



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN**



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES**

**LECTURAS DE INGENIERÍA 27**

# ***RECIPIENTES A PRESIÓN***

---



---

**RECOPILO:**

**MTRO. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ**

**CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.**

**2018-1**

## **INTRODUCCIÓN**

En la medida que la Ingeniería de Proyectos se ha incrementado en nuestro país se requiere de un conocimiento más amplio de las diferentes especialidades que intervienen, siendo una de las más importantes la de recipientes, los cuales representan un amplio panorama, por la gran intervención que tienen en la totalidad de las Plantas Industriales.

En la actualidad toda empresa de proyecto, cualquiera que sea su capacidad no debe estar exenta del diseño de recipientes.

Dada la importancia que representa para un país la industria tanto la petrolera, alimenticia, química, cañera, cervecera, cafetera, etc., es aquí donde el diseño de recipientes no sólo es una rama más de la ingeniería, sino una especialidad, en donde el diseñador y el calculista pueden elaborar el diseño del equipo más funcional de acuerdo a las condiciones de proceso y de los productos que se van a obtener.

En la especialidad de recipientes convergen varios conocimientos afines a distintas ramas de la ingeniería como son: resistencia de materiales, corrosión, ingeniería mecánica, ingeniería civil, ingeniería hidráulica, ingeniería química, etc; con esto, nos podemos dar cuenta de la importancia que tiene la intervención de personal con conocimientos en diseño y cálculo de recipientes para un proyecto determinado.

## CAPÍTULO 1

### TANQUES Y RECIPIENTES A PRESIÓN.

Un **tanque atmosférico** es un depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presiones internas relativamente bajas. Irónicamente, la baja presión en el contexto de tanques significa que son diseñados para operar desde una presión un poco mayor a la atmosférica hasta 15 psig.

Un **recipiente a presión** es un recipiente cerrado, diseñado para soportar gases o líquidos a una presión sustancialmente diferente de la presión ambiental, ya sea por presión interna o presión externa, independientemente de su forma y dimensiones. Cuando el diseño interno de un contenedor excede 15 psig, este será conocido como un recipiente a presión

*a)**b)*

*Figura 1.1. a) Tanque de almacenamiento b) Recipiente a presión.*

## **1.1. TANQUES ATMOSFÉRICOS**

Tanque de Almacenamiento que ha sido diseñado para operar a presiones desde la atmosférica hasta presiones de 1,0 psig (de 760 mm Hg hasta 812 mm Hg) medidos en el tope del Tanque. Los tanques atmosféricos no podrán ser usados para el almacenamiento de líquidos a temperaturas iguales o mayores a su punto de ebullición.

Otra definición sobre los tanques atmosféricos es, que serán usados para líquidos que tienen hasta una máxima presión de vapor de  $0.914 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$  (13 psia) a nivel del mar. Por cada 300 metros de elevación la máxima presión de vapor deberá ser reducida en  $0.035 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$  (0.5 psia). Los principales tanques atmosféricos son de techo flotante y de techo fijo.

### **1.1.1 Tanques de techo fijo.**

La forma del techo de un tanque puede ser usada para clasificar el tipo de tanque. Para saber por qué, es necesario comprender el efecto de la presión interna en las placas de la estructuras incluyendo tanques y recipientes a presión. Si una placa de acero es sujeta a una presión en un lado, esta debe estar fabricada con un espesor lo bastante suficiente como para resistir una visible deformación o pandeo. Por ejemplo; un techo cónico poco profundo en un tanque se aproxima a una superficie plana y es construido con placa de 3/16" de espesor es incapaz de soportar más que unas pocas pulgadas columnas de agua. El tamaño del tanque es el más severo efecto de presión en la estructura, ya que conforme la presión se incrementa, la fabricación y el costo fuerzan al constructor a usar formas más sustentables para que sean capaces de soportarla. En el momento de la construcción, la forma cilíndrica es mas económica y fácil de fabricar para presiones internas y lograr que el almacenamiento sea seguro. Relativamente los techos y fondos planos de los tanques no ayudan mucho a la presión interna. Si la presión interna incrementa, se debe tomar la decisión de construir usando domos o esferas como techos. La esfera es la forma más económica para almacenar fluidos presurizados en términos del espesor requerido, pero es más difícil de fabricar, generalmente más que los tanques de techo en domo o sombrilla.

**Tanques de techo cónico.** Estos tanques tienen una envolvente cilíndrica con un eje vertical de simetría. El fondo es usualmente plano, y la parte superior está hecha en forma de un cono poco profundo. Estos son los tanques más ampliamente usados para almacenar grandes cantidades de fluido ya que son más económicos de construir. Pueden ser fabricados en pequeñas piezas y ser armados en campo. Este tipo de tanque tienen soportes y columnas de soporte para el techo excepto en los tanques de diámetro muy pequeño.

**Tanques techo de sombrilla.** Estos tanques son similares a los de techo cónico, pero el techo parece una sombrilla. Estos tanques pueden ser de estructura auto-soportada, lo que significa que no cuenta con estructuras de soporte que deben ser puestas desde el fondo del tanque.

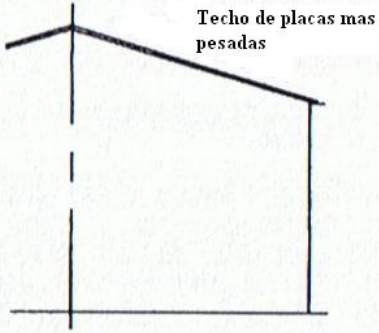
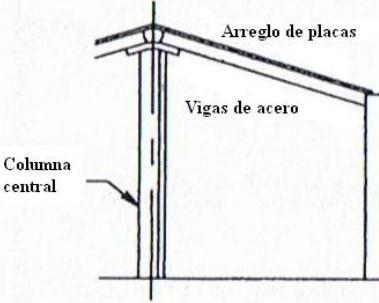
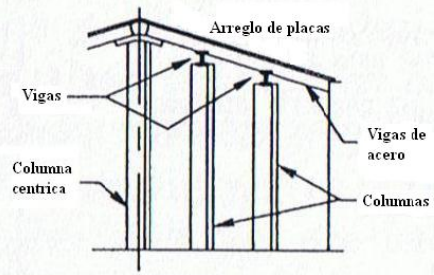
**Tanques techo de domo.** Son similares a los tanques con techo en forma de sombrilla, excepto que su domo es más aproximado a una superficie esférica que a las secciones segmentadas de un techo con forma de sombrilla.

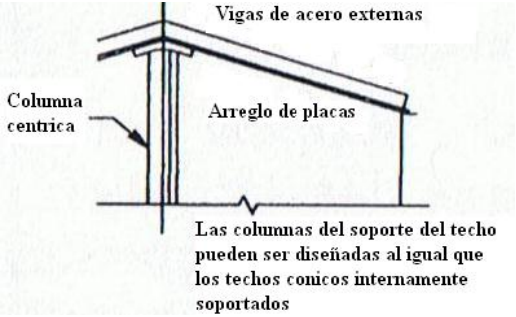
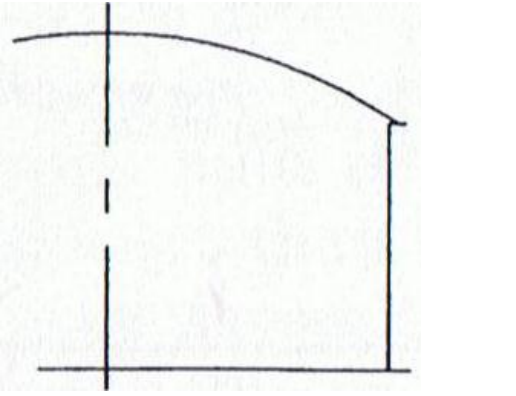
**Tanques con techo de domo geodésico de aluminio..** Este tipo de techo fijo ha llegado a ser muy popular. Ofrecen una alternativa económica, superior resistencia a la corrosión para una amplia variedad de condiciones y son estructuras que no requieren soportes internos. Pueden ser construidos, también, con cualquier diámetro requerido, figura 1.2



*Figura 1.2. Un tanque con techo de domo geodésico de aluminio.*

Tabla 1.1. Techos fijos

Techos fijos		
Tipo	Ventajas	Desventajas
<p><b><u>Techo cónico auto-soportado</u></b></p>  <p>Techo de placas mas pesadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mínimas obstrucciones internas</li> <li>▪ Relativamente económico</li> <li>▪ Adecuado para capa de protección interna.</li> <li>▪ Más economía y mayor eficiencia si se quiere convertir en techo flotante interno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puede requerir un techo mas pesado de placas gruesas.</li> <li>▪ Solo aplicable a tanques pequeños.</li> </ul>
<p><b><u>Techos cónicos soportados.</u></b></p> <p><b>Tacos cónicos soportados en el centro.</b></p>  <p>Arreglo de placas</p> <p>Vigas de acero</p> <p>Columna central</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Simple diseño estructural.</li> <li>▪ Mínimas obstrucciones internas.</li> <li>▪ Relativamente económico.</li> <li>▪ Más economía y mayor eficiencia si se quiere convertir en techo flotante interno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menos ideal para capas de protección interna.</li> <li>▪ Diámetro del tanque limitado por el tamaño de las vigas.</li> <li>▪ Pobre para capa de protección interna.</li> </ul>
<p><b><u>Techo cónico soportado</u></b></p>  <p>Arreglo de placas</p> <p>Vigas</p> <p>Vigas de acero</p> <p>Columna central</p> <p>Columnas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diseño estructural simple.</li> <li>▪ Relativamente económico.</li> <li>▪ Es adecuado para cualquier diámetro.</li> <li>▪ Puede ser rompible para ventilación de emergencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Muchas obstrucciones internas.</li> <li>▪ Difícil de inspeccionar.</li> <li>▪ Hace más costosa la conversión a techo flotante interno.</li> </ul>

<b>Techos cónicos externamente</b>		
<p><b><u>soportados.</u></b></p>  <p>Las columnas del soporte del techo pueden ser diseñadas al igual que los techos cónicos internamente soportados</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mismas ventajas de los techos soportado y soportado cónico.</li> <li>▪ Menos obstrucciones internas.</li> <li>▪ Ideal para capas internas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mismas desventajas que el techo soportado en el centro y soportado.</li> <li>▪ Más caro que los techos internamente soportados.</li> <li>▪ No es rompible.</li> </ul>
<p><b><u>Techo de domo o sombrilla.</u></b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excelente diseño para capa interior.</li> <li>▪ Excelente diseño para servicios de alta corrosión tales como el azufre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Más caro que el techo cónico.</li> <li>▪ Aplicable solo para tanques pequeños y medianos.</li> <li>▪ No aplicable para altas presiones de vapor a menos que el vapor sea recuperado.</li> <li>▪ No es frágil.</li> </ul>

### 1.1.2. Tanques de techo flotante.

Los tanques de techo flotante tienen envolvente vertical y cilíndrica como los tanques de techo cónico. La cubierta flotante del techo es una estructura en forma disco que tiene suficiente flotabilidad para asegurar que el techo flote sobre todas las condiciones esperadas. Están contruidos con un hueco de 8 a 12 pulgadas entre el techo y la envolvente así que no está unido de tal manera que el techo suba y baje con el nivel de líquido. El espacio entre el techo flotante y la envolvente es sellado por un empaque llamado tubo sello. El techo flotante puede tener muchos diseños que serán descritos en la sección de techos. La envolvente y el fondo de estos tanques son similares a un tanque cilíndrico vertical ordinario de techo fijo.

Las dos categorías de los tanques de techo flotante son *techo flotante externo* (TFE) y *techo flotante interno* (TFI). Si el tanque es abierto en la parte superior, es considerado como un tanque TFE. Si el techo flotante es cubierto por un techo fijo en la parte superior del tanque es un tanque TFI. La función de cubrir es para reducir la evaporación y la contaminación del aire por reducción del área de superficie del líquido que es expuesto a la atmosfera. Nótese que los tanques de techo fijo no pueden ser fácilmente convertidos a tanques de techo flotante por la simple instalación del techo flotante en el interior del tanque de techo fijo, y un tanque de techo flotante externo puede ser fácilmente convertido a un tanque de techo flotante interno cubriéndolo con un techo fijo o domo geodésico.

Los tanques TFE no tienen presión de vapor asociada a su diseño y operan estrictamente con presión atmosférica. Los tanques IFR trabajan estrictamente con presión atmosférica en el espacio entre el techo flotante y el techo fijo.

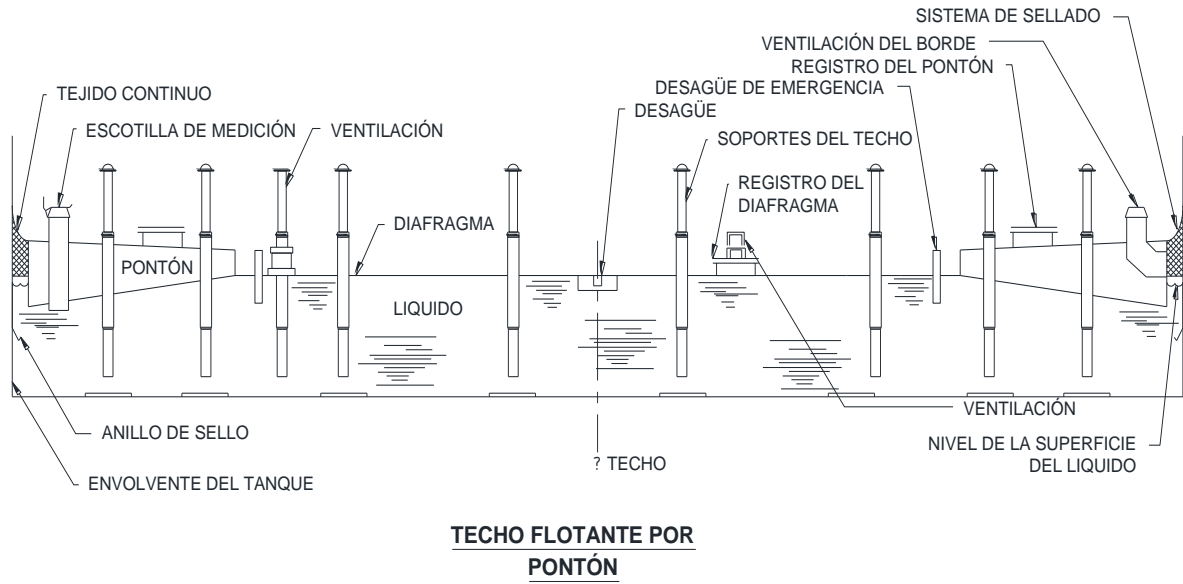
El requerimiento fundamental para los techos flotantes es dependiente a la presión interna o externa que debe soportar. Las condiciones de diseño para los techos flotantes externos son más severas dado que estas deben manejar lluvia, viento, sismo, condiciones de cargas muertas y cargas vivas tomadas en cuenta de las más fuerte hasta la más insignificante.

A continuación se describirá el tipo de techo para techos flotantes, internos y externos.

#### **1.1.2.1 Techo flotante externo.**

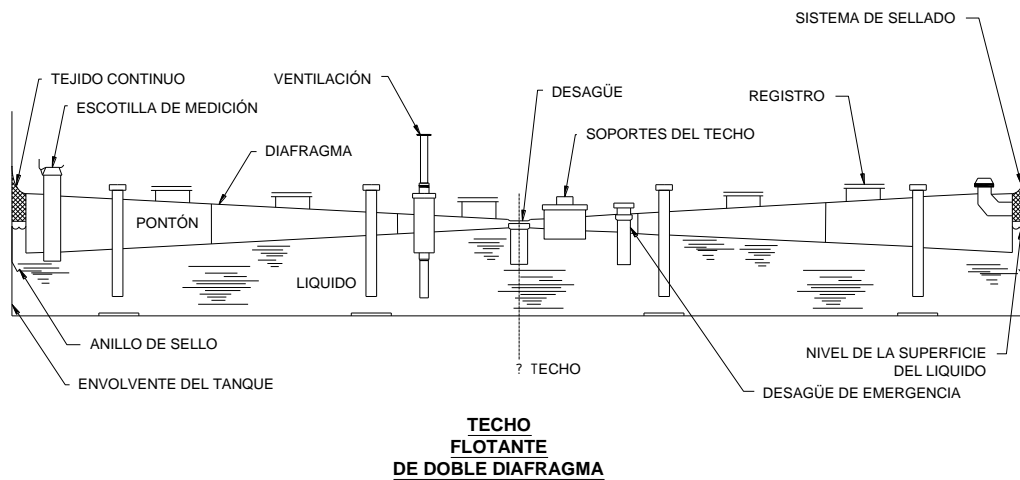
**Techos con pontón.** Estos techos son comunes para techos flotantes de aproximadamente 30 a 100 pies de diámetro, el techo es simplemente una membrana de placas de acero con un compartimento anular que provee de la fuerza de flotación.





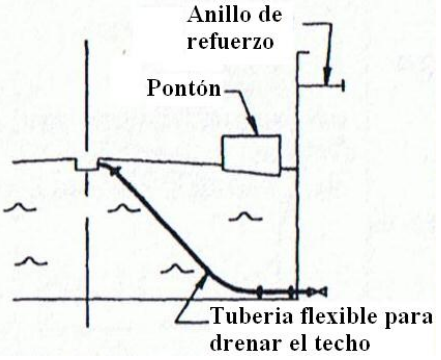
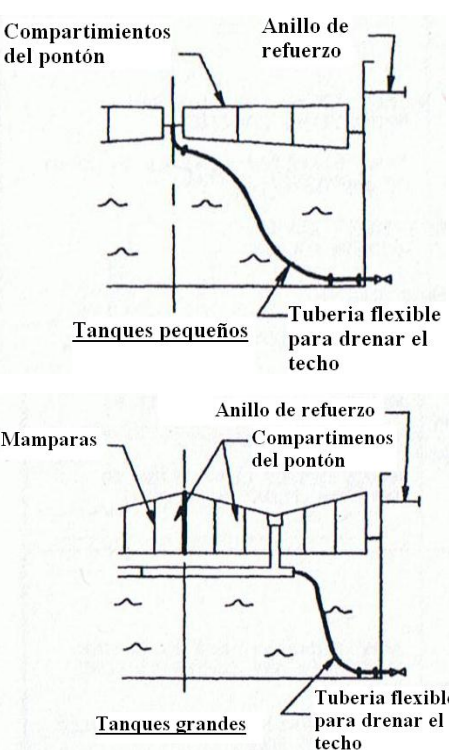
*Figura 1.3. Techo flotante por pontón*

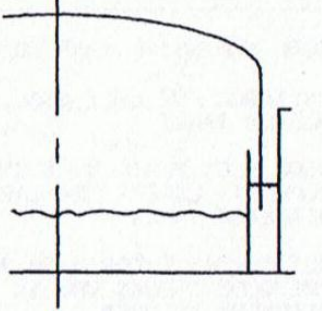
**Techos de doble diafragma.** Estos techos son contruidos para pequeños tanques, alrededor de 30 ft de diámetro. Son también usados en diámetros que no exceden los 100 pies de diámetro. Son muy fuertes y durables, por el doble diafragma, y son aptos para tanques de diámetros grandes.



*Figura 1.4. Techo flotante de doble diafragma.*

Tabla 1.2 Techos flotantes

Techos flotantes		
Tipo	Ventajas	Desventajas
<p><b><u>Diafragma bajo con pontón flotante.</u></b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Construcción más barata que el de doble cubierta para 20' Ø a 170' Ø.</i></li> <li>▪ <i>Adecuado para altas presiones de vapor.</i></li> <li>▪ <i>Capaz de reparaciones en servicio de accesorios</i></li> <li>▪ <i>Buena flotabilidad.</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Pobre diseño para aislar el techo.</i></li> <li>▪ <i>Estructuralmente más delgado que el de doble cubierta.</i></li> <li>▪ <i>Una fuga resultaría en un residuo en la cubierta causando fuego en el sistema de drenado en el techo.</i></li> </ul>
<p><b><u>Flotantes de doble diafragma.</u></b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Puede ser fácilmente aislado si se necesita.</i></li> <li>▪ <i>Estructura muy fuerte.</i></li> <li>▪ <i>Adecuado para altas presiones de vapor.</i></li> <li>▪ <i>Una fuga no pone el producto en el techo u en el sistema de drenado.</i></li> <li>▪ <i>Excelente flotabilidad</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Es mas costoso.</i></li> <li>▪ <i>Pierde capacidad ya que es mayor la altura de los bordes que la requerida.</i></li> </ul>

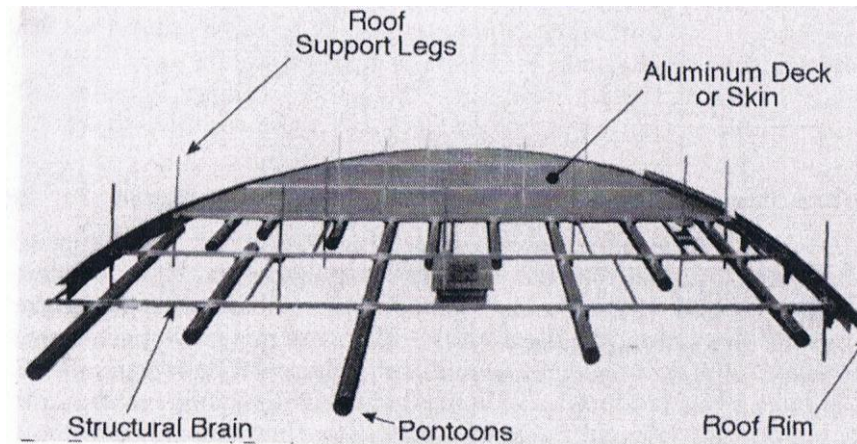
<p><b><u>Domo de conservación de vapor.</u></b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Reduce o evita el requerimiento para evitar fugas de gas.</i></li> <li>▪ <i>Puede ser usado como contenedor de gas.</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Costoso de construir y mantener.</i></li> <li>▪ <i>Existen problemas de corrosión en el área del sello a menos que se le de mantenimiento.</i></li> </ul>
---	--	---

### 1.1.2.2 Techo flotante interno

**Techo de cacerola.** Es una simple hoja de acero en forma de disco con los bordes doblados hacia arriba para hacer la flotación. Estos techos son propensos a voltearse y hundirse por cualquier pequeña fuga o abertura que pueda tener.

**Techo de cacerola con muro de contención.** Este techo tiene compartimientos anulares abiertos en la periferia para prevenir el hundimiento que se pueda producir por una fuga.

**Techos de diafragma y pontón.** Estos son usualmente construidos con una piel de aluminio soportado en una serie de pontones tubulares de aluminio. Estos tanques tienen un espacio de vapor entre la cubierta y la superficie del líquido.



*Figura 1.5*

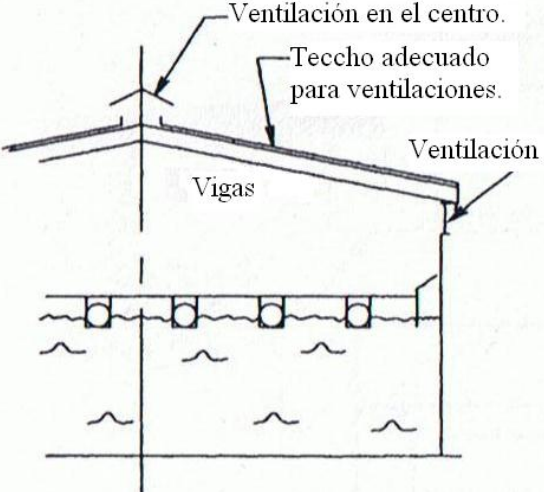
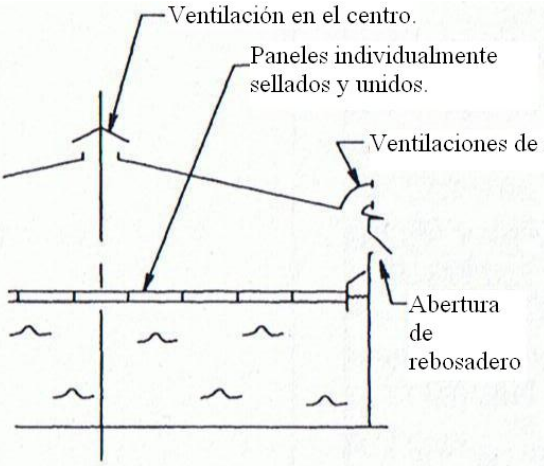
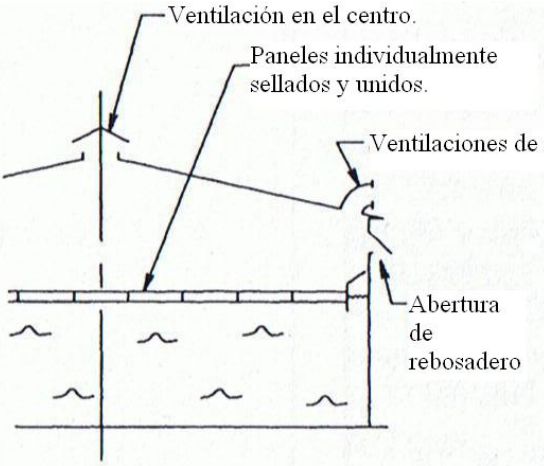
**Techo de panel.** El techo de panel está hecho de un arreglo de celdas hexagonales similares a un panel en apariencia. El panel es pegado en la parte superior e inferior de una membrana de aluminio que lo sella. Este techo descansa directamente en el líquido.



*Figura 1.6 Techo de panel*

**Sandwich plástico.** Este techo está hecho con paneles de espuma rígida de poliuretano entre dos placas plásticas.

Tabla 1.3 Techos flotantes internos.

Tipo	<b><u>Techo flotante interno ventilado arriba de la envolvente</u></b>
 <p>Ventilación en el centro. Techo adecuado para ventilaciones. Vigas Ventilación</p>	<p><b>Ventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Una buena ventilación maximiza la capacidad del tanque.</li> </ul> <p><b>Desventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Más costoso que el de compuerta de aire en el techo.</li> <li>▪ No aplicable para modificaciones.</li> </ul>
 <p>Ventilación en el centro. Paneles individualmente sellados y unidos. Ventilaciones de air Abertura de rebosadero</p>	<p><b><u>Techo flotante interno con ventilaciones en el techo y rebosadero en la envolvente.</u></b></p> <p><b>Ventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aplicable para modificación es.</li> <li>▪ Instalación económica.</li> </ul> <p><b>Desventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1-1/2' de pérdida adicional en la capacidad del tanque.</li> </ul>
 <p>Ventilación en el centro. Paneles individualmente sellados y unidos. Ventilaciones de air Abertura de rebosadero</p>	<p><b><u>Techo flotante interno de aluminio sin contacto.</u></b></p> <p><b>Ventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diseño interno más económico.</li> <li>▪ Puede ser instalado en cualquier envolvente que se elija.</li> <li>▪ Aplicable para altas presiones de vapor.</li> <li>▪ Rápida instalación en campo.</li> </ul> <p><b>Desventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estructura muy débil.</li> <li>▪ Servicios para aluminio muy limitados.</li> <li>▪ No aplicable para altos servicios de viscosidad.</li> <li>▪ Menor vida útil que el acero.</li> </ul>

**Techo flotante de aluminio con contacto****Ventajas.**

- *Puede ser instalado en cualquier envoltente que se elija.*
- *Aplicable para altas presiones de vapor.*
- *Más fácil de reparar que el arreglo anterior.*
- *Más fuerte.*
- *Menos probable de hundirse.*

**Desventajas**

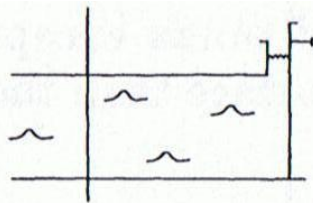
- *Limitados servicios para el aluminio.*
- *Vida útil corta.*

**Cacerola****Ventajas**

- *Bajo costo*

**Desventajas**

- *Extremadamente vulnerables al hundimiento o a voltearse.*
- *Peligrosos para el fuego.*
- *No recomendados.*

**1.2. FONDO DE LOS TANQUES.**

Como se mencionó anteriormente, las formas en las que cierra un tanque cilíndrico (fondo y techo) dependen de la presión interna, ya que las variantes a las que está sujeto el fondo de un tanque han hecho que varios tipos de estos hayan evolucionado. En términos generales, los tanques pueden ser clasificados por forma del fondo de la siguiente manera:

- Fondo plano.
- Cónicos.
- Domo o esferoide.

De los cuales solo se presentan los tanques de fondo plano.

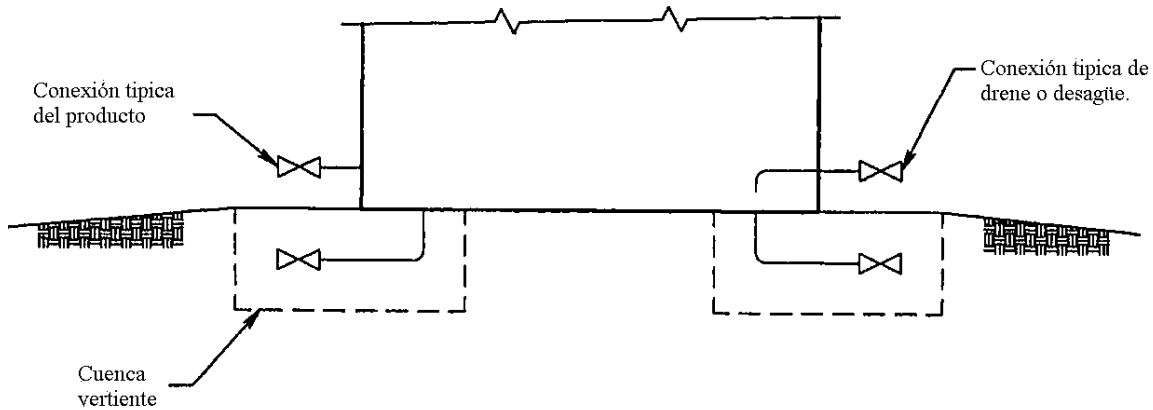
**1.2.1 Tanques de fondo plano.**

Los tanques de fondo plano solo aparentan serlo, pero usualmente tienen una pequeña inclinación o forma de diseño. Estos son usualmente clasificados de acuerdo a las siguientes categorías:

- Plano.
- Cono levantado.
- Cono hundido.
- Inclínados.

La corrosión es usualmente más severa en el fondo, y su diseño puede tener un efecto significativo en la vida del tanque. En adición, si el contenido del tanque es cambiado, es deseable remover las reservas anteriores que hayan quedado tan rápido como sea posible. Por lo tanto los diseños aplicados para remover agua o reservas, y la facilidad para limpiar el tanque han sido previstos. Los fondos del tanque especializados han surgido de la necesidad para monitorear y detectar fugas en los fondos de los tanques en contacto con el suelo o cimientos.

**Planos.** Para tanques menores de 20 a 30 pies de diámetro se usa un fondo plano para el tanque. La inclusión de una pequeña inclinación, como se describió anteriormente, no ofrece un beneficio substancial, así que son fabricados con lo más cercano posible al plano ya que es más práctico.

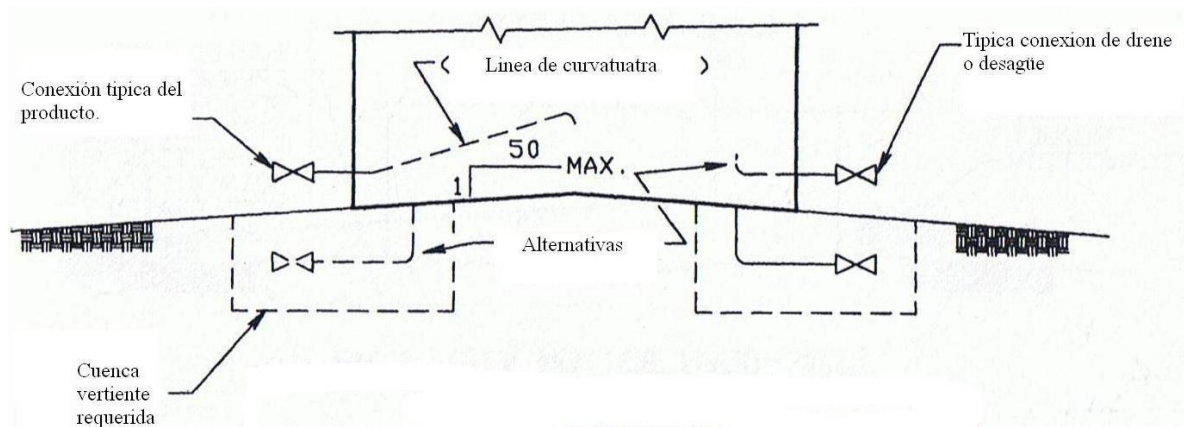


<i>Características</i>
<p><b>Usos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Principalmente tanques pequeños, 20 ft <math>\varnothing</math> o menos. Aplicable para pruebas de campo, tanques manométricos, tratamiento de aguas, etc.</i></li> <li>▪ <i>Extensamente usado por la industria química.</i></li> </ul> <p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Simple y económico de fabricar e instalar en pequeños tamaños.</i></li> <li>▪ <i>Las conexiones del fondo son accesibles para inspección y mantenimiento.</i></li> </ul> <p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Difícil de drenar completamente debido a los lugares bajos causados por los asentamientos, cimientos o envoltorio de las placas del fondo.</i></li> <li>▪ <i>Un sifón de drene no drene completamente dado que es más alto que el fondo.</i></li> </ul>

**Figura 1.7 Fondo plano**

**Cono levantado.** Estos fondos son construidos con un punto alto en el centro del tanque, este es acoplado a un coronamiento de fundición, y construyendo el tanque sobre la corona. La inclinación es limitada a alrededor de una o dos pulgadas por cada 10 pies. Con este arreglo los residuos pesados y el agua tenderán a drenarse en la esquina para ser removidos casi por completo.





### Usos.

- Ha sido más comúnmente usado excepto tanques pequeños en campo.
- Normalmente usado para la industria petrolera.

### Ventajas.

- Menos probable de coleccionar agua abajo del fondo que el plano horizontal o los tanques de cono hacia abajo.
- Mejor drenaje
- Conexiones de fondo y envolvente son accesibles para inspección y mantenimiento.
- Permite un incremento diferencial entre el cimientado y el fondo.
- Aplicable para reservas con gravedades especificas más grandes que las del agua.
- Tanque fácil de construir.

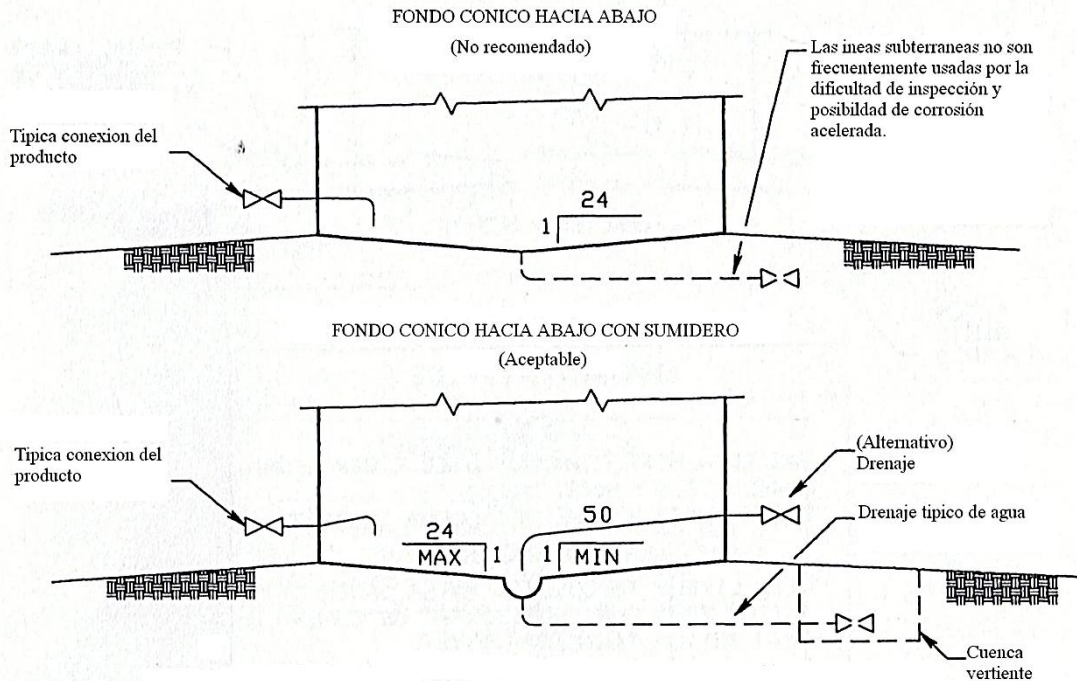
### Desventajas:

- Menor capacidad que el del cono hundido (1160 BBLs para 100 ft  $\varnothing$  y tanques de inclinación)
- No se drenan para la línea periférica inferior. Los asentamientos se reducen en el fondo y causan pandeos.
- Se drena en el área de la envolvente pero no se drena en la periferia del tanque.

*Figura 1.8 Fondo de cono levantado.*

**Cono hundido.** En este diseño las pendientes van desde el fondo de la envolvente hacia el centro del tanque. Usualmente existe un sumidero de recolección de material en el centro. Las tuberías en el interior del tanque drenan los residuos a un pozo o sumidero en la periferia del

tanque. Aunque muy efectivos para remover agua de los tanques, este diseño es más complejo ya que requiere un sumidero, tubería subterránea y sumideros afuera del tanque. Es también particularmente propenso a la corrosión a menos que una muy meticulosa atención sea puesta en el diseño, considerando los detalles de construcción como corrosión aplicada, recubrimientos y protección catódica.



#### Usos:

- Aplicable para productos refinados donde el mínimo contacto con el agua es deseable (por ejemplo: tanques de 20 ft  $\varnothing$  donde se vende el producto a granel).

#### Ventajas:

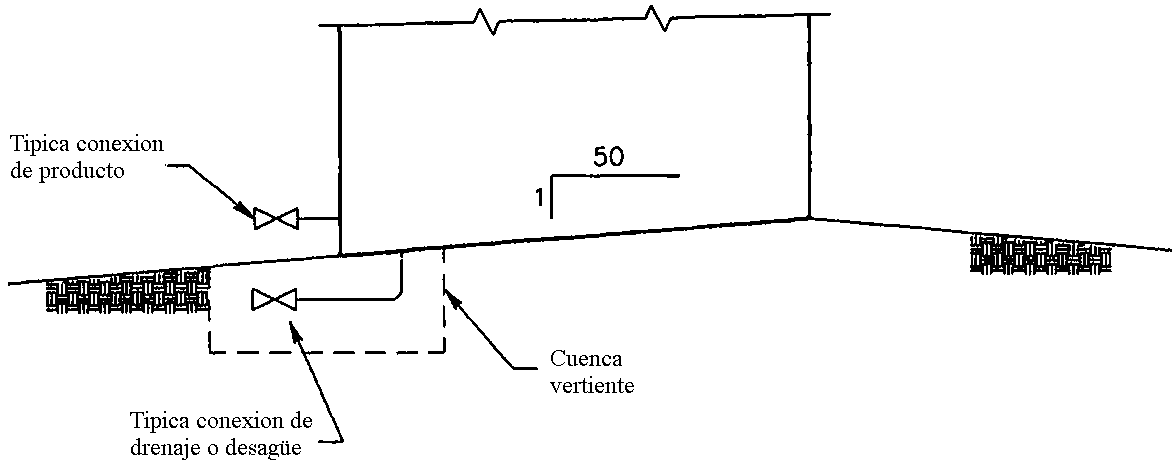
- Buen arreglo para tanques que cambien de producto frecuentemente y donde el drenaje y/o vaciado de agua es requerido.
- Se drenan completamente.
- El sumidero hace disminuir el área de contacto del producto con el agua y el fondo del tanque.

#### Desventajas:

- Existen problemas de corrosión por la acumulación de agua en las placas del fondo.
- Requiere tuberías internas al centro del tanque.
- El centro del drenaje no debe estar rígidamente fijo al fondo, simplemente guiado. El de tipo sifón es el único tipo aceptable.
- No aplicable para reservas que son significativamente más pesadas que el agua.

**Figura 1.9 Fondo cónico hundido**

**Inclinados.** Este diseño usa un fondo plano pero es ligeramente inclinado hacia un lado. Esto aplica para que el drenaje sea directamente hacia abajo en el perímetro. Donde puede ser eficientemente recogido. Este diseño es limitado en tanques de 100 pies de diámetro.



**Usos:**

Aplicables a tanques menores de 100 pies de diámetro.  
Buena opción para tanques con frecuente cambio de producto y cuando el drenado completo y/o remoción de agua sea requerida.

**Ventajas:**

Se mejora el desalojo de residuos sobre los arreglos cónicos levantados.  
Las conexiones del fondo son más accesibles para inspección y mantenimiento.

**Desventajas:**

El costo de instalación es más caro que los arreglos anteriores debido al diseño y el costo que implica su cimentación y erección de la envolvente.  
La ligera inclinación crea problemas por sedimento contenido en los tanques. El sedimento puede formar bolsas de agua que no se drenan.

**Figura 1.10. Fondo plano con inclinación.**

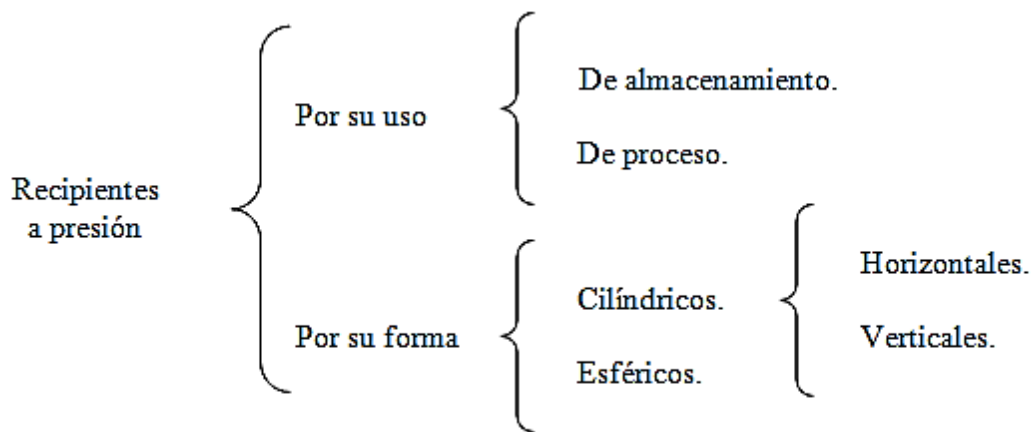
Otra importante clase de tanques, son los tanques subterráneos, la capacidad de este tipo de recipientes está limitada entre 500 y 20,000 galones, son usados usualmente para almacenar gasolinas así como distintos tipos de químicos. Para su diseño, este tipo de tanques requiere considerar las cargas terrestres a las que está sujeto. La flotabilidad debe ser también considerada, y por lo regular son anclados al suelo para que no salten durante periodos de

movimiento de suelo. En adición se deben proteger contra la corrosión a la que están sujetos por medio de protección catódica u otros métodos.

Los códigos de protección contra incendios prohíben el uso de tanques atmosféricos en lugares de recarga de combustibles, tales como estaciones de servicio y marinas. Además estos tanques proveen de una buena respuesta al problema del espacio.

### 1.3. RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN.

Los diferentes tipos de recipientes a presión que existen, se clasifican de la siguiente manera:



#### 1.3.1. Por su servicio (uso).

Se dividen en; recipientes de proceso y recipientes de almacenamiento.

Los recipientes de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización.

Los recipientes de proceso se utilizan como intercambiadores de calor, reactores, torres fraccionadora, torres de destilación, entre otros.

**Por su forma.**

Se clasifican en; cilíndricos o esféricos. Los cilíndricos pueden ser horizontales o verticales, y pueden contar con o sin chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según el caso.

Los recipientes esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a bajas presiones.

**Recipientes Horizontales.**

Son aquellos recipientes montados en silletas en posición horizontal, figura 1.11, conocidos comúnmente como salchichas, se utilizan como acumuladores ya sea de flujo de vapor y/o sustancias que provengan de equipos especiales.



*Figura 1.11. Recipiente horizontal.*

### Recipientes Verticales.

Los más usados son los reactores, las torres, etc. Normalmente los recipientes verticales están soportados por medio de la patas de ángulo o tubo, faldones cónicos o rectos y por soportes integrados en el cuerpo del recipiente, figura 1.12.



*Figura 1.12. Recipiente vertical.*

### Recipientes Esféricos.

Se usan para almacenamiento de grandes volúmenes de fluidos principalmente, gas natural, butano, isobutileno, hidrógeno, amoníaco y otros productos petroquímicos, figura 1.3. Se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a presiones moderadas, mostrado en la figura 1.13.

Puesto que la forma esférica es la forma “natural” que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna, ésta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión, sin embargo, la fabricación de este tipo de recipientes es mucho más cara en comparación con los recipientes cilíndricos.



*Figura 1.13. Recipiente esférico.*

#### **1.4. VENTAJAS DEL USO DE RECIPIENTES ESFÉRICOS**

Normalmente los recipientes esféricos se usan para el almacenamiento de grandes volúmenes de fluidos bajo presiones moderadas, entre  $2.1 \text{ kg/cm}^2$  y  $17 \text{ kg/cm}^2$ , principalmente gases a temperaturas y presiones normales, tales como gas natural, butano, isobutileno, hidrogeno, amoniaco y muchos otros productos petroquímicos. Las compañías químicas de goma, pulpas y de papel han encontrado que las esferas a presión presentan grandes ventajas en el almacenamiento de líquidos tales como anhídridos de amonio, butadieno y ácidos volátiles.

El uso de esferas para almacenamiento de líquidos volátiles y gases tienen un gran número de ventajas prácticas, incluyendo el almacenamiento económico, partes fijas, pocas probabilidades de fuego, bajos costos de mantenimiento (debido a la accesibilidad), corrosión mínima (debido a que el oxígeno es raramente presente dentro) y flexibilidad (debido a que la eficiencia de la esfera es independientemente del nivel del contenido).

Una batería de tanques cilíndricos construidos en taller han sido usados para proveer el mismo volumen que una esfera, lo cual duplica el número de conexiones y accesorios, además tales arreglos ocupan más espacio que el requerido para una sola esfera. Esto es debido a que la esfera es la forma geométrica que tiene mayor superficie o área por unidad de volumen.

Además el líquido almacenado en una esfera de gran capacidad cambia de temperatura más lentamente que en un recipiente pequeño. La presión de operación es función de la temperatura, así que la presión dentro de una esfera grande es menos probable que exceda el valor calibrado en la válvula de alivio durante periodos cortos en climas extremadamente calurosos, de esta manera una esfera grande, es por consiguiente la más eficiente en prevenir perdidas de vapor que los recipientes que los recipientes pequeños diseñados para la misma presión.



## **CAPITULO 2**

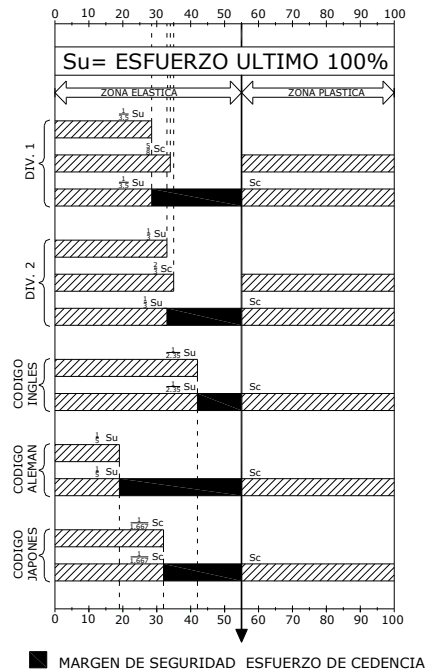
### **CÓDIGOS DE DISEÑO**

Todos los diseños, fabricación, pruebas e inspección 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 la cual dictamina los requerimientos mínimos para cualquiera de las fases mencionadas.

Basándose en lo anterior, los países más altamente industrializados cuentan con códigos propios, dentro de los cuales, se pueden citar los siguientes:

- El código ASME (American Society of Mechanical Engineers), es el que rige actualmente en los Estados Unidos de América.
- El B.S 5500 o B.S.1515 (British Standard) que es el código Británico.
- El código JIS (Japanese Industrial Standard ) que es usado en Japón.
- El código Alemán que rige físicamente en Alemania y países bajos.

Cabe mencionar que cada uno de los códigos mencionados, tiene diferentes factores de seguridad, por ejemplo el ASME usa un factor de seguridad de 3.5 y el B.S 1515 de 2.35, esto es sobre la resistencia ultima a la tensión especificada a la temperatura ambiente o de diseño, en la figura 2.1 se muestran los distintos factores de seguridad utilizados por los distintos códigos empleados en la construcción de recipientes a presión.



**Figura. 1.7. Factor de seguridad de los distintos códigos**

## 2.1. CÓDIGO ASME.

### 2.1.1 Historia del Código ASME

A fin de 1700, sobresale el uso de calderas y la necesidad de proteger al personal de fallas catastróficas. Las calderas para generación de vapor con presiones mayores a la atmosférica. El descuido y la negligencia de los operadores, las fallas de diseño en las válvulas de seguridad, inspecciones inadecuadas producen muchas fallas y explosiones de calderas en los Estados Unidos y Europa.

En junio de 1817, el comité del consejo de Filadelfia expone las explosiones de calderas de barcos. Este comité recomienda que se establezca un Instituto Legislador y se reglamenten las capacidades de presión, Instalación adecuada a la válvula de alivio e inspección mensual.

En 1911, debido a la falta de uniformidad para la fabricación de calderas, los fabricantes y usuarios de calderas y recipientes a presión recurrieron al consejo de la ASME, para corregir esta situación.

En respuesta a las necesidades obvias de diseño y estandarización, numerosas sociedades fueron formadas entre 1911 y 1921, tales como la A.S.A. (Asociación Americana de

Estándares) ahora ANSI (Instituto Americano de Estándares Nacionales) el A.I.S.C. (Instituto Americano del Acero de Construcción) y la A.W.S. (Sociedad Americana de Soldadura).

Los códigos estándares fueron establecidos para proporcionar métodos de fabricación, registros y reportar datos de diseño.

A continuación se muestra las distintas secciones en las que esta dividido el código ASME y sus características principales.

### **2.1.2. SECCIONES DEL CÓDIGO ASME**

Sección I Calderas de Potencia

Sección II Especificación de Materiales

Sección III Requisitos generales para División 1 y División 2

Sección IV Calderas para Calefacción

Sección V Pruebas no Destructivas

Sección VI Reglas y Recomendaciones para el cuidado y operación de las Calderas de Calefacción

Sección VII Guía y recomendaciones para el cuidado de Calderas de Potencia

Sección VIII Recipientes a Presión

Sección IX Calificación de Soldadura

Sección X Recipientes a Presión de Plástico reforzado en fibra de vidrio

Sección XI Reglas para Inspección en servicio de Plantas Nucleares

## **CODIGO ASME SECCION VIII DIVISION 1**

En esta parte del código se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección y para obtener la certificación autorizada de la ASME para los recipientes a presión.

En base a esto se ha dividido en:

Subsección A. Parte UG que cubre los requerimientos generales.

Subsección B. Requerimientos de fabricación

Parte UW.- Para recipientes que serán fabricados por soldadura.

Parte UF.- Para recipientes que serán fabricados por forjado

Parte UB.- Para recipientes que serán fabricados utilizando un material de relleno no ferroso a este proceso se le denomina "brazing"

Subsección C. Requerimientos de materiales

Parte UCS.- Para recipientes construidos con acero al carbón y de baja aleación.

Parte UNF.- Para los construidos con materiales no ferrosos.

Parte UCI.- Para los construidos con fierro fundido.

Parte UCL.- Para los construidos con una placa "clad" integral o con recubrimiento tipo "lining".

Parte UCD.- Para los construidos con fierro fundido dúctil.

Parte UNT.- Para los construidos con aceros ferríticos con propiedades de tensión mejoradas por tratamiento térmico.

Parte ULW.- Para los fabricados por el método de multicapas.

Parte ULT.- Para los construidos con materiales con esfuerzos permisibles más altos a bajas temperaturas.

## **2.2. CÓDIGOS AUXILIARES**

El código ASME cubre los requerimientos para el diseño y la fabricación de recipientes a presión, pero existen ciertos elementos de estos, los cuales no son considerados dentro de la jurisdicción del código, o bien no está definida explícitamente la forma en que deben ser analizados dichos elementos. Por tal motivo, se hace necesario el uso de otros códigos, los cuales reglamenten el análisis y/o diseño de los mismos. Así, a manera de ejemplo, podemos mencionar que el código ASME, establece que todos los recipientes a presión deben ser diseñados para resistir los esfuerzos generados por gradientes de temperatura, por solicitaciones de viento, nieve o sismo, pero en ningún momento proporciona los lineamientos en los cuales se deben basar para la cuantificación y evaluación de dichos efectos.

De acuerdo a lo anterior, es clara la necesidad del uso de otros códigos y manuales que respalden los elementos de los recipientes a presión, o bien que establezcan criterios para el análisis de los efectos antes mencionados. De esta manera, los siguientes códigos y manuales pueden servirnos para el diseño de esferas.

- a).- Manual de diseño de obras civiles de la C.F.E.
- b).- Manual de A.H.M.S.A y I.M.C.A.
- d).- Manual de la A.I.S.C. (American Institute of Steel Construction).
- e).- Estándar BS-449 “Uso del acero estructural”.

En el manual de diseño de obras de la C.F.E., se establecen los requerimientos para el análisis de estructuras sujetas a solicitaciones debidas a viento o sismo, en este mismo se establecen los criterios de diseño que deben seguirse para proporcionar un soporte adecuado al equipo

Por otra parte, en los manuales A.H.M.S.A., A.I.S.C. y el BS-449 se encuentran los requerimientos que deben cumplir las secciones estructurales, que pudieran ser requeridas por el equipo. Estos mismos manuales nos proporcionan además de los criterios de análisis, las dimensiones, propiedades y resistencia de los perfiles y secciones estructurales que se encuentran disponibles en el mercado nacional (tal es el caso del manual A.H.M.S.A.), en los Estados Unidos (el manual de la A.I.S.C) o en el Reino Unido (es estándar BS-449).

En lo que respecta a las conexiones y accesorios requeridos por el equipo, nos podemos auxiliar de los estándares siguientes:

ANSI	B.16.5.	Bridas y conexiones bridadas.
ANSI	B.16.11.	Conexiones de acero forjado.
ANSI	B.16.25.	Extremos para soldar a tope.
ANSI	B.16.30.	Dimensiones de bridas para recipientes a presión

## **CAPITULO 3**

### **MATERIALES**

#### **3.1. ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES.**

Los materiales usados para el diseño y fabricación de recipientes a presión, también están regidos por Normas y Códigos.

La NRF-028-PEMEX-2004 Capitulo 8, párrafo 8.1.1, establece que los materiales sujetos a esfuerzos debido a la presión para construcción de recipientes, deben fabricarse de conformidad con las especificaciones de la Sección II, del Código ASME.

Así, la ASTM (American Society For Testing and Materials) y la AWS (American Welding Society) son las autoridades máximas en Estados Unidos, mientras que en Inglaterra la BSI (British Standard Institución) es la encargada de normalizar el uso de materiales y soldaduras.

**Tabla 3.1. Aceros para recipientes a presión.**

Especificación	Descripción y uso final
ASTM/ASME SA 285 C	Recipientes estacionarios de resistencia baja e intermedia.
ASTM/ASME SA 455	Recipientes estacionarios de alta resistencia.
ASTM/ASME SA 516 60 y 70	Recipientes de media resistencia para servicio de media y baja temperatura.
NMX B-475	Recipientes a presión (esferas).
ASTM/ASME SA 612	Recipientes para carros tanque de Ferrocarril.
AAR TC-128-B	

**Composición química y propiedades mecánicas**

Especificación	Composición química % en peso (máximo)						Límite elástico min. KSI	Ultima tensión min. KSI	% de elong. mín. en 8"	Rango de dimensión
	C	Mn	P	S	Si	Cb				
ASTM/ASME SA 285 C	0.28	0.90	0.035	0.035	-	-	30	55-75	23	1
ASTM/ASME SA 455										
Espesor ≤ 0.375"	0.33	0.85-1.20	0.035	0.035	0.10	-	38	75-95	15	2
Espesor > 0.375" - ≤ 0.580"	0.33	0.85-1.20	0.035	0.035	0.10	-	37	73-93	15	2
Espesor > 0.580" - ≤ 0.750"	0.33	0.85-1.20	0.035	0.035	0.10	-	35	70-90	15	2
ASTM/ASME SA 516 60										
Espesor ≤ 0.500"	0.21	0.60-0.90	0.035	0.035	0.15-0.40	-	32	60-80	21	2
Espesor > 0.500" hasta 2"	0.23	0.85-1.20	0.035	0.035	0.15-0.40	-	32	60-80	21	2
ASTM/ASME SA 516 70										
Espesor ≤ 0.500"	0.27	0.85-1.20	0.035	0.035	0.15-0.40	-	38	70-90	17	2
Espesor > 0.500" hasta 2"	0.28	0.85-1.20	0.035	0.035	0.15-0.40	-	38	70-90	17	2
NMX B-475 (1)										
Espesor > 0.1875" - ≤ 1.375"	0.22	1.0-1.60	0.035	0.030	0.50	0.020-0.05	55	77-91	17	3
Espesor > 1.375" - ≤ 2.0"	0.22	1.0-1.60	0.035	0.030	0.50	0.020-0.05	53	73-87	17	3
ASTM/ASME SA 612										
Espesor ≤ 0.500"	0.25	1.0-1.50	0.035	0.025	0.15-0.50	-	50	83-105	16	2
Espesor > 0.500" - ≤ 1.0"	0.25	1.0-1.50	0.035	0.025	0.15-0.50	-	50	81-101	16	2
AAR TC-128-B	0.24	1.0-1.65	0.025	0.015	0.15-0.40	0.050	50	81-101	16	2

(1): Para estos grados de acero por sus requerimientos especiales, siempre se deberá solicitar una factibilidad de producción.

En el caso del Código ASME, toma bajo su jurisdicción los materiales amparados por la ASTM y solo le antepone una "S" a los materiales amparados por él. De manera similar lo hace para el material de los electrodos utilizados, los cuales son amparados por la AWS, ejemplo:

- Nominación ASTM                      A-515 70
- Nominación ASME                      SA-515 70



Es importante mencionar, que el Código ASME dedica toda la Sección II a los materiales que ampara, en donde se proporciona el valor de los esfuerzos máximos permisibles a distintas temperaturas y parte de la Sección IX a materiales de los electrodos amparados por él.

En el caso de la BSI, la cual es una norma donde convergen la mayoría de los estándares usados industrialmente en Inglaterra, podemos mencionar los estándares siguientes, los cuales sirven de apoyo al estándar BS-550 en lo que respecta a los materiales usados.

- **BS-449** — Uso del acero estructural en la construcción.
- **BS-1501** — Aceros para Recipientes a Presión sometidos o no a fuego directo, Parte 1, Aceros al carbono y Aceros al carbono-magnesio.
- **BS-1502** — Aceros para recipientes a presión sometidos o no a fuego directo Secciones en barras.
- **BS-1503** — Aceros para recipientes a presión sometidos o no a fuego directo.
- **BS-1510** — Aceros para usarse en las industrias químicas, petroleras e industriales afines (requerimientos suplementarios para baja temperatura de acuerdo al BS-1501-6).
- **BS-1510 6** — Aceros para usarse en industrias químicas, petroleras e industrias afines.

### **3.2. MATERIALES AMPARADOS POR EL CÓDIGO ASME**

Las placas de acero al carbono, se usan en la mayoría de los casos, donde lo permiten las condiciones de servicio debido a su bajo costo y mayor disponibilidad. Estos aceros son fabricados para que puedan ser soldados por fusión y cortados por medio de oxígeno, su contenido de carbono no excede de un 35%.

Existe una gran diversidad de materiales especificados por el ASME de los cuales los aceros al carbono más comerciales en nuestro país son el *SA-285 C*, *SA-515 70*, *SA-516 70*.

Las partes secundarias de los recipientes (partes no sujetas a presión), como son soportes o algunas partes misceláneas, pueden ser fabricadas con aceros estructurales, tal como, *SA-36*

y/o **SA-285** (grados A, B, C y D), para partes sujetas a presión, también estos aceros pueden ser usados cumpliendo con los siguientes requerimientos:

- a) Recipientes que no vayan a ser usados en servicios, como en sustancias letales, ya sean líquidas o gases.
- b) Que las temperaturas a las cuales el material vaya a ser usado, sean entre los rangos de  $-29^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}\text{F}$ ) y  $343^{\circ}\text{C}$  ( $650^{\circ}\text{F}$ ).
- c) Para cascarones, cabezas y boquillas en los cuales el espesor de la placa no excede de 1.6 cm. (5/8").
- d) El acero sea fabricado por el proceso de horno eléctrico, hornos de hogar abierto o por el proceso de oxígeno básico.

Uno de los aceros más empleados en la construcción de recipientes a presión es el **SA-285** grado **C**. Este acero es muy dúctil y fácil de conformar, soldar y maquinar. Es también de los aceros más económicos y de mayor existencia en el mercado, es el indicado para temperaturas moderadas.

En los casos de altas temperaturas, se usan con ventaja aceros de alta resistencia, para reducir el espesor de la pared, el **SA-515** grado **70** es adecuado para esas aplicaciones requiriendo un espesor de pared de solamente un 78% del que se requiere con el **SA-285** grado **C**. Este material, es también de fácil fabricación, aunque más caro que los otros aceros.

El material **SA-285**, normalmente se usa para temperaturas mayores de  $18.33^{\circ}\text{C}$  ( $61^{\circ}\text{F}$ ) y menores de  $345^{\circ}\text{C}$  ( $650^{\circ}\text{F}$ ), mientras que en **SA-515**, se usan para temperaturas que estén entre  $18.33^{\circ}\text{C}$  ( $61^{\circ}\text{F}$ ) y  $413^{\circ}\text{C}$  ( $775^{\circ}\text{F}$ ). En el caso de que haya temperaturas más altas que las indicadas, se usan por lo general aceros de baja aleación, tal es el caso del **SA-387** (1-1/4% de Cromo -1/2 Mo), el cual puede ser usado hasta aproximadamente  $556^{\circ}\text{C}$  ( $1050^{\circ}\text{F}$ ).

Ahora bien, se han mencionado solamente los casos para temperaturas moderadas o altas, pero definitivamente existe una gran variedad de procesos en los cuales, se tienen temperaturas criogénicas, en estos casos, los materiales más recomendables dentro de los aceros al carbono, son el **SA-516**, el cual puede usarse de  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-50\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $60\text{ }^{\circ}\text{F}$ ), en el caso de tener temperaturas más bajas, se puede pensar en utilizar aceros a base de níquel como es el **SA-203** (2-1/2 a 3-3/2 de Ni), que se usa normalmente para temperaturas mucho más bajas que las anteriores; los aceros con más contenido de níquel se usan hasta llegar a los inoxidable, como es el caso del **SA-240 304**, que resiste la temperatura hasta de  $-254\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-425\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).

Los esfuerzos permisibles para aceros al carbono y de baja aleación, así como aquellos usados en tuberías y forjas, se pueden consultar en la Sección II, parte D del Código ASME al igual que los aceros inoxidable.

### **3.3. SELECCIÓN DEL MATERIAL.**

Los tres aspectos fundamentales que intervienen para una adecuada selección del material son los siguientes:

- Tipos de fluido a manejar.
- Condiciones de temperatura y presión.
- Facilidad para adquirir el material en el mercado.

#### **Tomando en cuenta el fluido a manejar.**

Para la selección del material con respecto al tipo de fluido a manejar, ésta estará sujeta a las características de corrosión de dicho fluido, ya sea un acero al carbono para fluido poco corrosivo o un acero de alta aleación o de recubrimiento para un fluido altamente corrosivo.

Por otro lado, existen fluidos que requieren el uso de materiales especiales, como por ejemplo: Hastelloy que es una aleación del níquel, ampliamente utilizado y muy resistente a los ambientes corrosivos, como el de procesos químicos, control de contaminación, producción de papel, tratamiento de basuras y en la recuperación de gas ácido natural.

En lo relacionado con las sustancias a manejar podemos auxiliarnos con la *tabla 3.1*. Cabe mencionar que es a manera de ilustración ya que nos es posible indicar todas las sustancias existentes sino las más generales.

Uno de los principales aspectos que caracterizan a los materiales, es su comportamiento al estarlos habilitando, dentro de los más característicos se puede mencionar el de la unión de dos placas por medio de soldadura, lo que puede dar como resultado una reducción en la resistencia de la parte soldada o en las partes cercana a ella, esto puede ser por una discontinuidad metalúrgica del acero y/o esfuerzos residuales, por lo general al someter a las placas a trabajos mecánicos, ejemplo: rolado.

**Tabla 3.2. Materiales para recipientes de acuerdo al servicio**

LISTA DE MATERIALES DE ACUERDO AL SERVICIO						
Sustancia	Acero al Carbono	Niquel	Inconel	Monel	A.I. Tipo 304	A.I. Tipo 316
Acetona	A	A	A	A	A	A
Acetileno	A	A	A	A	A	A
Cerveza	P	A	A	A	A	A
Benceno Benzal	A	A	A	A	A	A
Bencina Nafta	A	A	A	A	A	A
Acido Borico	X	---	---	P	A	A
Cloruro en Gal.	X	R	R	R	X	X
Butano	A	---	---	A	A	A
Acido Citrico	X	R	A	A	A	A
Mercurio	A	A	---	A	A	A
Gas Natural	A	A	A	A	A	A
Aceite Petroleo 500°F Crudos	A	P	A	P	P	R
Acidos Fosforico	P	P	P	P	P	R
Azufre	A	A	A	A	P	P
Acido Sulfurico	X	P	P	R	P	A
Acido Sulfuroso	X	P	P	P	A	A
Whiskey y Vinos	X	A	A	P	A	A
Substancias con Hidrogenos	A	A	A	A	A	A

Como referencia a la tabla, considérese lo siguiente:

A = Bueno

R = Recomendable,

P = Precaución (depende de las condiciones)

X = No recomendable.

**Mtro. Felipe Díaz del Castillo R.**

Tabla 3.3

**MATERIALES RECOMENDADOS PARA DIFERENTES RANGOS DE TEMPERATURA.**

SERVICIO		CRIOGENICO		TEMPERATURA BAJAS			TEMPERATURAS INTERMEDIAS			TEMPERATURAS ELEVADAS		
TEMPERATURA DE DISEÑO °F		-425° a -321°	-320° a -151°	-150° a -91°	-90° a -51°	-50° a -41°	-40° a 60°	61° a 650°	651° a 775°	776° a 850°	851° a 1050°	1051° a 1150°
CASCARÓN, CABEZAS Y PLANTILLAS DE REFUERZO		SA-240 304	SA-353 (9% Ni) (Ver Nota 1) SA-353 I (9% Ni) (Ver Nota 1)	SA-203 E (Ver Nota 1)	SA-203 B (Ver Nota 1)	SA-516 65 (Ver Nota 1)	SA-516 70 (Ver Nota 2)	SA-285 C	SA-515 70	SA-204 B	SA-387 11 CL2 ó CLAD SA-263 ó SA-264	SA-240 304
		SA-240 304L	SA-240 304 (18Cr-8Ni) SA-240 304L (18Cr-8Ni)	SA-203 D (Ver Nota 1)	SA-203 A (Ver Nota 1)	SA-203 B (Ver Nota 1)	SA-516 65 (Ver Nota 2)	SA-515 70		SA-204 C ó CLAD SA-263 ó SA-264		
		BRIDAS CIEGAS	PLACA FORJA	FORJA	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	SOLO R P/ SA-515 70	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.
	FORJA	SA-182 F304	SA-522 (*9% Ni) SA-182 F304	SA-350 LF3	SA-350 LF3	SA-350 LF2	SA-350 LF2	SA-10 S	SA-105	SA-182 F1 (B)	SA-182 F11	—
		SA-182 F304L	SA-182 F304L				SA-10 S			SA-182 F2 (C)		
SILLETAS O FALDON	12m de L.T. Hasta L.B.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	SA-283 C	SA-515 70	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.
RECUBRIMIENTO: CASCARON, CABEZAS, BOQUILLAS Y REGISTROS.		SA-283 C	SA-283 C	SA-283 C	SA-283 C	SA-283 C	SA-283 C	VER CROQUIS Y HOJA DE PROCESO	VER CROQUIS Y HOJA DE PROCESO	VER CROQUIS Y HOJA DE PROCESO	VER CROQUIS Y HOJA DE PROCESO	VER CROQUIS Y HOJA DE PROCESO
BOQUILLAS Y BRIDAS SOLDADAS	IDEM BRIDAS CIEGAS DE FORJA	IDEM BRIDAS CIEGAS DE FORJA	IDEM BRIDAS CIEGAS DE FORJA	SA-350 LF3	SA-350 LF3	SA-350 LF2	SA-350 LF2	SA-105	SA-105	IDEM BRIDAS CIEGAS DE FORJA	SA-182 F11	SA-182 F310
R PARA CUELLOS DE BOQS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	SA-515 70	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	SA-240 304
COPLES	IDEM BRIDAS CIEGAS DE FORJA	IDEM BRIDAS CIEGAS DE FORJA	IDEM BRIDAS CIEGAS DE FORJA	SA-350 LF3	SA-350 LF3	SA-350 LF2	SA-350 LF2	SA-105	SA-105	IDEM BRIDAS CIEGAS DE FORJA	SA-182 F11	SA-182 F310
AROS APOYO, PLATOS Y SOPORTES DE BAJANTES	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	SA-283 C	SA-515 70	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	SA-240 304
PERFILES ESTRUCTURALES EN GENERAL	TODO PERFIL QUE SE SUELDE A CASCARÓN, CABEZA Y FALDÓN SERA DE IDENTICO MATERIAL QUE ESTOS							A-36	A-36	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	SA-240 304
R DE BRIDAS INT. MAMPOSTEO COLECTORES Y MISELANEOS	TODO ACCESORIO DE PLACA QUE SE SUELDE A CASC. CABS. Y FALDÓN SERAN DE IDENTICO MAT. QUE ESTOS							A-36	SA-515 70	IDEM. CASC. Y CABS.	IDEM. CASC. Y CABS.	SA-240 304
REGILLAS	ACERO INOXIDABLE O ALUMINIO							ACERO AL CARBONO		ACERO INOXIDABLE O ALUMINIO		
TUBERIA INTERIOR	SA-312 TP304 SA-312 TP304L	SA-333 8 (9% Ni) SA-312 TP304L	SA-333 3	SA-333 7	SA-333 6	SA-333 6	SA-53 B	SA-53 B	SA-335 P1	SA-335 P11	SA-312 TP304H	
CONEXIONES SOLDABLES	SA-403 WP304 SA-403 WP304L	SA-420 WPL8 (9% Ni) SA-312 TP304 SA-312 TP304L	SA-420 WPL3	SA-420 WPL3	SA-420 WPL6	SA-420 WPL6	SA-234 WPA SA-234 WPB	SA-234 WPB	SA-234 WP1	SA-234 WP11	SA-403 WP304H	
ESPARRAGOS EXTERIORES	SA-320 B8	SA-320 B8	SA-320 L7	SA-320 L7	SA-320 L7	SA-193 B7 (Ver Nota 4)	SA-193 B7	SA-193 B7	SA-193 B7	SA-193 B7 (Ver Nota 3)	SA-193 B8	
TUERCAS EXTERIORES	SA-194 8	SA-194 8	SA-194 4	SA-194 4	SA-194 4	SA-194 2H	SA-194 2H	SA-194 2H	SA-194 2H	SA-194 2H	SA-194 8	
TORNILERIA INTERIOR	SA-320 B8 SA-194 8	SA-320 B8 SA-194 8	SA-193 B6 SA-194 6	SA-193 B6 SA-194 6	SA-193 B6 SA-194 6	SA-193 B6 SA-194 6	SA-307 B	SA-193 B6 SA-194 6	SA-193 B6 SA-194 6	SA-193 B6 SA-194 6	SA-193 B8 SA-194 8	
EMPAQUES INTERIORES	A S B E S T O C O M P R I M I D O											
EMPAQUES EXTERIORES	G R A F I T O L A M I N A D O F L E X I B I L E C O N I N S E R T O D E L A M I N A E N E S P I R A L D E A C E R O I N O X I D A B L E A S T M A - 2 4 0 / A - 2 4 0 M T P 3 1 6											
MALLAS	A C E R O I N O X I D A B L E T - 3 0 4											
CONEXIONES SOLDABLES	SA-312 TP304 SA-312 TP304L	SA-333 8 (9% Ni) SA-312 TP304 SA-312 TP304L	SA-333 3	SA-333-7	SA-333-6	SA-333-6	SA-53 B SA-106 B	SA-106 B	SA-335 P1	SA-335 P11	SA-312 TP304H	
PLATOS												
Nota 1.- HASTA 51mm DE ESPESOR PARA MAYORES VER SA-20, TABLA 16, LLEVARA RELEVADO DE ESFUERZOS. Nota 2.- VER SA-20, TABLA 16, LLEVARA RELEVADO DE ESFUERZOS CUANDO SE TENGA UNA TEMPERATURA DE DISEÑO DE -20°F Y MENORES (CON PRUEBA CHARPY). Nota 3.- 1000°F SE PUEDE EMPLEAR ESTE MATERIAL. Nota 4.- HASTA 20°F SE PUEDE EMPLEAR ESTE MATERIAL.												

## **CAPITULO 4**

### **DISEÑO DE RECIPIENTES CILÍNDRICOS**

#### **4.1 RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN INTERNA.**

El diseño de recipientes operando bajo presión interna consiste básicamente en el cálculo de los elementos que lo forman (cabezas, cascarones y conos que lo conforman), basándonos en la NRF-028-PEMEX-2004 Capítulo 8, párrafo 8.1.2, la cual nos remite a la parte UG de la Sección VIII, División 1, esta parte del Código ASME nos indica formulas y parámetros que se tienen que considerar para el diseño. Estos parámetros principalmente son presión (P) y temperatura de diseño (T).

Normalmente los recipientes deben ser diseñados al menos para la más severa condición de presión esperada en operación normal más un incremento del valor mayor del 10% a  $2.11 \text{ kg/cm}^2$  (30 psi), lo que da como resultado una Presión de Diseño. En cuanto a la temperatura usada en el diseño, esta no debe ser menor que la temperatura medida del metal (a través del espesor) esperada bajo condiciones de operación en la parte considerada es usual también que a la temperatura antes descrita la cual entre  $0^\circ\text{C}$  ( $32^\circ\text{F}$ ) y  $400^\circ\text{C}$  ( $750^\circ\text{F}$ ) se le haga un incremento mínimo de  $14^\circ\text{C}$  ( $25^\circ\text{F}$ ).

Cuando un recipiente es sometido a una presión interna, se genera un esfuerzo circunferencial y un esfuerzo longitudinal, por lo que para el diseño del equipo, ambos esfuerzos deben ser determinados. De esta manera los distintos Códigos utilizados para el diseño de recipientes a presión, se basan en lo anterior para reglamentar el diseño de estos equipos y únicamente difieren unos Códigos de otros, en el factor de seguridad empleado por cada Código.

Otros factores que intervienen en el cálculo del espesor de recipientes, son el esfuerzo máximo permisible (S) del material que como se ha mencionado se encuentra en Tablas de esfuerzos en base a la temperatura de diseño y especificación del material seleccionado.

La corrosión es otro factor considerable que afecta al espesor calculado, ya que para recipientes que están sujetos a adelgazamiento por sustancias corrosivas se les debe incrementar el espesor de acuerdo al factor de corrosión considerado.

Finalmente la eficiencia de la junta DEBAJO DE principalmente define el tipo de radiografiado que se hará al recipiente, además de afectar al espesor.

## **4.2 CÁLCULO Y DISEÑO DE LAS PARTES DE UN RECIPIENTE POR PRESIÓN INTERNA.**

### **Cascarón.**

El cascarón de los recipientes muchas veces es cilíndrico debido a que en esta forma geométrica, se tiene un área transversal más grande para un perímetro dado y por lo tanto mayor resistencia que con otras formas exceptuando la esférica y con ello mayor economía y mejor facilidad de fabricación.

Los esfuerzos que se presentan en este tipo de formas son:

1. Esfuerzos Longitudinales: Causados por la presión del fluido contenido.
2. Esfuerzos Tangenciales: Causados por la misma presión anterior
3. Esfuerzos Residuales: Causados por el proceso de soldadura o cualquier trabajo mecánico.
4. Esfuerzos causados por Cargas Externas: Tales como viento y sismo.

Si consideramos al cilindro como un recipiente de pared delgada para aplicar la teoría de membranas, se obtiene que cualquier partícula del cilindro esta sometida a dos tipos de esfuerzos principalmente, que son el esfuerzo longitudinal y esfuerzo transversal.

**Esfuerzo Longitudinal (SI).**- esfuerzo causado por la acción de presión interna sobre las cabezas del recipiente, es decir, el efecto es la tendencia alargarlo.

$$t = \frac{P}{SE - 0.6 \times P} + C \quad \dots\dots(4.1)$$

Donde:

$P$ .- Presión de diseño ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$S$ .- Esfuerzo permisible del material ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$E$ .- Eficiencia de la junta de Soldadura (adimensional).

$C$ .- Tolerancia por corrosión especificada (mm).

Fórmula que da el espesor de diseño mínimo requerido de un cilindro (cascarón) sujeto a presión interna.

Una vez analizado lo anterior, se indican las fórmulas especificadas por el código ASME.

#### **Esfuerzo Circunferencial (*Juntas longitudinales*).**

Cuando el espesor no exceda de la mitad del radio interior, o  $P$  no exceda de  $0.385 SE$ , la fórmula siguiente es aplicada:

$$t = \frac{P \times (R + C)}{SE - 0.6 \times P} + C \quad \dots\dots(4.2)$$

Donde:

$P$ .- Presión de diseño ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

$R$ .- Radio Interior del Recipiente (mm).

$S$ .- Esfuerzo permisible del material ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

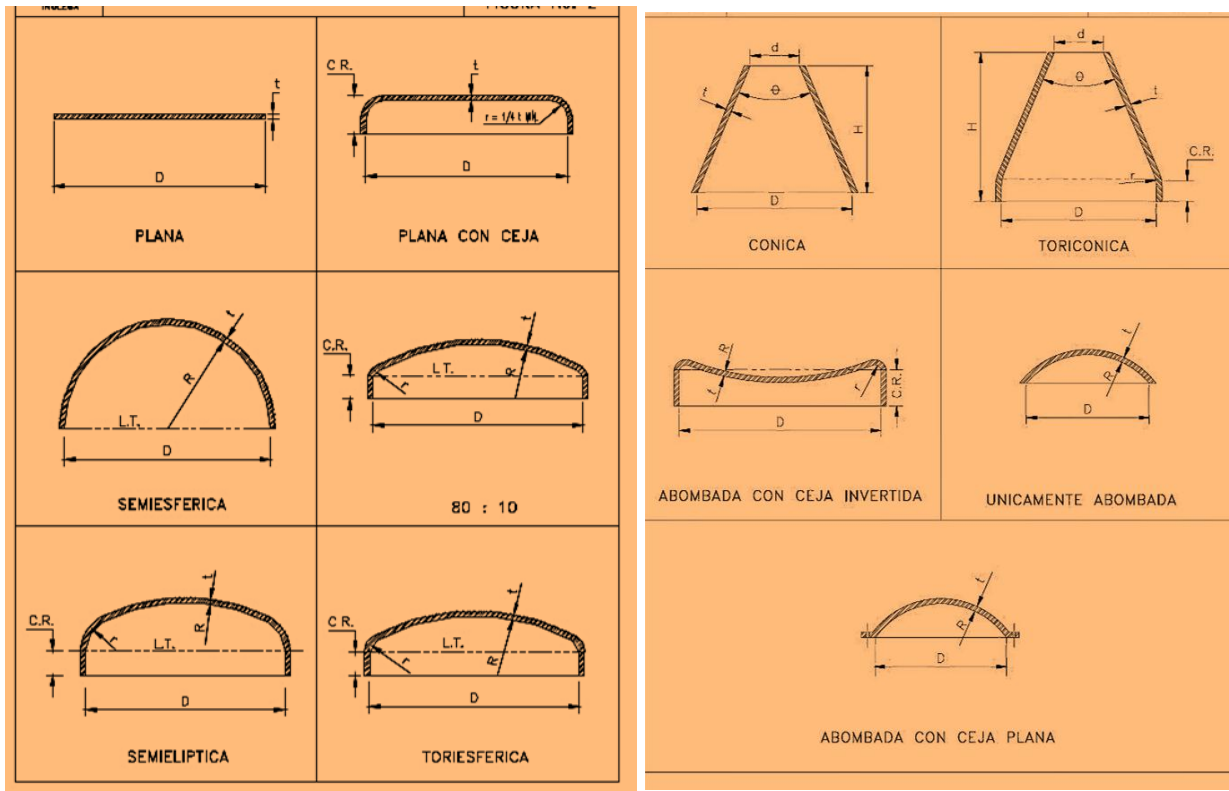
$E$ .- Eficiencia de la junta de Soldadura (Adimensional).

$C$ .- Tolerancia por corrosión especificada (mm).

### **4.3. TIPOS DE TAPAS DE RECIPIENTES BAJO PRESION INTERNA.**

Los recipientes sometidos a presión pueden estar contruidos por diferentes tipos de tapas o cabezas, figura 4.1. Cada una de estas es más recomendable a ciertas condiciones de operación y costo monetario.





*Figura 4.1. Tipos de tapas.*

### Tapas Planas.

Se utilizan para recipientes sujetos a presión atmosférica, generalmente, aunque en algunos casos se usan también en recipientes a presión. Su costo entre las tapas es el más bajo. Se utilizan también como fondos de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones.

### Tapas Toriesféricas.

Son las de mayor aceptación en la industria, debido a su bajo costo y a que soportan grandes presiones manométricas, su característica principal es que el radio del abombado es aproximadamente igual al diámetro. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 m. (11.8 – 236.22 pulg.).

### Tapas Semiélicas.

Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semiélicas soportan mayores presiones que las toriesféricas. El proceso de

fabricación de estas tapas es troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1, su costo es alto y en México se fabrican hasta un diámetro máximo de 3 m.

### **Tapas Semiesféricas.**

Utilizadas exclusivamente para soportar presiones críticas, como su nombre lo indica, su silueta describe una media circunferencia perfecta, su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación.

### **Tapa 80:10.**

Ya que en México no se cuentan con prensas lo suficientemente grande, para troquelar tapas semielípticas 2:1 de dimensiones relativamente grandes, se ha optado por fabricar este tipo de tapas, cuyas características principales son: El radio de abombado es el 80% de diámetro y el radio de esquina o de nudillos es igual al 10% del diámetro. Estas tapas se utilizan como equivalentes a la semielíptica 2:1.

### **Tapas Cónicas.**

Se utilizan generalmente en fondos donde pudiese haber acumulación de sólidos y como transiciones en cambios de diámetro de recipientes cilíndricos. Su uso es muy común en torres fraccionadoras o de destilación, no hay límites en cuanto a dimensiones para su fabricación y su única limitación consiste en que el ángulo de vértice no deberá de ser calculado como tapa plana.

### **Tapas Toricónicas.**

A diferencia de las tapas cónicas, este tipo de tapas tienen en su diámetro, mayor radio de transición que no deberá ser menor al 6% del diámetro mayor ó 3 veces el espesor. Tiene las mismas restricciones que las cónicas a excepción de que en México no se pueden fabricar con un diámetro mayor de 6 más.

### **Tapas Planas con Ceja.**

Estas tapas se utilizan generalmente para presión atmosférica, su costo es relativamente bajo, y tienen un límite dimensional de 6 m. de diámetro máximo.

### Tapas Únicamente Abombadas.

Son empleadas en recipientes a presión manométrica relativamente baja, su costo puede considerarse bajo, sin embargo, si se usan para soportar presiones relativamente altas, será necesario analizar la concentración de esfuerzos generada, al efectuar un cambio brusco de dirección.

#### *Cabeza Elíptica (2:1)*

Se emplea para recipientes que van a funcionar con presión relativamente alta y de diámetros considerables. Este tipo de cabezas sus sección transversales son semi-elipsoidales y cuya relación del eje menor es generalmente 2:1, como se puede observar en figura 4.1.

El esfuerzo en la cabeza es aproximadamente igual al esfuerzo en el cascarón cilíndrico, para cuando se tiene en ambos casos una eficiencia del 100% y el esfuerzo en la cabeza es ligeramente mayor, cuando se tiene una eficiencia del 85% en las soldaduras del cascarón cilíndrico. Sin embargo, la cabeza por tener integralmente la ceja recta, que es parte del cascarón cilíndrico, no podrá ser de menor espesor que el del cascarón. En este tipo de cabezas la profundidad es igual a:

$$H = \frac{D_i}{4} \quad \dots(4.3)$$

Este tipo de cabezas es recomendable que se utilicen cuando los espesores son para 2.54 cm. (1") a 5.08 cm. (2"). Normalmente los espesores del cascarón y cabeza coinciden, de no ser así el criterio general es el de igualar los espesores con el del cascarón.

$$t = \frac{P \times (D + 2 \times C)}{2SE - 0.2 \times P} + C$$

$$PRESION INTERIOR \quad \dots(4.4)$$

$$t = \frac{P \times (R + 2 \times C)}{SE - 0.6 \times P} + C$$

$$PRESION EXTERIOR \quad \dots(4.5)$$

Donde:

*P.*- Presión de diseño (kg/cm<sup>2</sup>).

*R.*- Radio Interior del Recipiente (mm).

D.- Diámetro Interior del Recipiente (mm).

S.- Esfuerzo permisible del material ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

E.- Eficiencia de la junta de Soldadura (adimensional).

C.- Tolerancia por corrosión especificada (mm).

### **Efecto de la presión de diseño.**

Las **cabezas torisféricas**, son las más económicas en cuanto a costo de fabricación, por tener debajo de menor, lo que disminuye la cantidad de material utilizada, pero por tener un espesor mayor la hace incrementar el costo por el material y el de la fabricación, por ello, en base a la experiencia y en el análisis económico, se recomienda su uso para presiones entre  $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$  hasta  $14 \text{ kg}/\text{cm}^2$ , y espesores menores de  $19 \text{ mm}$ . ( $3/4''$ ), sin embargo, teniendo una presión mayor de  $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ , es mejor considerar la posibilidad de emplear cabezas elipsoidales y hacer una comparación de costos.

Las **cabezas elipsoidales**, se forman en matrices cuya sección transversal diametral es una elipse, su costo de fabricación y la superficie es mayor que la de una torisférica de igual espesor, pero la igualdad de diámetro es menor; lo que no solo disminuye la cantidad de material empleado sino que también baja el costo de fabricación, principalmente tratándose de espesores mayores.

Este tipo de cabezas se usa mucho en recipientes que trabajan a presiones de  $7 \text{ kg}/\text{cm}^2$ , y mayores, pero se emplea en la mayoría de los recipientes que trabajan a presiones superiores a los  $14 \text{ kg}/\text{cm}^2$  y siempre y cuando su espesor no resulte mayor de  $51 \text{ mm}$  ( $2''$ ).

Si la relación de los ejes de la elipse es de 2:1, la resistencia de la cabeza es aproximadamente igual a la de un cilindro sin costuras con los mismos diámetros y espesores, por lo que resulta más económico el diseño y fabricación.

### **Geometría de las Cabezas.**

Para hacer la elección del tipo de cabezas más adecuada para el diseño de recipientes tomando en cuenta la geometría de la misma, va a depender directamente de la presión de

diseño y diámetro del recipiente como se verá más adelante, cuando seleccionemos sus fórmulas.

Es decir que para la presión de diseño podemos tomar la clasificación que se determinó en la sección “*Efecto de la Presión de Diseño*” y en el caso del diámetro del recipiente, en cuanto más grande sea el diámetro a una misma presión, el espesor será más grande y dado este espesor se pueda determinar la cabeza más apropiada.

La figura 4.1, es un esquema de las fórmulas utilizadas para el cálculo de espesores y presiones de prueba para los diferentes elementos antes mencionados.

### **Facilidad de adquisición de los tipos de cabezas en el mercado.**

Para hacer la elección desde este punto de vista, va a depender tanto de las condiciones de la presión de diseño, geometría de la cabeza y su costo; ésta última condición solamente se tomará en cuenta cuando por condiciones de diseño, exista la alternativa de seleccionar entre dos cabezas, para ello se tienen que analizar sus costos y así elegir la más apropiada, esto es a criterio del diseñador.

La facilidad de adquisición de las cabezas va en proporción a su facilidad de fabricación y a la demanda existente en el mercado. Así tenemos por ejemplo que las cabezas torisféricas son más fáciles de adquirir o sea las más comerciales (por que se fabrican en México) y después las elípticas.

En el caso de las hemisféricas y las toricónicas como son un tipo de cabezas especiales, o sea que muy rara vez se utilizan y su fabricación sale muy costosa y por otro lado casi no se fabrican en el país, su adquisición se dificulta, por lo tanto como ya se dijo anteriormente solamente se utilizan en caso de presiones grandes y diámetros grandes a una misma presión.

### **4.3 REVISIÓN DE LAS PARTES DE UN RECIPIENTE, POR PRESIÓN EXTERIOR DE SEGURIDAD.**

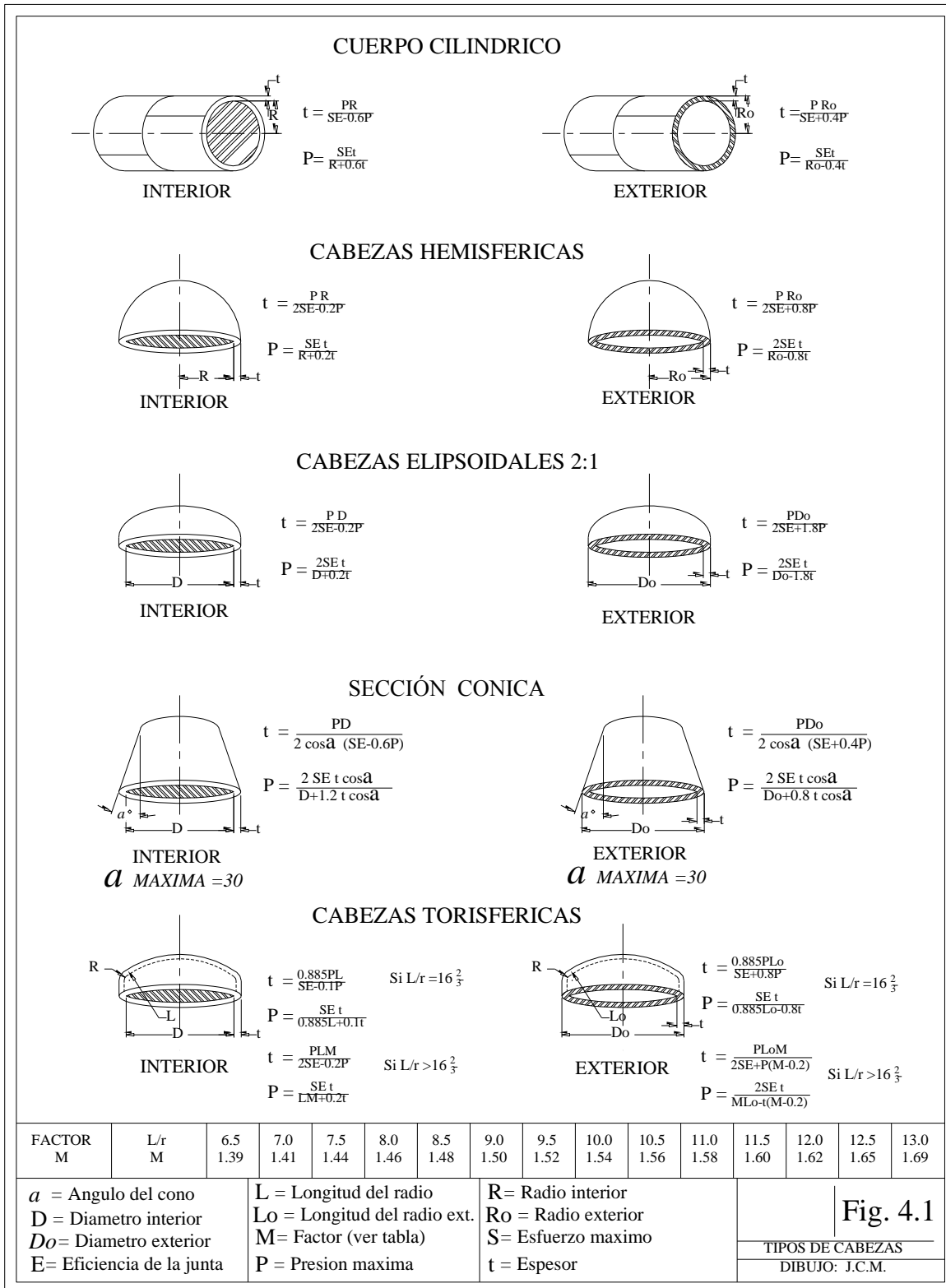
Dadas las condiciones de operación del recipiente cilíndrico (en nuestro estudio de la torre) y de los equipos conectados a ellos, puede presentarse el caso de que exista una presión negativa (presión de vacío) en el interior de ellos, este factor es de suma importancia en el diseño; dicha

presión no puede ser determinada con exactitud, ya que se presentará únicamente cuando se lleve a cabo el vacío del recipiente, debido a la succión de la bomba.

Por lo antes expuesto el Código ASME, especifica para cálculo de recipientes cilíndricos a vacío total, un valor a partir de  $1.055 \text{ kg/cm}^2$  ( $15 \text{ lb/in}^2$ ) y determina que para otros tipos de recipientes que no estén sometidos a vacío total se calcule para un valor a partir de  $0.176 \text{ kg/cm}^2$  ( $2.5 \text{ lb/in}^2$ ), esto se refiere a recipientes que trabajan a presión atmosférica o mayor.

Esto quiere decir, que por el vacío que existe dentro del recipiente cilíndrico hay que revisarlo por presión exterior de seguridad y para el caso en que no exista presión interna en el recipiente o que ésta sea menor que 1.67 veces la presión exterior, dicho recipiente se diseña con una presión interna de 1.67 veces la presión exterior.

**Tabla 4.1. Fórmulas para el cálculo de espesores y presiones de prueba para los diferentes elementos.**



**Cilindro.**

Un recipiente cilíndrico sometido a presión exterior tiene un esfuerzo circunferencial de compresión igual al doble del esfuerzo longitudinal causado por dicha presión exterior. En estas condiciones el recipiente puede llegar a fallar por inestabilidad estática, causada por el esfuerzo circunferencial de compresión.

Cuando un recipiente es sometido a presión interna y posee un espesor muy delgado en relación a su longitud relativamente grande, puede llegar a fallar, e incluso con esfuerzos que están abajo del punto de fluencia o cedencia.

El valor de la presión exterior a la cual llega a fallar el recipiente se denomina “*Presión Crítica*”, dicha presión está en función de la relación  $D_o/t_c$  (diámetro exterior/espesor corroído), del módulo de elasticidad del material y de la relación  $L/D_o$  (longitud del recipiente/diámetro exterior).

El diseño por presión crítica de recipientes cilíndricos, como ya se dijo, está basado en consideración de la estabilidad elástica del mismo y su cálculo está hecho por aproximaciones sucesivas usando las siguientes fórmulas dadas por el Código ASME, Sección VIII, División 1, parte UG-28.

$$D_o = D + 2 \times t \quad \text{y} \quad L = Lt + \frac{D}{6} \quad \dots(4.6) \text{ y } (4.7)$$

Relaciones:

$$\frac{D_o}{t} = ? > 10 \quad \text{y} \quad \frac{L}{D_o} = ? \quad \dots(4.8) \text{ y } (4.9)$$

Con estos valores y la Fig. G; Subparte 3 de la Sección II del Código, se obtiene el valor de A. De aquí se verifica para qué caso es aplicable.



Para valores de  $A < 0.000175$

$$Pa = \frac{2 \times AE}{3 \times \left( \frac{Do}{t} \right)} \dots\dots(4.10)$$

Para valores de  $A > 0.000175$

Con el valor de A, la temperatura (T) y de la Fig. CS-2, Subparte 3 de la Sección II del Código:

$$B = ? \frac{lb}{in^2}$$

$$Pa = \frac{4 \times B}{3 \times \left( \frac{Do}{tc} \right)} \dots\dots(4.11)$$

Donde:

*Pa*.- Presión exterior admisible del cilindro ( $kg/cm^2$  ó  $lb/pulg^2$ ).

*B*.- Factor de las gráficas G y CS-2, Subparte 3 de la Sección II del Código, (este es el caso para el acero al carbono con bajo contenido de níquel).

*Do*.- Diámetro exterior del cascarón (cm ó pulg).

*tc*.- Espesor mínimo del cascarón (cm ó pulg.)

*L*.- Longitud entre líneas de tangencia o longitud entre centro de atezadores en (cm ó pulg).

*E*.- Modulo de elasticidad.

Como  $Pa = i > P.E.S.$  **(El espesor es adecuado).**

Como  $Pa = i < P.E.S.$  **(Se incrementa el espesor o se agregan aros atezadores).**

Si *Pa* (Presión exterior admisible) resulta menor que la presión exterior a la que va a estar sometido el recipiente, entonces esto puede fallar por inestabilidad elástica. Para evitar la falla, el recipiente requiere aumentarle su espesor o de uno o varios aros atezadores, dependiendo de las dimensiones del recipiente; si es muy grande, el aumentar su espesor es incosteable por lo que es más conveniente y más barato poner aros atezadores; el número de ellos depende hasta el momento en que la presión admisible sea mayor que la presión exterior a que va ser sometido

el recipiente, estos aros atezadores son anillos exteriores colocados circunferencialmente con lo que aumenta la resistencia del recipiente.

Para determinar la altura de la cabeza (h), va a depender del tipo de ellas, así tenemos:

Para **cabezas torisféricas**: existe el Catálogo LUKENS que da valores de la altura para esta cabeza en proporción al diámetro del recipiente, con márgenes de 6 pulgadas.

Para casos en que el diámetro no coincida con un valor tabulado, es necesario hacer una interpolación y así poder determinar su altura.

Para **cabezas elípticas 2:1**: La altura es igual al diámetro interior entre cuatro, o sea:

$$H = \frac{D}{4} \quad \dots(4.12)$$

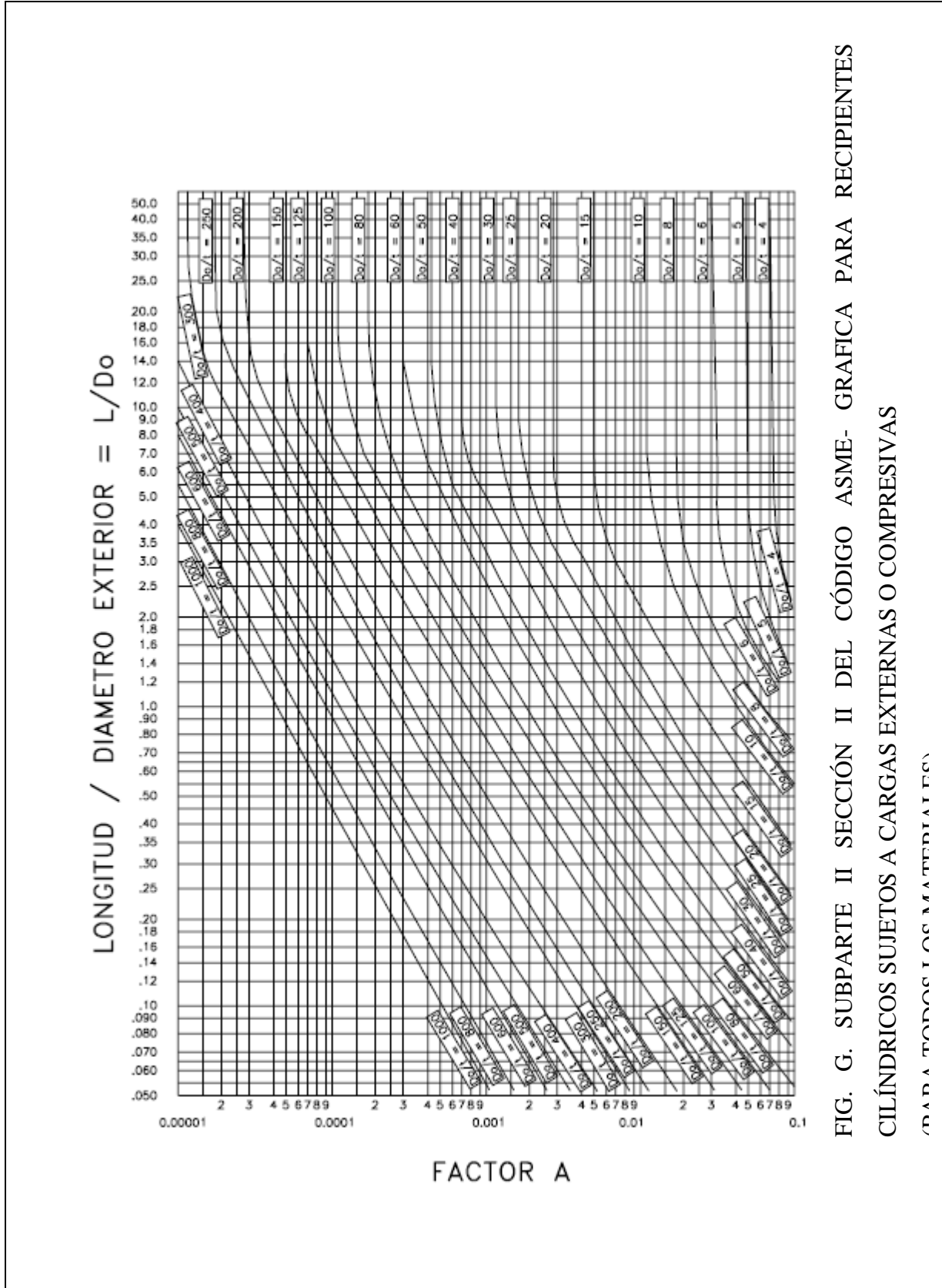
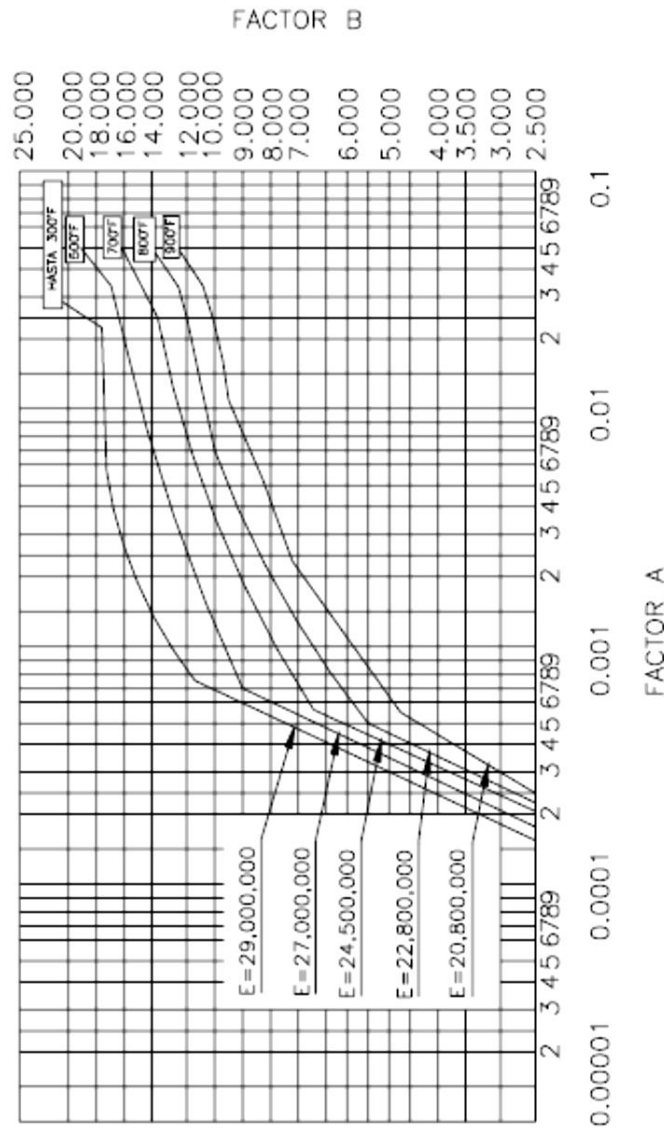


FIG. G. SUBPARTE II SECCIÓN II DEL CÓDIGO ASME- GRAFICA PARA RECIPIENTES CILÍNDRICOS SUJETOS A CARGAS EXTERNAS O COMPRESIVAS

(PARA TODOS LOS MATERIALES)



LOS VALORES DE ESTA GRAFICA SON APLICABLES CUANDO EL RECIPIENTE ES FABRICADO CON ACERO AL CARBON Y LA RESISTENCIA A LA FLUENCIA ESPECIFICADA ES DE 30,000 PSI. O MAYOR. EN ESTA CATEGORIA PERTENECEN LOS SIGUIENTES MATERIALES USADOS MAS FRECUENTEMENTE:

- SA-283 C
  - SA-285 C
  - SA-515
  - SA-516
  - SA-53-B
  - SA-106-B
- TODOS LOS GRADOS
- TIPO 405
  - TIPO 410
- ACEROS INOX.

FIG. CS-2, SUBPARTE3 DE LA SECCIÓN II

**NOTA:**

EN LOS CASOS EN QUE EL VALOR "A" CAIGA A LA DERECHA DEL EXTREMO DE LA LINEA DE TEMPERATURA, SUPONGASE UNA INTERSECCION CON LA PROLONGACION HORIZONTAL DEL EXTREMO SUPERIOR DE LA LINEA DE TEMPERATURA.

### Cabezas.

Para el diseño de cabezas elipsoidales (elípticas) y torisféricas por presión exterior (presión sobre el lado convexo de la cabeza), el Código ASME establece que el espesor requerido en el punto más delgado después de haber formado la cabeza, debe ser el mayor que resulte de las siguientes consideraciones:

1. El espesor calculado por las fórmulas correspondientes para Presión interna, haciendo las siguientes modificaciones:
  - Presión externa de diseño = 1.67 la presión interna de diseño.
  - $E = 1.00$  para todos los casos.

2.- El espesor que resulte del siguiente procedimiento:

*Primero:* Supóngase un espesor de cabeza ( $t_h$ ) y determine el valor de  $L_1$ , siendo para la cabezas torisféricas  $L_1 = D_o$  y para cabezas elípticas, el punto más débil que es el centro, ya que es ahí donde su radio de curvatura es mayor (igual al diámetro del cascarón para una cabeza con relación de ejes de 2:1). Este radio de curvatura es menor conforme alejamos el punto considerado del centro de la cabeza hacia la junta con el cascarón.

Por esta razón para el cálculo se toma un radio de curvatura promedio, el cual puede determinarse de la tabla empírica (Tabla 4.1). Su relación está dada por  $L_1 = K D_o$ .

D/2h	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
K	1.36	1.27	1.18	1.08	0.99	0.90	0.81	0.73	0.65	0.57	0.50

Factor K para cabezas elípticas.

$$D_o = D + 2t$$

$$K = \zeta \quad (\text{Para cabezas elípticas 2:1 } K = 0.9)$$

$$R_o = \zeta$$

$$t = (t_h \times C)$$

*Segundo:* Calcule el valor de A por medio de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{0.125}{\left(\frac{Ro}{t}\right)} \dots(4.13)$$

*Tercero:* Con el valor de A y el de la temperatura de diseño se entra a la Fig. CS-2, Subparte 3 de la sección II del Código ASME y se obtiene el valor de B.

*Cuarto:* Para el cálculo de Pa el Código ASME tomando en cuenta el siguiente aspecto:

Para valores de  $A < 0.000175$

$$Pa = \frac{0.0625 \times E'}{\left(\frac{Ro}{t}\right)^2} \dots(4.14)$$

E'.- Modulo de Elasticidad.

Para valores de  $A > 0.000175$

Con el valor de A, la temperatura (T), entrar a la Fig. CS-2, Subparte 3 de la sección II del Código ASME.

$$B = ? \frac{lb}{in^2}$$

$$Pa = \frac{4 \times B}{\left(\frac{Ro}{t}\right)^2} \dots(4.15)$$

Como  $Pa = \zeta(lb/in^2) > P.E.S.$  **(El espesor es adecuado).**

Como  $P_a = i(\text{lb}/\text{in}^2) < \text{P.E.S.}$  **(Se incrementa el espesor o se agregan aros atezadores).**

*Quinto:* Compárese el valor de  $P_a$  con la Presión Exterior de Seguridad (P.S.E.) y si  $P_a$  (Presión Exterior Admisible)  $< 0.176 \text{ kg}/\text{cm}^2$  ó  $1.033 \text{ kg}/\text{cm}^2$ , según el caso es necesario aumentar el espesor de la cabeza, hasta que  $P_a > 0.176 \text{ kg}/\text{cm}^2$  ( $2.5 \text{ lb}/\text{in}^2$ ) ó  $1.033 \text{ kg}/\text{cm}^2$  ( $15 \text{ lb}/\text{pulg}^2$ ).

La nomenclatura de todas las literales antes mencionadas es:

$E'$  = Modulo de Elasticidad a la temperatura de diseño, Fig. CS-2, Subparte 3 de la sección II del Código ASME ( $\text{lb}/\text{in}^2$ ).

$T$  = Espesor mínimo requerido en la cabeza después del formado, sin incluir la tolerancia por corrosión (cm).

$R_o$  = Radio exterior equivalente de la cabeza (cm).

$D_o$  = Diámetro exterior (cm).

$K$  = Factor que depende de las proporciones de la cabeza elíptica, estos valores se muestran en la tabla UG-37, la cual se muestra en la Tabla anterior.

$D$  = Diámetro interior (cm).

$H$  = Altura de la cabeza (cm).

$P_a$  = Presión exterior admisible de la cabeza ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

$B$  = Factor de la figura CS-2, Subparte 3 de la Sección II del Código ASME ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

Determinadas ya las condiciones para el cálculo de la revisión por presión exterior de seguridad en cabezas, se procede a realizarlo. En nuestro caso *se realiza de acuerdo al punto 2 y segunda condición*, anteriormente descrita, y la presión a abatir va a ser la misma que para el cilindro.

### **Boquillas y Registros.**

Como ya se estableció anteriormente, para el cálculo de la revisión por presión exterior de seguridad, va a estar en función de grandes diámetros, grandes longitudes y espesores relativamente pequeños, en proporción a lo anterior en boquillas y registros no se presenta este tipo de condiciones, porque los diámetros más grandes de las boquillas y registros son de 45.7 cm (18"), 50.8 cm (20") y 61.0 cm(24"), su longitud máxima de la sección del tubo es de 50.0cm (19.68") y los espesores muy grandes; aunado a esto, estos tubos están conectados por

un lado con el recipiente cilíndrico que le sirve como aros atezadores y por el otro lado, tiene la brida con la misma función, lo que hace necesario revisarlos por presión exterior de seguridad o presión de vacío.

#### **4.4 CONDICIONES REALES DE LA PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA PERMISIBLE (*PTMP*).**

Para el cálculo de las condiciones reales de la *PTMP* de un recipiente cilíndrico, se debe considerar la presión menor calculada con las fórmulas convencionales, para cualquiera de sus partes especiales.

Para el cálculo de esta presión máxima, deben utilizarse las fórmulas que se usaron para el cálculo del espesor por presión interna y utilizando para dicho cálculo los espesores definitivos menos la tolerancia por corrosión. La *PTMP* siempre debe ser mayor o igual a la presión de diseño.

$$PTMP \geq Pd$$

##### **Cilindro.**

Por lo que se estableció anteriormente, para el cálculo de la *PTMP*, se va a tornar en cuenta la fórmula que se indica a continuación, en la cual se va a despejar la presión (*P*) y va a tener los mismos datos que la vez anterior, estos datos van a depender de la sección a calcular, así se tiene, que la fórmula a utilizar es:

$$P = \frac{SE \times tc}{Rc + 0.6 \times tc} \quad \dots(4.16)$$

##### **Cabezas.**

Para el cálculo de la *PTMP*, en las cabezas se procede al igual que para el cálculo del cilindro, o sea que, se va a determinar la presión (*P*), la cual también va a tener los mismos datos junto con las condiciones expuestas del párrafo 4.4; dichos datos van a depender de la cabeza a calcular y fórmula a utilizar es:



$$P = \frac{2 \times SE \times tc}{Dc + 0.2 \times tc} \dots(4.17)$$

### **Boquillas y Registros.**

Para el cálculo de la *PTMP* en boquillas y registros, en el departamento de Ingeniería de Recipientes se hace uso del ASME B16.5-2003, y el procedimiento para determinarlo es el siguiente:

Con los datos de temperatura de operación y presión de diseño, se seleccionara de la tabla de dicho Estándar el valor donde la *PTMP* sea mayor que la Presión de Diseño, el valor donde sea la máxima presión que soportarán las boquillas y registros.

O también si se conoce el rango de las boquillas y registros, se puede determinar la *PTMP*; esto se hace con la temperatura de operación y el rango de las boquillas y registros, donde se crucen estos dos datos, ese va a ser el valor que asuma la *PTMP* que soportarán boquillas y registros. Para este caso, con los datos de temperatura de operación y el rango de las boquillas y registros (*300 lb*).

**Table 2-1.1 Pressure-Temperature Ratings for Group 1.1 Materials**

Nominal Designation	Forgings		Castings		Plates		
C-Si	A 105 (1)		A 216 Gr. WCB (1)		A 515 Gr. 70 (1)		
C-Mn-Si	A 350 Gr. LF2 (1)				A 516 Gr. 70 (1), (2)		
C-Mn-Si-V	A 350 Gr. LF6 Cl. (4)						
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Ni	A 350 Gr. LF3				A 537 Cl. 1 (3)		

Working Pressure by Classes, bar							
Class							
Temp., °C	150	300	400	600	900	1500	2500
-29 to 38	19.6	51.1	68.1	102.1	153.2	255.3	425.5
50	19.2	50.1	66.8	100.2	150.4	250.6	417.7
100	17.7	46.6	62.1	93.2	139.8	233.0	388.3
150	15.8	45.1	60.1	90.2	135.2	225.4	375.6
200	13.8	43.8	58.4	87.6	131.4	219.0	365.0
250	12.1	41.9	55.9	83.9	125.8	209.7	349.5
300	10.2	39.8	53.1	79.6	119.5	199.1	331.8
325	9.3	38.7	51.6	77.4	116.1	193.6	322.6
350	8.4	37.6	50.1	75.1	112.7	187.8	313.0
375	7.4	36.4	48.5	72.7	109.1	181.8	303.1
400	6.5	34.7	46.3	69.4	104.2	173.6	289.3
425	5.5	28.8	38.4	57.5	86.3	143.8	239.7
450	4.6	23.0	30.7	46.0	69.0	115.0	191.7
475	3.7	17.4	23.2	34.9	52.3	87.2	145.3
500	2.8	11.8	15.7	23.5	35.3	58.8	97.9
538	1.4	5.9	7.9	11.8	17.7	29.5	49.2

**NOTES:**

- (1) Upon prolonged exposure to temperatures above 425°C, the carbide phase of steel may be converted to graphite. Permissible but not recommended for prolonged use above 425°C.
- (2) Not to be used over 455°C.
- (3) Not to be used over 370°C.
- (4) Not to be used over 260°C.

### Condición gobernante.

Esta condición se refiere al valor menor del cálculo de la *PTMP*, esto quiere decir, que después de haber efectuado todos los cálculos de esta presión para las distintas secciones del recipiente (torre), la que resulte con el menor valor es la que va a gobernar, o será la sección que posiblemente puede fallar en primera instancia.

### Condiciones reales de la presión de prueba.

Todos los recipientes cilíndricos diseñados de acuerdo al Código ASME, deben de someterse a una Presión de Prueba (*P<sub>p</sub>*) que puede ser Hidrostática o Neumática. Solamente quedan fuera de este requisito aquellos recipientes de dimensiones pequeñas, que el Código los excluye de su jurisdicción.

***Prueba hidrostática.***

En este tipo de pruebas el recipiente debe someterse a una presión de prueba cuando menos igual a 1.3 veces la *PTMP*, efectuada por coeficientes que resulta de dividir el esfuerzo permisible del material a la temperatura de prueba entre la temperatura de diseño.

Al ir aplicando la presión de prueba y cuando éste ha alcanzado las 2/3 partes de su valor, se inicia la inspección del recipiente, esta inspección se hace visual en todas las uniones y conexiones. La inspección para detectar fugas puede o no llevarse a cabo si se prevé lo siguiente:

1. Que se aplique un gas para pruebas de fuga.
2. Que se pueda sustituir el gas para la prueba si lo determina de común acuerdo el inspector y el fabricante.
3. Que todas aquellas juntas que quedan ocultas después del armado, se les haga una inspección visual antes de dicho armado.

Aunque generalmente en este tipo de pruebas se usa agua, también se puede usar cualquier líquido no perjudicial debajo de su temperatura de ebullición.

***Prueba Neumática.***

Este tipo de pruebas se utilizan para los recipientes que están diseñados de una forma tal, que no se tenga la seguridad de que se pueda llenar de agua completamente (tal es el caso de las torres verticales muy altas, diseñadas para manejar vapores); para este caso se debe emplear este tipo de pruebas. La presión de prueba Neumática, también debe ser al menos 1.3 veces del valor de la *PTMP* a la temperatura de prueba.

Al efectuar este tipo de pruebas la presión en el recipiente debe incrementarse gradualmente a no más de la mitad de la presión de prueba; de este valor en adelante la presión debe elevarse en incrementos de 1/10 de la presión de prueba hasta alcanzar la *PTMP* y mantenerse por un tiempo suficiente (24 horas) para permitir la inspección del recipiente.

Las dos pruebas que pueden llevarse a cabo en un recipiente y dado que en este caso la prueba que se le va a hacer a la torre es la Hidrostática; las fórmulas que se emplean para el cálculo de la Presión de Prueba ( $P_p$ ) son las mismas que se utilizaron para el cálculo de la  $PTMP$  como ya se dijo, pero tendrán las siguientes modificaciones:

1. Los espesores que se toman para el cálculo de esta prueba, son los comerciales con los cuales se fabricará la torre (espesores nuevos).
2. Los diámetros y radios son los reales o sea que considera la corrosión.

Ya establecidas las condiciones para el cálculo de la Presión de Prueba, se procederá a determinar dicho cálculo.

### **Cilindro.**

Como se dijo anteriormente, se utiliza la misma fórmula que se utilizó para el cálculo de la  $PTMP$ , con las modificaciones antes expuestas o sea que:

$$P_p = \frac{1.5 \times SE \times t}{R + 0.6 \times t} \dots\dots(4.18)$$

### **Cabezas.**

Para el cálculo de la Presión de Prueba ( $P_p$ ), en este caso se va a seguir el mismo procedimiento anterior, o sea que la fórmula a utilizar es:

$$P_p = \frac{1.5 \times 2 \times SE \times t}{D + 0.2 \times t} \dots\dots(4.19)$$

### **Boquillas y Registros.**

Para el cálculo de la Presión de Prueba ( $P_p$ ) en boquillas y registros en el Departamento de Ingeniería de Recipientes, se hace uso del ASME B16.5-2003 (tabla de prueba hidrostática) en el cual se tiene una tabla ya tabulada y el procedimiento a seguir es el siguiente:

Con el rango de boquillas y registros se entra a la tabla de dicho Estándar y donde se cruce el rango de boquillas y el grupo de material, este es el valor en la que se tiene que hacer la Prueba Hidrostática.

**Condición Gobernante.**

Al igual que para el caso de la *PTMP*, también la Presión de Prueba (*Pp*) va a tener su condición de prueba gobernante, las presiones antes calculadas, el valor menor de ellas va a ser el que va a gobernar o donde posiblemente va a fallar el recipiente (Torre), en este caso la Presión de Prueba (*Pp*) gobernante.

## CAPITULO 5

### RECIPIENTES ESFÉRICOS

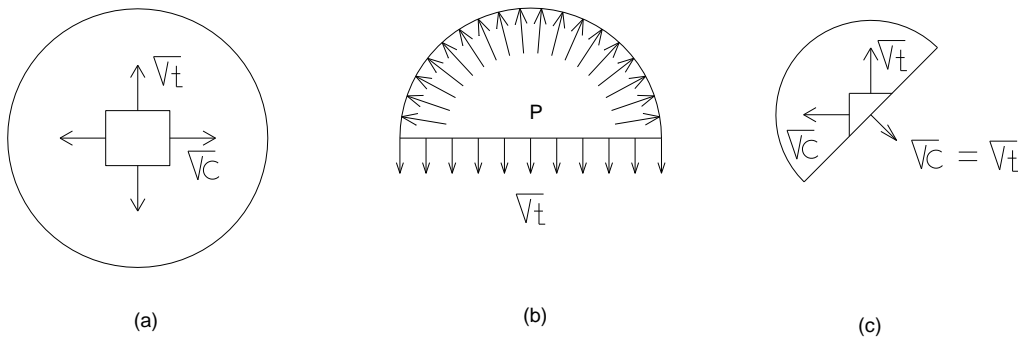
#### 5.1. ESFERA SOMETIDA A PRESIÓN INTERNA

Cuando un recipiente es sometido a presión interna, se genera un esfuerzo circunferencial y un esfuerzo longitudinal, así para cuestiones de diseño, ambos esfuerzos deben ser determinados. De esta manera los distintos códigos utilizados para el diseño de estos equipos difieren, unos códigos de otros, en el factor de seguridad empleado por cada código.

Por lo antes expuesto, y a manera de ilustración, se presenta a continuación la forma en la que pueden ser evaluados estos esfuerzos.

##### 5.1.1. Esfuerzos permisibles en recipientes a presión

Consideramos un recipiente esférico sometido a una presión interna uniforme  $P$ , como se muestra en la Figura 5.1. Como puede observarse, para una esfera toda sección que pase por un centro de la misma clase de cuerpo libre. Por lo consiguiente, el esfuerzo longitudinal será igual al esfuerzo circunferencial,  $\sigma_t = \sigma_c$



**Figura 5.1. Recipiente esférico sometido a presión interior**

Así pasando una sección por el centro de la esfera y aislándola, Figura 2.1., podemos aplicar las ecuaciones de equilibrio.

$$\begin{aligned}
 + \uparrow \sum F &= 0 \\
 P(\pi * R^2) - \sigma_t(2\pi R t) &= 0 \quad \dots\dots\dots (5.1) \\
 \sigma_t &= \frac{PR}{2t}
 \end{aligned}$$

Donde:

- P = Presión.  
 R = Radio del recipiente.  
 t = Espesor del cascaron.  
 $\sigma_t$  = Esfuerzo tangencial.  
 $\sigma_c$  = Esfuerzo circunferencial.

Debe hacerse notar que el plano del corte puede localizarse en cualquier dirección, sin afectar en nada el resultado. De esta manera el diseño por presión interna consiste en determinar los espesores adecuados a lo largo de toda la esfera. Las modificaciones realizadas a esta ecuación por los diversos códigos toman en cuenta otros factores tales como la eficiencia de las juntas soldadas y el factor de seguridad.

Por ejemplo el código ASME amplía el rango de aplicación de la ecuación (5.1) mediante una modificación empírica, agregando a dicha ecuación una constante igual a 0.1. De modo que se obtiene lo siguiente:

$$\frac{\sigma_t}{P} \frac{R}{2t} + 0.1 \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

De donde se puede despejar a la variable t que es la que interesa en el diseño.

$$t = \frac{PR}{2\sigma_t - 0.2P} \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

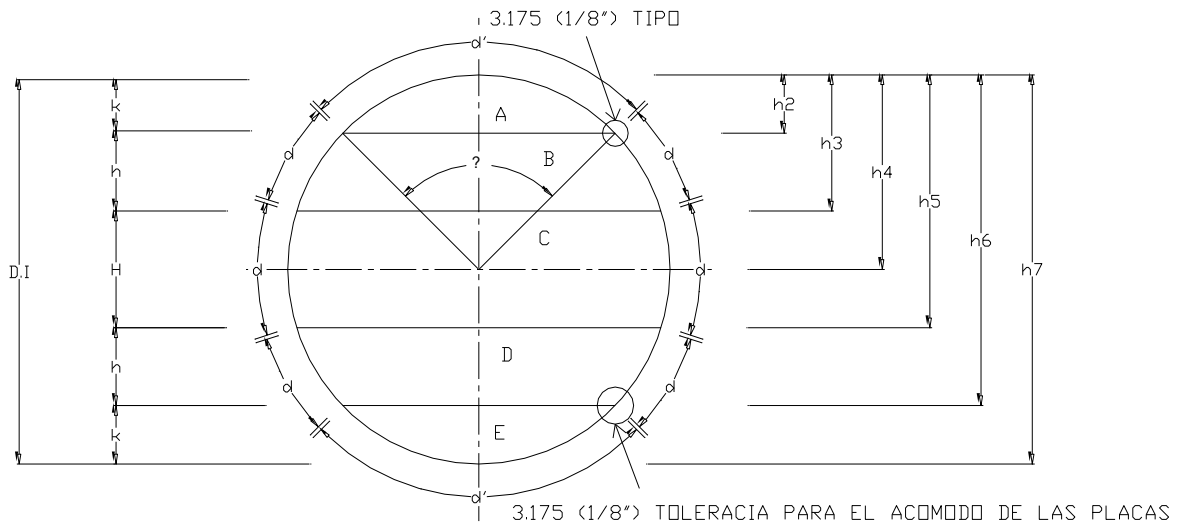
Si en la ecuación anterior se sustituye  $\sigma_t$  por el esfuerzo máximo permisible del material (S) y agregamos la eficiencia de las juntas de soldadura (E) obtenemos la ecuación establecida por el código ASME, Sección VIII, División 1.

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \dots\dots\dots (5.4)$$

**5.2. CALCULO DE ESPESORES Y DIMENSIONAMIENTO DE LA ESFERA**

Uno de los primeros pasos en el diseño de la esfera consiste en el dimensionamiento adecuado de la misma. Este dimensionamiento puede ser llevado a cabo de diversas maneras, esta es una forma de llevarlo a cabo y por tal motivo no debe tomarse como una restricción.

El segundo paso consiste en determinar los espesores en las diferentes zonas de la esfera como se muestra esquemáticamente en la figura 5.2. Para el cálculo de estos espesores, se debe tomar en cuenta además de la presión de diseño, la presión hidrostática debida a la columna de líquido.



- ZONA "A" TAPA SUPERIOR
- ZONA "B" CASQUETE TROPICAL SUPERIOR
- ZONA "C" CASQUETE ECUATORIAL
- ZONA "D" CASQUETE TROPICAL INFERIOR
- ZONA "E" TAPA INFERIOR

**Figura 5.2. Dimensionamiento de una esfera**



El dimensionamiento de la esfera consiste en definir las dimensiones de todos los sectores que componen a la misma. Esto puede ser dado en tres formas:

- 1) Definir las dimensiones  $k$ ,  $h$  y  $H$ .
- 2) Definir los ángulos para cada sector.
- 3) Definir los arcos denominados  $d'$  y  $d$ .

Así mismo, se lleva a cabo el dimensionamiento en base a definir los arcos  $d'$  y  $d$ .

El arco  $d'$  se tomara con un valor de 3048 mm (10 ft) y los arcos  $d$  serán determinados en base a la ecuación siguiente:

$$d = \frac{\pi D.I - 2d' - 8(3.175)}{6} \dots\dots\dots (5.5)$$

Donde:

3.175 mm (1/8"). Es la tolerancia dada para acomodo de las placas. De esta forma las dimensiones a manejar serán dadas en mm.

D.I. Es el diámetro interior del recipiente.

- 1) Cálculo de las dimensiones  $k$ ,  $h$  y  $H$

Dimensión "k"

$$k = R \left( 1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \dots\dots\dots (5.6)$$

Donde:

$$\theta = \frac{57.3d'}{R} \dots\dots\dots (5.7)$$

R = Radio interior del recipiente.

Dimensión "h"

$$h = R \left[ \cos \left( \frac{\theta}{2} \right) - R \sin \left( \frac{\theta_1}{2} \right) \right] \dots\dots\dots (5.8)$$

Donde:

$$\theta_1 = \frac{57.3(d)}{R} \dots\dots\dots (5.9)$$

Dimensión "H"

$$H = 2R \operatorname{sen}\left(\frac{\theta_1}{2}\right) \dots\dots\dots (5.10)$$

2) Cálculo de las dimensiones internas, ver Figura 2.3

1) Diámetros polares 2 y 7.

$$Dp = 2R \operatorname{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = D \operatorname{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) \dots\dots\dots (5.11)$$

2) Diámetro tropical 3 y 5.

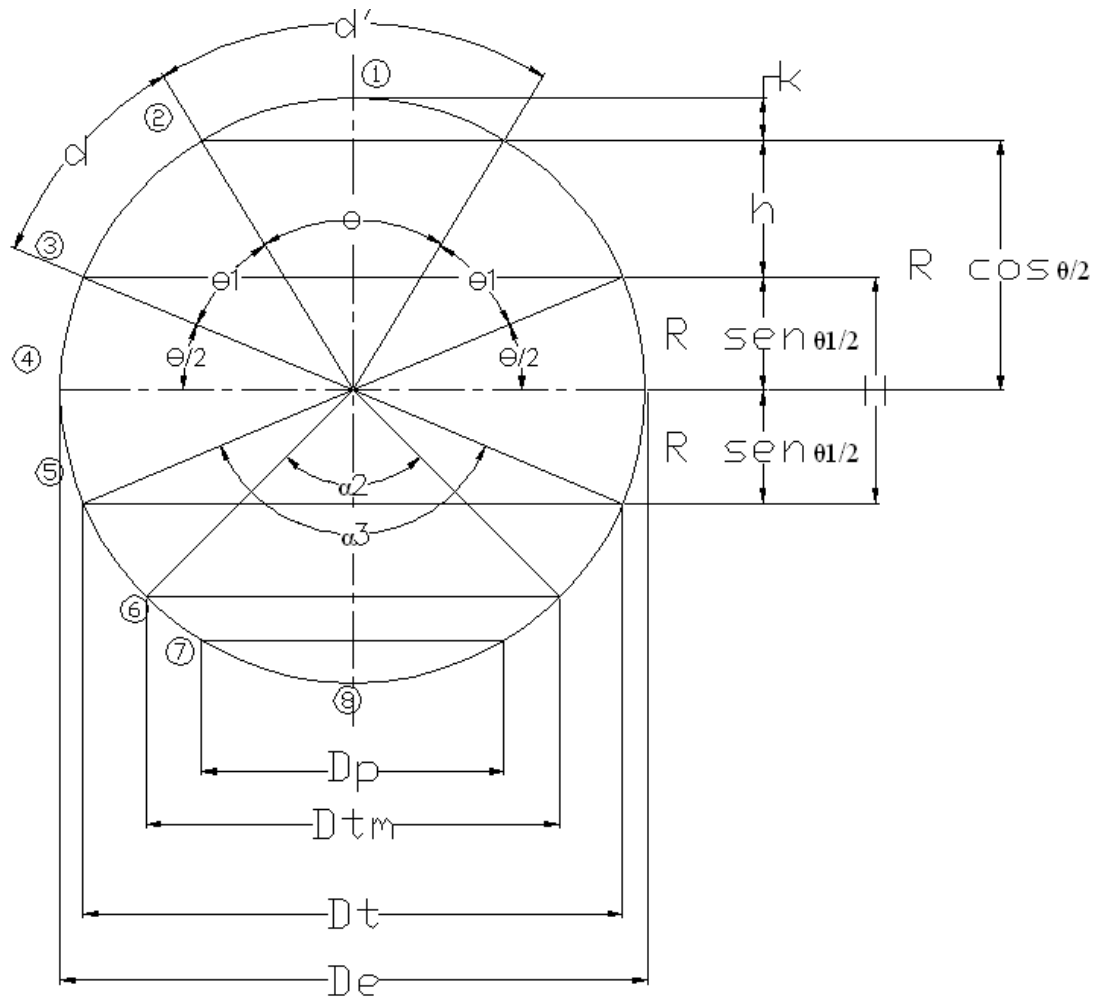
$$Dt = 2R \operatorname{sen}\left(\frac{\alpha_3}{2}\right) = D \operatorname{sen}\left(\frac{\alpha_3}{2}\right) \dots\dots\dots (5.12)$$

3) Diámetros tropicales medio.

$$Dtm = 2R \operatorname{sen}\left(\frac{\alpha_2}{2}\right) = D \operatorname{sen}\left(\frac{\alpha_2}{2}\right) \dots\dots\dots (5.13)$$

$$\text{Siendo: } \alpha_2 = \frac{(d'+d+13)57.3}{R} \dots\dots\dots (5.14)$$

$$\alpha_3 = 2\theta_1 + \theta \dots\dots\dots (5.15)$$



**Figura. 5.3 Dimensiones interiores del recipiente**

Una vez determinado la forma que se seguirá para la dimensionamiento de la de esfera se dará inicio al proceso de obtención de los espesores de la envoltura del recipiente de almacenamiento esférico, para esto se tiene que obtener primero las dimensiones requeridas de la esfera como son diámetro interior, radio, entre otros.

### 5.3. CONSTRUCCIÓN DE ESFERAS

Las esferas son construidas por placas de acero que han sido formadas y cortadas en tamaños adecuados y sus extremos preparados para la aplicación de soldadura. Las conexiones principales, tales como boquillas y accesorios, son generalmente soldadas a las placas del envoltura durante la fabricación. En el taller y estas placas son relevadas de esfuerzos antes de ser enviadas.

Debido a sus dimensiones, las esferas son montadas en campo, la soldadura es usada a través y en cada una de las juntas en la envolvente y deberá ser de penetración.

Las esferas para el almacenamiento de líquidos o gases, son soportados por columnas cilíndricas soldadas a la envolvente en la zona del ecuador. La sección superior de cada columna puede descansar sobre una columna de concreto o toda la longitud de la columna puede ser de acero. Varillas y tensores son utilizados para llevar las cargas de viento o sismo a la cimentación.



*Figura. 5.4 Recipiente esférico*

## BIBLIOGRAFÍA

1. NRF-028-PEMEX:2004.
2. Código ASME, Sección VIII, División 1.  
Edición 2007.
3. Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad e Instituto de investigaciones de Electricidad, Análisis por Sísmico y Viento CFE. Edición 1993.
4. Pressure Vessel Design Manual.  
Dennis R. Moss  
Edition by golf Publishing Company Edition 1987.
5. Pressure Vessel Handbook.  
Eugene F. Meegyesey.  
Sixt Edition. New York, 1993.
6. Design. Handbook  
Henry H. Bednar.  
First Edition. New York Ed Van Nostran Rein Hold Co. 1981.
7. Manual de Construcción en Acero  
Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C. Limusa. México. 1987
8. Theory and Design Loads For Buildings and Other Structures.  
Edited by American National Stander Edition 1974.
9. Structural Analysis and Design of Process Equipment.  
Maan H. Jawad  
Edited by Wiley-interscience Publication Edition 1989.
10. Design of Process Equipment.  
Kanti K. Mahajan  
Publishing Inc. Edition 1994.

## GLOSARIO

A continuación, se definen los conceptos más empleados en el presente trabajo, con la finalidad de facilitar su comprensión:

**BOQUILLA.-** Orificio practicado en un tanque para la entrada y/o salida de un fluido o la instalación de un instrumento de medición, generalmente son bridadas o roscadas.

**BRIDA.-** Accesorio para acoplamiento de tuberías, que facilita el armado y desarmado de las mismas.

**CARGA HIDROSTÁTICA.-** La presión ejercida por un líquido en reposo.

**CARGA MUERTA.-** La fuerza debida al peso propio de los elementos a considerar.

**CARGA VIVA.-** La fuerza ejercida por cuerpos externos, tales como: nieve, lluvia, viento, personas y/o objetos en tránsito, etc.

**CÓDIGO.-** Conjunto de mandatos dictados por una autoridad competente.

**CORROSIÓN.-** Desgaste no deseado, originado por la reacción química entre el fluido contenido y/o procesado y el material de construcción del equipo en contacto con el mismo.

**EFICIENCIA DE JUNTAS SOLDADAS.-** Valor numérico dado por el Código o Estándar correspondiente (Grado de Confiabilidad).

**ESTÁNDAR.-** Sugerencias para la fabricación y diseño, originadas por la experiencia.

**NORMA.-** Conjunto de reglas para el dimensionamiento y el cálculo.

**PRESIÓN ATMOSFÉRICA.-** Es la producida por el peso del aire y su valor depende de la altura del sitio indicado sobre el nivel del mar.

**PRESIÓN DE DISEÑO.-** Es la presión manométrica considerada para efectuar los cálculos.

**PRESIÓN DE OPERACIÓN.-** Presión manométrica a la cual estará sometido el tanque en condiciones normales de trabajo.

**PRESIÓN DE PRUEBA.-** Valor de la presión manométrica que sirva para realizar la prueba hidrostática o neumática.

**RECIPIENTE.-** Depósito cerrado que aloja un fluido a una presión manométrica diferente a la atmosférica, ya sea positiva o negativa.

**TANQUE.-** Depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presión internas relativamente bajas.