere de una gran cantidad de torres de destilación y demás equipos, para satisfacer la creciente demanda, se importa un gran porcentaje de estos equipos, ocasionando fugas de divisas y dependencia tecnológica de los países exportadores de bienes de capital.

Para evitar la fuga de capitales y dependencia tecnológica, que son en gran medida las causas por las que el país se encuentra en el subde-

sarrollo económico, político y social; necesitamos crear tecnología propia para la industrialización de los hidrocarburos, de ahí la importancia de elaborar y desarrollar este tipo de estudios, en el que se pretende establecer y desarrollar -- los conceptos básicos teóricos. Es evidente que este trabajo no aspira a ser una guía en el diseño y construcción de torres de destilación, ni pretende mostrar criterios que sólo se adquieren con la experiencia práctica. La finalidad es mostrar una introducción al diseño de dichos equipos.

2.0 INTRODUCCION

La torre de destilación recibe el crudo desde su extracción del yacimiento, el cual debe ser vaporizado para poder ser fraccionado en la torre. Como ya sabemos, el petróleo crudo y sus diversos derivados consisten de una mezcla de hidrocarburos, los cuales en muchos casos son isómeros y las diferencias en la presión de vaporización, entre compuestos puros de peso molecular ligeramente diferente y entre compuestos isómeros, puede ser muy pequeña, entonces las separaciones pueden requerir de cientos de etapas teóricas de equilibrio (Platos). Puesto que tales separaciones normalmente son guiados por flujo de gravedad a contra corriente entre el líquido y el vapor, para ésto se requiere de recipientes verticales altos, lo que ocasiona que estén sometidos a grandes esfuerzos. Normalmente, estos recipientes

tes se fabrican de acero y/o aleaciones y casi siempre se diseñan para ser autosoportados. Este último requisito de capacidad de auto soporte introduce consideraciones especiales en el diseño de torres de destilación, especialmente las que están expuestas a altas vibraciones sísmicas o a altas velocidades de viento.

La torre, es el equipo más crítico de la planta de destilación, por ser el equipo donde se realiza el primer proceso de refinación como lo es la destilación primaria de los hidrocarburos, en esta torre se fraccionan los primeros productos de refinación como son: gasolinas, diesel, querosina, turbosina y residuos. La torre de destilación es un recipiente que opera a temperaturas elevadas (alrededor de 350°C), lo cual incrementa la presión manométrica de trabajo, por lo que, para su clasificación se integra en el grupo de recipientes sujetos a presión interna.

El diseño, fabricación, pruebas e inspec -

ción de recipientes a presión se basan en un código, en la mayoría de los países incluyendo el nuestro, ha llegado a ser como una ley para establecer normas de seguridad.

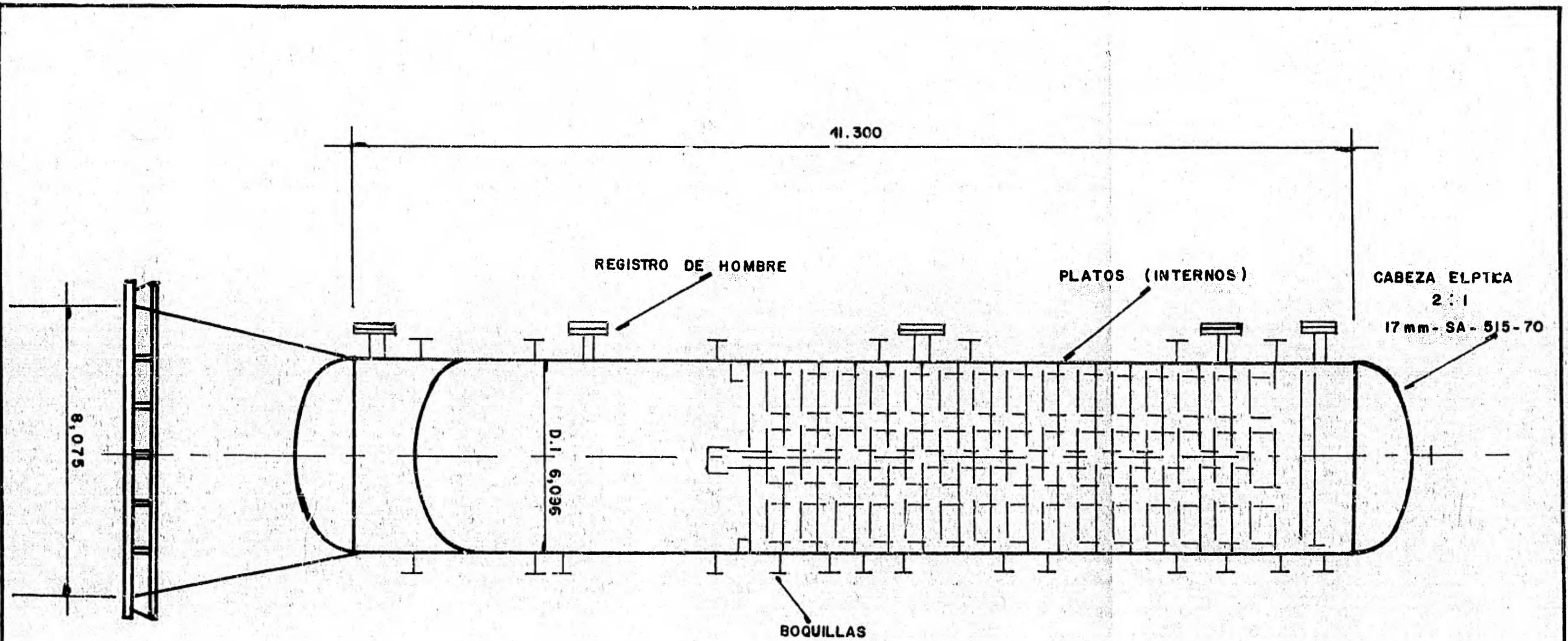
Basándonos en lo anterior los países más altamente industrializados cuentan con códigos propios, de los cuales los de mayor importancia se consideran: el código A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers), que es el que actualmente rige en los Estados Unidos, el BS-5500 o BS-1515 (British Standard) que es el código británico, el código J.I.S. (Japanese Industrial Standard) que es usado en el Japón, el código alemán es el que rige básicamente en Alemania y países bajos, y algunos otros como el italiano, el australiano, etc., por lo que es conveniente indicar qué código se está considerando en el diseño y construcción. No es recomendable utilizar más de un código en un mismo proyecto, debido a que se establecen con diferentes factores de seguridad, por ejemplo el A.S.M.E. usa un factor de seguridad

dad de 4 y el B.S. -1515 es de 2.35, esto es sobre la resistencia última a la tensión especificada a la temperatura ambiente o de diseño.

De los códigos mencionados anteriormente, el adoptado en nuestro país es el A.S.M.E. ya que las técnicas y materiales que se especifican ahí, se usan comúnmente en las industrias nacionales, por lo que de aquí en adelante nos referiremos exclusivamente al código A.S.M.E. y en especial a la sección VIII Div. 1.

La elección de los materiales, es un factor importante que se debe considerar antes del inicio del diseño, porque con base a las características del material se realizan todos los cálculos; conociendo las especificaciones y características del material, se procede al cálculo utilizando las fórmulas establecidas por el código, para definir las dimensiones de la placa de acero de la envolvente, faldón, cabezas, etc., realizando el diseño se procederá a enunciar la secuencia de los procesos de-

fabricación, que por lo general incluyen el trazo- do de placa, su rolado, soldado, la construcción-- de cabezas, el rolado del cuerpo, la formación de- canutos y otros; finalmente se aplican diferentes tratamientos térmicos posteriores a la soldadura - (pWht), precalentamiento, y el relevado de esfuer- zos cuyo objetivo es eliminar los esfuerzos resi- duales originados en el transcurso de las etapas - de soldadura y del rolado en frío entre otros.



| |
|--|
| FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES |
| C U A U T I T L A N |
| U N A M |
| TESIS PROFESIONAL |
| TITULO: TORRE DE DESTILACION |
| NOMBRE: JAIME BARRAZA SILVA |
| ESQ: SIN ESCALA ACOT: EN MILIMETROS |

3.0 GENERALIDADES

3.1 ASPECTOS GENERALES DE DESTILACION

El proceso de destilación, es la separación de los constituyentes de una mezcla líquida; este proceso se originó en el pasado como un arte y ha sido practicado por el hombre a través de las generaciones y como todo arte, ésta se desarrolló por la gran acumulación de conocimientos empíricos para dar paso a la industria química como lo fue la destilación de bebidas alcohólicas.

La destilación consiste en la adición de calor a la mezcla que se va a separar y así incrementar su temperatura hasta alcanzar el punto de ebullición de algunas sustancias más volátiles, las cuales se evaporarán y posteriormente

son enfriados para producir la condensación de los mismos y así recogerlos en estado líquido para obtener un producto o sustancia destilada.

El equipo o aparato más simple donde se efectúa el proceso de destilación se le denomina "alambique", el cual fue empleado antiguamente en la industria de destilación, actualmente se utiliza en laboratorios. El alambique está formado por:

- 1) Recipiente, donde adiciona calor y su consecuente incremento de temperatura. En ella se efectúa la separación de líquido y vapor;
- 2) Un dispositivo condensador consistente en un serpentín sumergido en un baño de agua fría que se circula en forma continua. Como se puede observar el proceso de destilación básico consiste en lograr una evaporación y posteriormente una condensación.

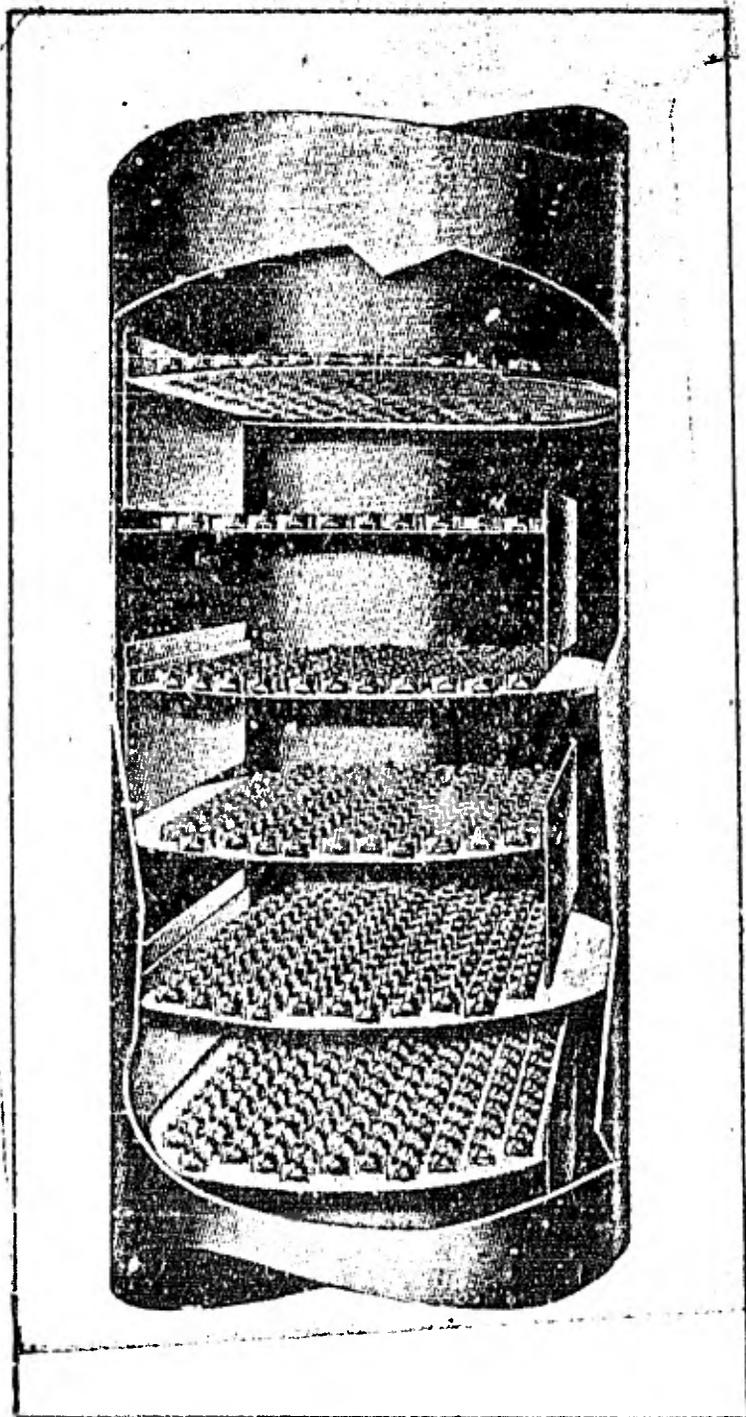


FIGURA 3.2

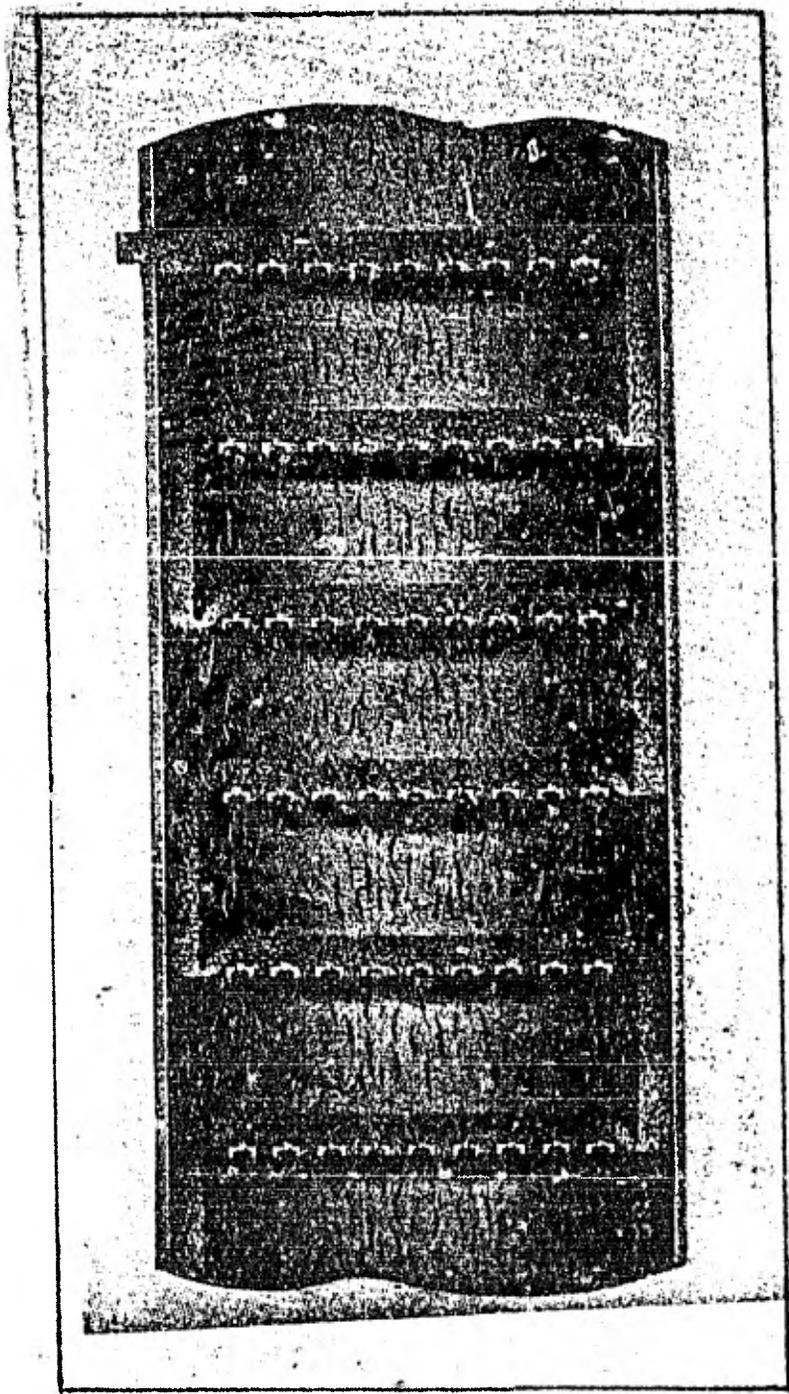


FIGURA 3.7

3.1 TIPOS DE DESTILACION

La mayoría de las aplicaciones de la destilación, son para efectuar la separación de uno o varios de los constituyentes. Existen varios procesos de destilación industrialmente importantes, algunos son: destilación seca o destructiva, deflegmación o condensación parcial, rectificación y fraccionación.

DESTILACION SECA O DESTRUCTIVA

Este tipo de destilación comprende aquellas operaciones en las que el material tratado sufre primero una descomposición térmica y los productos volátiles formados se extraen en forma de vapor que posteriormente se condensan para recuperarlos.

DEFLEGMACION O CONDENSACION PARCIAL

Este término se aplica a menudo al enfria-

miento de un vapor mixto hasta una temperatura concreta para condensar una parte del mismo más rica en los elementos con punto de ebullición más elevado que el vapor inicial.

RECTIFICACION

Es una destilación realizada de tal manera-- que el vapor que sale del alambique se pone en contacto con una porción condensada del vapor previamente producido en el mismo aparato, de este contacto vapor-líquido resulta una transferencia de material y un intercambio de calor, consiguiéndose así un mayor enriquecimiento del vapor en los elementos volátiles del que podría alcanzarse con una simple operación de destilación que utilizara la misma cantidad de calor. Los vapores condensados que se retornan para conseguir este objeto se llaman reflujos.

Los dispositivos generalmente empleados en que los vapores del alambique al dirigirse hacia -

el condensador circular en contra corriente con respecto a una parte del condensado que retorna como reflujo se denomina "columnas o torres de rectificación".

FRACCIONAMIENTO

Este tipo de destilación es equivalente al proceso de rectificación, sólo que este término se aplica específicamente en la rectificación de petróleo crudo.

El proceso de destilación que se emplea para separar los hidrocarburos del petróleo crudo es el del tipo de rectificación, debido a que el petróleo es una mezcla multicomponente, y la separación más adecuada y práctica es por rectificación. Anteriormente, la refinación del petróleo se efectuaba por medio de una destilación simple-intermitente que consistía en cargar el alambique con una cantidad determinada de hidrocarburos, y posteriormente se producía la vaporización median

te aplicación de calor, los vapores se eliminan de manera continua a medida que se forman sin condensación parcial de los mismos. En los últimos años los alambiques simples intermitentes para dicho objeto han sido sustituidos rápidamente por aparatos destilatorios intermitentes con torres en las que puede utilizarse el reflujo y éstos han sido a su vez reemplazados por alambiques continuos con torres de fraccionamiento. Las aplicaciones actuales de la destilación simple intermitente en la industria se limitan en su mayor parte a la pequeña-escala de carácter intermitente y en las que puede sacrificarse el rendimiento en la separación y en la utilización del calor para conseguir un costo inicial bajo. Por otra parte, se consigue una separación más definida y una recuperación más completa de los constituyentes valiosos con un menor consumo de calor con el empleo de una torre rectificadora que el de un alambique intermitente, pero a un costo de inversión inicial bastante alto.

El equipo en los cuales los vapores proceden

tes de un hervidor pasan a contracorriente con una parte del condensado retornado como reflujo - se denominan "columnas o torres rectificadoras", - y el intercambio de materia entre las fases de vapor y líquido que tiene lugar en la rectificación es inherentemente un proceso difusional, y el equipo en el que se realiza debe estar dispuesto de manera que pueda circular en contracorriente - el reflujo y el vapor, y mezclándose íntimamente las dos corrientes durante todo su recorrido (ver figura 3.1).

Desde el punto de vista de su construcción interna, las torres de fraccionamiento se clasifican en:

1. Torres de platos
2. Torres de placas perforadas
3. Torres rellenas

TORRES DE PLATOS

Estas torres llevan varios platos horizontal

les, colocados a igual distancia unos de otros dentro de la envolvente de la torre (Ver. fig. 3.2).

El reflujo desciende por la torre de uno a otro plato por medio de tubos adecuados de bajada o de rebosamiento. Las entradas a dichos tubos son como vertederos o topes de rebosamiento sobre los cuales pasa el reflujo, la altura de estos topes determina la profundidad del líquido en el plato, los extremos inferiores de los tubos de rebosamiento quedan cerrados hidráulicamente por el líquido del plato a que sirven (Ver fig. 3.3). El vapor se eleva a través de cada plato sucesivamente. Al pasar por cada plato, el vapor es obligado a pasar por debajo de la superficie del líquido y se distribuye por todo el plato por medio de casquetes de burbujeo. Estos casquetes son de modelos muy variados, siendo uno común un casquete esférico colocado boca abajo sobre un tubo vertical de diámetro menor que el borde del casquete. Este queda elevado sobre el fondo del plato una pequeña distancia y tiene ranuras que hacen que el vapor -

pase a través del líquido en corrientes de pequeñas burbujas. Con platos de burbujeo se obtiene un contacto íntimo entre el vapor y el líquido en intervalos considerables de flujos o gastos de uno y otro y la eficiencia del contacto no varía mucho con dichos flujos o gastos.

Las torres se clasifican por el tipo de platos en torres con platos de balastras, torres con platos de cachucha y torres con platos de válvula.

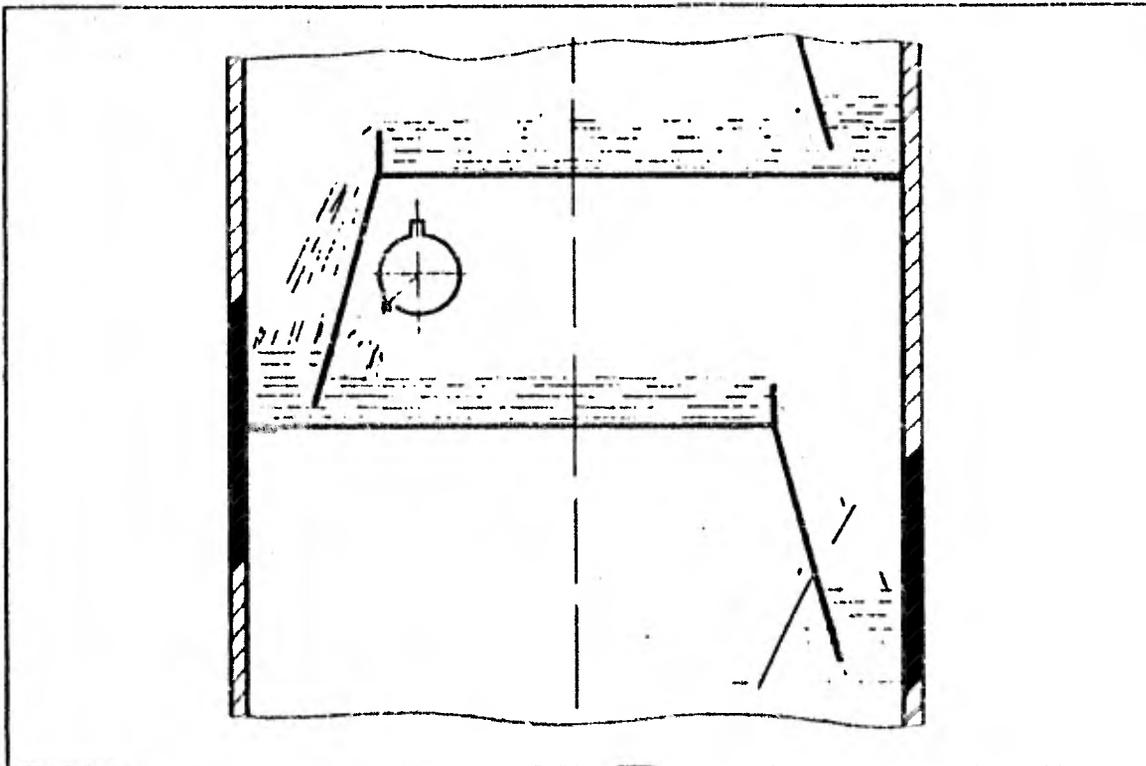


FIGURA 3.3

TORRES DE PLACAS PERFORADAS

Estas torres fueron las primeras en utilizarse, y desde entonces se han empleado mucho. En este tipo de torre hay una serie de placas horizontales distanciadas dentro de la envolvente. Cada - placa está perforada con una cierta cantidad de -- agujeros distribuidos por toda la placa; la pre-sión y la velocidad del vapor que pasa por los aguleros tiene que ser suficiente para mantener una - cierta cantidad de reflujo líquido en cada placa.- Para impedir que se acumule demasiado líquido, cada plato lleva un rebosadero o un tubo de rebosal-miento análogo al tipo de platos, el rebosadero en la parte inferior se sumerge en una copa que forma un cierre hidráulico o líquido para impedir la circulación del vapor. Las placas perforadas de este tipo no funcionan con menos del 50 por ciento del flujo normal de vapor, pues de lo contrario el líquido pasará a través de las perforaciones y cesará el contacto por burbujeo, con la consiguiente - gran pérdida de rendimiento. Por esta razón es --

frecuente proveer a las torres de placas perforadas de un regulador automático en el suministro de calor, accionado por la presión en la base de la torre.

Los inconvenientes de las placas de este tipo son:

- 1.- Las placas sólo funcionan bien en un intervalo limitado de flujos o gastos del vapor y del líquido.
- 2.- Si las placas no están perfectamente niveladas, todo el líquido se correrá al del lado más bajo y el vapor circulará por el lado más alto.
- 3.- Si se corroen las placas, los agujeros se agrandarán y el rendimiento bajará.

TORRES RELLENAS

Este tipo de torre son recipientes vertica-

les huecos, rellenas con trozos sueltos de un material sólido de tamaño uniforme arrojados al azar y entre cuyos intersticios se distribuye el líquido del reflujo y el vapor.

Las torres rellenas se emplean en la destilación para los siguientes tipos de problemas: separación de materiales que corroen a los metales (aunque para esta aplicación se emplean a veces torres con platos de carbón y vidrio); cuando haya de mantenerse baja la caída de presión, como en la destilación al vacío; cuando se desee que la retención sea baja, como en la destilación intermitente; para funcionamiento en semielaboración donde el diámetro de la torre es relativamente pequeño, y donde hay que conseguir un gran número de platos o unidades de transferencia en una altura relativamente baja sobre una escala de trabajo pequeña, como en la separación analítica. Aunque son de uso general para separaciones por destilación en pequeña escala, las torres rellenas no se emplean mucho para trabajos a gran esca

la, debido en parte a la incertidumbre de los resultados y a la falta de garantía de los datos so
bre las grandes torres rellenas.

Los materiales para relleno más económicos y útiles, que normalmente se emplean son: anillos de cerámica o de carbón de 1 a 2 pulgadas (2.5 a 5 cm) de diámetro, silletas o albardillas de una pulgada (2.5 cm), anillos en espiral, o con tabique de 3 pulg. (7.6 cm), placas cónicas y rejillas de madera. En general cuanto más pequeño sea el tamaño del material de relleno más corta será la altura, pero más baja la velocidad admisible de vapor y, por tanto mayor el diámetro. A medida que el tamaño de las partículas disminuye, es más difícil el problema de mantener satisfactoriamente la distribución del líquido y, por tanto, el relleno granular no es conveniente. Para relleno eficaz en cuanto a su acción separadora, es aquel que mejor promueve una circulación continua del tipo de película en superficies extensas sin que se desmorone su disposición.

De los tres tipos de torres enunciadas anteriormente, las dos primeras, o sea la torre de platos y la de placa perforada predominan en las aplicaciones industriales de importancia, y las torres rellenas se emplean en menor escala y en laboratorios. Desde el punto de vista de la rectificación, es en la torre de platos donde puede considerarse que se consigue la separación deseada en una serie de pasos sucesivos. Como se mencionó anteriormente, para efectuar el proceso de destilación de petróleo crudo se emplea la torre de platos.

TIPOS DE PLATOS PARA TORRES

Los platos empleados en la torre, están compuestos por la sección del piso y por unidades de burbujeo; toda la sección del piso contiene agujero para permitir la instalación de las unidades de burbujeo, estas unidades son dispositivos que permiten el paso del vapor en forma de burbujas a través del plato, para lograr un intercambio más com-munmente empleados en la industria son: balastras,

válvulas y cachuchas, de acuerdo a la unidad que se inserte en el plato se le designará el nombre del tipo de unidad; o sea si en un plato se inserta la unidad tipo balastra, entonces se denomina "plato de balastra".

PLATO DE BALASTRA

De acuerdo al diseño mecánico de la unidad-balastra, este tipo de plato ofrece una distribución del vapor a través del líquido, más uniforme, una velocidad óptima del vapor sobre el líquido, permitiendo un mayor tiempo de contacto entre el vapor-líquido. Estas unidades efectúan un desplazamiento vertical que permiten la regulación del paso del vapor, de acuerdo a la cantidad de líquido contenido en el plato. Este tipo de plato tiene un alto rendimiento de operación, pero se origina desgaste en sus partes móviles, ocasionando un mayor costo de mantenimiento. La fabricación de esta unidad es más cara en comparación a la de tipo válvula (Ver figura 3.4).

PLATO DE CACHUCA O CAMPANA

El diseño mecánico de la unidad cachucha - consiste en un casquete esférico colocado boca -- abajo sobre un tubo vertical insertado en el agujero del plato, al pasar el vapor por el tubo, -- choca con el casquete, el cual sale por las aberturas laterales como burbujas en el líquido circundante; el burbujeo efectúa la acción de con - tacto forzando al líquido a desplazarse por sobre el casquete, pero el nivel estático del líquido - debe mantenerse en el plato para que las abertu-- ras queden sumergidas en el líquido. Para mante-- ner sumergidas las aberturas se debe mantener la altura de derramamiento del vertedero como mínimo a lo alto de la abertura, y normalmente media pulgada más alta de la abertura, ésto ocasiona una - presión de caída más fuerte en comparación a los demás tipos de platos. Este tipo de plato no tie-- ne partes móviles, presenta una alta flexibilidad de operación.

PLATO DE VALVULA

Básicamente existen dos tipos de válvula, - el tipo "A" y el tipo "T", ambos tipos utilizan - una sola parte móvil con una acción de dos etapas (abierta o cerrada). La válvula (parte móvil) -- puede recorrer libremente una distancia predeter- minada verticalmente para proveer un eficiente - contacto de vapor-líquido a varios porcentajes de gasto de vapor.

La válvulo tipo "A" (Ver figura 3.5) está - hecha con los soportes constituyendo parte inte-- gral de la válvula; la válvula tipo "T" (ver figu- ra 3.6) utiliza una caja separada que oprime el - dispositivo que contiene la válvula. Ambos tipos de válvulas tienen la misma eficiencia del plato- en diseños normales. La fabricación tipo "A" es- menos costosa que la fabricación de la válvula ti- po "T".

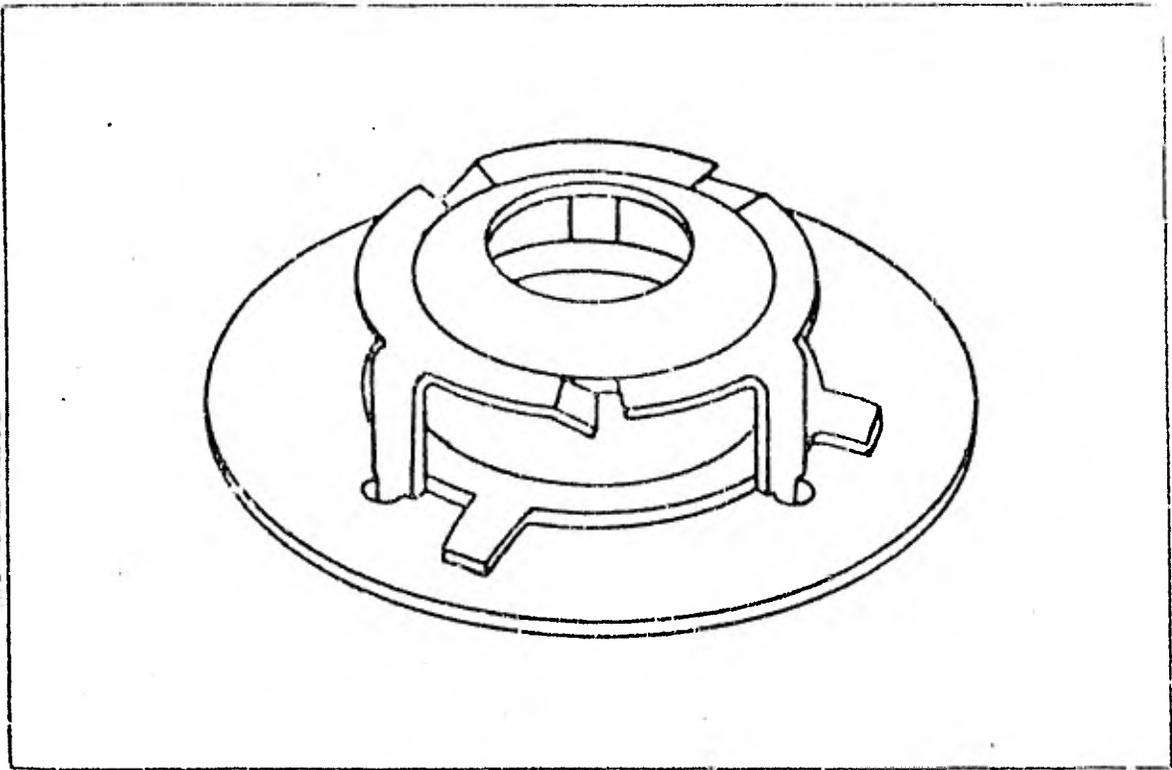


FIGURA 3.4

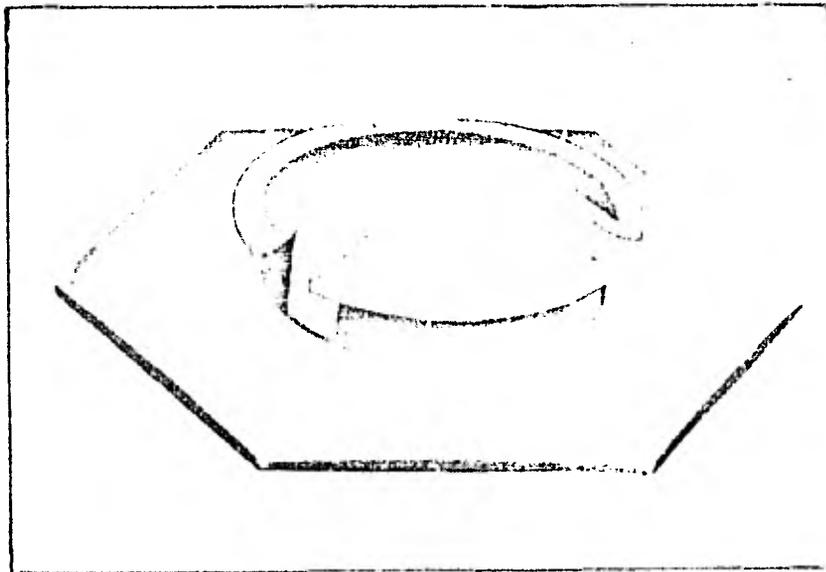


FIGURA 3.5

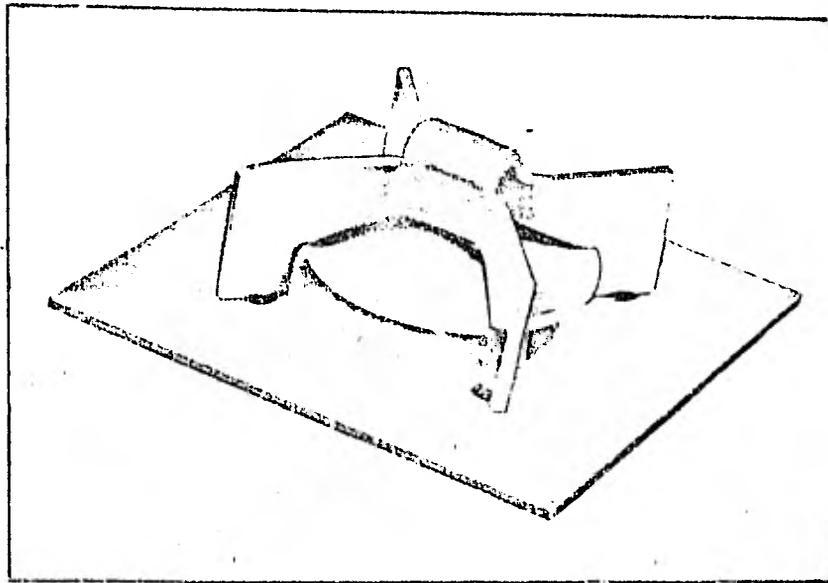


FIGURA 3.6

En las torres de destilación de mayor capacidad utilizadas en la industria del petróleo, los principales tipos de platos empleados son de forma de cachucha o campana, debido a la gran flexibilidad de operación y a la ventaja de no contener partes móviles en sus unidades de burbujeo, que evitan el mantenimiento frecuente.

También existen unidades de burbujeo de tipo rectangular, o túnel con anchos de 3 a 15 cms. aproximadamente y largos de 10 cms. como mínimo. Ambos tipos tienen ranuras en su borde inferior y se sujetan a los platos encima de los tubos - por donde sube el vapor, con sus dientes descansando sobre el plato o bien se suspenden con dispositivos que permiten regular la distancia del borde de los dientes al plato. En general, los casquetes rectangulares exigen un número total menor para un área dada de ranuras y tubos verticales y, por consiguiente, presentan menos piezas que exijan colocación y ajuste al montar un plato. Esto representa una simplificación del montaje.

Sin embargo, el tipo de casquete redondo - en forma de campana parece dar mejor resultado para el fraccionamiento y se adapta fácilmente a las variaciones en la disposición de los platos sin ser necesario emplear casquetes de dos o más tamaños diferentes para conseguir el área-

deseada de ranuras y de tubos verticales.

El espaciamiento de los casquetes resulta de una transición entre el deseo de obtener una gran proporción de área de tubos verticales para el vapor, ranuras y las consideraciones de la circulación del líquido en el plato. Se recomienda con frecuencia que los casquetes deben situarse lo bastante próximos para que las corrientes de vapor de los casquetes vecinos choquen entre sí con el fin de obtener una mayor agitación y turbulencia.

TIPOS DE CIRCULACION DE LIQUIDO

La circulación más sencilla del líquido, en lo que respecta a los problemas mecánicos relacionados con la disposición de los platos y los rebosaderos, es la cruzada simple, en la cual el líquido va de un lado a otro del plato en sentidos opuestos en los platos sucesivos. Con este sistema, todos los platos de una sección de la torre

pueden ser de idéntico diseño, instalándose los-- sucesivos a 180 grados unos de otros. Las caídas del líquido desde los distintos platos quedan distribuidas sobre los costados opuestos de la torre, sin que existan multitud de tubos rebosaderos que ocupen espacio encima de los platos, o que impi- dan el acceso al espacio entre ellos, necesario - para desmontarlos (Ver figura 3.7). Las circuns- tancias que pueden limitar esta clase de diseño - son los gradientes hidráulicos desde la entrada - hasta el rebosadero o vertedero de salida, o la-- longitud del vertedero de salida que puede conse- guirse cuando se le sitúa a un costado de la to - rre. El problema de la longitud del vertedero se resuelve comunmente utilizando, en un plato, ver- tederos de salida centrales, y en el plato siguien te, laterales (Ver figura 3.8).

Los gradientes hidráulicos, que pueden dar- lugar a una distribución desigual del vapor entre los casquetes, se tienen en cuenta, variando la - altura de los mismos en el plato a lo largo de --

ellos, o mediante un diseño en cascada, esparciendo vertederos distribuidores por diferentes puntos de la trayectoria del líquido en dos, tres o cuatro pasos.

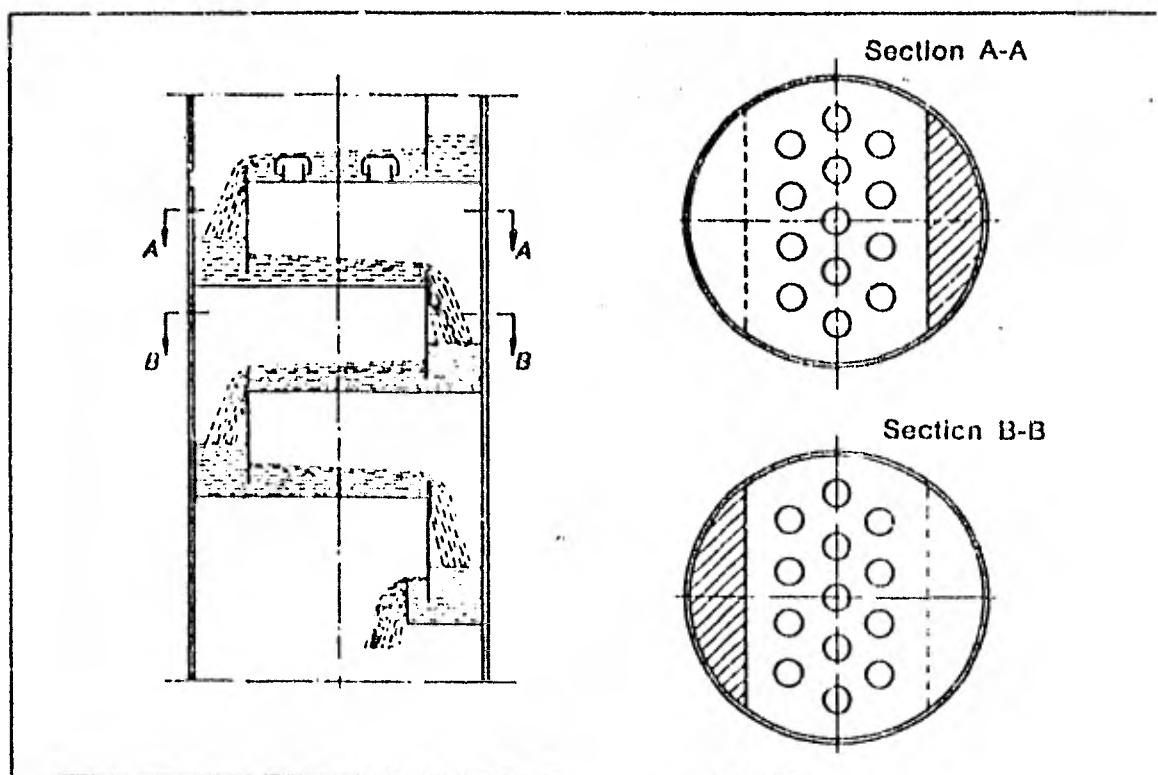


FIGURA 3.7

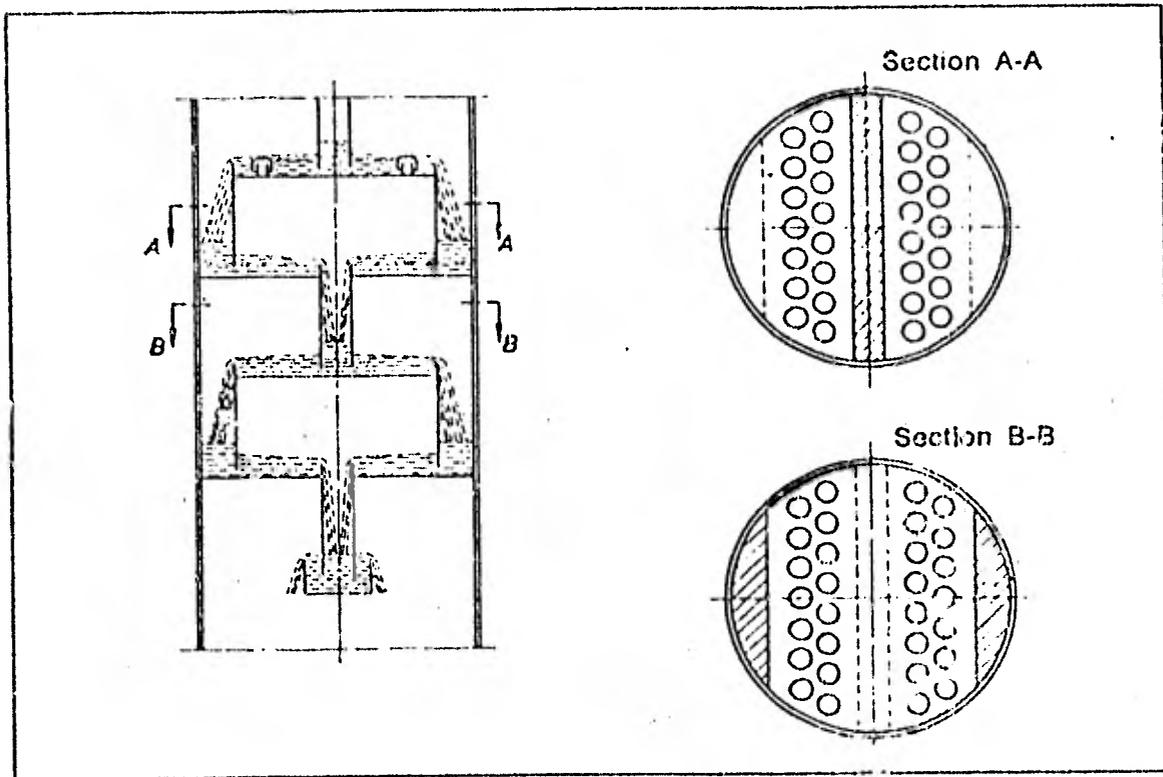


FIGURA 3.8

SUMINISTRO DEL REFLUJO

El reflujo se suministra a la torre por alguno de los métodos generales siguientes:

1. Condensación parcial de los vapores que

salen por la parte superior de la torre y retorno de este condensado parcial al plato de arriba en forma de reflujo.

2. Condensación total de los vapores que salen por la parte superior y retorno de una parte del condensado total al plato superior extremo.

3. Una combinación de 1 y 2.

4. Se aparta una proporción determinada del líquido caliente que desciende por la torre, se le enfría y se le retorna enfriado a la torre.

1.- La condensación parcial da lugar a un enriquecimiento del vapor en los componentes de punto de ebullición más bajo por la eliminación parcial de los componentes de punto de ebullición más alto y, en consecuencia, es considerada a menudo como una parte del sistema de fraccionamiento. El uso de un condensador parcial en un sistema de fracciona

miento es menos eficaz que si toda la recti
ficación tiene lugar en los platos de la to
rre. El mayor costo de la superficie con-
densadora comparado con el de otros medios-
de suministro de reflujo, la ineficacia de-
tal dispositivo como fraccionador y la fa-
ta de flexibilidad para fines de control ha
cen que se abandone el empleo de la conden-
sación parcial.

- 2.- En este método se suministró el reflujo, -
los vapores que salen por la parte superior,
o sea, del destilado, pasan directamente al
sistema final de condensación, del cual se-
bombee parte a la torre para suministrar re
flujo y el resto fluye hacia el depósito de
destilado. El condensado se enfría por aba
jo de su temperatura de ebullición para po-
der ser manipulados por medio de bombas. -
En consecuencia, el reflujo enfriado y de-
vuelto al plato superior extremo de la to-
rre, está en este caso a una temperatura -

muy inferior a la que reina en la parte superior de la torre. Esto produce cierta condensación en dicho plato que sirve en cierto grado como un condensador parcial.

CORRIENTES LATERALES, O EXTRACCION DEL LIQUIDO DESDE PLATOS SELECCIONADOS DE UNA TORRE

En la torre de destilación empleada para la destilación primaria de crudos, se recuperan de ordinario diversas fracciones en la misma torre de fraccionamiento. Una de las fracciones se recupera en forma de vapor que sale por la parte superior de la torre. De varios platos de la torre se extraen corrientes laterales y de la base de la torre se extrae un residuo.

BOQUILLAS

Las boquillas, son dispositivos indispensables en la torre de destilación, así como en to-

dos los recipientes a presión, para efectuar la alimentación de los hidrocarburos a la torre, para efectuar la extracción del líquido o vapores, para efectuar el suministro de reflujo e instalación de instrumento de medición y de control.

Para instalar toda esta serie de boquillas, es necesario hacer un agujero en las tapas y envolventes; los cuellos de las boquillas se unirán al recipiente por medio de soldadura, y su espesor deberá ser determinado con base a: la presión interna, las tolerancias por corrosión, las fuerzas y momentos debidos a dilataciones térmicas en las tuberías, y las fuerzas transmitidas por otros equipos y acciones debidas al peso propio de las tuberías.

Los extremos de las boquillas se unirán a las tuberías, bombas, compresores y otros equipos por medio de bridas.

De acuerdo a la forma de unir las bridas -

a los cuellos de las boquillas, se tienen los si-
guientes tipos de bridas:

1. Brida de cuello soldable (welding neck)
2. Brida deslizable (slip-on)
3. Brida "loca" (lap-joint)
4. Bidas roscadas
5. Bidas de enchufe soldable (socket----
welding)
6. Bidas de orificio
7. Bidas ciegas
8. Bidas especiales.

4.0 DESCRIPCION DEL PROCESO

La trayectoria seguida, normalmente, por el petróleo crudo desde su extracción del yacimiento hasta la refinería en donde será procesado, es la siguiente: ya que generalmente junto con el crudo sale gas, es necesario efectuar la separación de estas fases, por lo que se cuenta con tanques-separadores de campo; habiendo sido separado el gas, el crudo es enviado a la sección de almacenamiento de la refinería, para de aquí ser alimentada la torre de destilación de la planta refinadora.

Por medio de una bomba se suministra el crudo de los tanques de almacenamiento a la torre - (Ver figura 4.0). El crudo debe ser vaporizado - para poder ser fraccionado en la torre, parte del calor se recibe en el tren de precalentamiento de

crudo al intercambiar calor con las diferentes co
rrrientes de los productos, alcanzando temperatu -
ras aproximadamente de 100-135°C y en estas condi
ciones la corriente de crudo se somete al proceso
de desalado para eliminar las sales contenidas en
el crudo tales como: cloruros, sulfatos y bicar-
bonatos para evitar que se precipiten en el haz -
de tubos de los calentadores.

El calentamiento final para vaporizar al -
crudo en la cantidad deseada, se suministra hasta
de 350°C aproximadamente, a esta temperatura el -
crudo es vaporizado y se alimenta por la parte in
ferior de la torre. Al tiempo de ser introducido
el crudo en la torre, se desarrolla una expansión
y descende la temperatura hasta condensarse algu-
nos hidrocarburos precipitándose al fondo de la -
torre en forma de residuo. Del total de hidrocar-
buros que se suministra a la torre en forma de va
por, aproximadamente el 50 por ciento de los hi -
drocarburos se condensa para formar el residuo; -
y el 50 por ciento restante de los hidrocarburos-

se condensarán a medida que crucen los platos a través de la torre. Los platos se agrupan en varios grupos, cada grupo de platos estará diseñado térmicamente para establecer los diferentes puntos de ebullición de los hidrocarburos, y se tendrán grupos de platos como fracciones de hi-drocarburos que se requieran separar, básicamente para la producción de combustible se separan cinco fracciones, entonces se tendrán cinco grupos de platos definidos térmicamente por las temperaturas de los puntos de ebullición.

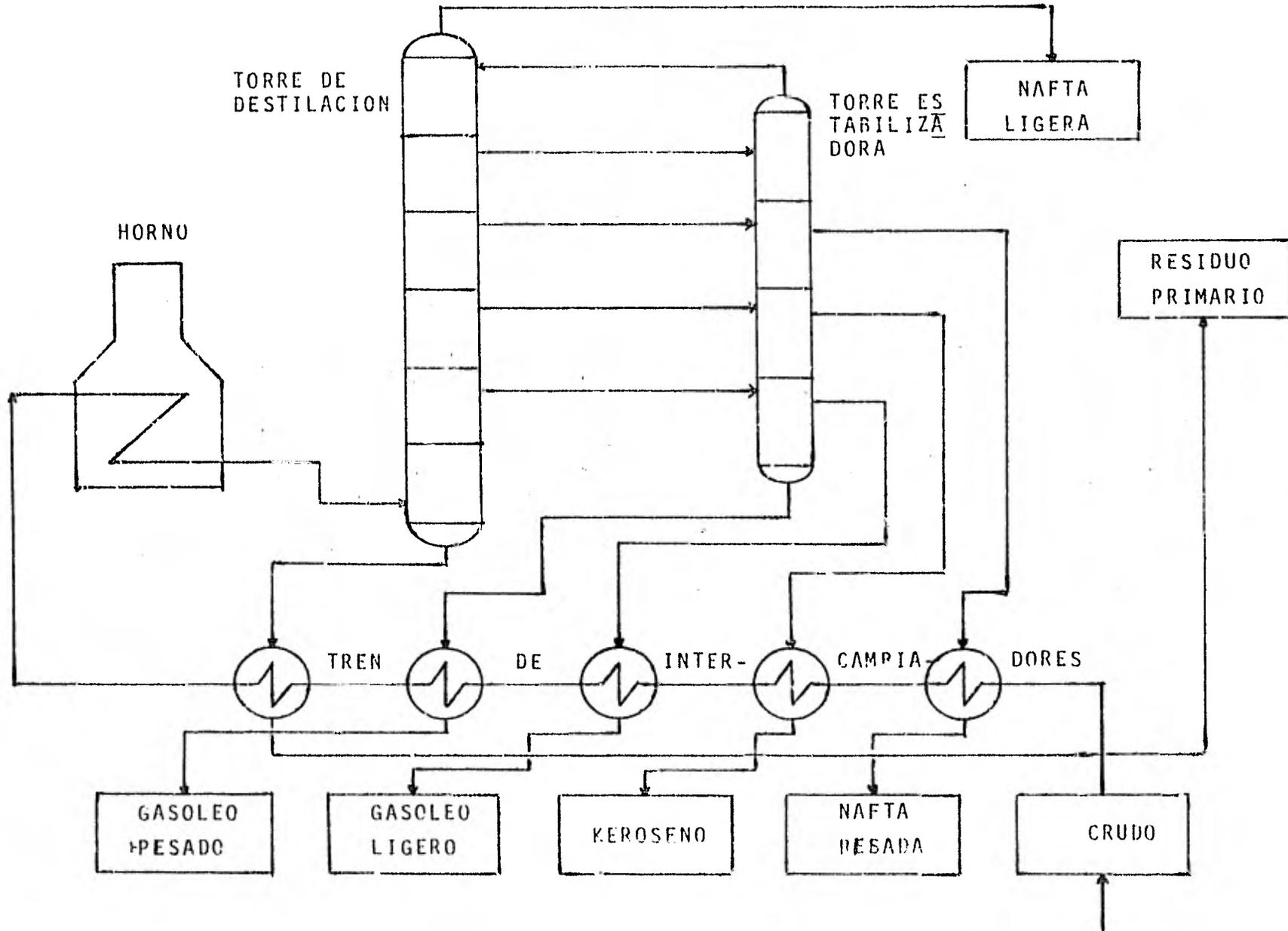
Los métodos de control de calidad exigen una temperatura final de ebullición para cada fracción y un determinado intervalo entre la temperatura inicial y la temperatura final de ebu-llición; entonces la temperatura inicial de ebu-llición para el primer grupo de platos, generalmente se establece cerca de los 300 a 320°C y en el resto de los platos descenderá la temperatura hasta cerca de los 260°C temperatura correspon-diente al punto final de ebullición del mismo

grupo. Los hidrocarburos que se condensen en este intervalo de temperaturas corresponden a las características del gasóleo, que posteriormente se somete al proceso de hidrodeshulfuración para obtener el diesel. La siguiente condensación -- se efectuará en el siguiente grupo determinado -- por el intervalo entre 260 a 220°C, los hidrocarburos separados en estas condiciones se denominan querosinas; el resto del vapor se condensará en el tercer grupo determinado por el intervalo entre 220 y 160°C aproximadamente, los hidrocarburos condensados a estas temperaturas tendrán las características de la nafta pesada. En el siguiente grupo de platos el intervalo es aproximadamente de 160 a 110°C y los hidrocarburos condensados corresponden a la nafta ligera, y por último, el resto es extraído por la parte superior de la torre y corresponde a los gases incondensables.

De las diferentes secciones o grupos de platos que forman la torre se extraen las corrientes

a los productos mencionados, estas corrientes se alimentan a un tanque con el fin de estabilizar los productos obtenidos, cabe aclarar que los productos obtenidos en las secciones no son puros completamente, es decir, se pueden condensar productos que corresponden al siguiente grupo. Del tanque estabilizador correspondiente se extraen las corrientes líquidas para enviarse como productos terminados en esta etapa de refinación antes de almacenarse o enviarse a los subsecuentes procesos químicos intercambian calor con el crudo en el tren de precalentamiento para aprovechar el calor latente de los productos.

FIGURA 4.0 DIAGRAMA DE FLUJO



4.1 CARACTERISTICAS DEL CRUDO A PROCESAR

Es necesario, al inicio del diseño de una torre de destilación, como de cualquier otro recipiente, contar con las propiedades del fluido que se va a procesar.

Las propiedades que debemos conocer sobre el crudo son: peso molecular, viscosidad a diferentes temperaturas, contenido de cloruros, contenido de azufre en peso, contenido de metales en p.p.m. de fierro, cobre, níquel y demás elementos, contenido de ceras, temperaturas de inicio de ebullición y las demás características propias del crudo; pero las características más importantes que nos interesa conocer para este estudio, son el contenido de azufre y el contenido de cloruros, debido a que estos originan problemas de corrosión. Conociendo estos contenidos, se podrá determinar el índice de corrosividad presente en la destilación de crudo, por medio del cual se podrán delimitar los medios para enfrentar este gran

problema desde el punto de vista metalúrgico.

A continuación se muestran los efectos de corrosión sobre los materiales de acuerdo a las sustancias contenidas:

Compuestos de azufre. El petróleo crudo de origen nacional tiene un contenido de azufre que va de 1.47% has 5.43% en peso. El azufre se encuentra formando compuestos con los hidrocarburos tales como: sulfuros, disulfuros y tio penos. Estos se descomponen por calentamiento arriba de una temperatura de 260°C, formando ácido sulfhídrico (H_2S).

Se ha observado que, la cantidad de compuestos de azufre presentes en el crudo no es el factor determinante para predecir la corrosividad de un crudo, sino más bien, lo importante es el grado de desdoblamiento térmico de estos compuestos a H_2S , el cual corroe al acero y conforme la temperatura aumenta el poder corrosivo del H_2S -

es mayor.

El ácido sulfhídrico a bajas temperaturas - (120°C) en soluciones acuosas presenta el problema más serio de corrosión para cualquier material.

Cloruros. El cloro, se encuentra en el crudo formando sales. Normalmente entre el 15-20% de los cloruros son $MgCl_2$. Estos cloruros se hidrolizan arriba de una temperatura de 120-150°C, formando $Mg(OH)_2$ y el $Ca(OH)_2$ respectivamente, generándose al mismo tiempo HCl. El HCl es corrosivo, hasta que se condensa con el agua en el sistema de condensación del domo de la torre. Las soluciones acuosas del HCl, así como del H_2S son altamente corrosivos.

Acidos nafténicos. El ataque de estos ácidos se efectúa a temperaturas entre 220-400°C, - por lo que dicha corrosión se presenta en la parte inferior de la torre.

Otros agentes corrosivos presentes en el crudo son: oxígeno, compuestos de nitrógeno y bióxido de carbono. El oxígeno genera problemas de corrosión en el sistema de condensación, lo mismo que algunos compuestos del nitrógeno.

En conclusión, podemos decir que: básicamente existen dos tipos de corrosión que se presentan en la torre, una debida al H_2S originado por el desdoblamiento térmico de los compuestos de azufre a altas temperaturas y otra a los condensados acuosos del H_2S y HCl que se originan a bajas temperaturas.

Por lo expuesto anteriormente, podemos observar que entre menos contenido de azufre y de cloruros existan en un crudo, tendremos menos problemas de corrosión en los materiales empleados (aceros).

4.2 CONDICIONES DE PROCESO Y DE OPERACION

Antes de iniciar con el diseño mecánico el cual parte con la selección de los materiales, es conveniente resaltar las condiciones de proceso y de operación a las que estará sometida la torre.

a) Condiciones de Proceso

Este tipo de condiciones son establecidas por el proceso mismo, por lo que la torre deberá satisfacer estas condiciones definidas por los siguientes parámetros: características del fluido, presión y temperatura para efectuar el proceso. Estos tres parámetros determinarán el empleo del material metálico desde el punto de vista metalográfico.

- Características del Fluido

Como indicamos anteriormente, el contenido de cloruros y azufres determinarán el índice de

corrosividad por medio del cual determinaremos - el empleo del material que sea capaz de operar - bajo la acción de fluido en condiciones acepta-- bles.

- Temperatura

Esta condición es establecida por el proceso de fraccionación y se presentan temperaturas aproximadas de 120 a 350°C para llevar a cabo el proceso, este parámetro es determinante en el empleo del material de construcción, debido a que los materiales son muy sensibles a los efectos - de altas temperaturas.

- Presión

Esta condición o parámetro no es muy determinante en el empleo del material, debido a que si se incrementa la presión de diseño por razo - nes de proceso, no afecta metalográficamente al material empleado, repercutiendo su afecto sólo-

en el espesor de las paredes de la torre.

b) Condiciones de Operación

Este tipo de condiciones, se puede decir -- que deben satisfacer las condiciones de proceso, -- las cuales son mandatorias en el diseño mecánico.

Las condiciones de operación, son todos -- aquellos esfuerzos que debe soportar la torre para llevar a cabo el proceso, estos esfuerzos son: por carga del fluido, por peso propio, por viento, por sismo y por condiciones de fabricación.

La torre operará bajo esfuerzos de compresión originados por el peso de los hidrocarburos -- así como del peso mismo del recipiente; también -- estará sujeta a los esfuerzos de tensión originados por la presión del viento que actuará en toda el área expuesta al viento, así como a los efectos vibratorios ocasionales, pero quizás periódicos.

Aparte de los esfuerzos de compresión y de tensión, la torre estará sujeta a los esfuerzos originados por las diferentes etapas de fabricación y se les denomina esfuerzos residuales que pueden ser de compresión y de tensión, la existencia de este tipo de esfuerzos originan fallas en el material de tipo frágil, principalmente bajo ambientes corrosivos.

Como se puede observar la torre estará sujeta a condiciones muy severas tanto mecánicas como metalúrgicas, pero las condiciones de proceso son quizás las más críticas, debido a que afectan las características del material por lo que serán determinantes en la elección del material.

5.0 SELECCION DE MATERIALES

Los materiales que se emplean en la construcción de la torre son materiales metálicos y pueden ser ferrosos y no ferrosos.

Los materiales metálicos de tipo ferroso, -- son todos los aceros, los cuales se clasifican en tres tipos: 1) Aceros al carbono, 2) Aceros de aleación y 3) Aceros inoxidables. El acero es una aleación constituida básicamente por fierro y carbono que son los que imprimen las características básicas al material, pero además siempre se en -- encuentran otros elementos como consecuencia del proceso de fabricación, como son: azufre, fósforo, silicio y manganeso; a estos elementos se agregan contenidos de Ni y Ca para mejorar las resisten -- cias a la corrosión y a la termofluencia.

Los materiales metálicos no ferrosos los -
constituyen las aleaciones de elementos no ferro-
sos, como son: Ni, Cu, Mo, Al y P entre otros.

Antes de elegir el material, debemos tener
presente las condiciones de proceso, las cuales-
deberán satisfacer al material sin verse afecta-
das sus propiedades mecánicas y metalúrgicas, en
tonces debemos utilizar un material que sea ca-
paz de soportar los efectos de la corrosión a al-
ta y bajas temperaturas, además que soporte es-
fuerzos a la tensión a las mismas temperaturas.

Debido a los grandes problemas que ocasio-
na la corrosión en los aceros, se han realizado
numerosas investigaciones sobre el efecto de la
temperatura en la corrosión del acero al carbón,
aleaciones y del acero inoxidable, de acuerdo a
estos estudios se recomienda que para altas tem-
peraturas en presencia de H_2S se emplee acero -
inoxidable, para temperaturas de $260^{\circ}C$ aproxima-
damente se puede emplear acero al carbono, para-

bajas temperaturas en presencia de condensados -
acuosos de H_2S y HCl , se recomienda almonel (alea-
ción no ferrosa de Cu-Ni), debido a que es el ma-
terial que tiene la mayor resistencia a la corro-
sión.

Desde el punto de vista de corrosión, los -
materiales que se deben emplear son: en la parte
inferior acero inoxidable, en la parte media ace-
ro al carbón (A.C.), en la parte superior monel.-
Entonces la torre estará formada por secciones de
diferentes tipos de materiales, lo cual no es muy
recomendable, porque presentará problemas de sol-
dadura, tendrán diferentes espesores, y en las -
uniones soldadas pueden existir problemas de co -
rrosión.

Desde el punto de vista de esfuerzos, el ma-
terial más recomendable, es el acero al carbón, -
debido a que tiene varias ventajas: es el más ba-
rato de todos los aceros, mayor disponibilidad --
en el mercado, presenta mayor facilidad de maqui-

nar y es fácil de soldar; la desventaja de los A.C. es de que fácilmente se corroen y se oxidan y esto ocasiona, el ataque de la microestructura debilitando su resistencia a los esfuerzos, además contamina los productos destilados.

Debido a la desventaja de estos aceros, es por lo que se seleccionó aceros resistentes a la corrosión, como son los inoxidables y el monel, pero estos aceros son muy costosos, y si se emplean para resistir esfuerzo de tensión y compresión, incrementará el espesor de los mismos, y se incrementa el precio del equipo. Para aprovechar las ventajas del acero al carbón así como de los materiales resistentes a la corrosión, se recurre al método de recubrir con aceros inoxidables y monel el acero al carbón, que tendrá la función de soportar los esfuerzos y el recubrimiento soportará los efectos de corrosión y así se conjugan las dos necesidades; por este método se aprovechan las ventajas de los diferentes aceros y además disminuye el precio del equipo.-

Los espesores requeridos para soportar problemas de corrosión es de 5 mm (3/16").

Existen varios métodos de recubrimiento, pero el más empleado consiste en unir las dos placas usando métodos los cuales proporcionen una placa integral entre el metal base y el recubrimiento, este método se conoce como "clad".

A continuación se seleccionará el acero al carbón que formará el material base.

Para seleccionar el A.C. que sea capaz de soportar la temperatura de diseño 380°C (716°F) sin existir el problema de la termofluencia, debemos recurrir al código, que también reglamenta los materiales a usar; la sección VIII, Div. I de dicho código, proporciona una lista de todos los materiales que pueden emplearse para el diseño y fabricación de recipientes a presión, además agrega para los diferentes materiales, tablas con el valor de los esfuerzos máximos permisibles a

distintas temperaturas, la tabla correspondiente a los A.C. es la U.C.S.-23 (Anexo 1).

De la tabla (Anexo 1), observamos que los aceros que son capaces de resistir esfuerzos de trabajo a la temperatura de 399°C (750°F) (mayor que la de diseño) son los aceros de especificación SA-283-Grado C, y el SA-515-Grado 70, pero como se puede observar, la resistencia a la tensión del primero es de 12,100 psig, mientras que el segundo es de 14,800 psig, si se emplea el acero SA-515-Grado 70 se reduce el espesor de pared hasta el 78% del que se requeriría con el SA-285-C debido a que puede soportar un mayor esfuerzo de trabajo, y se logra la disminución del peso del equipo, entonces el material base será Acero SA-515-70. En la misma tabla (Anexo 1), también se observa que el Acero SA-516-Grado 70 tiene las mismas propiedades químicas y resiste el mismo esfuerzo que el acero SA-515-70, pero éste es más caro que el acero seleccionado, debido

a que soporta esfuerzos de trabajo a bajas temperaturas. Si en la etapa de fabricación no se encuentra disponible el acero SA-515-70, se puede emplear el acero SA-516-70, como material base.

6.0 DISEÑO DE CASCARONES

Para determinar el espesor de la envolvente, necesario para soportar la presión interior, nos auxiliaremos de las relaciones básicas para cascarones cilíndricos sometidos a presión interior.

Cuando el espesor del recipiente es de $1/10$ de su radio, o menos, se considera que el esfuerzo producido por la presión interna está uniformemente distribuida en toda la pared (esta hipótesis se acepta para recipientes de pared delgada).

En la figura 6.1, la presión interna p en kg/cm^2 actúa sobre la superficie del recipiente de espesor t en cm (pulg) y diámetro interior D en cm (pulg). La fuerza que tiende a separar las dos mitades de un tramo de longitud unitaria de cilindro es PD . Esta carga es resistida-

por el esfuerzo tangencial, que actúa uniformemente en toda resistencia, que es igual a dos veces el valor del espesor o sea:

$$PD = 2f_t t \quad ; \quad t = \frac{PD}{2f_t} \quad ; \quad t = \frac{PR}{f} \quad ; \quad f_t = \frac{PR}{t} \quad \dots(1)$$

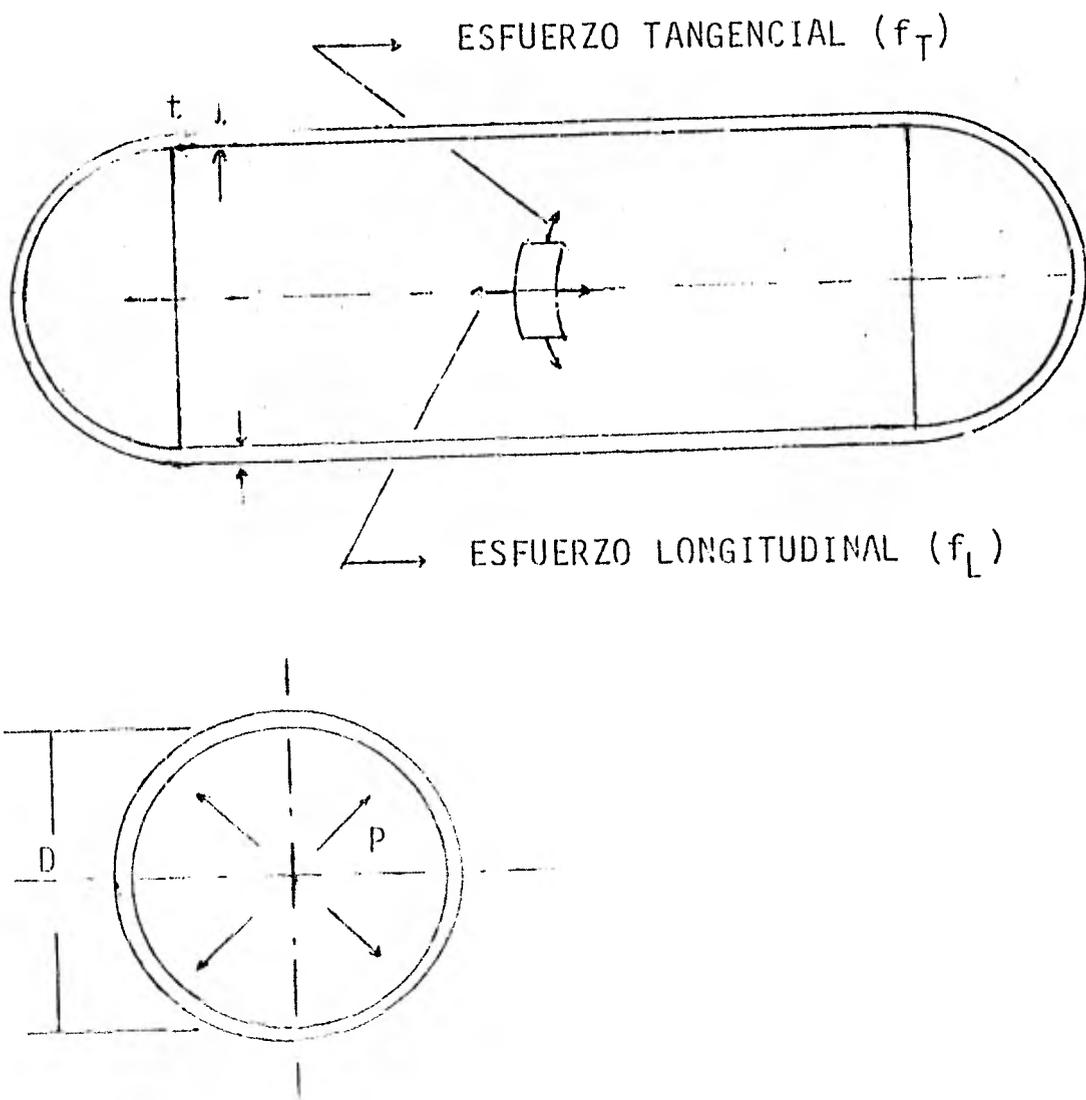


FIGURA 6.1

En los recipientes también se produce un es fuerzo longitudinal f_1 , debido a la presión ejercida sobre las cabezas del recipiente. La fuerza que actúa sobre estas partes es PA ; $(P) \frac{(\pi D^2)}{4}$, - y debe ser igual al esfuerzo longitudinal, multiplicado por el área de la superficie resistente - (el área resistente, será el perímetro por el espesor de la envolvente). Así:

$$PA = F_1 Dt; \quad P \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) = f_1 Dt; \quad f_1 = \frac{PD}{4t} ;$$

$$f_1 = \frac{PR}{2t} \quad \dots \dots \quad (2)$$

De estas ecuaciones podemos observar que el esfuerzo circunferencial es el doble del longitudinal por lo que en el cálculo por presión interna del espesor de un cilindro, el que gobierna es el esfuerzo circunferencial.

Pero las fórmulas (1) y (2) sólo son verdaderas para espesores despreciables, conforme se incrementa la presión, aumenta el espesor de la -

envolvente y la distribución de esfuerzos a través del espesor dejar de ser uniforme y se necesita hacer correcciones a la hipótesis anterior. A modo de comparación, emplearemos la ecuación de "LAME" para determinar el esfuerzo máximo en un cilindro sometido a presión interior, la Ec. de Lamé es la siguiente:

$$f_t = p \left(\frac{k^2 + 1}{k^2 - 1} \right) \dots \quad (3)$$

donde:

f_t = es el esfuerzo tangencial (mayor que el esfuerzo longitudinal)

$k = \frac{D_o}{D_i} = \frac{R_o}{R_i}$; D_o = diámetro exterior.

Para hacer la comparación de la ecuación de Lamé y la ecuación de la membrana, introduciremos la constante k en la ecuación de la membrana (para recipientes de pared delgada).

De la ecuación (1) tenemos:

$f_t = \frac{PR}{t}$; sustituyendo $t = R_o - R_i$, donde $R_o =$ Radio exterior y $R_i =$ radio interior.

$$f_t = \frac{PR_i}{R_o - R_i} \dots \quad (4)$$

sabemos que $k = \frac{D_o}{D_i} = \frac{R_o}{R_i}$ y sustituyendo nos queda:

$$f_t = \frac{PR_i}{KR_i - R_i}; \quad \bar{r}_t = \frac{P}{K-1}; \quad f_t = P \left(\frac{1}{K-1} \right) \dots \quad (5)$$

Que es la ecuación del esfuerzo tangencial, basada en la teoría de la membrana, en función de la relación de diámetros.

Si despejamos f_t/p de las ecuaciones (3) y (5), nos quedaría como sigue:

$$\frac{f_t}{P} = \frac{(k^2 + 1)}{k^2 - 1} \dots \quad (6)$$

$$f_t = \frac{1}{(k - 1)} \dots \quad (7)$$

Si graficamos estas dos ecuaciones, observamos que la ecuación de Lamé, nos dará valores más conservadores en el diseño, además de que pueda usarse para cualquier relación de t/D , sin embargo, para calcular un espesor usando esta ecuación, deberán hacerse aproximaciones sucesivas, mientras que esto no sucede con la ecuación de la membrana la cual nos dá el valor del espesor con un solo cálculo, el inconveniente es de que sólo puede emplearse para valores t/D menores de 0.10, además debemos prever concentraciones de esfuerzos debidos a aberturas, falta de homogeneidad en el material, variaciones del espesor, etc.

El rango de la membrana ha sido extendido por medio de una modificación empírica que consiste en agregar la constante 0.6 a dicha ecuación, y a ésta se le conoce como la ecuación modificada por el código ASME, y los valores que resultan de su aplicación se acercan mucho a los obtenidos a partir de la ecuación de Lamé, esta -

fórmula puede usarse para relaciones de t/D hasta de 0.25, teniendo una variación en los valores de la fórmula de Lamé de aproximadamente 1%, además con el uso de esta ecuación, no es necesario hacer aproximaciones sucesivas.

La ecuación modificada por el código ASME es la siguiente:

$$\frac{f_t}{P} = \frac{1}{k - 1} + 0.6 \quad \dots \quad (8)$$

Si sustituimos los valores de $k = \frac{R_o}{R_i}$ y $t = R_o - R_i$, obtenemos:

$$\frac{f_t}{P} = \frac{R_i}{t} + 0.6 \quad \dots \quad (9)$$

y despejando t , tenemos:

$$t = \frac{PR_i}{f_t - 0.6 P_i} \quad \dots \quad (10)$$

Esta ecuación nos dá el valor del espesor -- teórico de un material con un esfuerzo de trabajo f_t en un cilindro de radio interior R_i ; sin- embargo, para aplicar esta ecuación a un diseño- real, debemos tomar en cuenta el factor de segu- ridad que daremos al esfuerzo del material, a -- qué temperatura trabajará dicho material, qué -- margen daremos a la presión de operación para di- señar el recipiente, qué eficiencia tendremos en las juntas soldadas y por último, qué sobre-espe- sor agregaremos para contrarrestar la corrosión.

Una vez considerados todos los parámetros- enunciados anteriormente, la ecuación para calcu- lar el espesor del cascarón, quedará de la si - guiente manera:

$$t = \frac{PR_c}{f_t E - 0.6P} + c \quad \dots \quad (11)$$

Que es la ecuación que indica el código, pa- ra el cálculo de cascarones cilíndricos, sometidos a presión interna y no expuestos al fuego di

recto. En donde:

t = espesor mínimo requerido

p = presión de diseño

R_c = radio interior corroído

f_t = esfuerzo máximo permisible del material

E = eficiencia de la junta de soldadura

C = valor añadido por corrosión.

Cuando los aceros están unidos por soldadura a tope con cordón al frente y atrás, de acuerdo con el código y completamente radiografiado, tiene una eficiencia de junta de 100%, $E = 1.0$, cuando la junta soldada no tiene radiografía, la eficiencia de la junta es de 70%, $E = 0.70$ y cuando se usa examen de radiografía por punto, la eficiencia de la junta es de 85%, $E = 0.85$, entonces se puede ver que mediante un examen de radiografiado completo, se puede lograr un ahorro hasta del 30% del espesor de la envolvente y es por esto que el examen de radiografía ha venido a ser una práctica común para lograr una economía en

los espesores.

El espesor de la torre deberá diseñarse, - como mínimo, para las condiciones coincidentes - más severas de presión, y de temperatura esperada en operación normal; para esta condición -- se considerarán los datos de diseño:

Datos de Diseño:

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| Temperatura de diseño | 380°C (716°F) |
| Presión de operación | 1.8 kg/cm ² |
| Presión de diseño | 3.91 kg/cm ² |
| Longitud de T-T | 41,300 mm |
| Diámetro interior | 6,096 mm |
| Radio interior | 3,048 mm |
| Eficiencia de la junta: | |
| Longitudinal del cascarón | 100% |
| En las cabezas | 85% |
| Corrosión permisible | 0.0 mm |
| Coefficiente sísmico | 0.30 |
| Espesor del aislamiento | 75 mm |

Datos del material:

| | |
|-----------------------------|--|
| Especificación del material | SA-515-70 |
| Esfuerzo máximo permisible | 1,033.0 kg/cm ² (14,800 psi) |

Sustituyendo los datos de diseño en la ecuación proporcionada por el código tendremos:

$$D_c = D_1 = 6,096 + 0 = 6,096 \text{ mm}; \quad R_c = 3,048 \text{ mm}$$

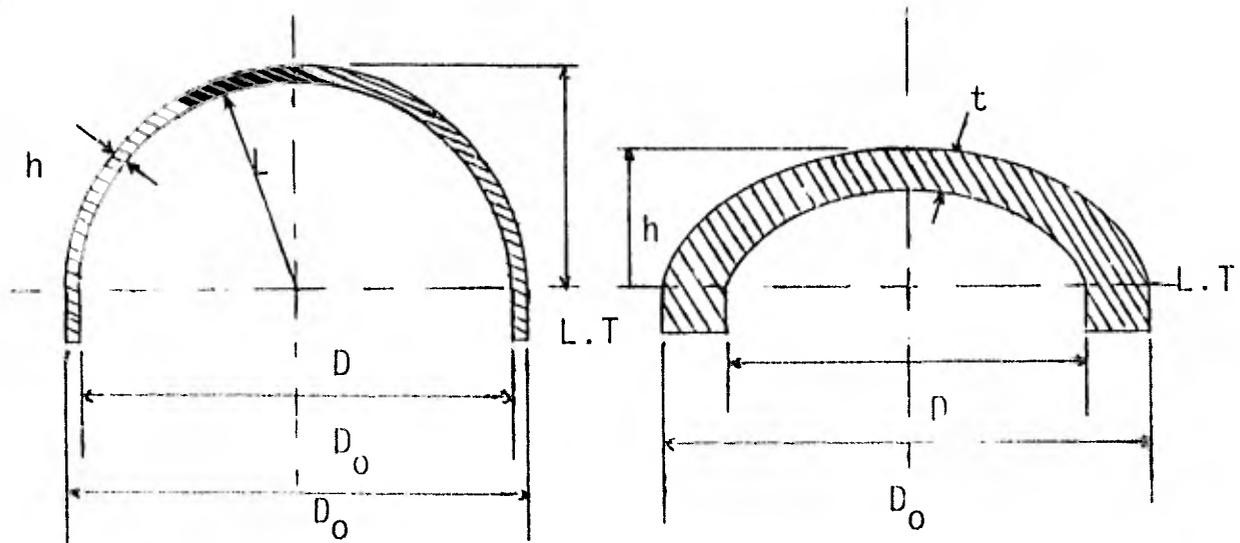
$$t = \frac{PR_c}{f_t E - 0.6P} = \frac{(3.91)(304.8)}{(1,033.0)(1) - 0.6(3.9)} = 1.16 \text{ cm}$$

El espesor mínimo requerido para la envoltante es de 11.6 mm, pero como no existe placa de uso comercial con este espesor, entonces se aumentará el valor hasta obtener un espesor disponible comercialmente, y el más cercano es de 12.70 mm (1/2 pulg); por lo tanto, el espesor empleado será de 12.70 m (1/2 pulg).

6.1 CALCULO Y TIPO DE CABEZAS

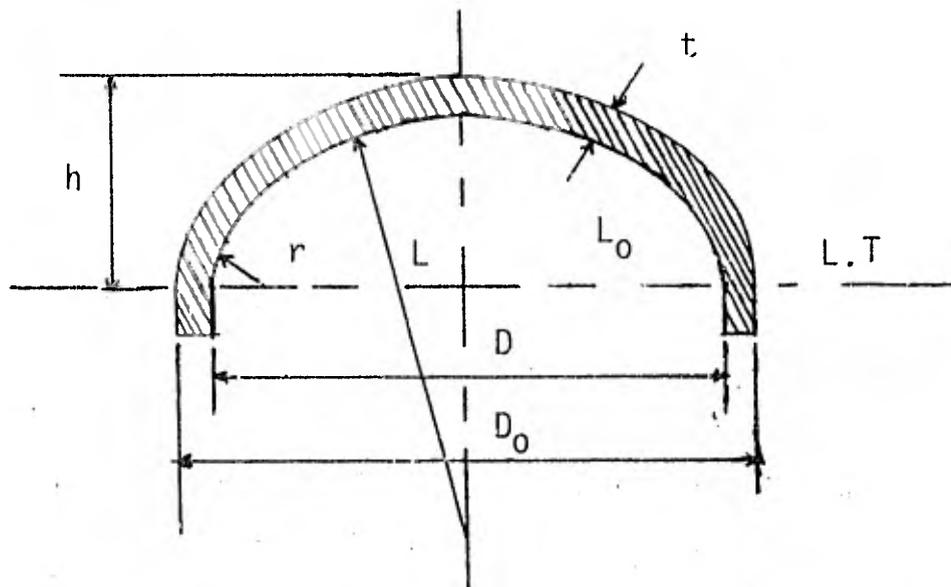
En la actualidad existen varios tipos de cabezas que se pueden emplear en los recipientes a presión, estos tipos de cabezas son:

Semiesféricas, Elípticas, Torisféricas, Cónicas y Toricónicas.

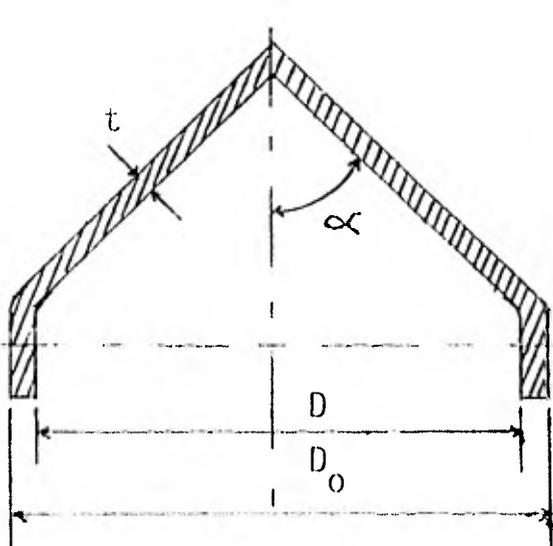


Semiesférica
(a)

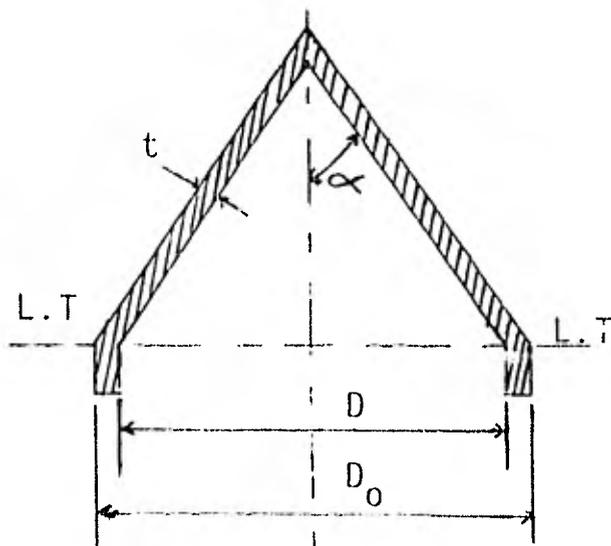
Elíptica
(b)



Torisférica
(c)



Toricónica
(d)



Cónica
(e)

FIGURA 6.1

Si empleamos una tapa plana en un cilindro, y aumentamos gradualmente la presión, notamos - que fácilmente la tapa plana empieza a abombarse en el centro de la tapa sin que exista o se note cambio en el cascarón, entonces analizando estas deformaciones a medida que se incrementa la presión, vemos como tiende a tomar la forma esférica, ahora si fabricamos una tapa equivalente a una cabeza plana deformada obtenemos así la cabeza torisférica en la cual se sustituye la porción plana por un segmento esférico con un radio determinado; si seguimos aumentando la presión, observamos que la cabeza torisférica empieza a deformarse y presenta una sección transversal, -- a ésta se le llama semielíptica, la cual es más resistente a la presión interna que las anteriores, cabe mencionar que las tapas anteriores requerirán un mayor espesor que el de la envolvente, debido a que existe una discontinuidad de esfuerzos y por lo último, si aumentamos la presión interior se deformará la cabeza elíptica -- y se transformará a una cabeza semiesférica la -

cual ya no podrá ser deformada antes que la envolvente si se incrementa la presión, este tipo de cabezas es el más resistente, llegando a obtener espesores igual a la mitad del espesor del cascarón.

En conclusión, podemos afirmar que para recipientes de proceso como las torres, podemos usar cabezas torisféricas, elipsoidales y semiesféricas.

Las tapas cónicas y toricónicas, generalmente no se emplean en torres, sólo en recipientes de proceso muy especiales, entonces, sólo estudiaremos a continuación las tres primeras (torisférica, elíptica y semiesférica).

Cabezas Semiesféricas.- Para una cabeza de este tipo, el espesor mínimo requerido se deduce de las consideraciones teóricas fundamentales para recipientes de pared delgada. La teoría de la membrana indica para este caso que el espesor ne-

cesario, es sólo la mitad del espesor de la en -
volvente, usando en su fabricación el mismo materi
al y el mismo esfuerzo permisible. El código-
proporciona la siguiente fórmula, para calcular-
el espesor necesario:

$$t = \frac{PL}{2SE - 0.2P} \quad \text{ó} \quad p = \frac{2SET}{L - 0.2t}$$

Donde "L" corresponde al radio de curvatura
(ver figura 6.1a) y los demás términos empleado
s corresponden a los mismos empleados en el -
cálculos de la envolvente.

En el rango en el que es conveniente coloca
r este tipo de cabezas, oscila entre las presi
siones de 35 a 40 kg/cm² y mayores.

Cabeza Elipsoidal.- Si nos interesa solame
nte el reducir al mínimo el peso del material,
se preferirían las cabezas semielípticas sobre -
los otros tipos de cabezas, ahora bien, la cantii

dad de material requerido para la fabricación de cabezas semiesféricas es muy grande. Esto ocasiona un incremento de los costos de fabricación y los cuales aumentan conforme se incrementa el diámetro de la cabeza. Los costos podrían disminuir si se emplea una cabeza que requiera menor cantidad de material para su fabricación. Por esta razón es más frecuente el empleo de cabezas elipsoidales con relación del eje mayor al eje menor de 2:1, a pesar de que según la teoría para recipientes de pared delgada este tipo de cabezas tendría el doble de espesor de una cabeza semiesférica en la cual el eje mayor es igual al eje menor.

Cuando se usan estas tapas en recipientes a presión, tiene el mismo espesor que el cascarón cilíndrico siempre y cuando se use el mismo valor de eficiencia en el cálculo de ambos espesores. El código proporciona las siguientes fórmulas para cabezas elipsoidales de pared delgada con relación 2:1 del eje mayor al eje mayor.

El espesor requerido de una cabeza cóncava de este tipo, en la cual la mitad del eje menor (profundidad interior de la cabeza menos la ceja recta) es igual a la cuarta parte del diámetro interior del recipiente, se calculará como sigue:

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} \quad \text{ó} \quad p = \frac{2SET}{D + 0.2t}$$

Debido a los bajos costos de fabricación y menor peralte, con frecuencia se prefiere usar cabezas elipsoidales en lugar de las cabezas semiesféricas. Otra consideración es que las ta - pas elipsoidales están disponibles en una gran variedad de dimensiones, lo cual no sucede con las cabezas semiesféricas.

En épocas pasadas, la disponibilidad de las tapas elipsoidales, era tan grande comparada con la disponibilidad de las tapas semiesféricas, y el uso de estas últimas se reducía generalmente a recipientes con diámetros pequeños. Pero ac - tualmente los fabricantes de tapas para recipientes

tes han incrementado el número de troqueles para la producción de cabezas semiesféricas y en consecuencia se ha generalizado más su uso, pero si no influyeran los costos de fabricación, normalmente se prefiere usar las cabezas tipo semiesféricas en la tapa superior de la torre de destilación, debido a su peso mínimo y a que su discontinuidad de esfuerzos es mínima proporcionando una mayor resistencia.

Cabeza Torisférica.- En el pasado se usó ampliamente la cabeza torisférica en una gran variedad de recipientes cilíndricos. Esta cabeza no tiene la forma de un elipsoide sino que está moldeada mediante el uso de dos radios: el radio de corona o sea el radio del plato para la corona esférica que constituye la mayor parte de la cabeza; el radio de la transición conocido también como radio del quiebre (o esquina), o sea el radio que une la corona esférica con la envolvente, en este tipo de cabezas los costos de fabricación son menores que los requeridos en

cabezas elipsoidales.

La teoría de recipientes de pared delgada - indica que el espesor de estas cabezas es mayor - que el espesor de la envolvente, si se usa el mismo valor del esfuerzo y de la eficiencia en ambos casos. El código proporciona la siguiente fórmula para cabezas torisféricas, en la cual el radio de transición es igual al 6% del radio de la corona y se calculará como sigue:

$$t = \frac{0.885 PL}{SE - 0.1P} \quad \text{ó} \quad p = \frac{SET}{0.885L + 0.12}$$

Si el espesor obtenido es pequeño, el ligero incremento en el espesor necesario para la cabeza torisférica estándar puede ser mayor que la compensación por los bajos costos de fabricación. La cabeza torisférica tiene más esfuerzos locales debiendo a sus discontinuidades, comparada con las cabezas semiesféricas o elipsoidales; esta discontinuidad de forma, se presenta en la junta-

de los dos radios de la cabeza torisférica así como en la junta de la transición con la ceja recta. Si se sobrecarga una cabeza torisférica con esfuerzos superiores a su límite elástico, tenderá a cambiar su forma hacia la de una tapa elipsoidal de - mostrando que ésta última cabeza tiene la geometría óptima en estas condiciones de operación.

Los esfuerzos locales producidos por las discontinuidades se traducen en zonas que son fuentes de iniciación de fallas por fractura frágil, debido al reconocimiento de la falla por fractura frágil - como la falla principal en una gran variedad de -- equipos, entonces se tratará de reducir a un mínimo los esfuerzos locales, tanto como sea posible, - especialmente si estos esfuerzos no se han considerado en los cálculos de diseño. La posible economía involucrada en el uso de cabezas torisféricas - como ya se comparó con las cabezas elipsoidales -- con frecuencia no es lo suficientemente grande pa- ra justificar su uso en los recipientes tan caros - como lo son las torres de destilación. Se reco -

mienda el uso de las cabezas semiesféricas siempre que sea posible, debido a que la discontinuidad de esfuerzo es muy pequeña en la junta cabeza envolvente si se compara con la cabeza elipsoidal y --- cabeza torisférica. Si no fuera factible el uso de la cabeza semiesférica, debe preferirse el uso de la cabeza elipsoidal al uso de cabeza torisférica para torres de destilación, puesto que el costo de la cabeza superior es sólo una pequeña parte del costo total de la torre.

Con la aplicación de las fórmulas proporcionadas por el código para cada una de las cabezas utilizadas en torres de destilación, es fácil comprobar lo expuesto anteriormente.

Para una cabeza semiesférica el espesor de la cabeza es:

$$t = \frac{PL}{2SE - 0.2P} \quad ; \quad t = \frac{(3.91)(304.8)}{2(1,033)(1) - 0.2(3.91)}$$

$$= 0.58 \text{ cm}$$

Ya habíamos hecho notar que el espesor requerido por este tipo de cabezas era sólo la mitad del utilizado por el espesor de la envolvente que es de 1.16 cm. Además indicamos que el material necesario para su fabricación es mayor.

Para una cabeza elipsoidal, se indicó que el espesor requerido es el mismo que el empleado para la envolvente, utilizando el mismo material y la misma eficiencia de junta, como a continuación expresaremos:

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} ; \quad t = \frac{(3.91)(609.6)}{2(1,033)(1) - 0.2(3.91)}$$

$$= 1.15 \text{ cm.}$$

Y efectivamente $T_c \approx T_e$; $1.15 \approx 1.16 \text{ cm.}$

Por lo expuesto anteriormente, sobre las características e inconveniencia de cada tipo de cabezas empleadas en la tapa superior de la torre de destilación, se empleará la cabeza elipsoidal,

debido a que es inconveniente el empleo de cabezas semiesféricas por la gran cantidad de material requerido y en comparación con las cabezas torisféricas existe la desventaja de los esfuerzos locales producidos por la discontinuidad geométrica ocasionada por la combinación de los dos radios de formación.

Entonces, la cabeza empleada será del tipo elipsoidal. El espesor calculado anteriormente, para una cabeza de este tipo fue de 1.15 cm, pero si se considera que la cabeza estará formada de una sola pieza, ahora en cabezas con diámetro de 6 mts., como en este caso, no se pueden conformar de una sola pieza, entonces se forman de gajos soldados y ésto implica que la eficiencia no sea de 100% sino que en estas condiciones de juntas soldadas la eficiencia es alrededor de 85 a 90% si consideramos el caso más desfavorable de 85% para mayor seguridad, entonces el espesor será mayor de 1.15 cm.

El material de la cabeza será de SA-515-70- especificación igual al de la envolvente, por lo tanto tendrá las mismas características mecánicas y su espesor será de:

$$t = \frac{PD}{2SE-0.2P} ; \quad t = \frac{(3.91)(609.6)}{2(1,033)(0.85)-0.2(3.91)}$$
$$= 1.36 \text{ cm.}$$

La presión de diseño y/o operación son las que nos determinan en realidad el uso de los diferentes tipos de cabezas.

El espesor requerido por esta cabeza tipo elipsoidal es de 13.6 mm, pero sucede lo mismo que para el espesor de la envolvente de que no existe placa de acero en el mercado con este espesor (13.6 mm), por lo tanto el valor del espesor de uso comercial que más se aproxima es el de 15.88 mm (5/8"). Los espesores de las tapas serán de 15.88 mm (5/8").

$$t = 15.88 \text{ mm (5/8")}$$

6.2 VERIFICACION DE LOS ESPESORES POR PRESION EXTERNA

La presión externa equivale a una presión negativa aplicada en el interior del recipiente y como todos los recipientes en operación en un momento dado pueden estar sujetos a un vacío parcial, entonces la torre no debe estar exenta del diseño por presión exterior de seguridad.

Las reglas para el diseño de cascarones sometidos a presión externa se muestran en diferentes gráficas que proporciona el código.

A continuación definiremos la terminología empleada para los cálculos:

- A = factor determinado de la fig. UG0-28 (anexo 2).
- B = factor determinado de las gráficas del material aplicable, para la temperatura de diseño máxima del metal fig. UCS-28.2 (anexo 2).

D_o = diámetro exterior del cascarón.

E = módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño.

L = distancia entre líneas de tangencia más $1/3$ de la profundidad de cada cabeza.

P = presión exterior de diseño; $P = 1.05$ kg/cm^2 (15 PSI).

P_a = valor calculado de la máxima presión exterior permisible para el valor del espesor.

T = mínimo espesor requerido.

El espesor mínimo requerido de un cascarón cilíndrico bajo presión externa será determinado por el siguiente procedimiento del código. Existen dos procedimientos: 1) cuando el recipiente sea $D_o/t \geq 10$ y 2) cuando el recipiente sea $D_o/t < 10$.

1) Cuando el recipiente tenga la relación $D_o/t \geq 10$, se realiza lo siguiente:

Paso 1.- Con el valor del espesor (t), se calculan las relaciones L/D_o y D_o/t .

Paso 2.- Con el valor de L/D_o entrar a la gráfica UG0-28 por el lado izquierdo y recorrer horizontalmente a la línea del valor de D_o/t , desde este punto de intersección se recorre verticalmente hacia-abajo para determinar el factor A .

Paso 3.- Con el valor de A , se entra la gráfica del material aplicable de las figs. --- USC-28.1 o USC-28.2. Moviendo verticalmente hasta intersectar con la línea del material/temperatura para la temperatura de diseño.

En casos donde el valor de A , caiga al extremo de la línea material/temperatura, suponer una intersección con la proyección horizontal del extremo superior de la línea material/temperatura. Para el valor de A , que caiga a la izquierda de -

la línea material/temperatura, ver paso 6.

Paso 4.- De la intersección obtenida en el paso 4, mover horizontalmente a la derecha y leer el valor del factor B.

Paso 5.- Usando el valor de B, calcular el valor de la presión máxima permisible (Pa), usando la siguiente fórmula:

$$Pa = \frac{4 B}{2 (Do/t)}$$

Paso 6.- Para valores de A, que caigan a la izquierda de la línea material/temperatura aplicable, el valor de (Pa) puede ser calculado usando la siguiente fórmula:

$$Pa = \frac{2 AE}{3 (Do/t)}$$

Paso 7.- Comparar el valor calculado de Pa con P,

si P_a es menor que P , el procedimiento deberá repetirse, pero aumentando el espesor y/o disminuyendo "L" con anillos-atiesadores hasta que P_a , sea mayor o-igual que P .

2) Cuando el recipiente tenga la relación --
 $D_o/t < 10$, se realizará lo siguiente:

Paso 1.- Usando el mismo procedimiento descrito-anteriormente para obtener el valor de-B. Para valores de D_o/t menor que 4, -el valor del factor A, puede ser calcu-lado usando la siguiente fórmula:

$$A = \frac{1.1}{(D_o/t)^2}$$

Paso 2.- Con el valor de B, calcular el valor de P_{a1} y P_{a2} usando las siguientes fórmu-las:

$$Pa_1 = \left[\frac{2.167}{(Do/t)} - 0.0833 \right] B$$

$$Pa_2 = \frac{25}{Do/t} \left[1 - \frac{1}{Do/t} \right]$$

Paso 3.- El valor más pequeño de Pa_1 y Pa_2 , será usado para la presión máxima permisible, si Pa es menor que P , usar el mismo criterio que el primer procedimiento descrito.

Cálculo de espesor de cabezas por presión exterior (presión sobre el lado convexo)

Para verificar si el espesor de las cabezas es capaz de soportar la presión exterior, se basará en el mismo procedimiento que se empleó en la envolvente y se agregarán a estos nuevos términos o factores que a continuación se describen:

R = radio esférico equivalente, para cabezas -

elipsoidales se toma como $K_1 D_o$.

K_1 = factor dependiente de la cabeza elipsoidal -
(ver tabla UG-37).

T A B L A U G - 37

Valores del factor K_1 de radios esféricos, radio-
esférico equivalente = $K_1 D$; $D/2H$ = relación de --
ejes.

| | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|-----|
| $D/2H$ | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 2.4 | 2.2 | |
| K_1 | 1.36 | 1.27 | 1.18 | 1.08 | 0.99 | |
| $D/2h$ | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.0 |
| K_1 | 0.90 | 0.81 | 0.73 | 0.65 | 0.57 | 0.5 |

Cabezas elipsoidales.- El espesor requeri-
do de una tapa con forma elipsoidal teniendo --
presión sobre el lado convexo se calculará con el
siguiente procedimiento:

Paso 1.- Con el valor del espesor (t) se calcula

el valor del factor A, usando la siguiente fórmula:

$$A = \frac{0.125}{(R/t)}$$

Paso 2.- Con el valor de A, se entra a la gráfica del material aplicable fig. UCS-28.1 o UCS-28.2. Mover verticalmente hasta intersectar con la línea material/temperatura, a la temperatura de diseño.

En caso de que el valor de A, caiga en el extremo derecho de la línea de material/temperatura, suponer una intersección con la proyección horizontal del extremo superior de la línea material/temperatura. Para valor de A, cayendo a la izquierda de la línea material/temperatura, ver paso 5.

Paso 3.- De la intersección obtenida en el paso 2, mover horizontalmente a la derecha y leer el valor del factor B.

Paso 4.- Usando el valor de B, calcular el valor de la presión máxima exterior permisible (Pa), suando la siguiente fórmula:

$$Pa = \frac{B}{R/t}$$

Paso 5.- Para valores de A, que caigan a la izquierda de la línea material/temperatura, para calcular el valor de (Pa), se puede usar la siguiente fórmula:

$$Pa = \frac{0.062 SE}{(R/t)^2}$$

Paso 6.- Si Pa es menor que P, se incrementa el valor del espesor y se repite el procedimiento hasta obtener un valor de Pa - mayor o igual al vapor de P.

6.2.1 Cálculo por presión exterior de seguridad del cascarón y cabezas

I. CASCARON

1.- Se determinará el valor de D_o/t para ver qué procedimiento se sigue.

$$D_c = D_e + 25 = (609.6 + 2.54) \text{ cm} = 612.14 \text{ cm}$$

$$t = 1.27 \text{ cm.}$$

$$t = 1.27 \text{ cm.}$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{612.14}{1.27} = 482; \quad 482 > 10, \text{ entonces se seguirá el procedimiento } D_o/t \geq 10.$$

$$2.- \quad L = L_t + 2 \left(\frac{1}{3}h \right) = 4130 \text{ cm} + \frac{2}{3} (153) = 4232.0 \text{ cm.}$$

$$D_o = 612.14 \text{ cm.}$$

$$L/D_o = \frac{4232}{612.14} = 6.91; \quad \text{con } 6.91 \text{ y } 482, \text{ de la gráfica UGO-28.0 (anexos) } A = 0.0002.$$

3.- Con el valor de A, usar la gráfica UCS-28.2, para encontrar el factor R.

Como el valor de A, cae en la parte izquierda, entonces se aplica lo enunciado en el paso 6.

$$P_a = \frac{2AE}{3 (D_o/t)} = \frac{2(0.0002)(24.5 \times 10^6)}{3 (482)}$$
$$= 6.78 \text{ kg/cm}^2.$$

Entonces $P_a = 6.78 \text{ Kg/cm}^2$ y $P = 1.05 \text{ Kg/cm}^2$

$P_a > p$ y el espesor de $t = 1.27 \text{ cm}$, es capaz de soportar vacío.

II. CAREZA ELIPTICA

$t = 1.58 \text{ cm}$, cabeza elíptica 2:1, de la tabla UG=37 $D/2h = 2.0$, $K_1 = 0.90$.

$R = K_1 D_o = (0.90) (612.14) = 550.93 \text{ cm}$, con es

tos valores calcular A.

$$A = \frac{0.125}{(R/t)} = \frac{0.125}{\frac{550.93}{1.58}} = 0.00035$$

Como el valor de A, cae en la parte izquierda de la gráfica UCS-28.2, entonces se empleará la fórmula enunciada en el paso 5.

$$P_a = \frac{0.062 \text{ SE}}{(R/t)^2} = \frac{(0.062)(1.033)(24.5 \times 10^6)}{\left(\frac{550.93}{1.58}\right)^2}$$
$$= 12.905 \text{ Kg/cm}^2$$

$P_a > P$ por lo que las cabezas son adecuadas para resistir la presión externa de seguridad.

6.3 PRESION DE TRABAJO MAXIMA PERMISIBLE

Como los espesores utilizados de acuerdo al ajuste de uso comercial, son mayores que los espesores calculados por las ecuaciones correspondientes en base a los parámetros de diseño, entonces lógicamente estos espesores tendrán una mayor capa

cidad de resistir una presión mayor que la de diseño.

Para calcular la presión de trabajo máxima - permisible, se emplearán las ecuaciones del cálculo de espesores por presión interna y en este caso los espesores deberán tomarse corroidos, ya incrementados al espesor comercial: ahora la presión - máxima permisible será el menor de los valores encontrados en la envolvente o en las cabezas y por lo tanto, será la que gobierne el diseño.

Para el cascarón:

$$t = 12.7 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 17.5 \text{ mm}$$

$$P = \frac{f_t E T_c}{R_c + 0.6 T_c} = \frac{(1,033)(1)(1.75)}{(304.8) + 0.6(1.75)}$$
$$= 5.91 \text{ kg/cm}^2$$

Para las cabezas:

$$t = 15.88 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 20.88 \text{ mm}$$

$$p = \frac{(2f)(E)(T_c)}{D_c + 0.2 T_c} = \frac{2(1,033)(0.85)(2,088)}{609.6 + 0.2(2,088)}$$
$$= 6.01 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto la presión que gobierna el di
seño es la del cascarón.

7.0 PLACAS DE REFUERZOS PARA BOQUILLAS Y REGISTROS DE HOMBRE

La instalación de boquillas requiere de aberturas hechas en la envolvente y en las cabezas para su alojamiento, las aberturas pueden ser de tipo o de forma elipsoidal.

En concordancia con el código, todas las boquillas mayores de 3" de diámetro instaladas en recipientes a presión deberán tener una placa de refuerzo en la unión del cuello de la boquilla con el recipiente en México se ha hecho una costumbre reforzar también las boquillas de 3" de diámetro, lo cual es aconsejable.

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 rea-

lizar este agujero, estamos "quitando área", las líneas de esfuerzos que pasaban por el área que quitamos, pasarán tangentes al agujero practicado, ocasionando con ello una concentración de esfuerzos en la periferia del agujero, para evitar fallas en el área donde practicamos el agujero, es necesario reponer el material quitado.

Cuando se requiere tener acceso al interior de un recipiente a presión, ya sea para mantenimiento o introducción de platos, es necesario instalar en él un registro de hombre, el diámetro mínimo para este tipo de registros es de 16 pulgadas, aunque este diámetro no es muy recomendable porque se dificulta el rápido acceso del equipo al interior, lo usual es instalar registros de 18 ó 20 pulgadas de diámetro.

Al abrir un registro de este tipo los operadores tendrían que cargar la tapa, y éstas son muy pesadas, entonces se recomienda instalar un pescante en la tapa de cada registro.

Los cuellos para los registros de hombre de ben ser calculados como cilindros de pared delgada, la tapa será una brida ciega del mismo mate - rial y rango que las usadas en las demás boqui - llas de la torre.

Las placas de refuerzo en registro de hom - bre serán calculados con el mismo criterio, como si se tratase de una boquilla cualquiera.

Los límites de refuerzo serán, los límites del área seccional en cualquier plano normal a la pared del recipiente que pasa a través del centro de la abertura y dentro del cual deberá colocarse el metal para que tenga valor como refuerzo; los límites de refuerzo serán medidos en forma paralela a la pared del recipiente y deberán adaptarse al contorno de la superficie.

El material utilizado como refuerzo deberá tener un esfuerzo permisible igual o mayor que el del material de la pared del recipiente. El me -

tal de soldadura depositado ya sea en la parte exterior de la pared del recipiente o en cualquier-placa de refuerzo deberá tomarse en cuenta con un esfuerzo permisible equivalente al material más - débil de los unidos por soldadura.

El cálculo de las placas de refuerzos, consiste en restituir el material perdido en el orificio el cual se restituye por medio de un anillo o un refuerzo en el cuerpo del recipiente, la compensación consiste en determinar los límites de - refuerzo.

Para proceder al cálculo del área de refuerzo, se mostrarán algunos de los datos de boquillas proporcionados por el departamento encargado de estudiar el número requerido y las dimensiones co-rrespondientes; a continuación se listan estos - datos de boquillas*.

| BOQUILLA No. | S E R V I C I O | DIAMETRO |
|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | ALIMENTACION DE H.C. | 737 mm (29 pulg.) |
| 2 | REGISTRO DE HOMBRE | 508 mm (20 pulg.) |
| 3 | DESTILADO DE TURBOSINA | 457 mm (18 pulg.) |
| 4 | DESTILADO DE KEROSINA | 356 mm (14 pulg.) |
| 5 | DESTILADO DE DIESEL | 508 mm (20 pulg.) |
| 6 | CONTROL DE PRESION | 51 mm (2 pulg.) |
| 7 | VALVULA DE SEGURIDAD | 51 mm (2 pulg.) |
| 8 | EXTRACCION INFERIOR | 6610 mm (24 pulg.) |
| 99 | REFLUJO | 254 mm (10 pulg.) |

8

* NOTA: Estas boquillas son sólo algunos ejemplos de las boquillas requeridas; es conveniente aclarar que el diámetro indicado es sólo una aproximación para poder aplicar el cálculo, servicio, diámetro, etc. no se mostrarán por no contar con los diagramas de tubería e instrumentación (D.T.I.) donde se muestran los datos y números de boquillas.

Para mostrar el cálculo del área de refuerzo sólo se aplicará a las boquillas No. 1 y 5, debido a que son de diferente diámetro, el cálculo de las demás será similar.

A continuación se muestra un arreglo típico de las placas de refuerzo.

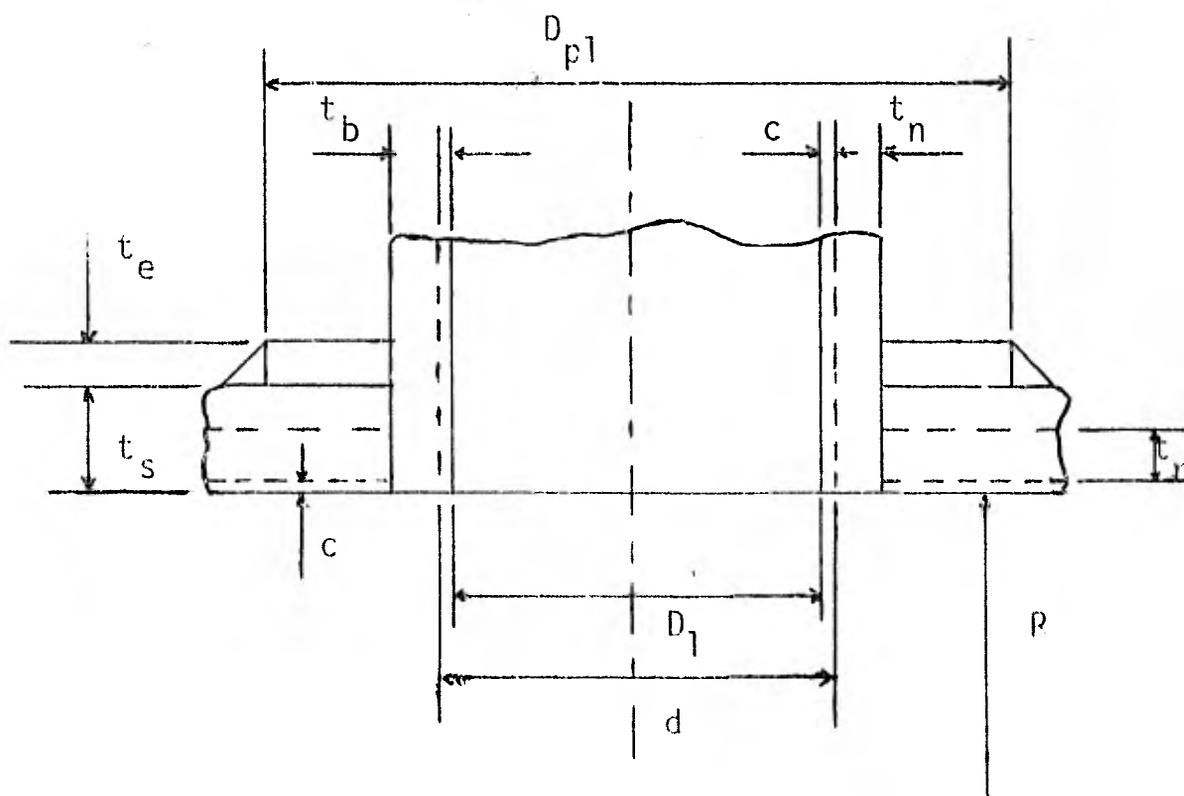


FIGURA 7.0

donde:

t = espesor del cuerpo sin incluir corrosión.

d = diámetro nominal de la boquilla.

t_r = espesor requerido en el cuerpo.

t_n = espesor nominal de la pared de la boquilla.

A_1 = área excedente en el espesor de la pared del recipiente, disponible para refuerzo, se toma el mayor de los valores de A_1 .

A_2 = área del espesor excedente en la pared de la boquilla, se toma el menor de los valores de A_2 .

DATOS:

| | |
|---------------------------|-------------------------------|
| Presión de diseño | $P = 3.91 \text{ kg/cm}^2$ |
| Temperatura de diseño T | $T = 380^\circ\text{C}$ |
| Tolerancia por corrosión | $C = 0.0$ |
| Material del cuerpo | SA - 515 - 70 |
| S_c a temp. de diseño | $S_c = 1,033 \text{ kg/cm}^2$ |
| Material de boquilla | SA = 515 - 70 |
| S_b a temp. de diseño | $S_b = 1,033 \text{ kg/cm}^2$ |
| Radio interior del Cpo. | $R = 3,048 \text{ mm}$ |
| Espesor nominal del Cpo. | $T_s = 12.7 \text{ mm}$ |

Diáme

Diámetro interior de Boq.

$$DI = 737 \text{ mm}$$

Espesor nominal de Boq.

$$Tb = 12.7 \text{ mm}$$

$$t = ts - c; \quad 5 = 12.7 - 0.0 = 12.7$$

$$T = 12.7 \text{ mm}$$

$$d = DI + 2c, \quad d = 737 + 2(0.0) = 737 \quad D = 737 \text{ mm}$$

$$Tr = \frac{P(R+C)}{Sc - 0.6P}; \quad Tr = \frac{3.91(304.8+0)}{1.033-0.6(3.91)} \quad Tr = 1156 \text{ mm}$$

$$Tn = Tb - C; \quad Tn = 12.7 - 0.0 = 12.7 \quad Tn = 12.7 \text{ mm}$$

$$kn = \frac{d}{2}; \quad Rn = \frac{737}{2} = 368.5 \quad Rn = 368.5 \text{ mm}$$

$$Trn = \frac{RPn}{Sb - 0.6P}; \quad Trn = \frac{3.91(36.85)}{1.033 - 0.6(3.91)}$$
$$= 0.14 \text{ cm} \quad Trn = 1.398 \text{ mm}$$

$$A = dxTr; \quad A = (737 \times 11.56) = 8.515.10 \text{ mm}^2 \quad A = 8.515.10 \text{ mm}^2$$

$$A11 = (T - Tr) d; \quad A11 = (12.7 - 1156)737$$
$$= 839.72 \quad A11 = 839.72 \text{ mm}^2$$

$$A12 = 2(T - Tr)(Tn + T) = 2(12.7 - 1156)$$
$$(12.7 + 12.7) = 57.91 \quad A12 = 57.91 \text{ mm}^2$$

Como A_1 , se toma la mayor de A_{11} o A_{12} ,
 entonces

$$A_1 = 839.72 \text{ mm}^2$$

$$A_{21} = 5T (t_n - T_{rn}) = 5 \times 12.7 (12.7 - 1.25) \\ = 727.08$$

$$A_{21} = 727.08 \text{ mm}^2$$

$$A_{22} = 5i_n(T_n - T_{rn}) = 5 \times 12.7 (12.7 - 1.25) \\ = 727.08$$

$$A_{22} = 727.08 \text{ mm}^2$$

Como A_2 , se toma la menor de A_{21} o A_{22} ,
 entonces

$$A_2 = 727.08 \text{ mm}^2$$

$$A_d = A_1 + A_2; A_d = 839.72 + 727.08 \\ = 1,566.80 \text{ mm}^2$$

$$A_d = 1,566.80 \text{ mm}^2$$

El área requerida de esfuerzo será:

$$A_3 = A - A_d; A_3 = 8,515.10 - 1,566.80 = \\ 6,948.30$$

$$A_3 = 6,948.30 \text{ mm}^2$$

$$D_p = \frac{A_3}{T_e} + d + 2 T_n; T_e = t_s$$

$$D_p = \frac{6,948.30}{12.7} + 736.6 + 2(12.7) = 13,09.11 \text{ mm}$$

$$D_p = 1,309.11 \text{ mm}^2$$

Las dimensiones finales de la placa de refuerzo será de:

12.7 mm de espesor x 1,309.11 mm de diám.

Un cálculo previo, pero práctico utilizado por el fabricante para obtener las dimensiones mínimas de las placas de refuerzo es la siguiente: - se considera el espesor de la placa de la envolvente igual al espesor de la placa de refuerzo y el diámetro de la placa igual a 1.5 el diámetro exterior de la boquilla o sea:

$$T_e = T_s \text{ y } D_p = 1.5 D_e$$

Como se puede apreciar, la consideración anterior es bastante simple y se puede aplicar en cualquier tipo de placa, siempre y cuando el material del parche sea de la misma especificación -

del material del cuerpo.

Aplicando la consideración anterior, determinaremos los límites de la placa de refuerzo para la boquilla no. 5 correspondiente a la extracción del diesel.

$$D_e = 508.0 + 2 (12.7) = 533.4 \text{ mm.}$$

$$t_e = t_s = 12.5 \text{ mm}; \quad D_p = 1.5 (D_t) ;$$

$$D_p = 1.5 (533.4) = 800.10 \text{ mm}$$

Las dimensiones finales de la placa de refuerzo serán:

12.7 de espesor x 800 mm. de diámetro.

8.0 MOMENTO MAXIMO DE VOLCAMIENTO DEBIDO AL VIENTO

El diseño por efectos del viento en recipientes verticales es necesario para verificar la seguridad de las torres contra volteo, ocasionada por la presión de viento.

Para calcular las reacciones y el momento de volteo provocado por el viento, se calculará la fuerza resultante correspondiente por el área expuesta. La posición de la resultante de la acción del viento sobre el área expuesta, se supondrá coincidente con el centro de presión.

Las presiones o succiones provocadas por el viento, siempre se considerarán normales a la superficie, donde la magnitud de la presión estática es:

$$P = N C V^2 \quad \dots \quad (8.1)$$

Donde:

V = velocidad de viento considerada en el diseño (km/hr)

C = coeficiente de forma de la superficie.

N = coeficiente de densidad del aire,

$$N = 0.005 \frac{8 + h}{8 + 2h}$$

h = altura sobre el nivel del mar (km).

La velocidad de diseño estará en función de:

- a) la velocidad básica y,
- b) La variación de la velocidad con la altura.

a) .- La velocidad básica (V_B), es la que se supone actuando horizontalmente a una altura de 10 mts. sobre el nivel del terreno, registrada como valor medio en 15 segundos de medición.

Para construcciones de cualquier tipo, la -

velocidad básica será:

$$V_B = K_1 K_2 V_0 \quad \dots \quad (8.2)$$

En donde:

K_1 = factor de topografía.

En terreno plano $K_1 = 1.00$.

En promontorios, en el centro de ciudades $K_1 = 0.0$.

En zonas industriales $K_1 = 1.15$.

K_2 = factor de recurrencia y,

$K_2 = 1.15$, para construcciones que en caso de fallar causarían grandes pérdidas directas o indirectas en comparación con el costo necesario para aumentar su seguridad.

$K_2 = 1.00$, para construcciones en las cuales las pérdidas son de magnitud intermedia.

$K_2 = 0.75$, para construcciones aisladas, cuya falla no pueda normalmente causar daños a estructuras y seres humanos.

V_0 = velocidad reinante de la localidad y su valor se toma del plano de isotecas de la República Mexicana, o de la tabla (8.2) de

velocidad regional.

b).- Variación de la velocidad con la altura (V_h), el valor de la velocidad del viento se incrementa al aumentar la altura del suelo, su magnitud se calcula de la siguiente manera:

$$V_h = (0.1h)^x V_B \quad \dots \quad (8.3)$$

En donde:

h = altura del suelo (m).

x = exponente cuyo valor depende de la velocidad del viento y la topografía local.

T A B L A 8.1
Valor del Exponente (X)

| TOPOGRAFIA | VELOCIDAD DEL VIENTO | |
|--|----------------------|------------------|
| | MENOR A 100 Km/hr | MAYOR A 100 Km/h |
| TERRENO PLANO | 0.15 | 0.085 |
| PROMONTORIOS | 0.10 | 0.10 |
| ZONAS ACCIDENTADAS, (CENTRO DE CIUDADES, ZONAS ARBOREADAS) | 0.35 | 0.175 |

T A B L A 8.2

VALORES DE LA VELOCIDAD REGIONAL

| Z O N A | V_o (km/h) |
|--|--------------|
| A) MESA CENTRAL | 140 |
| B) ZONA COSTERA (FAJA DE 150 Km DE ANCHO A LO LARGO DE CADA COSTA) | 170 |
| C) VALLE DE MEXICO | 100 |

Cálculo de la velocidad básica (V_B)

$$V_B = K_1 K_2 V_o$$

$$K_1 = 1.15 ; \quad K_2 = 1.15$$

$V_o = 170$, considerando que la planta de destilación estará ubicada en Salina Cruz, Oaxaca (Zona Costera)

$$V_B = (1.15) (1.15) (170 \text{ km/h}) = 224.83 \text{ km/h}$$

Cálculo de la variación de la velocidad con la altura (V_h)

$$V_h = (0.1h)^x V_B$$

$x = 0.085$, considerando terreno plano (ver tabla 8.1) se tomarán distancias de 10 en 10 m, debido a que la velocidad básica se mide en esos rangos.

Altura sobre el nivel del suelo (m)

$$0 - 10 \text{ m} \quad V_{10} = \left[(0.1)(10) \right]^{0.085} (224.83) \text{ Km/h} \\ = 224.83$$

$$10 - 20 \text{ m} \quad V_{20} = \left[(0.1)(20) \right]^{0.085} (224.83) \text{ Km/h} \\ = 238.47$$

$$20 - 30 \text{ m} \quad V_{30} = \left[(0.1)(30) \right]^{0.085} (224.83) \text{ Km/h} \\ = 246.84$$

$$30 - 40 \text{ m} \quad V_{40} = \left[(0.1)(40) \right]^{0.085} \quad (224.83)$$

$$= 257.79$$

$$40 - 60 \text{ m} \quad V_{60} = \left[(0.1)(60) \right]^{0.085} \quad (224.83)$$

$$= 261.82$$

$$60 - 70 \text{ m} \quad V_{70} = \left[(0.1)(70) \right]^{0.085} \quad (224.83)$$

$$= 265.27$$

Cálculo de presiones por viento:

$$P = N C V^2$$

$$N = 0.005 \frac{3 + h}{8 + 2h} ; \quad c = 0.7 \quad \text{para cubiertas -}$$

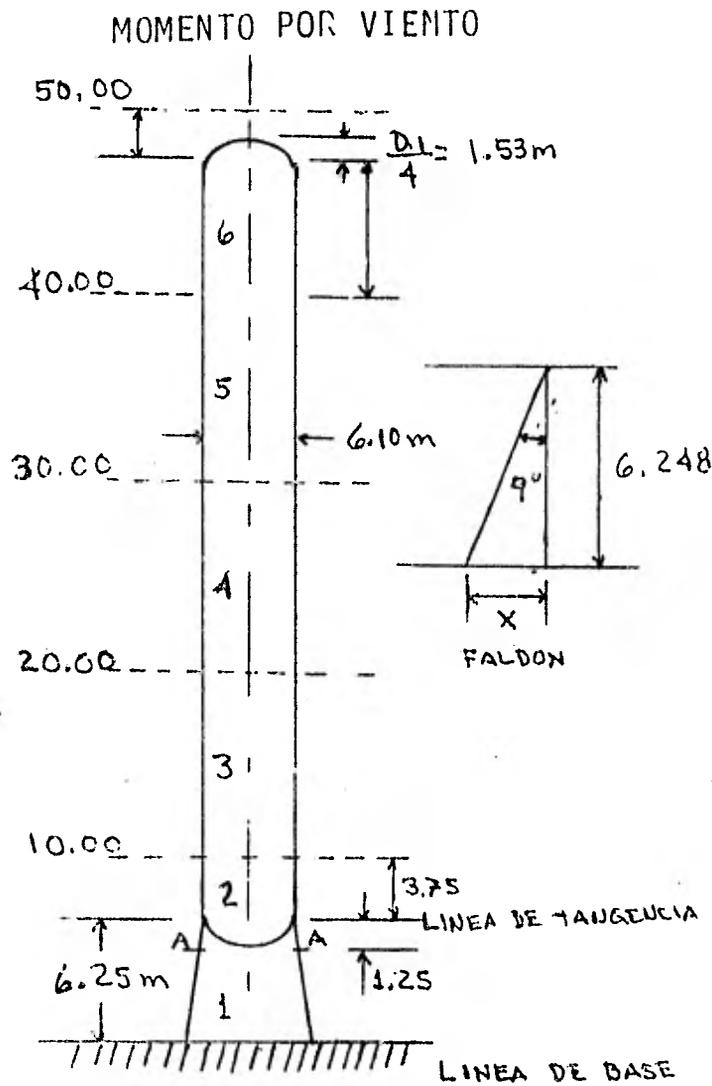
circulares.

$h = 30 \text{ m}$; considerando que la planta se localizará a 25 m. sobre el nivel del mar.

$$N = 0.005 \frac{8 + 0.030}{8 + 2(0.030)} = 0.00498$$

$$P = (0.00498) (0.7) V^2 = 0.00349 V^2$$

| ALTURA | VEL. DE DISEÑO | v^2 (Km/h) ² | PRESION (Kg/m ²) |
|---------|----------------|------------------------------|---------------------------------|
| 0 - 10 | 224.83 | 50,548.53 | 176.41 |
| 10 - 20 | 238.47 | 56,867.94 | 198.47 |
| 20 - 30 | 246.84 | 60,929.99 | 212.65 |
| 30 - 40 | 252.95 | 63,928.07 | 223.11 |
| 40 - 50 | 257.79 | 66,455.68 | 231.93 |
| 50 - 60 | 261.82 | 68,549.71 | 239.24 |
| 60 - 70 | 265.27 | 70,368.17 | 245.58 |



$$\operatorname{Tg} \theta = \frac{x}{6.248}$$

$$x = 6.248 \operatorname{Tg} \theta = 989.65 \text{ mm}$$

$$2x = 2(989.65) = 1,979.3 \text{ mm}$$

$$D_E = D_{EXT} + ENV + 2t_{esp}$$

$$D_E = 6,096 + 2(17.5) + 2(75) = 6,281 \text{ mm}$$

$$D_{INF EK} = 6,096 + 1,979.3 = 8,075.3 \text{ mm}$$

$$D_{msk} = \frac{8,075.3 + 6,096}{2} = 7,085.65 \text{ mm}$$

FIGURA 8.0

Los recipientes verticales altos, sufren - oscilaciones periódicas a la acción del viento - por velocidad moderada. Algunas veces las oscilaciones o vibraciones producen esfuerzos significativos en el cascarón faldon o en la base de la torre. Por lo tanto, los recipientes deberán diseñarse para resistir cargas causadas por el viento.

El momento por viento será igual a la fuerza originada por el viento, a la distancia entre el centro de aplicación de la fuerza y el eje de referencia, analíticamente el momento por viento será:

$$M = FXL \quad ; \quad M = PAL; \quad M = PD_E HL$$

y el momento total es:

$$M_T = P D_E H L C \quad \dots \quad (8.4)$$

En donde:

- P = presión del viento.
- D_e = diámetro exterior.
- H = distancia del área expuesta.
- L = distancia al centro de la fuerza.
- C = porcentaje que se añade a las cargas de --
viento para recipientes verticales debido a
plataformas, escaleras y tuberías.
- C = 10%.

El momento total en la línea de tangencia, -
es igual a la suma de los momentos parciales.

$$M_T = P D H L C$$

$$M_T = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6.$$

$$M_1 = (176.41)(7.085)(6.25)(3.13)(1.1) = 26,895.53$$

$$M_2 = (198.47)(6.281)(3.75)(1.88)(1.1) = 9,667.31$$

$$M_3 = (212.65)(6.281)(10.0)(8.75)(1.1) = 128,556.76$$

$$M_4 = (223.22)(6.281)(10.0)(18.75)(1.1) = 289,029.24$$

$$M_5 = (231.93)(6.281)(10.0)(28.75)(1.1) = 460,697.92$$

$$M_6 = (239.24)(6.281)(6.25)(36.88)(1.1) = \underline{381,001.08}$$

$$M_T = 1'295,847,84$$

kg - m

Momento por viento en la línea de tangencia:

$$M_{TL.T} = 1'295,848 \text{ kg-m}$$

$$M_{TL.T} = 129,584,800 \text{ kg-cm}$$

Momento por viento en la línea base de la ecuación anterior:

$$M_1 = (176.41)(7.085)(6.25)(3.13)(1.1) = 26,895.53$$

$$M_2 = (198.47)(6.281)(3.75)(8.13)(1.1) = 41,805.96$$

$$M_3 = (212.65)(6.281)(10.0)(13.13)(1.1) = 192,908.60$$

$$M_4 = (223.11)(6.281)(10.0)(25.00)(1.1) = 385,372.33$$

$$M_5 = (231.93)(6.291)(10.0)(35.00)(1.1) = 560,849.65$$

$$M_6 = (239.24)(6.281)(7.78)(43.89)(1.1) = \underline{725,472.33}$$

$$M_T = 1'933,304.39$$

kg-m

Momento total de viento en la línea base:

$$M_{TLB} = 1'933,304 \text{ kg - m}$$

son: la sismicidad del lugar y el grado de seguridad aconsejable para el recipiente. Esta a su vez es función creciente de la pérdida que implicaría su falla.

El desplazamiento en la corteza terrestre -- producida por fuerzas sísmicas produce un repentino cambio en el centro de gravedad de la cimentación de un recipiente, resultando una deflexión elástica. Esta deflexión elástica inicia una vibración armónica similar a la de un diapazón sujeto en la base y haciendo un movimiento producido por una fuerza repentina.

Para calcular los momentos por sismo se hará por medio de un análisis estático y se procederá de la siguiente manera:

Para calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una torre, se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las

masas, cada una de estas fuerzas se tomarán igual al producto del peso de la masa correspondiente, por un coeficiente que varía linealmente desde un valor nulo en el desplante de la estructura (o sea en el nivel en que las deformaciones pueden ser apreciables) y máximo en el extremo superior de la misma.

De acuerdo con lo anterior, la fuerza horizontal que actúa en la masa (W_i) cualquiera y actúa en cualquier punto será:

$$F_i = V \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_{ii}} \dots \quad (8.5)$$

En donde:

V = fuerza cortante horizontal.

W = peso de la masa (i).

H = elevación de la masa (i), medida desde la base de la estructura.

El diseño por cargas sísmicas está basado en principio, sobre análisis empíricos de estructuras

que tienen fuerte movimiento sísmico, ya que el movimiento armónico simple como las vibraciones producidas en los recipientes. El coeficiente sísmico en la aceleración horizontal se aproxima en términos de la aceleración debida a la gravedad.

De la segunda ley de Newton, donde la fuerza es proporcional a la masa por la aceleración tenemos:

$$F = ma = \frac{W}{g} a, \quad = \frac{a}{g} W = C W = V \quad \dots (8.6)$$

Donde $a/g = C$, es el coeficiente sísmico y W , el peso de la masa, como ya indicamos V es la fuerza cortante horizontal.

De lo anterior observamos que el movimiento del suelo equivale a una fuerza aplicada en la masa de la estructura. Para conocer la velocidad de una estructura cuando se mueve el suelo es necesario conocer las aceleraciones y éstas se miden con un acelerograma.

El coeficiente de diseño sísmico (c), se obtiene en función al grupo y tipo de estructura, zona y tipo de suelo; se entiende por grupo de estructura el agrupamiento de acuerdo al grado de seguridad aconsejable para cada estructura, por ejemplo, la torre de destilación se clasifica en el grupo secundario, donde el cociente en cuestión es de magnitud intermedia y que en caso de falla por movimientos sísmicos, pueden poner en peligro otras construcciones de este grupo, la clasificación de las estructuras según su tipo, está en función de las características estructurales, como son estructuras cortas, con carga, de gran longitud, etc.

Por lo tanto, nuestra torre corresponde a estructuras cortas y al subtipo 1.3 donde se clasifican todas aquellas construcciones que se hallan soportadas por una sola columna; así como aquellas estructuras cuyas columnas no están ligadas en sus diversos niveles por elementos de suficiente rigidez.

El coeficiente sísmico es función directa - de la regionalización sísmica, para nuestro estudio la región sísmica será el estado de Oaxaca, - ya que la torre será instalada en Salina Cruz, -- Oax. y de acuerdo a la carta mexicana que muestra las zonas de probabilidad sísmica, indica la zona No. 3, donde las causas provocan daños mayores; - por último tenemos la microregionalización, donde las características sísmicas varían según la naturaleza de suelo que puede ser del tipo de terreno firme o terreno compresible, para nuestro estudio, consideramos un terreno de compresibilidad moderado con un coeficiente de 0.23.

En vista de lo expuesto anteriormente, estamos en posibilidad de determinar el coeficiente - de diseño sísmico, el cual para estructuras del - grupo B, los valores del subtipo 1.3 se multiplica por el coeficiente del tipo de terreno quedando así:

$$C_s = 1.3 \times 0.23 = 0.30$$

El coeficiente de diseño sísmico es 0.30.

Una vez teniendo el coeficiente sísmico se calcularán las fuerzas cortantes, las cuales se multiplican por sus respectivos brazos de palanca y obtenemos el momento por sismo quedando así:

$$M_i = V_i H_i$$

Donde:

M_i = momento por sismo.

V_i = fuerza cortante, $V = C_s \dot{U}$.

H_i = brazo de la fuerza al eje donde se perciban desplazamientos.

Una de las cargas principales que actúan sobre el recipiente, es la debida al peso propio de la envolvente y los diversos aditamentos y estructuras propias del recipiente, como son grapas, plataformas, platos, boquillas, etc.

Las cargas se manifiestan principalmente -

en la línea de tangencia inferior del cuerpo o en la línea base del recipiente, es por ésto que la cuantificación de pesos se hace indispensable para la revisión de esfuerzos y además, para el cálculo del faldón, es por eso, que antes de iniciar el cálculo del momento por sismo, procederemos a efectuar el cálculo de pesos.

El cálculo de los pesos de cada uno de los componentes de la torre se puede hacer calculando el volumen de material y multiplicándolo por la densidad del mismo, sin embargo es más práctico recurrir a una serie de tablas donde se encuentran tabulados los pesos de cabezas y cilindros en libras por pies lineal de diferentes diámetros y espesores; estas tablas se encuentran en manuales y estándares de ingeniería.

De dichas tablas se obtuvieron los siguientes pesos:

| | Peso en Kg. de Montaje |
|-------------------------|------------------------|
| Cabezas | 12,56 |
| Cascarón | 122,548 |
| Faldón | 18,133 |
| Soporte de platos | 8,063 |
| Boquillas | 2,010 |
| Misceláneos | <u>4,150</u> |
| Peso de Montaje | 167,472 kg. |
| Platos | 22,100 |
| Líquido | <u>211,100</u> |
| Peso Total en Operación | 400,572 kg. |

Para proceder con el cálculo del momento por sismo, se hará la siguiente consideración, debido a que la torre es del mismo diámetro y el espesor es el mismo, entonces dividimos la torre en dos secciones, esta consideración será en la condición más desfavorable, que es a tiempo de operación, ahora si procedemos con el cálculo.

| Sección | En Montaje | En Operación |
|---------|---------------|---------------|
| I | 142,582 | 364,582 |
| II | <u>24,890</u> | <u>35,990</u> |
| | 167,472 kg. | 400,572 kg. |

Momento por sismo en la línea de base de la ecuación: (8.1)

$$V = CV ; V = (0.3) (400,572) = 120,172 \text{ kg.}$$

| Sección | W(Kg) | h(m) | Wh | Wh/ΣWh | $V\left(\frac{Wh}{\Sigma Wh}\right)$ | $V\left(\frac{Wh}{\Sigma Wh}\right)h$ |
|---------|---------|-------|-----------|--------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| I | 364,582 | 27.02 | 9'849,183 | 0.99 | 118,815 | 3'210,381 |
| II | 35,990 | 3.13 | 112,469 | 0.01 | 1,125 | 3,521 |
| | 400,575 | 30.15 | 9'961,652 | 1.00 | 119,940 | 3'213,902 |

El momento por sismo en la línea base es:

$$M_{SLB} = 3,213\ 902 \text{ kg-m}$$

$$M_{SLB} = 321\ 390\ 200 \text{ kg-cm}$$

Momento por sismo en la línea de tangencia.

$$V = (0.3)(364\ 582) = 104\ 375 \text{ Kg.}$$

| Sección | W(kg) | h(m) | Wh | Wh/ Σ Wh | $V(\frac{Wh}{\Sigma Wh})$ | $V(\frac{Wh}{\Sigma Wh})h$ |
|---------|---------|-------|-----------|-----------------|---------------------------|----------------------------|
| | 364 582 | 20.77 | 7'570 543 | 1.0 | 109,375 | 2'271,710 |

El momento por sismo en la línea de tangencia:

$$M_{SLT} = 2,271,710 \text{ kg-m}$$

$$M_{SLT} = 227,171,044 \text{ kg-cm}$$

Momento por sismo en la línea de sección A-A

$$V = (0.3)(367,590) = 110,277 \text{ kg.}$$

| Sección | w(kg) | h(m) | Wh | Wh/ΣWh | $V\left(\frac{Wh}{\Sigma Wh}\right)$ | $V\left(\frac{Wh}{\Sigma Wh}\right) h$ |
|---------|---------|-------|------------|--------|--------------------------------------|--|
| I | 364,582 | 28.27 | 10'306,733 | 0.999 | 110,167 | 3'114,413 |
| II | 3,008 | 0.63 | 1,880 | 0.001 | 110 | 70 |
| <hr/> | | | | | | |
| | 367,590 | 28.80 | 10'308,613 | 1.000 | 110,277 | 3'114,483 |

• El momento por sismo en la sección A-A es:

$$M_{SA-A} = 3,114,483 \text{ kg-m}$$

$$M_{SA-A} = 311,448,300 \text{ kg-cm}$$

Resumen de los momentos obtenidos:

$$\text{Momento por viento en la L.B.} = 1'933,304 \text{ kg-m}$$

$$\text{Momento por viento en la L.T.} = 1'925,848 \text{ kg-m}$$

$$\text{Momento por sismo en la L.B.} = 1'213,902 \text{ kg-m}$$

$$\text{Momento por sismo en la L.T.} = 2'271,710 \text{ kg-m}$$

Por lo tanto, el momento gobernante es el de sismo:

| | |
|---------------------------|----------------|
| En la línea de Base = | 3'213,902 kg-m |
| En la línea de Tangencia= | 2'271,710 kg-m |

8.2 DISEÑO DEL FALDON

Los recipientes verticales están sometidos a la acción de carga vertical (peso propio), viento, sismo y presión interior, y son soportados normalmente por una estructura que descansa en una cimentación de concreto reforzado. Esta estructura de soporte, localizada entre el recipiente y la cimentación, es generalmente un cilindro de acero llamado faldón.

Un faldón con sección circular presenta la ventaja de tener todo el metal a la máxima distancia del eje neutro y por lo tanto su módulo de sección es máximo, así este tipo de sección es el más económico. Para recipientes muy altos y cuyo peso sea considerable se recomiendan faldones cónicos, ya que no sólo se reducen los esfuerzos en

la sección inferior del faldón debido a su mayor-
área de trabajo, sino que se reduce considerable-
mente el número o diámetro de las anclas de la ci-
mentación.

El ángulo de inclinación en el faldón varía
entre 0° y 11° y no deberá ser mayor que 11° debi-
do a que los esfuerzos aumentan en relación al án-
gulo, entonces supondremos un ángulo de inclina-
ción de 9° .

Los momentos resultantes de los efectos pro-
ducidos por la acción del sismo o viento que ac-
túan sobre la torre, causarán esfuerzos de compre-
sión en una mitad del faldón y de tensión en la
otra mitad, si a estos esfuerzos se suman los de-
compresión debidos al peso de la columna, veremos
que la mitad más esforzada de una sección cualquie-
ra del faldón, será en la que se presenten los
dos esfuerzos de compresión sumados.

El material empleado en el faldón será ace-

ro al carbón tipo estructural, debido a que los esfuerzos a la tensión trabajarán a temperaturas ambientales, la especificación o tipo de acero será seleccionado de la mencionada tabla UCS 23 del ASME. Sólo en la unión del cascarón y el faldón, se debe utilizar en un tramo acero diferente al empleado en el faldón, para evitar problemas en la soldadura; la finalidad de emplear un acero diferente al del faldón, es debido a que el acero aquí empleado debe soportar temperaturas casi iguales a las de la envolvente sin que exista una disminución de esfuerzos a la tensión.

La longitud empleada del acero diferente al del faldón estará en función del gradiente de temperatura.

El material empleado en el faldón será de especificación SA-285-C, cuyo rango de trabajo es de -20°F (-29°C) a 300°F (482°C), y soporta un esfuerzo máximo permisible de 13,800 psi (970 kg/cm^2) a la temperatura ambiente.

El material empleado en la junta soldada - cascarón-faldón, será de especificación igual al empleado en la envolvente, por lo tanto será de especificación SA-515-70, cuyo rango de trabajos permisible de 14,800 psi (1,040 kg/cm²) a la temperatura de 750°F (390°C), temperatura que soportará el material de la envolvente.

Como en la soldadura del faldón se toma una eficiencia de soldadura de 49%, $E = 0.49$, según el código, y un factor de 1.33, entonces el esfuerzo permisible del material a compresión -- será igual al esfuerzo máximo permisible a la -- tensión, multiplicado por el factor de eficien--cia "E" de soldadura y por el factor de 1.33 -- por efectos de sismo o viento, así tenemos que:-

$$F_{perm} = 1.33 F_t E.$$

Entonces los esfuerzos permisibles a compresión de los dos aceros será:

Para el acero SA-515-70

$$F_{perm} = (1.33)(1,040)(0.49) = 677.76 \text{ kg/cm}^2$$

Para el acero SA-285-C

$$F_{perm} = (1.33)(970)(0.49) = 632.15 \text{ kg/cm}^2$$

Como indicamos anteriormente de que los esfuerzos a que está sometido el faldón son, el esfuerzo de compresión debido al peso propio, y el esfuerzo de flexión, debidos a la acción del viento o del sismo. La combinación de estos dos esfuerzos, debe ser para el caso más desfavorable, - siendo éste, cuando se suman y comparando esta -- suma con el esfuerzo permisible a compresión del material del faldón así:

$$F_c + F_{flex} = F_{perm} \text{ a compresión del material}$$

Ahora lo que se pretende es el cálculo del espesor del faldón, por lo tanto, se desconoce éste, entonces, los esfuerzos se calculan por uni - dad de espesor, de esta manera:

El esfuerzo de compresión es:

$$F_c = \frac{W_{op}}{A}$$

En donde:

W_{op} = peso de operación en kg (lb)

A = área de la sección por unidad de espesor - cm^2/cm de espesor = Dm , considerando el diámetro medio del faldón igual al diámetro medio del cascarón.

El esfuerzo de flexión es:

$$F_{flex} = \frac{M}{S}$$

En donde:

M = momento gobernante debido al viento o sismo.

kg-cm (lb-pulg.)

S = módulo de la sección en unidades cúbicas - por unidad de espesor en cm^3/cm (pulg³/ - pulg).

$$= \frac{\pi}{4} D_m^2$$

Por lo tanto, el espesor t_{sk} del faldón es igual a:

$$t_{sk} = \frac{f_c + F_{flex}}{F_{perm}}$$

Espesor del faldón en la junta faldón-cabeza. El material empleado en esta unión será SA-515-70.

$$D_m = D_E - t = 6.281 - 15.9 = 6.265 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Circunferencia media } (C_m) &= D_m \pi = 626.5 \pi \\ &= 1,968.2 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area media, } S &= \frac{D_m^2}{4} = \frac{\pi (626.5)^2}{4} \\ &= 308,270 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Se tomará el momento por sismo y con peso de operación debido a que es al momento que gobierna.

Momento por sismo, $M_s = 321\ 390\ 200$ kgs-cm

Peso en operación, $W_{op} = 400,572$ kg.

El esfuerzo de compresión (f_c) es:

$$f_c = \frac{W_{op}}{C_m} = \frac{400,572}{1,968.2} = 203,52 \text{ kg/cm}$$

El esfuerzo de flexión (F_{flex}) es:

$$F_{flex} = \frac{M_s}{S} = \frac{321,390,000}{308,270} = 1042.56 \text{ kg/cm}$$

$$f_c + F_{flex} = 203.52 + 1042.56 = 1,246.08 \text{ kg/cm}$$

$$t_{sk} = \frac{f_c + F_{flex}}{F_{perm}} = \frac{1,246.08 \text{ kg/cm}}{677.76 \text{ kg/cm}^2} = 1.84$$

1.59 cm

Cálculo del espesor del faldón arriba de la sección A-A. (Ver fig. 8.2).

En la sección A-A existe la unión de los --

dos materiales empleados en el faldón.

$$X = 126 \text{ sen } 9^\circ = 19.71 \text{ Cm}$$

$$D_E = 6,960 + 2 \times 19.71 = 6,999 \text{ Cm}$$

$$D_m = 6999 - 15.9 = 6983.5 \text{ Cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Circunferencia media, Cm} &= D_m \pi = (698.3) \\ &= 2,194 \text{ Cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area Media, S} &= \frac{\pi D_m^2}{4} = \frac{\pi (698)^2}{4} \\ &= 382,649.13 \text{ Cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momento por sismo en la sección A-A, } M_{SA-A} \\ = 311,448,300 \text{ kg-cm} \end{aligned}$$

$$\text{Peso en operación } W_{op} = 367,590 \text{ kg.}$$

$$f_c = \frac{367,590}{2,194} = 167.54 \text{ kg/cm}$$

$$F_{flex} = \frac{311,448,300}{382,649} = 813.93 \text{ kg/cm}$$

$$F_c + F_{flex} = 167.54 + 813.93 = 981.47 \text{ kg/cm}$$

$$t_{sk} = \frac{981.47}{677.76} = 1.46 \text{ cm} < 1.59 \text{ cm}$$

Cálculo del espesor del faldón abajo de la sección A-A:

Como en la sección A-A es la zona donde se unen los dos tipos de materiales, calcularemos el espesor del material SA-285-C que tiene un esfuerzo permisible a compresión de 632 kg/cm^2 .

$$t_{sk} = \frac{1,246 \text{ kg/cm}}{632 \text{ kg/cm}^2} = 1.97 \rightarrow 1.84 \text{ cm}$$

De lo anterior observamos que, para el material SA-285-C, se requiere un mayor espesor que para el material SA-515-70, pero desde el punto de vista constructivo, es inconveniente tener dos espesores en el faldón, entonces para evitar tener dos espesores, podemos incrementar el espesor del

material SA-515-70 o aumentar la distancia del material SA-517-70 de 126 cm a 256 cm.

Entonces tomaremos una distancia de la L.T. inferior hacia abajo de 256 cm, cuyo momento por sismo en ese punto es:

$$M_{SA-A} = 258,680,300 \text{ kg-cm}$$

Paso de operación 367,590 kg

$$\text{Sen } 9^\circ = \frac{x}{256} ; x = 256 \text{ Sen } 9^\circ = 40.05 \text{ cm}$$

$$D_{ESK} = 6,960 + 2 (40.05) = 7040 \text{ mm}$$

$$D_m = 7040 - 15.9 = 7024 \text{ mm}$$

$$C_m = D_m \pi = (7024) \pi = 2207 \text{ cm}$$

$$A_m = \frac{\pi D_m^2}{4} = \frac{\pi (702.4)^2}{4} = 387,489 \text{ cm}^2$$

$$F_c = \frac{W_{op}}{cm} = \frac{367,590}{2207} = 166.56 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{flex} = \frac{M_{sv-v}}{A_m} = \frac{258\ 680\ 300}{387\ 489} = 667.58$$

$$f_c + F_{flex} = 166.56 + 667.58 = 834.14 \text{ kg/cm}$$

$$t_{sk} = \frac{834.14}{632} = 1.32 < 1.59 \text{ cm}$$

Espesor del faldón en la L.B.:

$$\text{tg } 9^\circ = \frac{x}{625} ; \quad x = 625 \text{ tg } 9^\circ = 98.99 \text{ cm}$$

$$D_E = 6,960 + 2(98.99) = 7\ 157.98 \text{ mm}$$

$$D_m = 7,157.98 - 15.9 = 7,142 \text{ mm}$$

$$C_m = D_m \pi = (7142) \pi = 22437.5 \text{ mm}; \quad \frac{2,244}{\text{cm}}$$

$$A_m = \frac{\pi D_m^2}{4} = \frac{\pi (714)^2}{4} = 400,393 \text{ cm}^2$$

$$f_c = \frac{W_{op}}{C_m} = \frac{400\ 572}{2244} = 178.51 \text{ kg/cm}$$

$$F_{flex} = \frac{M_{SLB}}{A_m} = \frac{321,390,200}{400,393} = 802.69$$

$$f_c + F_{flex} = 178.51 + 802.69 = 981.20 \text{ kg/cm}$$

$$t_{sk} = \frac{981.20}{632} = 1.55 \quad 1.59 \text{ cm}$$

RESUMEN DE ESPESORES DEL FALDON

Espesor con operación - sismo en la junta
faldón - cabeza = 18.4 mm

Espesor con operación - sismo, arriba de la
sección A-A = 14.5 mm.

Espesor con operación - sismo, abajo de la
sección A-A = 13.2 mm

Espesor con operación - sismo, en la línea-
de tangencia = 15.5 mm

De lo anterior observamos que el espesor go-
bernante es de 18.4 mm en la parte de la unión -
del faldón - cabeza, el espesor comercial será de
3/4".

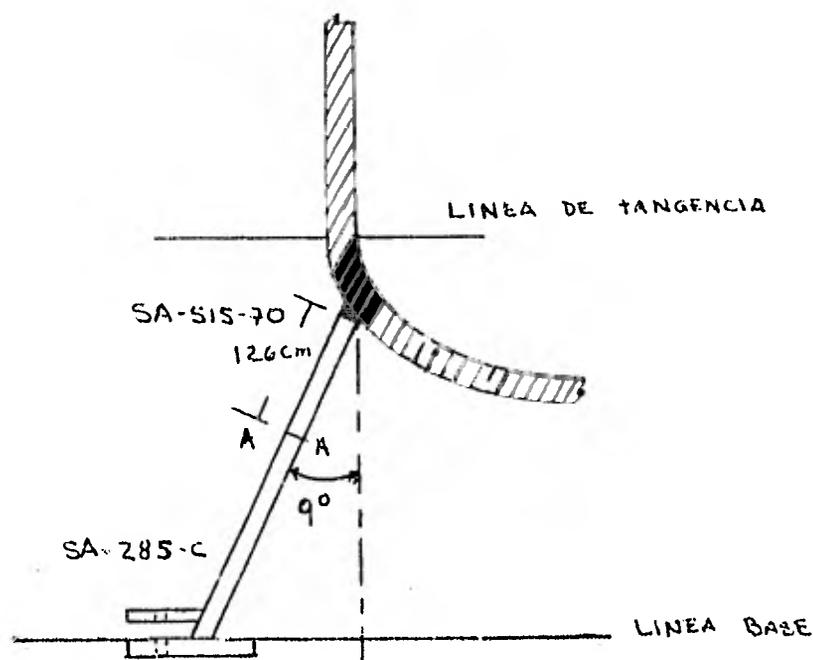


FIGURA 8.2

8.3 PRESION DE LA PRUEBA HIDROSTATICA

Los recipientes, a presión deben de someterse a una prueba hidrostática con la finalidad de verificar que no existan fugas durante la etapa de operación, esta prueba debe apegarse a los códigos de proyecto y construcción.

La prueba consiste en llenar de agua el re cipientes a la presión de 1.5. La presión de di- seño o la presión máxima permisible de trabajo, - multiplicada por el valor que se obtenga de divi- dir el esfuerzo de trabajo a la temperatura de - prueba del recipiente y el esfuerzo de trabajo - a la temperatura de diseño.

Para calcular el valor de la presión de -- prueba hidrostática se usarán las mismas expre - siones que se emplearon para calcular la presión máxima permisible de trabajo y multiplicado por - 1.5 y por el valor de la relación de esfuerzos - antes mencionados.

Considerando que la prueba hidrostática se- haga a la temperatura ambiente de 25°C (77°F), el esfuerzo máximo permisible del material a esa tem peratura es de 1230 kg/cm² (17,500 psig), y a la - temperatura de diseño de 380°C (716°F) tenemos que el esfuerzo máximo permisible es de 1,033 kg/cm² - (14,800 psig).

Entonces la relación de esfuerzos será:

$$r = \frac{T_t P}{T_t D} = \frac{1230}{1033} = 1.19$$

Por lo tanto el valor de la prueba hidrostática para la envolvente será:

$$P = \frac{F_t E T}{R + 0.6 T} \quad (1.5) \quad (1.19)$$

donde:

$F_t = 1,033 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo máximo permisible.

$E = 100\%$, eficiencia de la soldadura.

$R = 304.8 \text{ cm}$, radio de la envolvente.

$T = 1.75 \text{ cm}$; espesor sin corroerse (nuevo).

Sustituyendo valores, tenemos:

$$P = \frac{(1,033)(1)(1.75)}{304.8 + 0.6(1.75)} (1.5)(1.19) = 10.55 \text{ kg/cm}^2$$

Haciendo lo mismo, pero para las cabezas --

tenemos:

$$P = \frac{2 FrET}{D+0.2t} (1.5) (r)$$

teniendo las letras el mismo significado, que en la ecuación anterior.

$$T_t = 1,033 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 100\%$$

$$T = 2.088 \text{ cm}$$

$$D = 609.6 \text{ cm}$$

$$r = 1.19$$

Sustituyendo valores, tenemos:

$$P = \frac{2(1,033)(1)(2,088)}{609.6+0.2(2.088)} (1.5)(1.19) \\ = 12.62 \text{ kg/cm}^2$$

Al igual que cuando se calculó la presión - máxima permisible de trabajo, escogeremos el me--

nor de los dos valores obtenidos por las ecuaciones anteriores. Por lo tanto la magnitud de la presión hidrostática será de 10.55 kg/cm^2 .

Forma en que debe realizarse la prueba hi-drostática.

- 1.- La bomba se instalará suficientemente lejos del recipiente para evitar riesgos personales, pero lo bastante cerca para poder mantener el recipiente bajo constante observación.
- 2.- A la salida de la bomba se instalará un manómetro registrador previamente calibrado.- Las oscilaciones del manómetro no deberán atenuarse por medio de la válvula de éste,- sino que se deberá montar un restrictor en la tubería de salida de la bomba.
- 3.- Junto al manómetro se montará cualquier tipo de instrumento de medición de caudal, -

con objeto de medir el volumen de agua introducido en el recipiente y, de esta forma, detectar la posible deformación plástica de éste.

- 4.- Una vez llenado el recipiente, se procederá a una meticulosa inspección visual para detectar fugas o deformaciones sospechosas.
- 5.- La presión se irá aumentando lentamente, tomando constantemente lecturas del medidor del caudal y manómetro, hasta llegar a una presión igual, por ejemplo, a un tercio de la presión de prueba. Al llegar a este punto se disminuirá la presión en 1 kg/cm^2 y, después de asegurarse que no exista ningún cambio en el manómetro y caudalímetro con la válvula de bomba cerrada y la bomba parada, se procederá a una nueva inspección visual del recipiente.
- 6.- De no observarse nada alarmante, se continuará aumentando la presión, repitiendo lo-

anterior a una presión igual a los dos tercios de la prueba.

7.- De observarse en cualquier momento un aumento del volumen que no sea proporcional al aumento de presión, se interrumpirá la prueba; disminuyendo la presión e inspeccionando el recipiente antes de continuar.

Se recomienda que la presión de prueba se mantenga sólo el tiempo necesario requerido para la inspección.

8.4 TRATAMIENTO TERMICO

El tratamiento térmico, consiste en una combinación de calentamiento y enfriamiento, aplicado por un tiempo determinado a los metales o aleaciones para obtener propiedades de dureza, suavidad, mejorar el maquinado, relajación de esfuerzos, etc.

Durante la etapa de fabricación del recipiente, la placa es sometida al proceso de rolado para formar la envolvente cilíndrica, durante el proceso de rolado, la placa experimenta esfuerzos internos, así mismo las uniones soldadas soportan es - fuerzos, debido a la rigidez de las secciones soldadas que impiden la libre contracción del metal depositado y del área calentada durante la soldadura, en estas condiciones el recipiente al finalizar su manufactura se encuentra en un estado de -- esfuerzos internos o residuales.

Debido a los cambios microestructurales como a las expansiones y contracciones que se llevan a efecto durante el proceso de soldadura, se establecen sistemas de esfuerzos internos que eventualmente pueden conducir a diferentes tipos de fallas como son las fracutras por corrosión bajo esfuerzo.

Estos esfuerzos están constituidos macroscó-picamente debido a la geometría de la junta y por esfuerzos microscópicos debidos a la transforma -

ciones microestructurales, pero todos ellos son de tipo elástico.

Dichos esfuerzos representan un peligro para la integridad del equipo, entonces deben ser eliminados cuando menos hasta un nivel que no sean perjudiciales. El método más confiable para eliminar estos esfuerzos es el térmico que normalmente se aplica; su aplicación se realiza en hornos convencionales o de inducción eléctrica.

El grado de eliminación de los esfuerzos está en función de la temperatura de poscalentamiento, es por eso que es aconsejable temperaturas del orden de los 650°C, que son las temperaturas máximas a las que pueden llegar, debido a que por arriba de ellas las transformaciones microestructurales mencionadas anteriormente se llevan a cabo.

Si los esfuerzos residuales son de tipo elástico, una deformación controlada los puede conver

tir en plásticos y con ello desaparecen las tensiones, en ésto se basan los métodos de eliminación de esfuerzos residuales.

Los métodos de eliminación de esfuerzos, - aparte del térmico son: el golpeo con "chorro de arena", o similares, el vibracional y el muy popular método de golpear las soldaduras con martillo, que si bien puede ofrecer alguna protección, los resultados no se pueden garantizar. Este último método, actualmente es obsoleto para aceros al carbón y muy poco se emplea para aleaciones.

Relevado de Esfuerzos

Se ha encontrado que la manera más adecuada para solucionar los problemas ocasionados por los esfuerzos residuales, es la de someter el equipo a un tratamiento térmico posterior al trabajo de soldadura; además mediante este tratamiento se mejoran o controlan propiedades tales como: dis-

torciones durante la soldadura y mayor capacidad del metal para soldaduras posteriores.

La operación de relevado de esfuerzos debe apegarse a los requerimientos dados en la parte correspondiente de la subsección C del Código ASME Sec. VIII Div. 1.

A continuación se enuncian algunos de los procedimientos para relevado de esfuerzos.

1. Calentando todo el recipiente en un horno cerrado. Este procedimiento es el más conveniente y debe ser empleado siempre que sea posible.
2. Calentando el recipiente por secciones, dentro de un horno, pero teniendo cuidado de que la sección que se vaya a calentar no sea dañada por el gradiente de temperatura.
3. Calentamiento de partes extremas o seccion

nes de recipientes para relevar de esfuerzos juntas longitudinales o soldaduras complicadas antes de hacer el ensamble total de la torre.

Cuando es necesario que un recipiente sea relevado de esfuerzos y no es posible relevar el recipiente completo así como tampoco en dos o más etapas, como se menciona en el Punto (2), cualquier junta circunferencial que no ha podido ser relevada puede hacerse localmente por un calentamiento apropiado de dicha junta proporcionando la uniformidad. El ancho de la banda de calentamiento a cada lado de la soldadura terminada, debe ser cuando menos de dos veces el espesor de la placa. La parte del recipiente que no va a ser sometida a calentamiento debe ser protegida para que no sea dañada por el gradiente de temperatura. Este procedimiento puede usarse para el relevado de esfuerzos de partes nuevas de un

recipiente que ha sido reparado.

4. Calentamiento de bandas circulares que contengan boquillas u otros accesorios soldados, y que requieran relevado de esfuerzos, debe de hacerse de manera que la temperatura se eleve uniformemente y se mantenga el tiempo especificado. La banda circular debe de colocarse alrededor de todo el recipiente incluyendo boquillas y accesorios y debe de tener un ancho de por lo menos seis veces el espesor de la placa en la que está la soldadura que conecta las boquillas y accesorios del recipiente.

Tratamiento de Pre calentamiento

Como ya indicamos anteriormente, que el aportar energía calorífica al material adyacente a la soldadura se consigue que esté menos ávido de ella y con ésto la velocidad de enfriamiento de las partes que se encuentran a muy elevada temperatura se

baje en forma considerable, hasta el grado que sea menor que la crítica para evitar transformaciones microestructurales.

La temperatura de precalentamiento está dada en función de la composición química y el espesor de la pieza. Esta temperatura es un punto de referencia y aún resulta más valioso si se observa que el exceso en la temperatura de precalentamiento sólo tiene consecuencias desde el punto de vista económico, siempre y cuando no exceda a los 650°C, aunque también habrá que considerar la incomodidad del operador al tener que trabajar frente a tales temperaturas.

Las fórmulas para calcular la temperatura de precalentamiento son empíricas, existen varias fórmulas para su cálculo, pero la fórmula que más se aplica es la de seferian, de muy sencilla aplicación, esta fórmula es:

$$T_p = 350 \sqrt{C - 0.25}$$

Donde:

T_p = temperatura de precalentamiento.

C = $C_{eq} (1 + 0.005t)$

C_{eq} = carbón equivalente.

t = espesor del material.

Aplicando la fórmula para nuestras condiciones, tenemos:

$C = C_{eq} (1 + 0.005t)$

Para el acero SA-515-70, $C_{eq} = 0.48$.

$t = 12.70$ mm, para la envolvente.

$t = 15.88$ mm, para las cabezas.

$C = 0.48 (1 + 0.005 \times 12.70) = 0.51$

$T_p = 350 \sqrt{0.51 - 0.25} = 178.63^\circ\text{C}$

Temperatura mínima de precalentamiento aplicada al material antes de soldar.

9.º PROCESOS DE FABRICACION

La construcción de la torre de destilación, como cualquier otro recipiente a presión, se inicia con el habilitado de material, que consiste en suministrar el material empleado en las diferentes etapas de fabricación.

Los procesos fundamentales empleados en la construcción de recipientes a presión consisten en: a) trazo y corte, b) rolado, c) armado de canutos, d) soldadura, e) rerolado.

Desde el momento en que se inicia la ingiería o proyecto de alguna obra en el taller, se marca o designa con una "OT" (orden de trabajo) que puede ser numérica o alfabética, ésto es con la finalidad de poder identificar el material empleado en cada obra.

a) Trazo y Corte

Antes de cortar el material de la pieza por trabazar, se procede a desarrollar el trazo de -- los diversos elementos, comprobando que cada uno -- de ellos se marque con golpe los Nos. de O.T y -- No. de pieza, es recomendable circular con pintura estas marcas para facilitar su localización, -- realizado lo anterior, se procede al corte, mar -- cando con pintura amarilla si se requieren inte -- riores o exteriores y el sentido de rolado.

El corte puede efectuarse por medios mecáni -- cos tales como maquinado, cizalla o a base de oxí -- geno.

b) Rolado

Las piezas cortadas, se envían a rolado y a continuación se procede a desarrollar un dobléz -- inicial, en sentido longitudinal del siguiente ca -- nuto, el proceso de rolado puede hacerse en frío --

o en caliente, dependiendo de la capacidad de la -
roladora y del espesor de la placa que se está --
procesando.

c) Armado de Canutos

Después del rolado se procede al armado con
puntos de soldadura, en la costura longitudinal -
del canuto y luego se procede a la inspección de-
alineamiento, biseles y garganta de la soldadura-
antes de soldar.

Para el armado se usan piezas auxiliares de
nominadas sietes "7" por su forma, éstos se qui -
tan después de aplicar los puntos de soldadura y -
antes de aplicar la soldadura automática de canu-
tos.

d) Soldadura

La soldadura, es el proceso más importante -
de la fabricación de recipientes a presión, debido

a que la seguridad del recipiente, en la mayoría de los casos está en función de la soldadura.

La soldadura depositada en las ranuras que se formaron entre canutos se realiza por los procesos de arco eléctrico, arco sumergido, etc., -- normalmente este proceso es automático.

El tipo de soldadura que normalmente se emplea es el procedimiento de arco eléctrico, debido a la reducción de calor en el material soldado, además la reducción de oxidación y el mejor depósito de la soldadura, en este procedimiento el calor de fusión es proporcionado por una corriente eléctrica. La selección del electrodo está en función del metal base, de las dimensiones de la sección a soldar, de la posición de la soldadura a usarse, del tipo de unión, de las propiedades que se requiera tener en la soldadura (ductilidad, anticorrosión, resistencia, etc.).

Con estas variables definidas y controladas

durante el proceso de soldadura, se procede a depositar la soldadura en las ranuras de los canutos.

e) Soldadura longitudinal

Posteriormente se procede a la soldadura longitudinal, generalmente se realiza con una soldadura automática, en este caso se mantiene fijo el cilindro sobre el posicionador mientras la máquina de soldar se desplaza sobre una guía, las costuras soldadas requieren normalmente de varios pasos.

La superficie de cada soldadura debe limpiarse muy bien para eliminar las rebabas y la escoria, examinándolas visualmente antes de aplicar el siguiente paso para obtener buena penetración y evitar grietas, inclusiones de escoria y otros defectos que debilitan a los cordones de soldadura.

f) Rerolado

El canuto soldado se regresa a la roladora para realizar el trabajo de rerolado, revisando posteriormente el ovalamiento del canuto.

g) Armado transversal y soldadura circunferencial

Se continúa con el armado transversal de dos o más canutos; éstos se realizan con ayuda de sierras "7" y se unen los extremos circulares de los cilindros con puntos de soldadura.

Posteriormente se aplica la soldadura circunferencial, normalmente se aplica soldadura automática, donde el electrodo se mantiene estacionario mientras los cilindros giran sobre los posicionadores.

A continuación se muestran y definen los tipos de soldadura normalmente más usados, ver ta -

bla 9.0.

a) Perfil en V sin placa de raíz

El tipo a), soldado por un lado únicamente, se utiliza solamente para juntas circunferenciales en cilindros, no debiendo utilizarse en presencia de tensiones de flexión o dinámicas, a noser que se tomen precauciones especiales para asegurar una buena penetración para espesores máximos de unos 20 mm, requiriendo en espesores mayores gran cantidad de metal de aportación.

Para cualquier ángulo del bisel:

$\alpha = 50^\circ$ en cualquier posición, 70° en cornisa:

S = 0 a 3 mm.

o bien $\alpha = 55^\circ$, $\beta = 10$ a 15°

S = 2 a 4 mm lado superior, o lado inferior

en cualquier caso, g = 2 a 6 mm.

b) Perfil en V con placa de raíz (tipo 2)

Debe asegurarse un buen contacto entre la placa de raíz y la soldadura, siendo la separación máxima del orden de 1 mm. Se puede utilizar barro, en cuyo caso debe arrancarse la placa de raíz después de la soldadura para evitar el riesgo de corrosión acelerada en la grieta formada entre placa y cordón de soldadura.

En posición horizontal, la separación de raíz depende del ángulo, siendo mayor cuanto menor sea éste para facilitar una buena penetración. Para $\alpha = 45^\circ$, $g = 6$ mm; para $\alpha = 20^\circ$, $g = 8$ mm. En la posición vertical g debe ser algo mayor, con $\beta_2 = 45^\circ$. Para la posición horizontal-vertical, ilustrada en la figura, puede emplearse un perfil asimétrico con $\beta_2 = 45^\circ$, $\beta_1 = 10-15^\circ$; $g = 6$ mm.

Para la soldadura manual o automática (arco-sumergido), se puede utilizar una placa de raíz de

cobre, aunque con precauciones.

c) Perfil en X Simétrico o Asimétrico
(Tipo 3,4)

El perfil preferido para placas de espesor medio y fuerte, accesibles por ambos lados. Es preciso limpiar el cordón de raíz antes de depositar los siguientes cordones de soldadura. La limpieza se facilita por medio de un perfil asimétrico en placas gruesas, perfil recomendado - asimismo para obtener igual volumen de metal de aportación después de limpieza de raíz o para reducir dicho volumen en soldaduras en cornisa. En general, $\alpha = 60^\circ$, $S = 0$ a 2 mm, o bien $\alpha' = 60^\circ$, $\alpha'' = 90^\circ$, $d' = 2/3$ y $d'' = 1/3$ del espesor.

d) Perfil en U (Tipos 5, 6, 7, 8)

Estos perfiles son más económicos que los anteriores, desde el punto de vista de material de aportación. En general, $r = 6$ mm, $S = 3$ mm.--

El ángulo $\alpha = 20^\circ$ para la posición horizontal, 30° para la vertical y 40° para soldadura en cornisa. En la posición horizontal-vertical se utilizan perfiles asimétricos con $\beta_1 = 5-10^\circ$. Separación de raíz 0.3 mm.

e) Perfil en y (Tipos 9, 10)

Utilizados para soldadura automática con arco sumergido. El tipo 9 se recomienda para espesores inferiores a 15 mm. Valores típicos de los parámetros geométricos son $\alpha = 70-90^\circ$, $S = 2/3$ del espesor, $g = 0$. El tipo 10 se recomienda para fuertes espesores, con $\alpha = 70-90^\circ$, $S = 1/3$ del espesor, $g = 0$.

h) Radiografía

De acuerdo con las eficiencias estipuladas en el diseño para las juntas soldadas, tenemos los siguientes casos, como se enunció anteriormente.

$E = 1.0$, cuando se radiografía cada soldadura, identificada correctamente cada película con el tramo correspondiente de soldadura.

$E = 0.85$, cuando se radiografía el cruce de soldaduras y zonas sospechosas por examen visual.

Las soldaduras de boquillas-cuerpo y faldón -cuerpo se inspeccionan visualmente y cuando sea necesario se usan líquidos penetrantes.

i) Limpieza

Esta deberá ser de preferencia por chorro de arena (sand blast) o la adecuada para obtener una superficie limpia tanto interior como exterior para eliminar todas las impurezas y efectuar el proceso de pintura.

j) Acabado

Todos los puntos de soldadura exteriores e -

interiores que hayan servido para el montaje o para algunas operaciones, deberán eliminarse por esmerilado sin que se llegue al material base, en caso de faltas de material; éste será preparado en forma adecuada para rellenarse con soldadura y finalmente se esmerilará el sobrante de esta soldadura, sin llegar a la superficie de la placa.

Posteriormente al proceso de acabado, se procede a aplicar la pintura para evitar los daños ocasionados por la corrosión.

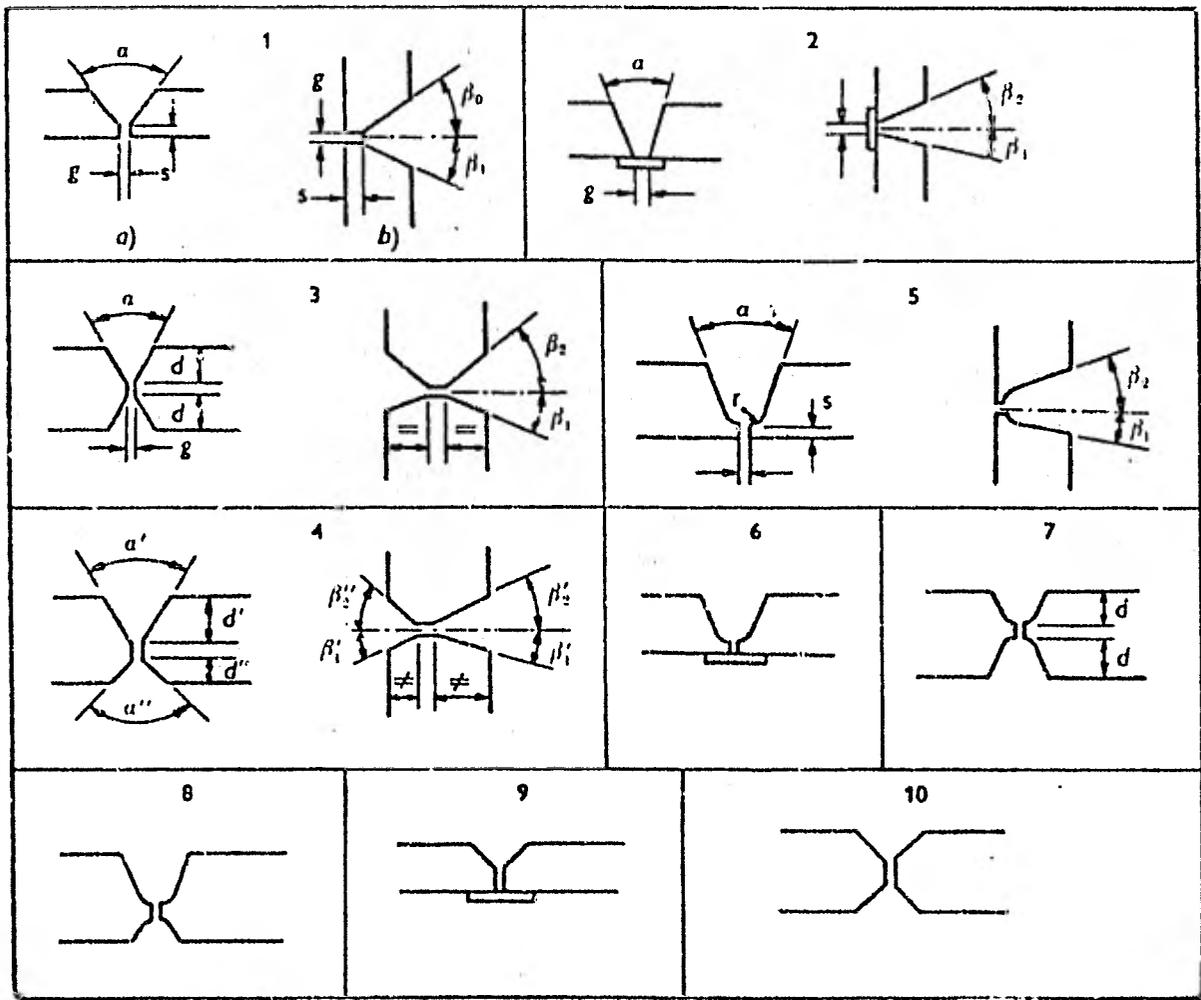


FIGURA 9.0

9.1 INSPECCION

La actividad de inspección a recipientes a presión es indispensable que la practique el cliente ya que se evitan gastos elevados de reparación en campo. El regreso de los materiales al fabricante en el caso de no poder efectuar la reparación o reparaciones en el lugar de su instalación, ésto ocasionaría interrupciones en el proceso en caso de falla estando en operación, y accidentes muy graves tanto al material o equipo como al ser humano; para evitar estas pérdidas, es conveniente practicar la actividad de inspección.

La inspección de los recipientes aquí en México tiene como base el código ASME, el cual no cubre todos los detalles de construcción, de los cuales muchos quedan bajo la responsabilidad del fabricante y su aceptabilidad por parte del inspector.

Una de las principales actividades de ins -

pección en la etapa de ingeniería, es la de mantener actualizada la información de diseño, con que debe contar el fabricante; debido a que existen frecuentemente cambios de ingeniería, que en muchas ocasiones obligan a paralizar las actividades de producción.

Es conveniente inspeccionar los materiales empleados en cada fabricación, así como las especificaciones correspondientes de los mismos. El fabricante deberá proporcionar al inspector los certificados de calidad de los materiales y cualquier otra documentación relativa a la fabricación como son: certificados de radiografías, comprobantes de pruebas hidrostáticas, gráficas de relevado de esfuerzos, etc.

Para realizar las actividades de inspección de fabricación, se recomienda consultar los códigos correspondientes como son: ASME, API, ASTM, etc.

A continuación se enunciarán algunas notas-relativas a inspección durante la etapa de fabricación.

PLACA

Primeramente hay que conocer la especificación de la placa y solicitar al fabricante los -- análisis físicos y químicos para posteriormente -- compararlos con los códigos ASTM o ASME.

Hay que apuntar el número de colada y verificar la especificación del acero, la cual se encuentra marcada en la placa procedente de la fundición.

El espesor nominal no deberá ser menor en - 0.25 mm (0.01 pulg) o no será menor del 6% del es pesor de diseño.

Trazo y corte:

Antes de iniciar el trazado de placa, se de

be verificar que esté perfectamente escuadrado y no deberá nunca utilizarse las llamadas orillas de molino. El corte se puede efectuar por medios mecánicos.

Marcado:

Todas las placas o cortes empleados en la construcción de los recipientes llevarán marcas de golpe no profundas, indicando cuando menos el número de colada a la que pertenece y la especificación del acero, los sobrantes, también deberán ser marcados.

En caso de que la placa o sobrante no esté marcada con los datos anteriores, este material no podrá ser utilizado para partes sujetas a presión, a menos que se analicen física y químicamente.

En caso de que la especificación de la placa requiera prueba de impacto, ésta deberá presen

ciarse para testificar el procedimiento y resultados los cuales no deberán ser menores que:

| Tamaño de la probeta | Mínimo valor requerido de impacto, del promedio de cada juego de 3 probetas en ft-lb. | Mínimo valor permitido de impacto, de una probeta dependiente - de un juego en ft-lb |
|----------------------|---|--|
| 10 mm x 10 mm | 15 | 10 |
| 10 mm x 7.5 mm | 12.5 | 8.5 |
| 10 mm x 5 mm | 10 | 7 |
| 10 mm x 2.5 mm | 5 | 3.5 |

Fuera de redondez:

La diferencia entre los diámetros interiores máximo y mínimo, en cualquier sección transversal no deberá exceder del 1% del diámetro nominal en la sección transversal considerada.

Cuando la sección transversal en consideración pase por una abertura, la diferencia permisible en diámetros interiores puede ser incrementada por el 2% del diámetro del agujero.

Para recipientes con juntas longitudinales a traslape, la diferencia permisible en los diámetros interiores, puede ser incrementada por el espesor nominal de la placa.

Desviación en diámetro:

La tolerancia máxima permitida en promedio del diámetro interior con respecto al diámetro interior nominal en cualquier sección, estará dada bajo los siguientes límites:

| Diámetro nominal del recipiente | Tolerancia en promedio - medida en diámetro interior |
|---------------------------------|--|
| Hasta 4' | $\pm 1/8''$ |
| De 4' a 7' | $\pm 3/16''$ |
| De 7' a 16' | $\pm 1/4''$ |
| Arriba de 16' | $\pm 5/16''$ |

O recurrir al párrafo UG-80 del código ASME Secc. VIII Div. 1, junto con la gráfica UG-80.1 - correspondiente.

Tolerancia para formación de cabezas:

La superficie interior de una cabeza no deberá desviarse de la forma especificada en más de 1.25% del diámetro interior de la orilla de la cabeza. Tales desviaciones no deberán ser bruscas ya que estarán fuera de la forma teórica y deberán ser medidas perpendicularmente a la forma especificada.

Las orillas de las cabezas deberán ser suficientemente redondas, de tal modo que la diferencia entre el diámetro máximo y el mínimo no exceda el 1% del diámetro nominal.

Cuando las orillas de cualquier sección - sean defectuosas al formado de las mismas, deberán ser maquinadas para efectuar el cierre correcto con el cuadro no debiéndose reducir en más del 10% el espesor.

Las tolerancias para estos alimentos están-

dadas en la siguiente tabla, en donde t es el espesor nominal en la junta considerada.

| Sección considerada en pulgadas de espesor. | Dirección de juntas en cuerpo cilíndrico | |
|---|--|---------------------|
| | Longitudinal | Circunferencial |
| Hasta 1/2" inclusive | 1/4t | 1/4t |
| De 1/4 hasta 3/4 inclusive | 1/8" | 1/4t |
| De 3/4 hasta 1.1/2 - inclusive | 1/8" | 3/16" |
| De 1.1/2 hasta 2 inclusive | 1/8" | 1/8t |
| Arriba de 2 | Menor de 1/16 t o 3/8" | Menor de 1/8t o 3/4 |

Máximo espesor de refuerzos para terminados en juntas circunferencias y longitudinales:

| Espesor de placa | Máximo espesor de refuerzos |
|---------------------------|-----------------------------|
| Hasta 1/2" inclusive | 3/32" |
| De 1/2 hasta 1" inclusive | 1/8" |
| Arriba de 1" | 3/16" |

Inspección visual:

La soldadura deberá tener buena apariencia. No deberá tener socavados, poros, roturas, etc., - visibles.

Todos los soldadores que intervengan en la fabricación de los recipientes deberán estar calificados de acuerdo con la sección IX del código ASME.

Cada soldador deberá estar identificado - por una letra o símbolo asignado por el fabricante, y esta marca deberá aparecer adyacente a las soldaduras efectuadas por los soldadores en intervalos de no más de 3' a lo largo de las soldaduras, esta marca deberá ser estampada a golpe y no profunda para placas de acero desde 1/4", y para materiales no ferrosos desde 1/2", en el caso de que sean menores a éstos, se deberá utilizar algunas marcas tales como estenciles u otros - apropiados en lugar del estampado a golpe.

Ultrasonido:

A pesar de que no es mandatorio de acuerdo con el código ASME, la inspección ultrasónica en espesores menores de 4", es recomendable esta inspección y más aún cuando se tenga el instrumento adecuado, ya que con esta inspección se pueden localizar hojeaduras, grietas, laminaciones u otra clase de discontinuidades interiores en el material y no visibles en los canutos de los mismos.

Rectitud:

La superficie del cuerpo podrá estar fuera de alineamiento en no más de 3/8" sobre cualquier punto de un segmento de 20' a lo largo de sus secciones. La longitud será de $\pm 3/16$ " por cada 10' de largo.

Boquillas:

Los agujeros de las bridas no deberán coin-

cidir con la línea de centros naturales horizon -
tal y vertical del recipiente, deberán estar equii
distantes a éstas.

La tolerancia permitida en los niveles de
las boquillas no deberá de exceder de $\pm 1/4$ " ó -
 $1/2$ " en registros de hombre.

Las variaciones en su orientación angular
con respecto a su verdadera línea de centros no
deberá ser mayor de $1/2^\circ$ o 1° en registros de -
hombre.

La desviación horizontal o vertical de la
cara de la brida no deberá ser mayor de 1° ó 1.5°
en registros de hombre.

La distancia de la línea de centro del reci
piente a la cara de la brida no deberá ser mayor-
ni menor de $3/8$ " ó $1/2$ " de la longitud dada en re
gistros de hombre.

La distancia de la línea de centro del recipiente a la cara de la brida no deberá ser mayor ni menor de 3/8" ó 1/2" de la longitud dada en registros de hombre.

Radiografías:

Se deberá examinar todas las radiografías para estar de acuerdo con el dictámen de las compañías de radiografías y verificar que se hayan utilizado los procedimientos adecuados.

Cuando el radiografiado es por puntos el inspector señalará al fabricante las zonas en que éstas deban estar tomadas, normalmente se escoge los cruces de soldadura longitudinal con circunferencial o soldaduras que denoten mala apariencia.

A N E X O 1

TABLA UCS-23, DEL ASME SECC. VIII DIV. 1
ED. 1980

Table UCS-23

SECTION VIII — DIVISION I

TABLE UCS-23
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR CARBON AND LOW-ALLOY STEEL
 (CAUTION: See UW-12 for vessels constructed under Part UW)

| Spec. No. | Grade | Nominal Composition | P- No. | Group No. | Notes | Specified Min. Yield, ksi | Specified Min. Tensile, ksi |
|---|------------------------|-------------------------------------|--------|-----------|---------------|---------------------------|-----------------------------|
| Bolting — All Carbon & Low Alloy Steels | | | | | | | |
| SA-193 | B5 | 5Cr-1/2Mo | ... | ... | (7) | 80.0 | 100.0 |
| | B7 | 1Cr-1/8Mo ≤ 2 1/2 in. | ... | ... | (7) | 105.0 | 125.0 |
| | | 1Cr-1/8Mo < 2 1/2 in. and ≤ 4 in. | ... | ... | (7) | 95.0 | 115.0 |
| | | 1Cr-1/8Mo > 4 in. | ... | ... | (7) | 75.0 | 100.0 |
| | B7M | 1Cr-1/8Mo ≤ 2 1/2 in. | ... | ... | ... | 80.0 | 100.0 |
| | B16 | 1Cr-1/2Mo-V ≤ 2 1/2 in. | ... | ... | (7) | 105.0 | 125.0 |
| | | 1Cr-1/2Mo-V > 2 1/2 in. and ≤ 4 in. | ... | ... | (7) | 95.0 | 110.0 |
| 1Cr-1/2Mo-V > 4 in. | | ... | ... | (7) | 85.0 | 100.0 | |
| SA-307 | B | C | ... | ... | (8) | ... | 55.0 |
| SA-320 | L43 | Cr-Mo and Ni-Cr-Mo | ... | ... | (7)(11) | 105.0 | 125.0 |
| | L7 | Cr-Mo and Ni-Cr-Mo | ... | ... | (7)(33) | 105.0 | 125.0 |
| SA-325 | 1 in. and under | C | ... | ... | (7) | 92.0 | 120.0 |
| | >1 in. and ≤ 1 1/2 in. | C | ... | ... | (7) | 81.0 | 105.0 |
| | 1 | C | ... | ... | (7) | 77.0 | 105.0 |
| SA-354 | BB | ... | ... | ... | (7) | 78.0 | 100.0 |
| | BC | ... | ... | ... | (7) | 99.0 | 115.0 |
| | BD | ... | ... | ... | (7) | 125.0 | 150.0 |
| SA-449 | 1 in. & under | C | ... | ... | (7) | 92.0 | 120.0 |
| | >1 in. and ≤ 1 1/2 in. | C | ... | ... | (7) | 81.0 | 105.0 |
| | >1 1/2 in. and ≤ 3 in. | C | ... | ... | (7) | 58.0 | 90.0 |
| Carbon Steel Plates and Sheets | | | | | | | |
| SA-36 | ... | C-Mn-Si | 1 | 1 | (1)(2)(3)(18) | 36.0 | 58.0 |
| SA-283 | A | C | 1 | 1 | (1)(2) | 24.0 | 45.0 |
| | B | C | 1 | 1 | (1)(2) | 27.0 | 50.0 |
| | C | C | 1 | 1 | (1)(2) | 30.0 | 55.0 |
| | D | C | 1 | 1 | (1)(2) | 33.0 | 60.0 |
| SA-285 | A | C | 1 | 1 | (3) (18) (24) | 24.0 | 45.0 |
| | B | C | 1 | 1 | (3) (18) (24) | 27.0 | 50.0 |
| | C | C | 1 | 1 | (3) (18) (24) | 30.0 | 55.0 |
| SA-299 | ... | C-Mn-Si | 1 | 2 | (18) | 40.0/42.0 | 75.0 |
| SA-414 | A | C | 1 | 1 | (3) (18) | 35.0 | 45.0 |
| | B | C | 1 | 1 | (3) (18) | 30.0 | 50.0 |
| | C | C | 1 | 1 | (3) (18) | 33.0 | 55.0 |
| | D | C-Mn | 1 | 1 | (3) (18) | 35.0 | 60.0 |
| | E | C-Mn | 1 | 1 | (3) (18) | 38.0 | 65.0 |
| | F | C-Mn | 1 | 2 | (3) (18) | 42.0 | 70.0 |
| | G | C-Mn | 1 | 2 | (3) (18) | 45.0 | 75.0 |

TABLES

Table UCS-23

TABLE UCS-23
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR CARBON AND LOW-ALLOY STEEL
 (CAUTION: See UW-12 for vessels constructed under Part UW)

| Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding | | | | | | | | | | | | | Spec. No. | Ext. Press. Chart Fig. No. |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|--------------|----------------------------------|
| -20 to 650 | 700 | 750 | 800 | 850 | 900 | 950 | 1000 | 1050 | 1100 | 1150 | 1200 | | | |
| Bolting — All Carbon & Low Alloy Steels | | | | | | | | | | | | | | |
| 20.0 | 20.0 | 20.0 | 18.5 | 14.5 | 10.4 | 7.6 | 5.6 | 4.2 | 3.1 | 2.0 | 1.3 | SA-193 | NA | |
| 25.0 | 25.0 | 23.6 | 21.0 | 17.0 | 12.5 | 8.5 | 4.5 | ... | ... | ... | ... | SA-193 | NA | |
| 23.0 | 23.0 | 22.2 | 20.0 | 16.3 | 12.5 | 8.5 | 4.5 | ... | ... | ... | ... | SA-193 | NA | |
| 18.8 | 18.8 | 18.8 | 18.0 | 16.3 | 12.5 | 8.5 | 4.5 | ... | ... | ... | ... | SA-193 | NA | |
| 20.0 | 20.0 | 20.0 | 18.5 | 16.2 | 12.5 | 8.5 | 4.5 | ... | ... | ... | ... | SA-193 | NA | |
| 25.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 23.5 | 20.5 | 16.0 | 11.0 | 6.3 | 2.8 | ... | ... | SA-193 | NA | |
| 22.0 | 22.0 | 22.0 | 22.0 | 21.0 | 18.5 | 15.3 | 11.0 | 6.3 | 2.8 | ... | ... | SA-193 | NA | |
| 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 18.8 | 16.7 | 14.3 | 11.0 | 6.3 | 2.8 | ... | ... | SA-193 | NA | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-307 | NA | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-320 | NA | |
| 25.0 | 25.0 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-320 | NA | |
| 23.0 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-325 | NA | |
| 20.2 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-325 | NA | |
| 19.3 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-325 | NA | |
| 19.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-354 | NA | |
| 23.0 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-354 | NA | |
| 30.0 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-354 | NA | |
| 23.0 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-449 | NA | |
| 20.2 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-449 | NA | |
| 14.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-449 | NA | |
| Carbon Steel Plates and Sheets | | | | | | | | | | | | | | |
| 12.7 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-36 | UCS-28.2 | |
| 10.4 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-283 | UCS-28.1 | |
| 11.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-283 | UCS-28.1 | |
| 12.7 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-283 | UCS-28.2 | |
| 12.7 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-283 | UCS-28.2 | |
| 11.3 | 11.0 | 10.3 | 9.0 | 7.8 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-285 | UCS-28.1 | |
| 12.5 | 12.1 | 11.2 | 9.6 | 8.1 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-285 | UCS-28.1 | |
| 13.8 | 13.3 | 12.1 | 10.2 | 8.4 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-285 | UCS-28.2 | |
| 18.0 | 17.7 | 15.7 | 12.6 | 9.6 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-299 | UCS-28.2 | |
| 11.3 | 11.0 | 10.3 | 9.0 | 7.8 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-414 | UCS-28.1 | |
| 12.5 | 12.1 | 11.2 | 9.6 | 8.1 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-414 | UCS-28.1 | |
| 13.8 | 13.3 | 12.1 | 10.2 | 8.4 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-414 | UCS-28.2 | |
| 15.0 | 14.3 | 12.9 | 10.8 | 8.6 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-414 | UCS-26.2 | |
| 16.2 | 15.5 | 13.8 | 11.4 | 8.9 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-414 | UCS-28.2 | |
| 17.5 | 16.6 | 14.7 | 12.0 | 9.2 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-414 | UCS-28.2 | |
| 18.0 | 17.7 | 15.7 | 12.6 | 9.6 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-414 | UCS-26.2 | |

Table UCS-23

SECTION VIII — DIVISION 1

TABLE UCS-23 (CONT'D)
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR CARBON AND LOW-ALLOY STEEL
 (CAUTION: See UW-12 for vessels constructed under Part UW)

| Spec. No. | Grade | Nominal Composition | P- No. | Group No. | Notes | Specified Min. Yield, ksi | Specified Min. Tensile, ksi |
|---|---|---------------------|--------|-----------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Carbon Steel Plates and Sheets (Cont'd) | | | | | | | |
| SA-442 | 55 | C-Mn-Si | 1 | 1 | (18) | 30.0 | 55.0 |
| | 60 | C-Mn-Si | 1 | 1 | (18) | 32.0 | 60.0 |
| SA-455 | Up to 0.375 in. incl. Over 0.375 in. to 0.580 in. incl. Over 0.580 in. to 0.750 in. incl. | C-Mn | 1 | 2 | (20) | 37.5 | 75.0 |
| | | C-Mn | 1 | 2 | (17) | 36.5 | 73.0 |
| | | C-Mn | 1 | 2 | ... | 35.0 | 70.0 |
| SA-515 | 55 | C-Si | 1 | 1 | (18) | 30.0 | 55.0 |
| | 60 | C-Si | 1 | 1 | (18) | 32.0 | 60.0 |
| | 65 | C-Si | 1 | 1 | (18) | 35.0 | 65.0 |
| | 70 | C-Si | 1 | 2 | (18) | 38.0 | 70.0 |
| SA-516 | 55 | C-Si | 1 | 1 | (18) | 30.0 | 55.0 |
| | 60 | C-Mn-Si | 1 | 1 | (18) | 32.0 | 60.0 |
| | 65 | C-Mn-Si | 1 | 1 | (18) | 35.0 | 65.0 |
| | 70 | C-Mn-Si | 1 | 2 | (18) | 38.0 | 70.0 |
| SA-537 | Cl.1 | C-Mn-Si | 1 | 2 | (10) (25) (30) | 50.0 | 70.0 |
| | up to 2.5 in. incl. | | | | | | |
| | Cl.1 | | | | (10) (26) | 45.0 | 65.0 |
| | Over 2.5 in. to 4 in. incl. | | | | | | |
| | Cl.2 | C-Mn-Si | 1 | 3 | (10) (22) (25) (30) | 60.0 | 80.0 |
| | up to 2.5 in. incl. | | | | | | |
| | Cl.2 | | | | (10) (22) (26) (30) | 55.0 | 75.0 |
| | Over 2.5 in. to 4 in. incl. | | | | | | |
| SA-562 | ... | C-Mn-Ti | 1 | 1 | (11)(24)(32) | 30.0 | 55.0 |
| SA-612 | Grade A 0.5 in. and under | C-Mn-Si | 10C | 3 | (10) | 50.0 | 83.0 |
| | Grade B Over 0.5 in. to 1 in. | C-Mn-Si | 10C | 3 | (10) | 50.0 | 81.0 |
| SA-662 | A | C-Mn-Si | 1 | 1 | ... | 40.0 | 58.0 |
| | B | C-Mn-Si | 1 | 1 | ... | 40.0 | 65.0 |
| | C | C-Mn-Si | 1 | 2 | ... | 43.0 | 70.0 |
| SA-737 | B | C-Mn-Si-Cb | 1 | 2 | ... | 50.0 | 70.0 |
| | C | C-Mn-Si-V-N | 1 | 3 | ... | 60.0 | 80.0 |
| Seamless Carbon Steel Pipes and Tubes | | | | | | | |
| SA-516 Pipe | A | C | 1 | 1 | (3)(4)(18) | 30.0 | 48.0 |
| | B | C-Mn | 1 | 1 | (3)(4)(18) | 35.0 | 60.0 |
| SA-106 Pipe | A | C-Si | 1 | 1 | (18) | 30.0 | 48.0 |
| | B | C-Si | 1 | 1 | (18) | 35.0 | 60.0 |
| | C | C-Si | 1 | 2 | (18) | 40.0 | 70.0 |

TABLES

Table UCS-23

TABLE UCS-23 (CONT'D)
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR CARBON AND LOW-ALLOY STEEL
 (CAUTION: See UW-12 for vessels constructed under Part UW)

| Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding | | | | | | | | | | | | Spec. No. | Ext. Press. Chart Fig. No. |
|---|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|--------------|------------------------------------|
| -20 to 650 | 700 | 750 | 800 | 850 | 900 | 950 | 1000 | 1050 | 1100 | 1150 | 1200 | | |
| Carbon Steel Plates and Sheets (Cont'd) | | | | | | | | | | | | | |
| 13.8 | 13.3 | 12.1 | 10.2 | 8.4 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-442 | UCS-28.2 |
| 15.0 | 14.4 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-442 | UCS-28.2 |
| 18.8 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-455 | UCS-28.2 |
| 18.3 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-455 | UCS-28.2 |
| 17.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-455 | UCS-28.2 |
| 13.8 | 13.3 | 12.1 | 10.2 | 8.4 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-515 | UCS-28.2 |
| 15.0 | 14.4 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-515 | UCS-28.2 |
| 16.3 | 15.5 | 13.9 | 11.4 | 9.0 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-515 | UCS-28.2 |
| 17.5 | 16.6 | 14.8 | 12.0 | 9.3 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-515 | UCS-28.2 |
| 13.8 | 13.3 | 12.1 | 10.2 | 8.4 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-516 | UCS-28.2 |
| 15.0 | 14.4 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-516 | UCS-28.2 |
| 16.3 | 15.5 | 13.9 | 11.4 | 9.0 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-516 | UCS-28.2 |
| 17.5 | 16.6 | 14.8 | 12.0 | 9.3 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-516 | UCS-28.2 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-537 | UCS-28.4 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-537 | UCS-28.2 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-537 | UCS-28.4 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-537 | UCS-28.4 (Use Class 1 Curve) |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-662 | UCS-28.6 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-612 | UCS-28.2 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-612 | UCS-28.2 |
| 14.5 | 14.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-662 | UCS-28.2 |
| 16.3 | 16.3 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-662 | UCS-28.2 |
| 17.5 | 17.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-662 | ... |
| 17.5 | 17.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-737 | UCS-28.4 |
| 20.0 | 20.0 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-737 | UCS-28.4 |
| Seamless Carbon Steel Pipes and Tubes | | | | | | | | | | | | | |
| 12.0 | 11.7 | 10.7 | 9.3 | 7.9 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-53 | UCS-28.2 |
| 15.0 | 14.4 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 6.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-53 | UCS-28.2 |
| 12.0 | 11.7 | 10.7 | 9.3 | 7.9 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-106 | UCS-28.2 |
| 15.0 | 14.4 | 13.0 | 10.8 | 8.7 | 6.5 | 4.5 | 2.5 | ... | ... | ... | ... | SA-106 | UCS-28.2 |
| 17.5 | 16.6 | 14.8 | 12.0 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | SA-106 | UCS-28.2 |

A N E X O 2

TABLA UCS 28.0, 28.1, 28.2 y 28.3 DEL ASME
SECC. VIII - DIV. 1

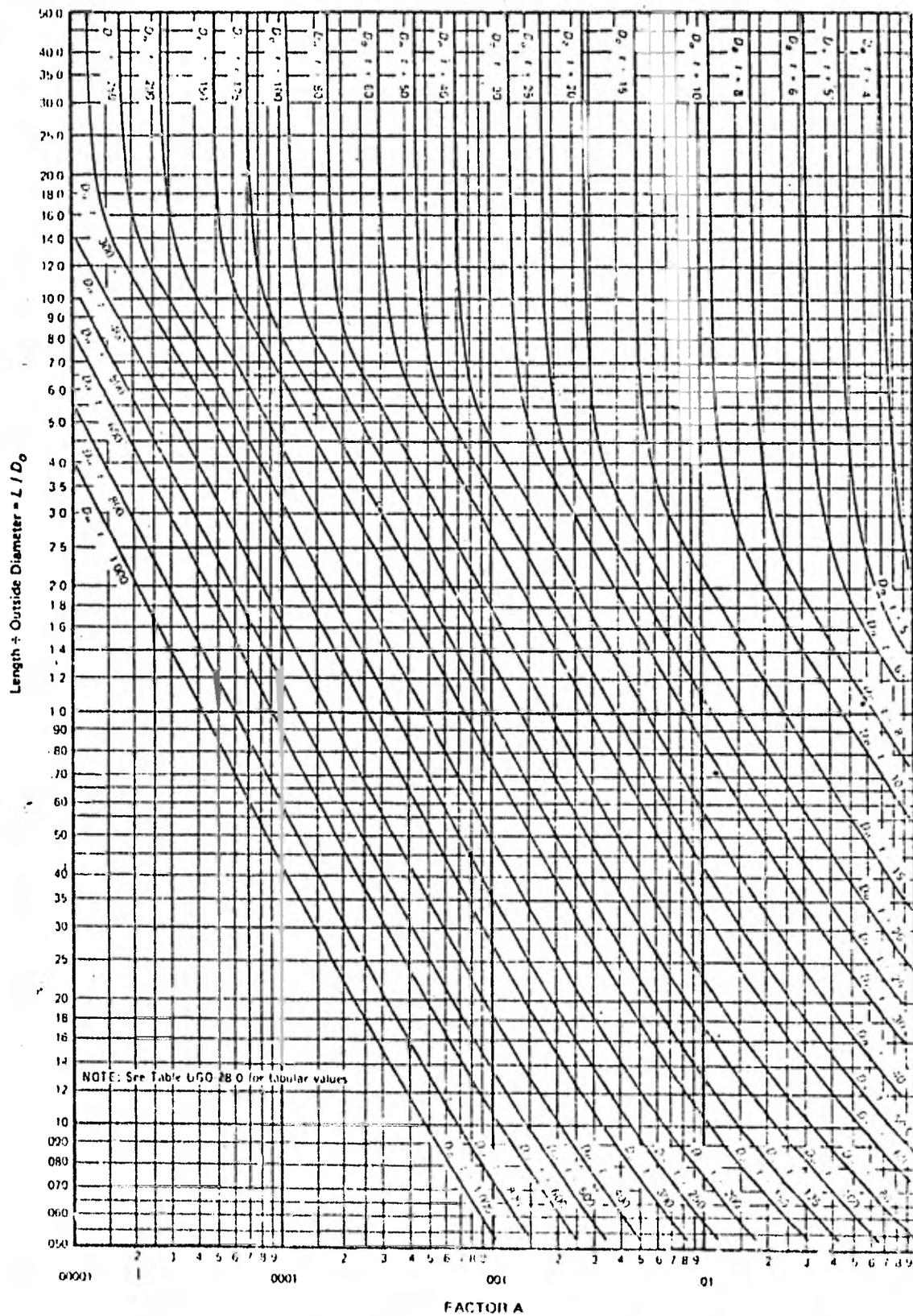


Fig. 5-UGO-28.0 Geometric Chart for Cylindrical Vessels Under External or Compressive Loading (For All Materials)

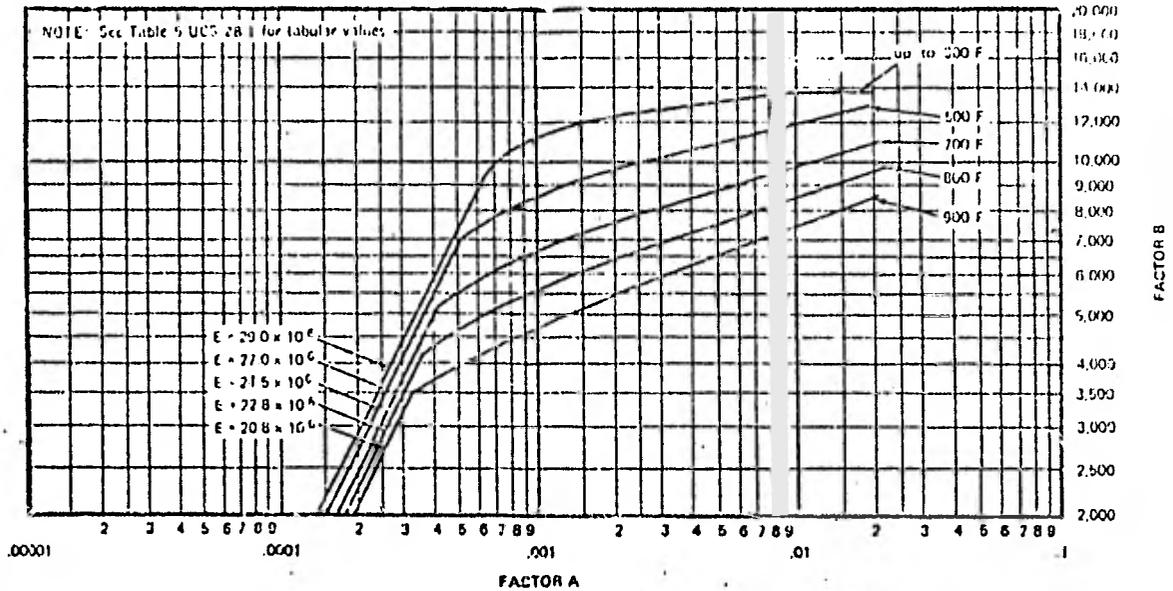


FIG. 5-UCS-28.1 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF CYLINDRICAL AND SPHERICAL VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW-ALLOY STEELS (SPECIFIED YIELD STRENGTH 24,000 psi TO, BUT NOT INCLUDING, 30,000 psi) [NOTE (1)]

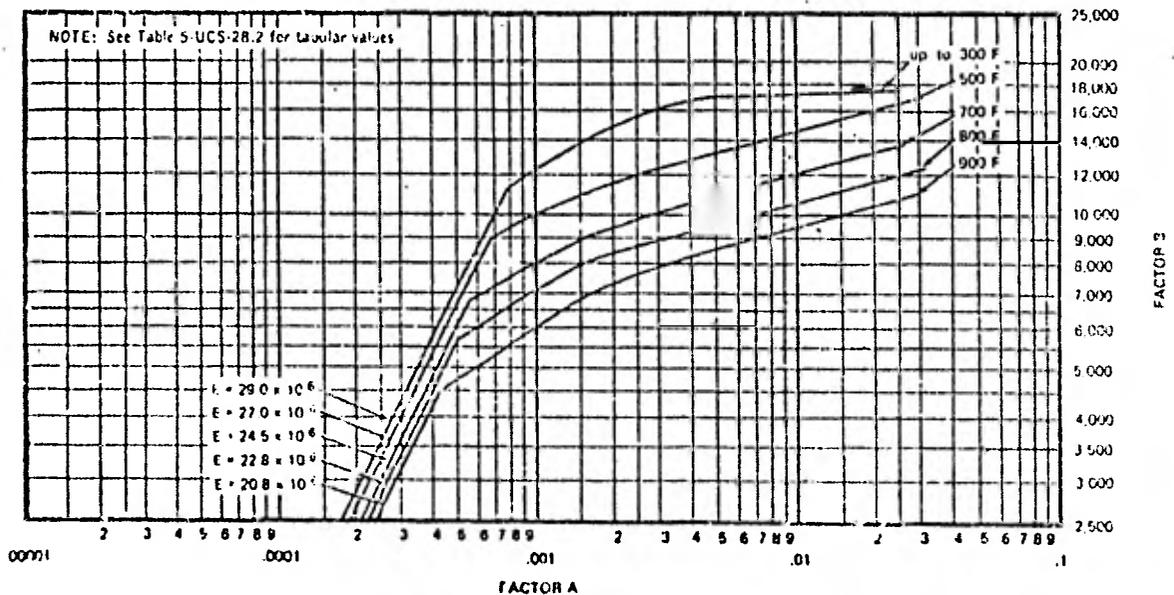


FIG. 5-UCS-28.2 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF CYLINDRICAL AND SPHERICAL VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW-ALLOY STEELS (SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH 30,000 psi AND OVER) AND TYPE 405 AND TYPE 410 STAINLESS STEELS [NOTE (2)]

BIBLIOGRAFIA

- 1.- MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO
Editorial UTHEA
México, 1965.
- 2.- RUIZ, RUBIO C.
Proyecto y Construcción de Excipientes a
Presión
Editorial Urmo, S.A.
Madrid, 1976.
- 3.- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS
ASME, Secc. VIII, Div. 1. y Secc. II, part.
4, Estados Unidos, 1980.
- 4.- DISEÑO, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE CALDE
RAS Y RECIPIENTES A PRESION
Memoria de Conferencia, 1976.
- 5.- GAYOSSO REYES, JOSE
Estabilidad de Torres Autosoportadas para
Proceso
Fac. Ingeniería, U.N.A.M.
- 6.- SHINOTTARA, HOROSHI
"Design and fabrication of Large-Sizes, --
High-Temperature, and High-Pressure Vessels
for Petroleum Refining, Petrochemical, and-
Chemical Plants.
- 7.- DISEÑO MECANICO DE TORRES ALTAS
Dr. Lloyd E. Brownell
- 8.- BALLAST TRAY DESIGN MANUAL
Manual Glisch, Inc.

Bulletin No. 4900 Third Edition
Estados Unidos, 1974.

- 9.- CATALOGO GHH
GHH Fractionating Devices and Main Applications.
- 10.- ETINNE, GUILLERMO y MENCHACA HECTOR
El Petróleo y la Petroquímica
Primera Edición, Ed. Edicol, S.A.
México, 1975.
- 11.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION DE RECIPIENTES
A PRESION
1. Seminario de Ingeniería Mecánica Petro-
lera, Segunda Mesa Redonda.
Instituto Mexicano del Petróleo, 1972.