



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

“DISEÑO DE RECIPIENTES HORIZONTALES A PRESIÓN
PARA ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS TÓXICOS”

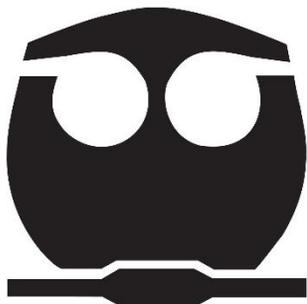
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A:

**JESÚS ANTONIO RODRÍGUEZ
CURIEL**





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Intencionalmente página en blanco.

ÍNDICE

	Páginas
Abreviaturas.	
Glosario de términos.	
Introducción.	1
<u>Capítulo I. Antecedentes</u>	2
1.1 Normatividad.	2
1.1.1 NOM-018-STPS-2000	
1.1.2 NOM-020-STPS-2011	
1.1.3 NRF-009-PEMEX-2004	
1.1.4 NRF-028-PEMEX-2010	
1.2 Sustancias químicas peligrosas	4
1.2.1 Definición de sustancias químicas peligrosas.	
1.2.2 Clasificación de sustancias químicas peligrosas.	
1.2.3 Actividades altamente riesgosas.	
1.2.4 Características fisicoquímicas de las sustancias químicas peligrosas.	
1.3 Generalidades de recipientes sujetos a presión	7
1.3.1 Tipos de recipientes.	
1.3.2 Recipientes cilíndricos horizontales y verticales.	
1.3.3 Recipientes esféricos.	
1.3.4 Tipos de tapas de recipientes sujetos a presión.	
1.3.5 Soldadura en recipientes a presión.	
1.3.6 Materiales para recipientes a presión.	
1.3.7 Resgistro-hombre.	
<u>Capítulo II. Consideraciones de diseño</u>	11
2.1 Materiales.	
2.2 Diseño.	
2.3 Soldadura.	
<u>Capítulo III. Objetivo</u>	39
3.1 Objetivo General.	
3.2 Objetivo Particular.	
<u>Capítulo IV. Metodología</u>	40
4.1 Espesor del cascarón bajo presión interna.	

- 4.2 Espesor del cascarón bajo presión externa.
- 4.3 Diseño de silletas.
- 4.4 Ejemplo ilustrativo de la hoja de cálculo.

<u>Capítulo V. Análisis y Conclusiones</u>	69
Bibliografía	70

ÍNDICE DE FIGURAS	Página
1.1 Clasificación de los recipientes a presión.	7
2.1 Ejemplo del tamaño de un recipiente.	18
2.2 Diagrama de flujo del procedimiento de compresión longitudinal.	27
2.3 UW-3 Ilustración de las localizaciones típicas de uniones por soldadura.	31
2.4 Unión por soldadura de tipo 1.	32
2.5 Unión por soldadura de tipo 2.	33
2.6 Unión por soldadura de tipo 3.	34
2.7 Unión por soldadura de tipo 4.	34
2.8 Unión por soldadura de tipo 5.	35
2.9 Unión por soldadura cascarón-tapa de tipo 6.	36
2.9.1 Unión por soldadura opción alterna cascarón-tapa de tipo 6.	36
4.1 Esfuerzo longitudinal y circunferencial.	41
4.2 G Diagrama para componentes bajo presión externa.	44
4.3 CS-2 Diagrama para determinar el espesor del cascarón bajo presión externa.	45
4.4 Procedimiento extraído del párrafo UG-28 para $D_o/t \geq 10$.	47
4.5 UG-28.1 Representación gráfica de líneas de apoyo para el diseño de recipientes cilíndricos sometidos a presión externa.	49
4.6 Procedimiento extraído del párrafo UG-28 para $D_o/t < 10$.	50
4.7 UG-29.1 Diversos arreglos de anillos de refuerzo para recipientes cilíndricos sometidos a presión externa.	53
4.8 UG-29.2 Arco máximo del cascarón sin soporte debido a la hendidura en el anillo de refuerzo del cilindro bajo presión externo.	55
4.9 UG-30 Métodos aceptables del fijado de anillos de refuerzo.	56
4.10 Tapa elipsoidal.	57
4.11 Tapa toriesférica.	59
4.12 Tapa hemisférica.	60
4.13 Tapa cónica.	61

4.14 Diseño de cargas para recipientes horizontales sobre silletas.	62
4.15 Detalles típicos para recipientes horizontales grandes apoyados en silletas.	63

ÍNDICE TABLAS

	Página
2.1 Ilustración de los esfuerzos máximos permitidos.	26
2.2 Tabla de sumario de tipo de uniones.	38
4-4.1 Valores del factor K (Utilice valores cercanos a $D/2h$, interpolación innecesaria).	58
4-4.2 Valores del factor M (Utilice valores cercanos de L/r , interpolación innecesaria).	60

Abreviaturas.

A.S.M.E	American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).
A.S.T.M	American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para Pruebas de Materiales).
Código	(con C mayúscula) referido particularmente al código ASME calderas y recipientes a presión sección VIII división 1.
código	(con c minúscula) referido a los otros códigos existentes acorde al tema.
DE	Diámetro exterior.
DI	Diámetro interior.
DN	Diámetro nominal.
HDS	Hoja de Datos de Seguridad.
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
NOM	Norma Oficial Mexicana.
NRF	Normas de Referencia.
PEMEX	Petróleos Mexicanos.
Po	Presión de operación.
Pd	Presión de diseño.
PMPT	Presión máxima permisible de trabajo.
PMP	Presión máxima permisible.
P-número	Clasificación dentro de un grupo de materiales acorde a su soldabilidad.
PT	Pneumatic Test (Pruebas de líquidos penetrantes).
Revenido	Es el tratamiento térmico debajo de la temperatura de transformación de un metal que ha sido previamente endurecido mediante un tratamiento de templado para reducir su dureza.
RT	Radiographic Test (Pruebas de radiografía).
SA	La designación de un metal por la ASTM con A y adoptado por la ASME como SA.
SQP	Sustancias químicas peligrosas.
TMDM	Temperatura mínima de diseño del metal.
TMPT	Temperatura máxima permisible de trabajo.
To	Temperatura de operación.
Td	Temperatura de diseño.

Glosario de términos.

Concentración Letal Media (CL₅₀): Es la concentración de una sustancia como gas, vapor, neblina o polvo en el aire, calculada estadísticamente, a cuya exposición se espera que mueran el 50 % de los animales de experimentación. Cuando se trata de vapores o gases, se expresa en ppm y cuando son polvos o neblinas se expresa en mg/L o en mg/m³.

Costura: Junta soldada a tope circunferencial o longitudinal, de un recipiente a presión.

Dosis Letal Media (DL₅₀): Es la cantidad de una sustancia (miligramos o gramos por kilogramo corporal del sujeto de prueba) obtenida estadísticamente, y que administrada por vía oral o dérmica, matará al 50 % de un grupo de animales de experimentación.

Esfuerzo máximo permisible (σ o S): Valor máximo unitario de esfuerzo permitido en el diseño, cálculo y construcción del recipiente a presión y sus partes a su correspondiente temperatura de diseño, para un material dado.

Espesor (t): Grosor de un sólido, magnitud dada a la longitud transversal perpendicular entre caras de una pared.

a) *Espesor calculado o requerido (t_r): Es el espesor mayor de los cálculos para un componente antes de agregar el valor permisible de corrosión.*

b) *Espesor mínimo (t_m): El espesor mínimo, no debe ser menor al calculado más el valor permisible de corrosión.*

c) *Espesor mínimo requerido (t_{mr}): Es el mayor espesor calculado para un componente, al que se debe agregar el valor de la corrosión permisible, el espesor para prevenir la tolerancia del material, el espesor por adelgazamiento en su proceso(s) de formado, cuando apliquen, el que no debe de ser menor al espesor mínimo (t_m).*

d) *Espesor nominal (t_n): Es el espesor disponible comercialmente para un material en conformidad con su Norma. El que no debe ser menor al espesor mínimo requerido (t_{mr}).*

Hoja de Datos de Seguridad (HDS): Es la información sobre las condiciones de seguridad e higiene necesarias, relativa a las sustancias químicas peligrosas, que sirve como base para programas escritos de comunicación de peligros y riesgos en el centro de trabajo.

Norma: Lineamiento o documento que emite un organismo nacional o internacional relativo a la materia.

Placa: Acero plano laminado de acuerdo a la norma o especificación de producción del material, comúnmente de 4.5 mm de espesor o mayor, y ancho de 200 mm o mayor.

Presión de diseño (P_d): Es el valor más severo de presión manométrica esperado en un recipiente o componente en condiciones normales de operación a su respectiva temperatura de diseño del metal, usada para el cálculo y del diseño de recipiente o componente a presión.

Presión máxima permisible de trabajo (PMPT, o en inglés “MAWP”): Es la máxima presión manométrica medida y permitida en el punto más alto del recipiente o para el componente, en su posición final de operación a su coincidente de temperatura, que corresponde a la menor de las presiones (interna o externa), calculadas de todos los componentes que integran un recipiente o un componente en lo particular, a sus respectivas temperaturas de diseño considerando la combinación de cargas de posición de operación y espesores finales como se construyó y corroídos.

Presión máxima permisible (PMP, o en inglés “MAP”): Es la menor de las presiones calculadas de los componentes que integran un recipiente o de un componente, a la temperatura ambiente, considerando espesores mínimos (PMP nuevo) o espesor mínimo corroído (PMP corroído) según aplique.

Presión de operación (P_o): Es la presión manométrica en la parte superior del recipiente a que opera normalmente, la que no debe exceder la presión máxima permitida de trabajo (PMPT) y se mantiene usualmente a un nivel apropiado por debajo del punto de disparo de su dispositivo de relevo o alivio de presión, de tal forma que prevenga frecuentes aperturas.

Recipiente a presión: Contenedor sometido a esfuerzos debido a los efectos de la presión, por procesar, tratar, almacenar o transformar una sustancia. Donde la presión es cualquier valor diferente a la presión atmosférica, proveniente de fuentes externas o como consecuencia de la reacción física y/o química que se lleve en su interior.

Sustancia peligrosa: Son aquellas que por sus propiedades físicas y químicas, presentan la posibilidad de riesgo a la salud, de inflamabilidad, de reactividad o de especiales, que pueden afectar la salud de las personas expuestas o causar daños materiales a las instalaciones o al medio.

Temperatura de diseño (T_d): Es la temperatura máxima promedio de metal esperada a través del espesor a su correspondiente presión, a usar en el diseño del recipiente o componente. Si es necesario, la temperatura del metal debe determinarse por medio de cálculos o por medición directa en algún equipo en servicio bajo las mismas condiciones de operación.

Temperatura de operación (T_o): La temperatura que se debe mantener en el metal o en la parte del recipiente que se está considerando para la operación específica del recipiente.

Temperatura mínima de diseño del metal (TMDM, o en inglés "MDMT"): La temperatura más baja esperada a ser usada en el diseño de recipiente o componente, la que no debe ser mayor a la temperatura promedio de metal a través del espesor, que se espera en condiciones de operación para el componente en consideración, considerando la temperatura atmosférica extrema mínima, trastornos en la operación, la auto refrigeración, o cualquier otra fuente de enfriamiento.



Introducción

Los recipientes a presión son de suma importancia en la industria por el simple hecho de que se utilizan para contener o procesar las materias primas a utilizar, los mismos y sus componentes son diseñados, construidos y calculados por las áreas de proceso, riesgo y seguridad, las cuales son las disciplinas responsables del funcionamiento correcto.

El primer paso del procedimiento sobre el diseño es obtener la información necesaria para establecer los parámetros de diseño, en tándem establecer los materiales idóneos para el cual será utilizado y el esfuerzo nominal necesario para dimensionar el espesor del recipiente a presión. Dentro de la fabricación las estructuras se ven afectadas por el fenómeno de oxidación o intercambio de electrones, conocido como corrosión, es importante considerar las normas vigentes para un sobre espesor.

Es importante mencionar que cuando una planta industrial, independientemente del giro al cual se dedique, en algún momento deberá hacer un reemplazo de alguno de sus recipientes a presión, por lo cual presentará una o varias razones para: el aumento o disminución de contenido o procesamiento para producción o un servicio, que se emplee otro tipo de material o por el uso de este se encuentre deteriorado.

Para garantizar completamente su funcionalidad ya sea física o mecánica debe hacerse una evaluación tanto de espesor como a la presión máxima a la cual se someterá. Aquí es importante establecer una metodología en donde se hace el cálculo del espesor, presión máxima permitida, anillos de refuerzo si en su caso lo requiere y silletas.

Por lo cual el objetivo del presente trabajo pretende ser una guía rápida sobre el diseño y cálculo de los recipientes a presión cilíndricos horizontales, y fomentar en las nuevas generaciones a la programación y automatización de los cálculos dentro del ámbito ingenieril sobre software de entorno popular.





CAPÍTULO I.

ANTECEDENTES.

1.1 Normatividad.

1.1.1 NOM-018-STPS-2000

SISTEMA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y COMUNICACIÓN DE RIESGOS POR SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO.

La norma hace referencia a un sistema para la identificación y la comunicación de riesgos por sustancias químicas peligrosas (SQP) en los centros de trabajo, así como los elementos que los integran. También menciona los modelos rectángulo y rombo, así como las variables permitidas en cada caso para su identificación; de igual manera, se presentan las bases de selección para el uso de equipo de protección personal y una lista de las letras y su significado para identificarlo.

Como parte del sistema de comunicación se encuentran: la Hoja de Datos de Seguridad (HDS) y la capacitación, las cuales deben integrar como tema principal en la distinción entre peligro y riesgo; así como la clasificación del mismo en las SQP.

1.1.2 NOM-020-STPS-2011

RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN, RECIPIENTES CRIOGÉNICOS Y GENERADORES DE VAPOR O CALDERAS - FUNCIONAMIENTO - CONDICIONES DE SEGURIDAD.

La norma hace referencia a los requisitos de seguridad para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas en los centros de trabajo, a fin de prevenir riesgos a los trabajadores y daños en las instalaciones o centros de trabajo.

Considera la clasificación de los recipientes sujetos a presión tiene como objetivo contar con una lista actualizada de los equipos con los que se cuentan en el centro de trabajo y a la vez, tener un expediente de los mismos para elaborar y programar mantenimientos y calibraciones que estos requieran, así como sus instrumentos de control y dispositivos de relevo.





Contar con el procedimiento de operación, revisión, mantenimiento y calibrado en idioma español.

1.1.3 NRF-009-PEMEX-2004

IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTOS TRANSPORTADOS POR TUBERÍAS O CONTENIDOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Establece la norma sobre la identificación de productos mediante códigos de colores y textos específicos y se asignará un criterio uniforme para definir el color de acabado con que se debe pintar el exterior.

Establece los colores de los recubrimientos que se deben aplicar a la superficie del recipiente, así como la identificación en función de los fluidos contenidos y de acuerdo con los peligros asociados. Proporciona las características de un código de colores que debe ser empleado para una rápida identificación del grupo al que pertenece el producto contenido. Esta identificación constituye un elemento de seguridad que permite asociar los grupos de productos, con técnicas y acciones específicas comúnmente empleadas en el control de emergencias.

1.1.4 NRF-028-PEMEX-2010

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN.

Esta norma implementa los requisitos mínimos para el cálculo, materiales, diseño, fabricación, construcción e inspección de recipientes a presión, en coincidencia documento internacional American Society of Mechanical Engineers (A.S.M.E).

Las condiciones de diseño indicadas en la norma aplican para todos los recipientes a presión y/o accesorios independientemente del proceso de construcción, y se debe emplear en conjunto con la especificación del recipiente.





1.2 SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS.

1.2.1 Definición de SQP.

Aquellas sustancias que por sus propiedades físicas y químicas, al ser manejadas, transportadas, almacenadas o procesadas presentan la posibilidad de riesgos a la salud, de inflamabilidad, de reactividad o un peligro especial, y pueden afectar la salud y la integridad de las personas expuestas o causar daños materiales a las instalaciones.

1.2.2 Clasificación de SQP.

Cuando se presenta un accidente químico en el que se libera una sustancia peligrosa al ambiente ya sea durante su transporte o almacenamiento, el accidente puede manejarse más rápidamente o mejor cuando la sustancia involucrada está debidamente identificada y caracterizada.

El contar con un sistema de clasificación de sustancias es importante y necesario, ya que proporciona información de manera inmediata sobre los peligros que representa una sustancia en caso de un accidente. Esto permite reaccionar ante la emergencia y forma adecuada y segura.

En México, la clasificación de SQP en instalaciones se hace de acuerdo a la NOM-018-SPTS-2000 “sistema de identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo”. En la norma antes mencionada se establece la forma de la identificación y clasificación de las sustancias. Las propiedades que se toman en cuenta son daños a la salud, inflamabilidad y reactividad, dándole valores en una escala de 0 a 4 para indicar el grado de peligro que se presentan, siendo 4 el peligro mayor (o más severo).

1.2.3 Actividades altamente riesgosas.

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales previa opinión de las Secretarías de Energía, de Economía, de Salud, de Gobernación, y del Trabajo y Previsión Social, establece la clasificación de las actividades que deben considerarse como altamente riesgosas para el equilibrio ecológico, con base en las características corrosivas, reactivas,





ANTECEDENTES

explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, de los materiales que se generen o manejen en los establecimientos industriales, comerciales o de servicios, considerando además los volúmenes de manejo y la ubicación del establecimiento.

Hasta la fecha se han publicado en el diario oficial de la federación dos listados sobre las sustancias tóxicas,¹ explosivas e inflamables,² cuyo manejo dentro de las instalaciones industriales, comercios o servicios de sustancias sea igual o superior a la cantidad reportada dentro del establecido en los listados, se determina como una actividad altamente riesgosa.

La cantidad reportada se define como la cantidad mínima de sustancias peligrosas en producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transporte dados, que al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

El artículo 147 de la LGEEPA, establece que “la realización de actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosas, se llevarán a cabo con apego a lo dispuesto por esta ley, las disposiciones reglamentarias que de ella emanen y las normas oficiales mexicanas correspondientes” “Quienes realicen actividades altamente riesgosas en los términos del Reglamento correspondiente, deberán formular y presentar a la Secretaría un estudio de riesgo ambiental, así como someter a la aprobación de dicha dependencia de las secretarías de Gobernación, de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud y del Trabajo y Previsión Social, los programas para la prevención de accidentes en la realización de tales actividades, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos”.

Así mismo, el artículo 30 de la misma Ley, establece que “cuando se trate de actividades consideradas altamente riesgosas en los términos de la presente Ley, la manifestación de impacto ambiental para nuevos proyectos, deberá incluir el estudio de riesgo correspondiente”. De esta manera, tanto los nuevos proyectos, como las instalaciones en

¹ El primer listado se refiere al manejo de sustancias tóxicas y se publicó el 28 de marzo de 1990.

² El segundo listado se refiere al manejo de sustancias inflamables y explosivas y fue publicado el 4 de mayo de 1992.





operación que realicen actividades altamente riesgosas, están obligados a realizar un estudio de riesgo.

1.2.4 Características fisicoquímicas de las SQP.

A continuación se presentan algunas características fisicoquímicas básicas de las principales SQP almacenadas en el país como son, peso molecular y estado físico, para saber cuáles sustancias podrían alcanzar más rápido un receptor, por ejemplo los gases pueden estar más rápidamente en contacto con la población, los líquidos alcanzar cuerpos de agua o infiltrarse en el suelo, lo que representaría un riesgo de contaminación, que más tarde puede llegar al hombre. La presión de vapor permite conocer con qué facilidad la sustancia se puede volatilizar y por lo tanto pasar a la fase gaseosa, la solubilidad en agua es importante ya que habla de la capacidad de disolverse al contacto con cuerpos de agua o ríos a ser contaminados.

Por otra parte se presenta el grado de riesgo según la clasificación de la NOM-018-STPS-2000, partiendo de esta clasificación se describe para cada una de las sustancias la capacidad de inflamarse, de reaccionar y su riesgo a la salud, adicionalmente se proporciona el valor IPVS (Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud) el cual significa que a esa concentración la persona expuesta muere o sufre un daño severo a la salud, entre menor es el valor de IPVS más peligrosa es la sustancia en cuestión.

Por último se proporciona el Límite Máximo Permisible de Exposición, este límite establece que a esa concentración es la máxima permitida, y por tanto no se debe llegar a este valor en los centros de trabajo, este límite se puede expresar en términos de tres indicadores: como la concentración máxima de exposición durante 8 horas de trabajo (Time-Weighted Average TWA) por sus siglas en inglés; el Límite Máximo Permitido que no se debe exceder durante 15 minutos en el lugar de trabajo (Short Term Exposure Limit STEL), por sus siglas en inglés la concentración que no se debe exceder en ningún momento, durante una jornada de trabajo (CEILING), este valor es un límite máximo permisible de exposición y también se utiliza para determinar las zonas de riesgo y amortiguamiento en la simulación de riesgos en caso de accidentes químicos.





1.3 RECIPIENTES A PRESIÓN

1.3.1 Tipos de Recipientes.

Se considera como un recipiente a presión cualquier vasija o depósito cerrado que sea capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, ya sea presión interna o vacío, independientemente de su forma y dimensiones.

Existen numerosos tipos de recipientes que se utilizan en las plantas industriales o de procesos. Algunos de estos tienen la finalidad de almacenar sustancias que se dirigen o convergen de algún proceso, este tipo de recipientes son llamados en general tanques. Los diferentes tipos de recipientes que existen, se clasifican de la siguiente manera:

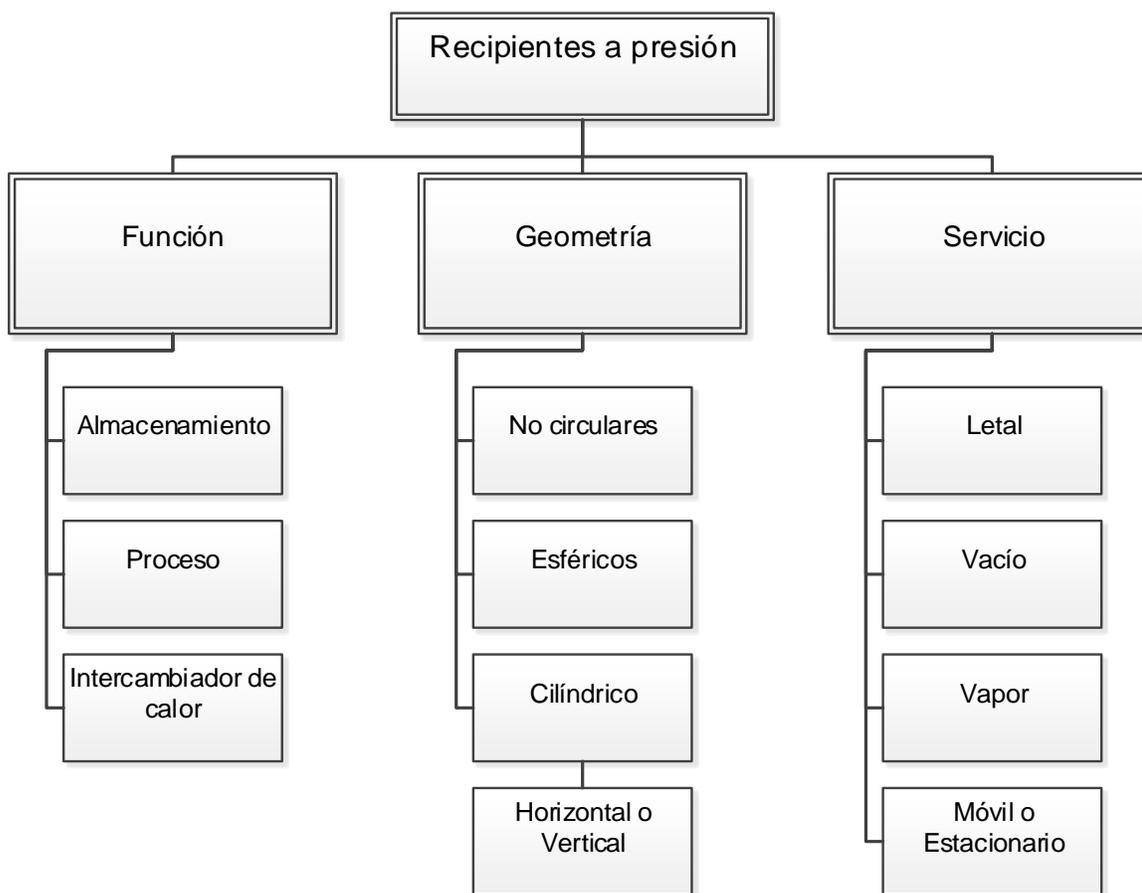


Figura. 1.1 Clasificación de los recipientes a presión.

Por el uso: Los podemos dividir en recipientes de almacenamiento y en recipientes de





proceso. Los primeros sirven únicamente para almacenar fluidos a presión y de acuerdo con sus servicios son conocidos como tanques de almacenamiento y los de proceso sirven para desarrollar en ellas reacción, separación, filtración entre otros procesos.

Por su forma: Los recipientes a presión pueden ser cilíndricos o esféricos. Los primeros son horizontales o verticales y pueden tener en algunos casos, chaquetas para calentamiento o enfriamiento respectivamente es para aumentar o disminuir la temperatura de los fluidos según sea el caso.

Los esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para retener grandes volúmenes a altas presiones.

1.3.2 Recipientes cilíndricos horizontales y verticales.

Son usados cuando la presión de vapor del líquido manejado puede determinar un diseño más resistente. Las cabezas desarrolladas incluyen la semiesférica, elíptica, toriesférica, cabeza estándar común y toricoidal.

1.3.3 Recipientes esféricos.

Cuando una masa dada de gas esta almacenada bajo presión, es obvio que el volumen de almacenamiento requerido será inversamente proporcional a la presión de almacenamiento. En general para una masa dada, el recipiente esférico es más económico para grandes volúmenes y bajas presiones de operación. A presiones altas de operación de almacenamiento, el volumen de gas es reducido y por lo tanto en tipo de recipientes cilíndricos es más económico.

1.3.4 Tipos de tapas de recipientes sujetos a presión.

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

1.3.5 Soldadura en recipientes a presión.

El procedimiento más utilizado actualmente en la fabricación de recipientes a presión es el





de soldadura, el cual eliminó el sistema de remachado que se usó hasta hace algunos años.

Con el fin de verificar si una soldadura ha sido bien aplicada se utilizan varias formas de inspección, entre ellas está el de radiografiado, la prueba de líquidos penetrantes y algunas veces se utiliza el ultrasonido.

Dada la importancia de las soldaduras en la construcción y diseño de los recipientes, el código ASME introduce la variable "E" como la eficiencia de de junta para el cálculo de espesor del recipiente cilíndrico.

El radiografiado es la localización de dicha soldadura en la estructura del recipiente, para así definir la capacidad o confiabilidad que tiene la unión para resistir los efectos de las cargas bajo las cuales estará sometida. Esta variable puede tener alguno de los siguientes valores:

E = 1 para radiografiado total

E = 0.85 para radiografiado aleatorio

E = 0.70 para equipo sin radiografiado.

1.3.6 Materiales para recipientes a presión.

En la etapa de diseño de recipientes a presión, la selección de los materiales de construcción es de relevante importancia, para lo cual, necesitamos definir una secuencia lógica en la selección de éstos.

- ❖ Aceros al carbón. Es el más disponible y económico de los aceros, recomendables para la mayoría de los recipientes donde no existen altas presiones ni temperaturas.
- ❖ Aceros de baja aleación. Como su nombre lo indica, estos aceros contienen bajos porcentajes de elementos de aleación como níquel, cromo, etcétera. Y en general están fabricados para cumplir condiciones de uso específico. Son un poco más costosos que los aceros al carbón. Por otra parte no se considera que sean resistentes a la corrosión, pero tienen mejor comportamiento en resistencia mecánica para intervalos más altos de temperaturas respecto a los aceros al carbón.
- ❖ Aceros de alta aleación. Comúnmente llamados aceros inoxidables. Su costo en





general es mayor que para los dos anteriores. El contenido de elementos de aleación mayor, lo que ocasiona que tengan alta resistencia a la corrosión.

- ❖ Materiales no ferrosos. El propósito de utilizar este tipo de materiales es con el fin de manejar sustancias con alto poder corrosivo para facilitar la limpieza en recipientes que procesan alimentos y proveen tenacidad en la entalla en servicios a baja temperatura.

1.3.7 Registro hombre.

Cuando se requiere tener acceso al interior de un recipiente a presión, ya sea para mantenimiento, carga o descarga de sólidos, etcétera, es necesario instalar en él un registro de hombre. El diámetro mínimo para este tipo de registros es de 16", aunque éste no es muy recomendable por que dificulta el rápido acceso al interior del equipo, lo usual es instalar registros de 18 ó 20 pulgadas de diámetro.





CAPÍTULO II.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Para las consideraciones de diseño se revisaron los requisitos generales, que en el código ASME se identifican como UG,³ estos contienen los requisitos adaptables a todos los recipientes y partes sujetas a presión y, se deberán aplicar en tándem con los requerimientos específicos de las subsecciones B, C y los apéndices obligatorios que pertenecen al método de fabricación y al material empleado. Los cuales se dividen en cinco categorías. Ellas son:

- ❖ Materiales: dimensiones, identificación y tolerancias.
- ❖ Diseño: fórmulas para la selección y el dimensionamiento de los recipientes a presión y sus componentes.
- ❖ Inspección y pruebas: el Código exhorta a inspeccionar y llevar a cabo sus respectivas pruebas de presión.
- ❖ Reporte y etiquetado oficial: el uso de marcas del Código y el sello, así como los informes requeridos.
- ❖ Los dispositivos de alivio de presión consisten en la elección e instalación.

2.1 MATERIALES

El UG-4.

Las primeras secciones de los UG van referidos a los materiales que van sujetos a presión se establecen bajo las especificaciones que conforman en la sección II. También deben estar inscritos en la subsección C del Código.

La subsección C cubre los requisitos específicos para las clases de materiales permitidos en este Código. Los requisitos se limitan a los materiales que figuran en las tablas de los esfuerzos en la sección II, parte D. Hay algunas excepciones a estos mismos. Los cuales

³ Requisitos generales.





CONSIDERACIONES DE DISEÑO

se describen en las secciones UG-9, UG-10, UG-11, UG-15, en las partes UCS, UIG y los apéndices obligatorios.

Los materiales pueden aparecer identificados por repetidas veces o señalados con más de una especificación o grado, sin embargo, el material debe cumplir con todos los requisitos de la descripción. El Código reconoce el hecho de que las implementaciones modernas pueden desarrollar y producir materiales capaces de cumplir con varias de las especificaciones estas sea en la composición química, las propiedades mecánicas o físicas. El Código no requiere que las partes que no están sometidas a presión cumplan las especificaciones, si la misma no se encuentra soldada a una parte sometida a presión. Sin embargo, debe contar con un medio soldable para su unión. Al mismo tiempo, si el material no se ajusta a una especificación, entonces el valor de esfuerzo permisible no debe superar el 80 % del valor máximo para un material similar. Un ejemplo de partes que no se encuentran sometidas a presión son faldas, soportes, deflectores, orejas y las superficies de intercambiadores de calor.

El Código permite el uso de materiales fuera de los límites establecidos acerca del tamaño y espesor del material a condición que todos los otros requisitos estén satisfechos. Los espesores dados por tablas de esfuerzos no se les está permitido excederlo.

En general, los materiales que no han recibido la aprobación del Código no pueden ser utilizados para fabricar recipientes a presión. Si un fabricante o el usuario desea utilizar un material no aprobado, entonces los datos del material debe ser presentado y aprobado por el comité de la ASME. La aprobación para la fabricación con nuevos materiales es en base al apéndice 5 de la sección II parte D, la aprobación del caso de la pieza es generalmente rápido para un propósito específico.

El UG-5 hasta el UG-7.

Proporciona los requisitos específicos para la placa, piezas fundidas y forjadas. Valores de esfuerzos permisibles para estas formas de producto se dan en la sección II de la parte D. Sin embargo, para los fundidos, los valores indicados deben ser multiplicados por el factor





de fundición dado en el UG-24 para todos los materiales emitidos, excepto para el hierro fundido.

El UG-8 referido a la tubería y tubos.

Proporciona los requisitos a la tubería o tubos de construcción sin costura o soldable conforme a una especificación en la sección II. Al igual que con otros tipos de productos. Considerar que los valores se han ajustado por debajo de la soldadura y estos tienen el valor de un esfuerzo permisible del 85 % en contraparte a los que se dan sin costura.

La tubería o tubos manufacturados mediante soldadura por fusión con metal de relleno están permitidos solo en el Código piezas a presión. Los requisitos incluyen también el material, diseño, procesos de soldadura, examinación y pruebas. No se requiere más cálculos en la consideración para la soldadura.

También establecen los requisitos de fabricación para los intercambiadores de calor con aletas y sus especificaciones que figuran en la sección II. Los tubos con aletas se pueden utilizar siempre y cuando se cumplan las siguientes consideraciones:

- ❖ Después de la aleta, el tubo deberá tener un revenido o la condición que conforme a la especificación de fabricación.
- ❖ El valor de esfuerzo máximo permisible para el tubo que contenga aletas deberá estar mencionado en las tablas de la UG-23 que hacen referencia al tubo previo.
- ❖ Un valor más alto del esfuerzo permisible para el tubo antes de la aleta puede ser empleado siempre y cuando las pruebas mecánicas califiquen y demuestren que el revenido está conforme aquellos previstos en la especificación de las tablas mencionadas en la UG-23.
- ❖ La presión interna o externa máxima permisible de trabajo es el valor más pequeño basado en cualquier sección ya sea en el que cuenta con aleta o sin aleta. De forma alterna, la presión externa máxima permisible se puede establecer con las reglas del apéndice 23.
- ❖ Cada tubo después de la aleta deberá ser sometido a una de las pruebas siguientes: (a) una prueba neumática interna a no menor de 17.58 Kg/cm^2 (250





psi) durante 5 segundos comprobando de no haber ningún tipo de fuga o (b) una prueba hidrostática proporcionada por la UG-99.

EL UG-9 materiales de soldadura.

Es una excepción a utilizar una especificación dada en el Código. Esta sección señala las ventajas de utilizar un material de soldadura que figuran en la sección II, parte C. Cuando el material de soldadura no cumple con una especificación en la sección II, entonces el material es señalado o etiquetado, y debe ser identificado con su respectivo procedimiento.

El UG-10 se refiere a los materiales que se encuentre fuera de la especificación o que no se encuentre plenamente identificado.

Esta sección establece el procedimiento para el uso de materiales que no estén certificados apropiadamente o no han sido identificados los cuales se clasifican en:

- ❖ Identificar los materiales con certificación completa del fabricante. Esta clase incluye materiales a una especificación no permitida o materiales adquiridos a una sola composición química.
- ❖ El material identificado para un lote de producción particular que requiere una especificación permitida por el Código, pero para la cual no está disponible una certificación realizada.
- ❖ No se identificó el material.

El Código exige que las propiedades mecánicas y químicas serán descritas para cada material a utilizar para cada pieza y que las propiedades satisfagan una especificación establecida. Los requisitos de desoxidación, estructura metalúrgica y el tratamiento térmico, según sea el caso, deberán cumplir también los requisitos de la especificación permitida. Una vez que se establece que el material no está identificado y no satisface estos requisitos, si fuere a ser utilizado como material permitido.

El UG-11 partes a presión de premanufactura o prediseño sin certificación correspondiente.





El fabricante de recipientes a presión puede utilizar piezas de premanufactura o prediseño. Las partes sometidas a presión deberán cumplir con todos los requisitos aplicables del Código, y se entregará al fabricante un informe parcial de datos.

Hay tres excepciones al requisito anterior. Tales son:

- ❖ Partes a presión, fuera de norma ya sean fundidas, forjadas o formadas con rodillos tales como cascarones, tapas, escotillas y serpentines. Deberán estar fabricadas con materiales permitidos por el Código.
- ❖ Partes a presiones normales, se encuentran las fundidas, forjadas y formadas con rodillos que no requieren de un departamento de inspección, identificación de material por UG-93 (a), la certificación de material por UG-93 (b), o un informe parcial de datos. Las partes a presión, tales como accesorios de tubería, bridas, boquillas, cuellos soldables, tapas soldables, marcos y registro hombre, estas son las partes que cumplen con la ASME sección UG-44. Alternativamente, la parte puede ser fabricada con el estándar de un fabricante, siempre y cuando estén marcadas con nombre o marca registrada, y utilice materiales permitidos.
- ❖ Partes a presiones normales, soldables para el uso en conjunto del cascarón o de tapas en recipientes no requieren de una inspección dentro del taller, el material identificado por UG-93 (a), la certificación de material por UG-93 (b), o un informe parcial de datos. Si la parte se elaboró de acuerdo con la sección UG-44, entonces el material puede ser aceptable. El fabricante de partes se debe marcar como en el primer requisito, y si se requiere de radiografiado o tratamiento térmico posterior a la soldadura, esto garantiza que se elaboró acorde al Código.

Los fabricantes quienes no estén autorizados por la ASME a utilizar los estampados de U o UM, podrán proporcionar partes que cumplan con las excepciones antes citadas. Sin embargo, las piezas que se vayan a utilizar para la fabricación deben estar registradas y aprobadas correspondiente por la jurisdicción u organismo en la materia.





CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El UG-12 dado para pernos y tornillos, y el UG-13 respecto a tuercas y rondanas.

Los piezas sujetadores pueden ser utilizadas para adjuntar partes removibles de los recipientes a presión. Todos los componentes como pernos, tornillos, tuercas y rondanas deberán ser fabricados acorde con la especificación y cumplimiento de todos los requisitos del código. Los pernos y tornillos deberán seleccionarse asegurándose que el esfuerzo máximo permisible no excede de los valores dados en la sección II de la parte D.

Los requisitos necesarios son dados para las dimensiones adicionales en tornillos. La porción sin roscar en tornillos largos mayores a 8 diámetros puede tener un diámetro nominal en rosca.

- ❖ Deberán ser de longitud totalmente roscada o deberán ser maquinados hacia abajo hasta el diámetro de raíz de la rosca por una distancia mínima de 0.5 diámetros adyacentes a la porción roscada.
- ❖ Las porciones roscadas deberán ser de al menos $1\frac{1}{2}$ diámetros de longitud.
- ❖ Deberá proveer una transición adecuada entre el diámetro de raíz y la porción no roscada.
- ❖ Deberá dar una consideración particular a todas las cargas dinámicas.

Las tuercas deben acoplarse a la roscada de los pernos (las rondanas son opcionales). Un sujetador roscado puede tener una distribución de cargas complejas. En la mayoría de los casos, las tres primeras espiras ocupadas transfieren la carga de estas, la primera espira roscada es la más significativa por ser perceptible. La conexión habitual para roscar requiere de cuatro espiras para garantizar la transferencia completa de cargas, sin sobrecargar una sola espira en la conexión correctamente realizada. Las tuercas estándares están fabricadas para asegurar un mínimo de cuatro espiras, cuando se realiza la conexión completa a la tuerca. Las rondanas se utilizan para asegurar el asentamiento o limitar la pérdida de rosca en la tuerca o perno.

La falta de la especificación del grado en el material.

El UG-15 proporciona el uso del material cuando no hay especificación proporcionada en la lista de la subsección C que cubra el producto dúctil particular de un grado, pero hay una





especificación aprobada en la subsección C que cubre algún otro producto dúctil con ese grado, el producto para el cual no hay especificación puede ser empleado, siempre y cuando: demuestre tener lo necesario en propiedades químicas o físicas, así como tolerancias y otros datos necesarios para el grado el cual es dado en otra parte de los materiales permitidos. Los informes de exámenes proveen referencia de las especificaciones empleadas en la producción del material y además hacen mención de la sección.

2.2 DISEÑO

El UG-16 Generalidades.

Las fórmulas que contiene el Código son las que representan dimensiones a corroerse.

El espesor mínimo del cascarón y tapas después de formación, independientemente del material y la forma geométrica, es 1.5 mm ($1/16$ de pulgada) excluyendo cualquier tipo de margen de corrosión. Las excepciones son:

- ❖ Las placas en la fabricación de intercambiadores de calor.
- ❖ Donde la tubería o tubos son de NPS 6 (DN 150) o menos;
- ❖ Las calderas de vapor de agua no sujetas a fuego directo donde el espesor mínimo deberá ser de 6 mm ($1/4$ de pulgada), excluido de cualquier margen de corrosión.
- ❖ Cascarón y tapas empleadas en servicio de aire comprimido, vapor o agua, hecha a partir de materiales puestos en lista ubicada en la tabla UCS-23, el cual deberán tener un espesor mínimo de 2.4 mm ($3/32$ de pulgada), excluido de cualquier margen de corrosión.

La placa del recipiente fabricado, proporciona un valor de tolerancia el cual no debe ser menor que el mínimo de 0.03 mm (0.01 pulgada) o del 6 % del espesor especificado, pueden ser empleados a la presión máxima de diseño. En la mayoría de cálculos no se presentan problemas en la especificación general para placas, los límites del espesor con base en la tolerancia va de 0.03 mm (0.01 pulgada) hasta 381 mm (15 pulgadas) de espesor.





El material de tubería y tubos pueden estar en disposición por el espesor de pared nominal. Sin embargo, la tolerancia de fabricación debe tomarse a la hora de diseñarse. La tolerancia no tiene que ser considerada cuando se diseña el refuerzo de pared de boquilla.

El UG-19 en base a la construcción especial.

El Código permite al fabricante diseñar y elaborar un recipiente a cualquier configuración, tamaño (véase la figura 2.1), forma o la combinación de ambas. Proporciona una guía general para el diseño que no se encuentra establecido como el acostumbrado.

Si un recipiente contiene más de una cámara de presión, entonces cada una de las mismas deberá estar diseñada para soportar la condición más severa de presión y temperatura coincidentes esperadas en operación normal. La operación normal incluye tanto el arranque como paro del recipiente, no aplica en pruebas hidrostáticas. (El usuario deberá consultar UG-99 para mayor información sobre pruebas hidrostáticas en recipientes multicámaras).

Cuando las reglas de diseño no son proporcionados por el Código, entonces el recipiente o sus partes puede ser diseñadas bajo las establecidas en el U-2. Aquellas estipulaciones permiten que el fabricante, se sujete a la aceptación del inspector, para utilizar los principios de ingeniería sobre el diseño revisando el factor de seguridad, su manufactura y las secciones utilizadas del Código. Si la resistencia del recipiente o las partes del mismo no pueden ser calculadas con una precisión satisfactoria, entonces la presión máxima de trabajo permisible puede ser determinada por pruebas de control de calidad. Los requisitos y procedimientos son dados en las secciones del UG-101.





Figura 2.1. Ejemplo del tamaño de un recipiente.

El UG-20 diseño sobre la temperatura.

Establece los requisitos para la temperatura máxima y mínima de diseño del metal. Esta sección requiere que la sección UCS-66, UCS-160 y la nota al pie de página 37 del párrafo UG-116 en la utilización de materiales de acero al carbón y de baja aleación para determinar las pruebas de impacto.

La temperatura máxima de diseño deberá ser igual o mayor de la temperatura promedio que el metal espera durante las condiciones de operación. Si el recipiente se encuentra bajo presión externa, la temperatura máxima en cualquier punto no deberá exceder de lo especificado en las tablas de esfuerzos permisibles o en los diagrama de presión externa.

El Código establece la condición a cualquier combinación de presión y temperatura que coincidan durante una descripción de operación permisible, con tal que la composición no establezca la condición más severa que la admitida en el diseño.

No explica en que se describe la "condición más severa." Sin embargo, en general se supone que cualquier combinación de presión y temperatura coincidente que produce un mayor esfuerzo que el permitido debido a la condición más severa. Todos los requisitos expresados en el Código deben satisfacerse para todas las combinaciones. El estampado



CONSIDERACIONES DE DISEÑO

del recipiente para todas las combinaciones de presión y temperatura coincidente son opcionales. Nota al pie de página 37 en el párrafo UG-116 establece que más de una combinación de presión y temperatura coincidente se puede añadir al estampado del recipiente.

La temperatura mínima de diseño del metal deberá ser la más baja esperada en operación y tendrá la consideración en incluir las temperaturas tales como: la más baja en operación, trastornos operacionales, auto-refrigeración, temperatura atmosférica y todas las otras formas de enfriamiento.

Las partes del material, por ejemplo las UCS (baja aleación) o UHA (alta aleación), se especifica cuándo efectúan pruebas de impacto. Los materiales de la parte UCS son más propensos a fisuras que otros, por lo tanto con frecuencia deben ser sometidos a pruebas de impacto. Sin embargo las exámenes de impacto no son obligatorias cuando todo lo siguiente se cumple:

- ❖ Cuando el material es P-Número (1) ya sea del Grupo 1 o Grupo 2.
- ❖ El espesor nominal es igual a o menor que 13 mm ($1/2$ pulgada) para los materiales que se encuentran en la curva A de la figura UCS-66.
- ❖ El espesor nominal es igual o menor a 25 mm (una pulgada) para los materiales enumerados en la curva B, C, o D de la figura. UCS-66.
- ❖ El recipiente terminado deberá ser sometido a la prueba hidrostática UG-99 (b), UG-99 (c) o el apéndice 27-4.
- ❖ La temperatura de diseño del metal es $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-20\text{ }^{\circ}\text{F}$) como mínimo y $343\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($650\text{ }^{\circ}\text{F}$) como máximo, se permite el funcionamiento ocasional debido a temperaturas de temporada, menos a $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-20\text{ }^{\circ}\text{F}$).
- ❖ No son un requerimiento indispensable las cargas de choque térmico o mecánico (véase UG-22).
- ❖ No es preponderante como requisito la carga cíclica (véase UG-22).

El Código no proporciona la orientación sobre la determinación de temperatura de diseño puede ser computarizado o equivalente a otro equipo en servicio bajo condiciones





análogas. La selección de temperatura máxima de diseño deberá proporcionar una máxima flexibilidad para futuros cambios en los requisitos operativos primordialmente para la optimización del costo/rendimiento.

La estimación del valor de temperatura máxima debe determinarse a través del proceso y deberá ser considerado para llegar a la temperatura de diseño.

En los servicios térmicos⁴ cuando se utilizan los recipientes a presión deberán tener una temperatura de diseño no menor que la prevista máxima de operación más de 15 a 30 °C (25 a 50 °F). Cuando se fija el valor se hace otra consideración y se establece al proceso ya que puede ser necesario cuando el requisito resulta de un aumento en el grado de un material o en la instalación de una brida. Si no se autoriza lo proporcionado, entonces el valor de la temperatura máxima de operación deberá ser ajustar a la más alta a permitir para un estado estacionario o que presente trastornos operacionales.

Los valores máximos de esfuerzos permisibles para ciertos materiales de aleación decaen rápidamente con el aumento de temperatura, por ejemplo, el valor del esfuerzo permisible para la placa de acero inoxidable SA-240 grado 316L a 204 °C (400 °F) es 31 % menor que el valor de esfuerzo permisible a 38 °C (100 °F). Cuando esto ocurre, la temperatura permitida y la estabilidad de la operación en el proceso debe ser reconsiderada.

El valor del esfuerzo máximo permisible para muchos aceros al carbono y de baja aleación es constante entre -29 a 204 °C (-20 a 400 °F). Para tomar ventaja de esto, la temperatura de diseño puede ser aumentada en la mayoría de los casos, pero cuando es menor que la temperatura máxima el esfuerzo permisible es constante, ahí en fabricante puede actualizar el valor más alto permitido por el Código como una condición de manufactura.

El UG-21 sobre el diseño de presión.

Establece que los recipientes a presión deben estar diseñados para la condición más severa de presión y temperatura coincidentes esperadas en la operación normal. El Código

⁴ Temperaturas superiores a la del ambiente.





CONSIDERACIONES DE DISEÑO

también establece que la máxima diferencia de presión entre el interior y el exterior o entre las cámaras, debe ser considerada.

Más allá de las pautas mencionadas anteriormente, el Código no da ninguna orientación para determinar la presión de diseño. En general, la presión de diseño es establecida por la adición asignada de presión máxima ya sea interna o externa a la cual opere el recipiente a presión sin dejar de cumplir su operación normal. La presión de diseño debe ser lo suficientemente superior a la condición de operación prevista, sin necesidad de activar los dispositivos de seguridad por una sobrepresión.

Para los recipientes a presión que solamente este sometidos a presión interna, la presión de diseño normalmente no menor a la presión máxima de operación más aproximadamente el 10 % ó 2 Kg/cm^2 (30 psi) lo que sea mayor. Los recipientes sometidos a presión externa deben ser diseñados para vacío completo, así como el diseño implícito para una mínima presión interna que comúnmente es de 1.75 a 3.5 Kg/cm^2 (25 a 50 psi).

Muchos recipientes son diseñados con cámaras sometidas a diferentes presiones. Los ejemplos más comunes son los intercambiadores de calor y recipientes encaquetados. Uno debe considerar y estimar los parámetros de operación, incluyendo el arranque y paró, antes de establecer los valores de una presión diferencial. Como una pauta general, a menos que el proceso sea muy estable, los recipientes encaquetados sometidos a presión externa deben estar diseñados para la presión máxima prevista más el 10 % como el factor de seguridad para cualquier recipiente a presión interna.

El UG-22 dirigido a las cargas.

El ingeniero en diseño requiere considerar todas las cargas que actúan sobre el recipiente.

Las cargas deberán incluir las que a partir de:

- ❖ Presión interna y externa.
- ❖ Peso del recipiente vacío y contenido, incluyendo la prueba de carga estática.
- ❖ Pesos de accesorios.
- ❖ Accesorios interiores.





- ❖ Accesorios de apoyo del recipiente.
- ❖ Reacciones cíclicas y dinámicas debido a cargas térmicas o mecánicas.
- ❖ Cargas sísmicas, vientos y nieve.
- ❖ Reacciones impacto, como por ejemplo los golpes de ariete.
- ❖ Los gradientes de temperatura y la expansión térmica diferencial.
- ❖ Las presiones anormales, incluyendo aquellas causadas por la deflagración.

Este requisito comúnmente es pasado por alto, desde que el Código no proporciona una orientación al diseño o fórmulas para otras cargas distintas a la presión interna o externa, muchos diseñadores no toman en cuenta este requisito (“Interpretación VIII-1-86-191 la carga estática se ha de considerar en un recipiente a presión de forma horizontal y que la división no proporciona reglas específicas sobre cómo esto se hace”) (“Interpretación VIII-1-89-143 indica que el espesor de diseño de un recipiente deberá ser suficiente para dar cabida a los esfuerzos impuestos por los dispositivos de protección de daños fijados a la envolvente.”) (“Interpretación VIII-1-95-82 indica que el diseño debe tener en cuenta todas las cargas, incluyendo la prueba hidrostática.”).

Un reactor batch proporciona un ejemplo sin presión que cuenta con cargas significativas. Tales operaciones incluyen a menudo ambos ciclos de presión y temperatura. En tales casos, el diseñador debe tener en cuenta que, dependiendo del número y magnitud de los ciclos de presión y temperatura, el recipiente podría fallar potencialmente por la impotencia si estos ciclos no son contemplados en el diseño.

El UG-23 valores de esfuerzo máximo permisible.

Los materiales pueden ser utilizados para la construcción en el Código los recipientes a presión se en listan en la subsección C.

En general, el esfuerzo máximo permisible de tensión para los diferentes materiales proporcionados en la sección II, parte D son establecidos los valores de forma que cuando el recipiente trabaje fuera del intervalo de operación exista la posibilidad de que sufra un arrastre o fisura, para que el material en general no experimente un rendimiento cercano a un esfuerzo de tensión. En el intervalo de temperaturas entre la ruptura o arrastre, el





CONSIDERACIONES DE DISEÑO

esfuerzo de tensión permisible es seleccionado para asegurar que sea la menor o que el esfuerzo permisible tenga una vida útil razonablemente duradera. Los esfuerzos permisibles para la UCI, UCD y materiales ULT están listados en las respectivas partes del Código.

Criterios para los materiales ferrosos y no ferrosos ya sean forjados o fundidos, a excepción de los pernos, los diferentes grados estructurales de placa y los aceros dúctiles.

A temperaturas por debajo del intervalo de arrastre/fisura, el más pequeño de:

- ❖ $1/_{3.5}$ de la fuerza de tensión mínima especificada.
- ❖ $1/_{3.5}$ de la fuerza de tensión a temperatura.
- ❖ $2/3$ del límite elástico mínimo especificado.
- ❖ $2/3$ del límite elástico a temperatura.

El factor sobre límite elástico puede ser 0.9 para ciertos aceros inoxidable austeníticos y aleaciones de níquel donde a mayor deformación se puede tolerar. Pernos y bridas están excluidos.

A temperaturas por debajo del rango de arrastre/ruptura, el más pequeño de:

- ❖ El esfuerzo promedio de arrastre a razón de 0.01 % en 1000 horas (suponiendo que 1 % es igual a 100000 horas).
- ❖ El 80 % del mínimo esfuerzo a producir una fisura al término de 100000 horas.
- ❖ El 67 % del esfuerzo promedio a producir una fisura al término de 100000 horas.

Los criterios específicos para otros materiales y formas de productos son dados en el apéndice A de la sección II parte D, en las tablas A1 y A2 de la sección II parte D se muestran los esfuerzos permisibles de tensión para cada material gradualmente con incrementos de temperatura de 28 °C (50 °F) véase tabla 2.1.





Esfuerzo permisible de compresión longitudinal.

Para la sección VIII, división 1 el valor más pequeño del esfuerzo máximo permisible de tensión esta dado en tablas o por el factor B valor tomado del gráfico de presión externa sección II, parte D subparte 3. Dicho factor está en función del radio externo y el espesor del cascarón, y se deriva de las condiciones por flexión. Véase la figura 2.2 para mayor información del procedimiento a través de un diagrama de flujo.

El espesor de un recipiente debe ser determinado de tal manera que cualquier combinación de cargas en listada en el UG-22 que ocurra simultáneamente durante operación normal sin producir un esfuerzo mayor primario en el cascarón que el esfuerzo permisible de tensión.

Si existen flexiones, entonces primordialmente las cargas no deberán producir su esfuerzo máximo en el cascarón, estará combinado a través del espesor superior $1 \frac{1}{2}$ veces el esfuerzo máximo permisible.

Cuando la carga es al azar, como por ejemplo sísmica o de viento, se combinan con otras, en general el esfuerzo máximo en la envoltura principal podrá incrementarse hasta 1.2 veces el esfuerzo máximo permisible o de compresión.

Las cargas sísmicas y de viento no necesitan ser considerados que actúen simultáneamente. Los valores máximos permisibles de la tensión deben ser los indicados para la temperatura a la que el metal será operado. Los valores esfuerzos máximos en las tablas y los factores B en las listas de presión externas pueden interpolar a temperaturas intermedias.





CONSIDERACIONES DE DISEÑO

No. de Línea.	Esfuerzo máximo permisible, ksi (multiplicar por 1000 para obtener psi), para la temperatura del metal, °F, que no exceda de:											
	-20 a 100	400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
12	20.0	20.0	19.6	18.4	17.8	17.2	14.8	12	9.3	6.7	4	2.5
13	20.0	20.0	19.6	18.4	17.8	17.2	14.8	12	9.3	6.7	4	2.5
14	20.0	20.0	19.6	18.4	17.8	17.2	14.8	12	9.3	6.7	4	2.5
15	20.0	20.0	19.6	18.4	17.8	17.2	14.8	12	9.3	6.7	4	2.5
16	20.0	20.0	19.6	18.4	17.8	17.2	14.8	12	9.3	6.7	4	2.5
17	20.0	20.0	19.6	18.4	17.8	17.2	14.8	12	9.3	6.7	4	2.5
18	20.0	20.0	20.0	19.4	18.8	18.1	14.8	12	9.3	6.7	4	2.5
19	20.0	20.0	20.0	19.4	18.8	18.1	14.8	12	9.3	6.7	4	2.5
20	20.0	20.0	20.0	19.4	18.8	18.1	14.8	12	9.3	---	---	---
21	20.0	20.0	20.0	19.4	18.8	18.1	---	---	---	---	---	---
22	20.0	20.0	20.0	19.4	18.8	18.1	---	---	---	---	---	---
23	20.0	20.0	20.0	19.4	18.8	18.1	---	---	---	---	---	---
24	20.0	20.0	20.0	19.4	18.8	18.1	---	---	---	---	---	---

Tabla 2.1 Ilustración de los esfuerzos máximos permitidos.



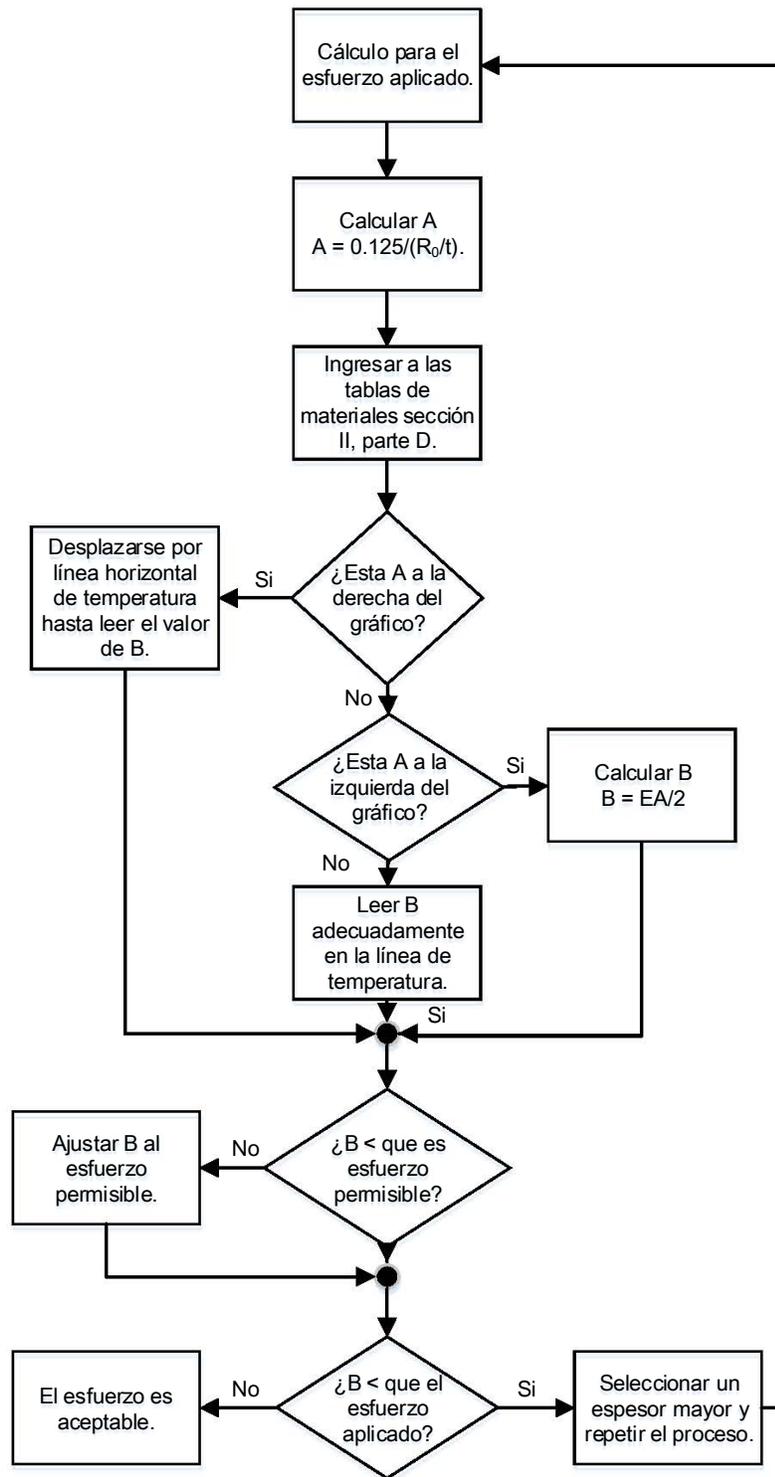


Figura 2.2 Diagrama de flujo del procedimiento de compresión longitudinal.





El UG-24 para fundiciones.

Detalla el mecanizado adicional y el reconocimiento que debe realizarse antes de usar un factor de calidad mayor a 80 % en fundiciones. El factor de calidad que deberá ser utilizado es el proporcionado por el Código que requieren una eficiencia o el valor "E".

Los requisitos para el uso de un factor de calidad superior al 80 % se enumeran a continuación:

- ❖ Todas las superficies de piezas moldeadas se mecanizan después del tratamiento térmico a un acabado no muy grueso de 6.35 micromilímetros (250 micropulgadas), y se aplicará un factor no superior al 85 %.
- ❖ Para las piezas de hierro fundido o dúctiles no ferrosos, puede ser si se aplica un factor no mayor al 90 %, además de lo siguiente:
 1. Todas las superficies se someten a un minucioso examen libre de defectos,
 2. Al menos tres piezas piloto del primer lote de cinco para un diseño nuevo o alterado, se dividen en secciones para el radiografiado en todas las secciones críticas revelando cualquier defecto,
 3. Una pieza fundida tomada adicionalmente al azar de cada lote subsiguiente de cinco, se secciona y se examina radiográficamente con el objetivo de no revelar defectos y
 4. Todas las piezas fundidas que no sean seleccionadas para el radiografiado se examinan mediante técnica magnética o de líquidos penetrantes.
- ❖ Para materiales dúctiles de hierro fundido y no ferrosos puede ser utilizado un factor que no exceda del 90 % para una sola pieza si se examina radiográficamente en todos los tramos críticos y se encuentra libre de defectos.
- ❖ Para aceros al carbón y aleaciones de baja y alta, los siguientes factores pueden ser utilizados si se realizan exámenes adicionales:





1. Por el proceso de fundición centrifugada, puede ser utilizado un factor del 90 % si la fundición es por partícula magnética y es examinada por líquidos penetrantes.
 2. Por el proceso de fundición centrifugada, puede ser utilizado un factor del 100 % cuando se aplican los requisitos del apéndice 7.
- ❖ Los siguientes requisitos se aplican a los procesos de fundición en los recipientes que maneja sustancias letales:
 1. Se prohíbe hierro fundido y dúctil.
 2. Cada material por fundición no ferroso debe ser radiografiado en todas las secciones críticas sin detallar defectos. Puede ser utilizado un factor de calidad del 90 %.
 3. La fundición de acero deberán ser examinado de acuerdo con el apéndice 7 para aplicaciones dirigidas a un servicio altamente letal. El factor de calidad no podrá ser igual al 100 %.
 - ❖ Cuando los defectos han sido reparados por soldadura, después de la reparación completa deberán ser reexaminados, para obtener un factor de calidad del 90 % ó 100 %.
 - ❖ Para cada pieza elaborada por el proceso de fundición con un factor de calidad superior al 80% deberá estar etiquetada con nombre, marca comercial u otra identificación del fabricante, así como la identificación del factor de calidad y denominación de material.

El UG-25 se dirige a la corrosión.

Se deben tomar las medidas para asegurar la vida útil deseada de un recipiente a presión o de una pieza cuando se somete a un desgaste debido a la corrosión, erosión o abrasión mecánica. La acción consiste en agregar un margen de corrosión al espesor, que sería el aumento del grueso en la placa, sobre la que se requiere de por medio utilizando las fórmulas de diseño o algún otro medio para la pérdida del espesor, tal como un revestimiento metálico. Los recipientes a presión que estarán sometidos a la corrosión deben ser diseñados con un tubo de drenaje o desagüe para drenar la acumulación de líquidos en el punto más bajo del mismo. Los orificios pequeños, que tiene un diámetro de 1.6 a 4.8 mm ($1/16$ a $3/16$ pulgadas) y una profundidad no menor al 80 % del espesor





equivalente al cascarón sin costura, se puede utilizar para detectar la pérdida de espesor. No se recomiendan estos orificios, llamados mirillas de aviso, aunque este permitido por el Código. Los orificios de aviso se encuentran en la superficie opuesta a la superficie que experimentara la pérdida de metal. El usuario o su representante deberán especificar los límites de corrosión. Cuando no se proporciona ninguna tolerancia para la corrosión, se deberá indicar en el informe de datos. No se considerará la contribución de la fuerza resistente a la corrosión o los revestimientos resistentes a la abrasión a menos que el revestimiento está diseñado de acuerdo con la parte UCL.

2.3 SOLDADURA

La parte UW (unfired welded por sus siglas en ingles “soldadura sin fuego directo”) contiene las reglas de construcción de recipientes por soldadura a presión. Estas reglas son utilizadas en tándem con los requisitos generales y de los materiales de la subsección A y C respectivamente provenientes del Código.

La UW-9 sólo permite la soldadura a tope para ser utilizado en el proceso a presión en el listado UW-27(b), es decir: soldadura flash, soldadura por inducción, soldadura por resistencia, soldadura por gas, soldadura por presión térmica, soldadura por gases inertes y soldadura por explosivo.⁵ En todos estos procesos, la presión o golpes se imparten a los materiales durante el proceso de fusión.

El UW-3 clasifica el sistema de unión por soldadura.

En el Código son proporcionados los requisitos de soldadura acorde con el esfuerzo principal debido a la presurización interna. Están dominadas y definidas cuatro condiciones de esfuerzo geométrico como categorías A, B, C y D.

La UW-3 esta complementada con la figura que se muestra a continuación dando varias definiciones a las localizaciones de las uniones.

⁵ Soldadura por explosivo - es un proceso de soldadura en estado sólido que produce coalescencia mediante la aplicación de presión proveniente de una explosión.



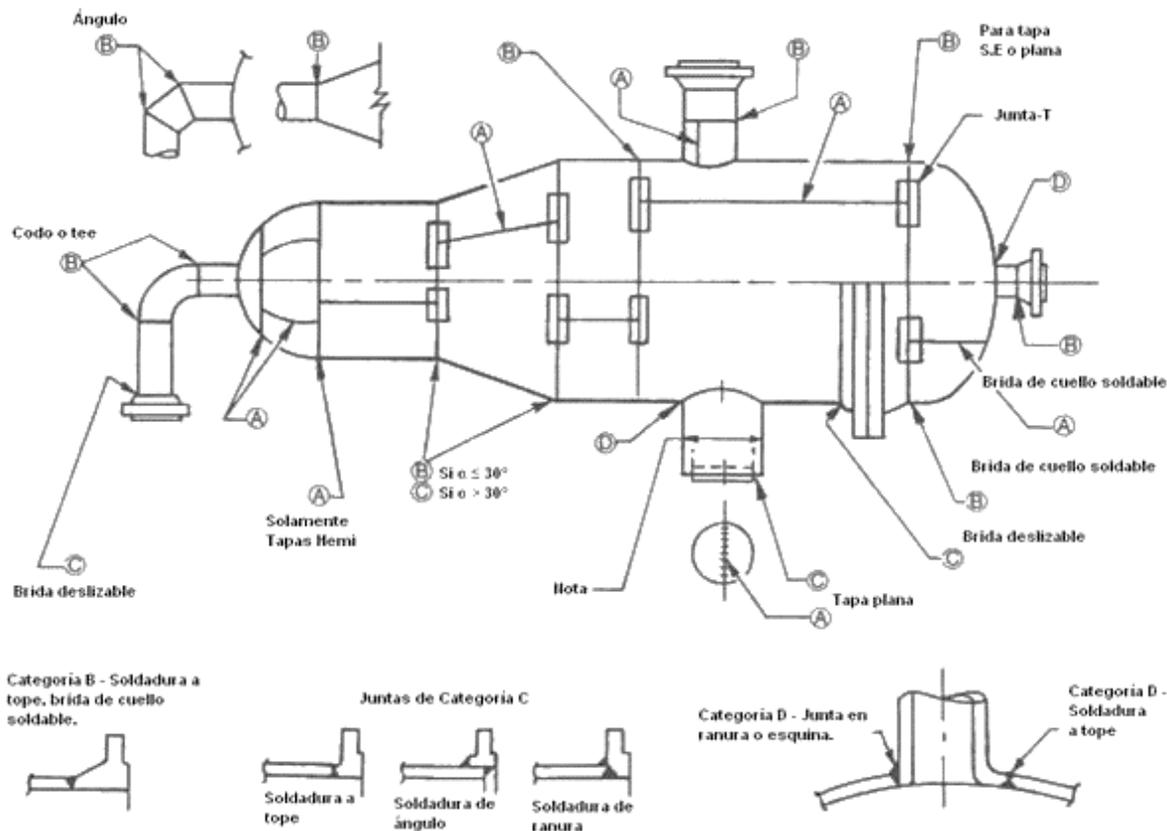
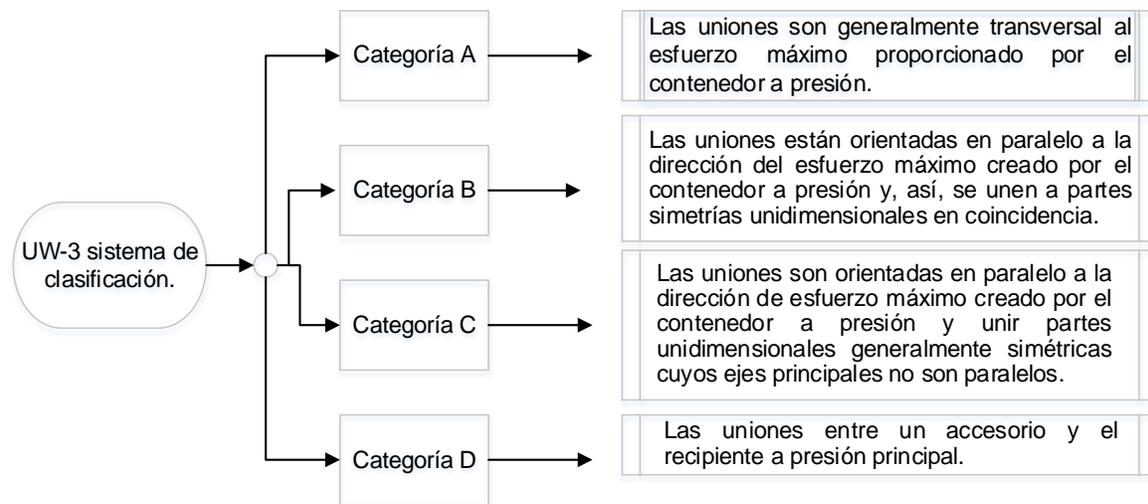


Figura 2.3 UW-3 Ilustración de las localizaciones típicas de uniones por soldadura.

Nota: Cualquier categoría B o C de soldadura a tope en boquilla o entre la comunicación de cámaras de un recipiente a presión o sus partes las cuales tienen una junta de eficiencia de 1.0 y superior a las 10 pulgadas de diámetro nominal o 1 1/8 pulgadas en grosor de pared y deberá ser radiografiada por completo véase el Código sección UW-11(a) (4).





Diseño de uniones por soldadura.

Varias configuraciones de uniones por soldadura ya sea por arco o gas son permitidas. Estas configuraciones incluyen uniones a tope, desplazable, de esquina, de tee y de borde.

La UW-12 eficiencia por soldadura.

Detalla el tipo de proceso y los grados de examinación asignando una eficiencia como un factor de confiabilidad para las uniones por soldadura. Este factor es designado en base a la composición del material, un ejemplo es un producto forjado como base estándar representando la eficiencia de 1.

En la tabla UW-12 se en listan varios tipos de eficiencias para las uniones que se utilizan, detalles y el grado de examinación radiográfica. Para las juntas por soldadura cargadas solo por compresión, no requieren una prueba radiográfica y la eficiencia máxima es de 1. En la tabla UW-12 se identifican seis tipos de soldaduras por gas o arco.

El tipo 1 de uniones puede ser utilizado para aplicar en todas las juntas de “soldadura a tope” y se muestra en la figura 2.4.1 Si estas soldaduras son examinadas radiográficamente en toda su longitud y cumplen los requisitos de calidad del Código con o sin reparaciones, su consideran estructuras equivalentes a las forjadas y se le asignan en consecuencia un factor de eficiencia de 1, si solo se examina una proporción de longitud, su máximo valor de eficiencia es de 0.85 y si solo se hace una inspección visual el valor máximo es de 0.7 Todas las soldaduras deben ser examinadas visualmente.

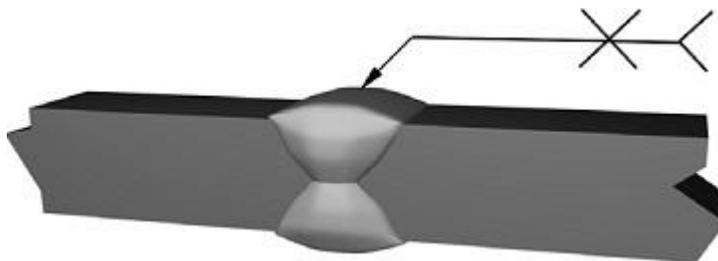


Figura 2.4.1 Unión por soldadura de tipo 1.



El tipo 2 de soldaduras a tope también son capaces de proporcionar una buena integridad estructural. En este caso, el metal de soldadura se deposita sobre el respaldo para hacer la soldadura por un solo lado. El material de soporte que se utilizará debe ser especificado en el procedimiento de soldadura. Detallar este procedimiento de soldadura deja un concentrador de esfuerzos en la raíz de como se muestra en la figura 2.4.2. Puede utilizarse para todas las categorías de soldadura. Debido a la reducción de la sensibilidad radiográfica y la concentración de esfuerzos en la raíz de la soldadura, tiene una menor eficiencia. Para la examinación completa radiográfica, el valor máximo es de 0.90, por puntos su valor máximo es de 0.80 y sin una examinación radiográfica deberá ser de 0.65, la tira de respaldo no es recomendable sobre entornos corrosivos.

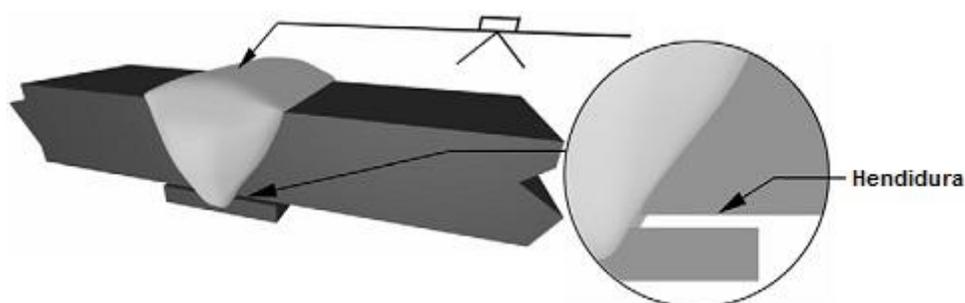


Figura 2.4.2 Unión por soldadura de tipo 2.

El tipo 3 se limitan a la soldadura a tope circunferencial para las juntas en las categorías A, B y C. Estas soldaduras se realizan en un solo lado sin solera de respaldo. Esto requiere que la soldadura fundida sea depositada en forma de puente entre los dos lados a tope, de tal manera este tipo de uniones son susceptibles a la fusión pobre o incompleta para el metal. Esta imperfección tiene característica de una grieta y regularmente puede ser difícil detectar la unión. La categoría D tiene baja sensibilidad a la inspección y por lo tanto el soldeo debe hacerse de un solo lado sin una banda de respaldo (soldaduras del tipo 3), no serán utilizadas en boquillas y cámaras en comunicación con la principal del recipiente a presión.

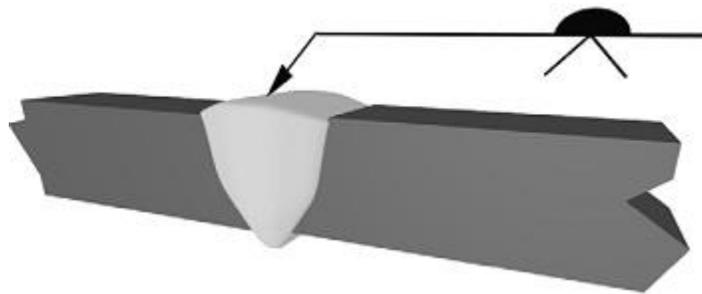
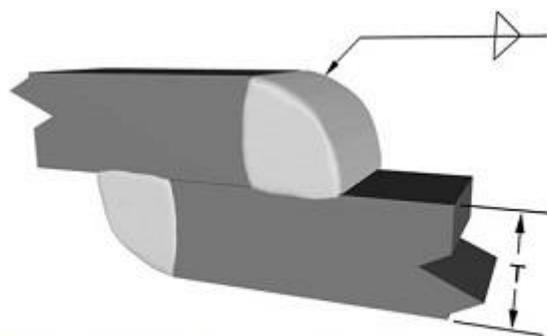


Figura 2.4.3 Unión por soldadura de tipo 3.

El tipo 4 de soldadura se limita en las uniones en las categorías A, B y C se hacen con material traslapado y la colocación de las soldaduras en ángulo, ya sea en la cara final de la vuelta. Este tipo de soldadura se ilustra en la figura 2.4.4, los resultados de una imagen de la película radiográfica en que es difícil de interpretar debido al grosor del espesor en el área de interés. En consecuencia, las uniones del tipo 4 no se consideran por no llevar a cabo una examinación radiográfica. Una eficiencia máxima, utilizando este tipo de configuración es del 0.55 ya que está limitado a la inspección, los riesgos de penetración son por la soldadura incompleta y el posible evento de separarse. El requisito para una penetración de soldadura de raíz se indica en la UW-36. Para utilizar las uniones del tipo 4 en juntas circunferenciales el espesor máximo es 13 mm (1/2 pulgada), el usuario podrá tomar precauciones y seguir los requisitos para examinaciones de pruebas no destructivas en unión de ángulos dados en el UG-93(d) (3).



T = 9.5 mm (3/8 in.) máximo para juntas longitudinales.
T = 16 mm (5/8 in.) máximo para juntas circunferenciales.

Figura 2.4.4 Unión por soldadura de tipo 4.



El tipo 5 se le conoce como juntas traslapadas, pero se limitan en la ubicación de la categoría B y C. Usan soldadura tapón, en lugar de un segundo filete de soldadura para fijar el extremo del traslape. La soldadura tapón no hace un refuerzo en la unión, y esto permite cierta distinción de la soldadura filete en la zona de trabajo. Por lo tanto, las uniones del tipo 5 su valor máximo de eficiencia es del 50 %. El diámetro máximo para la fijación de una tapa al cascarón es de 610 mm (24 pulgadas) (configuración de la categoría B). No se debe utilizar este tipo de uniones en la fijación de tapas hemisféricas al cascarón. Las tapas hemisféricas se manufacturan por soldadura, por lo que, se corta la tapa y a la tapa, costura soldaduras.

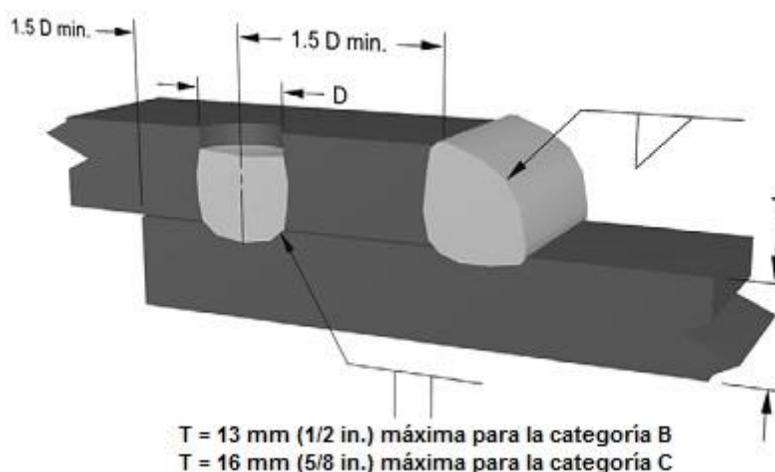


Figura 2.4.5 Unión por soldadura de tipo 5.

El tipo 6 de uniones por soldadura traslapada de un solo filete. Es aplicable a cualquiera de las categorías A o B. Debido a que no hay resistencia a la flexión en la raíz de la soldadura, la eficiencia máxima es del 45 %. Cuando es solo una junta de traslape se utiliza para fijar una tapa que solo es presurizada sobre su lado cóncavo, el espesor máximo del cascarón deberá ser 16 mm (5/8 pulgada) o menos y el filete de soldadura deberá ser interno como se muestra en la figura 2.4.6.1. Alternativamente si el diámetro es de 610 mm (24 pulgadas) o menos y el espesor es de 6.4 mm (1/4 pulgada) o menos entonces la soldadura puede ser sobre la brida de la tapa como se muestra en la figura 2.4.6.2.



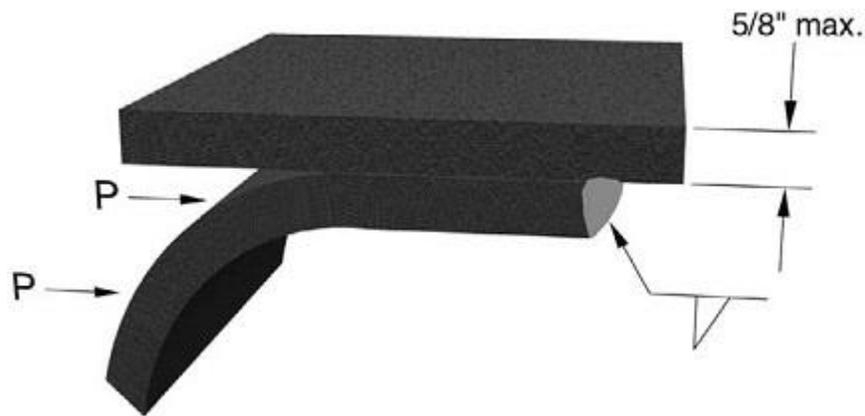


Figura 2.4.6.1 Unión por soldadura cascarón-tapa de tipo 6.

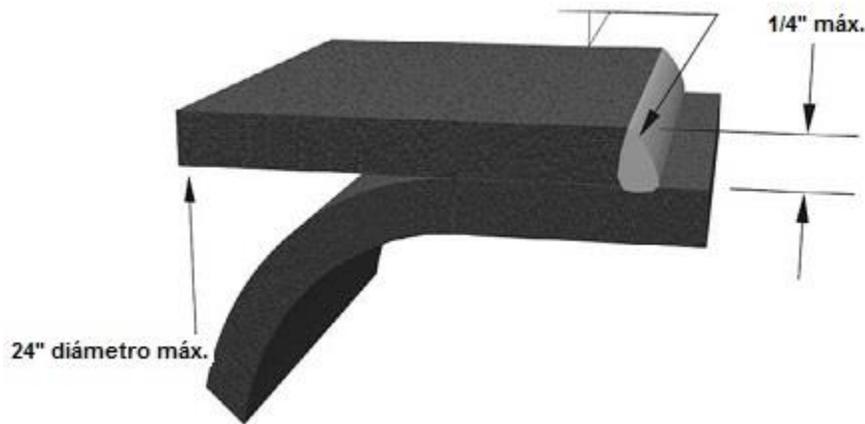


Figura 2.4.6.2 Unión por soldadura opción alterna cascarón-tapa de tipo 6.

Los números-P.

Los materiales se consideran en base a su localización soldable y a estos se les asigna una agrupación y los nombran P-número. Los materiales aprobados para la construcción por el Código son designados por la sección II y IX. Hay algunos materiales que no están mencionados en el Código pero que se utilizan en tuberías, tanques y otro tipo de estructuras y, estos materiales también se denominan con P-número o en algunos casos especiales se dan como S-número. Estos materiales no deben ser utilizados para recipientes a presión, ya que no son aprobados o tienen limitaciones que no cumplen con ciertos criterios para la construcción.



Dentro de la asignación del P-número, las propiedades de algunos de los materiales pueden ser alterados por el calor de la soldadura, también el calor puede alterar las propiedades mecánicas. Esta asignación numérica considera el método de fabricación del material. Un ejemplo, los aceros al carbón son los más comunes para la construcción de recipientes a presión y se les asigna un P-número 1. Dentro de esta categoría de materiales se encuentran los productos enrollados, fundidos y forjados. Las estructuras de energía interna y graduado de los productos pueden variar debido a la historia del proceso, incluso si la química es muy similar. Esto afecta a la tenacidad del material y la entrada de calor. En consecuencia los materiales P-número se dividen en 3 subgrupos, los mismos pueden afectar la especificación del procedimiento de soldadura. Por ejemplo, SA-106 grado B es un material para tubería comúnmente utilizado en la fabricación de recipientes a presión. La clasificación la hace el comité del Código como material P-número 1 grupo 1, la cual puede tener una brida de cuello soldable tal como la brida SA-105, la cual se clasifica como material P-número 1 grupo 2. La sección IX del ASME requiere el procedimiento de soldadura para unir la tubería a la brida del desarrollador para unir el material del grupo 1 al material del grupo 2.





Tipos de juntas de soldadura		Eficiencia de la junta, E. Cuando la junta:			Limitaciones en la aplicación con varios tipos de soldadura	Notas								
Tipos de uniones. Norma UW-12.		a. Radio- grafiado completo.	b. Radio- grafiado por puntos.	c. Sin radio- grafiado.										
1	Soldadura a tope unida por ambos lados o bien por otro método con lo cual se obtenga la misma calidad del metal. Si se usa solera de respaldo deberá ser retirada después de la aplicación.	1.00	0.85	0.70	Para el tipo 1. ND Para el tipo 2. ND Excepto para soldadura a tope con placas	1. En esta tabla se muestran los tipos de juntas de soldadura que son permitidas en el Código.								
2	Soldadura simple a tope con solera de respaldo la cual permanecerá en el interior del recipiente.	0.90	0.80	0.65	Para el tipo 3. Solo uniones circunferenciales no mayores de 5/8 pulgada. En grosor y 24 pulgadas en diámetro externo.	2. El perfil de los bordes para ser unidas por soldadura a tope deberán permitir la fusión completa.								
3	Unión simple por un solo lado sin solera de respaldo.	---	---	0.60	Para el tipo 4. Solo uniones longitudinales, no mayores a 3/8 pulgada en grosor. Solo uniones circunferenciales, no mayores a 5/8 pulgada en grosor.	3. Soldadura a tope debe estar libre de retenciones, superposiciones o arrugas abruptas para asegurar que la ranura soldable sea completamente cubierta, el metal de soldadura puede ser construido como refuerzo. El espesor del esfuerzo no deberá exceder los siguientes:								
4	Unión traslapada con doble filete.	---	---	0.55	Para el tipo 5. (a) Uniones circunferenciales para adjuntar tapas no mayores de 24 pulgadas a cascarones no mayores en 1/2 pulgadas en grosor. Las juntas para sujetar tapas hemisféricas a cascarones deben ser excluidas. (b) Uniones circunferenciales para adjuntar a cascarones enchaquetados no mayores 5/8 pulgada en espesor nominal del centro de la soldadura tapón a la orilla de la placa no menor a 1 1/2 veces el diámetro del agujero a tapar.	<table border="0"> <tr> <td>Espesor de la placa (pulgadas):</td> <td>Refuerzo Máx. (pulgadas):</td> </tr> <tr> <td>Hasta 1/2</td> <td>3/32</td> </tr> <tr> <td>De 1/2 a 1</td> <td>1/8</td> </tr> <tr> <td>Más de 1</td> <td>3/16</td> </tr> </table>	Espesor de la placa (pulgadas):	Refuerzo Máx. (pulgadas):	Hasta 1/2	3/32	De 1/2 a 1	1/8	Más de 1	3/16
Espesor de la placa (pulgadas):	Refuerzo Máx. (pulgadas):													
Hasta 1/2	3/32													
De 1/2 a 1	1/8													
Más de 1	3/16													
5	Unión traslapada con filete sencillo y tapón de soldadura.	---	---	0.50	Para el tipo 6. (a) Para sujetar tapas convexa al cascarón por presión no mayor a 5/8 pulgada de espesor requerido solo utilizando soldadura filete en el interior del cascarón.	4. Antes de soldar el segundo lado de una junta a tope, se debe eliminar las impurezas, astillas, molienda.								
6	Unión traslapada con filete sencillo sin tapón de soldadura.	---	---	0.45	(b) Para sujetar tapas que tienen presión en su interior en cascarones no mayores a 24 pulgadas en diámetro interno y 1/4 en espesor requerido con soldadura filete sobre el exterior.	5. Las juntas de eficiencias máximas permisibles dadas en esta tabla son utilizables en las fórmulas, cuando las uniones están hechas por procesos de soldadura por arco o de gas.								

2.2 Tabla del sumario del tipo de uniones.





CAPÍTULO III

3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una memoria de cálculo para la automatización del diseño de recipientes a presión en su forma geométrica cilíndrica horizontal, sin descuidar los parámetros de seguridad de manera precisa y eficiente de acuerdo a normatividad actualizada hasta el momento y aplicable en México.

3.2 OBJETIVOS PARTICULARES.

- ❖ A partir de la revisión de las normas NOM-020 de la STPS y la NRF-028 de PEMEX se comparó con el código ASME sección VIII división 1, para adecuar el criterio de diseño en el ambiente internacional.
- ❖ Elaborar una hoja de cálculo en MS Excel, para el diseño y cálculo de recipientes cilíndricos horizontales a presión en base al punto anterior.

ALCANCE

Calcular espesor (cascarón y tapas), presión de trabajo máxima permisible, selección de material y tipos de tapa.





CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

El propósito principal de un recipiente a presión es separar dos o más áreas de diferentes presiones. En la mayoría de los casos, los recipientes están sometidos a una presión interna mayor a la presión atmosférica o al exterior del recipiente.

La diferencia de presión entre el interior y el exterior del recipiente produce un esfuerzo en las paredes del recipiente. El proceso de diseño inherentemente implica un factor económico de la elección del espesor de pared de tal manera que el recipiente puede funcionar con seguridad por el esfuerzo producido. Con el fin de lograr esto, se deberán utilizar las fórmulas que relacionan la presión, el esfuerzo y espesor.

$$S_L = \frac{RP}{2t} \quad (\text{ecuación 4.1})$$

Esfuerzo longitudinal.

$$S_C = \frac{RP}{t} \quad (\text{ecuación 4.2})$$

Esfuerzo Circunferencial.

Dónde:

R = radio interno del cilindro.

t = espesor del cilindro.

P = presión interna.



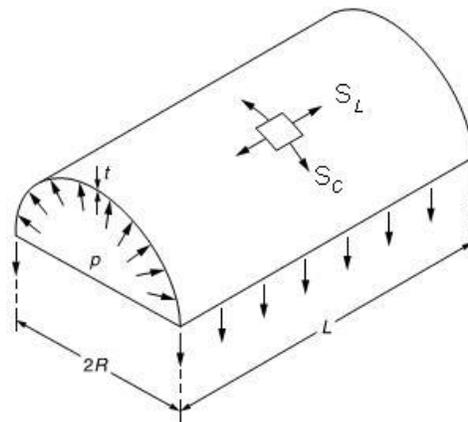


Figura 4.1 Esfuerzo longitudinal y circunferencial.

4.1 Espesor del cascarón bajo presión interna.

En el UG-27 son proporcionadas las fórmulas para determinar el espesor del recipiente cilindro para resistir la presión interna. Las cargas sin presión enlistadas en el UG-22 también deben ser consideradas y si es necesario incrementar el espesor o los refuerzos para prevenir un sobre esfuerzo.

Esfuerzo circunferencial.

Las fórmulas del código en el párrafo UG-27 son las mismas que las ecuaciones 4.1 y 4.2, con la excepción del factor de corrección en el denominador. Los factores de corrección sobre el espesor es la relación de radios entre la limitación de las fórmulas que hacen aplicables a una gama más amplia de espesores del recipiente a diseñar.

Se dan dos fórmulas para cada circunstancia: uno para determinar el espesor mínimo basado sobre la presión de diseño y otro para determinar la presión dado un espesor.

Para determinar el espesor (t) o la presión para junta longitudinal (P) (esfuerzo circunferencial) de un cilindro, donde el espesor no exceda la mitad del radio interno o que la presión (P) no exceda 0.385SE, es necesario implementar las siguientes ecuaciones:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad \text{o} \quad P = \frac{SEt}{R + 0.6t} \quad (\text{ecuaciones 4.3 y 4.4})$$



Dónde:

t = Espesor mínimo requerido del cascarón (pulgadas).

P = Presión de diseño (psi).

R = Radio interno (pulgada).

S = Valor de esfuerzo máximo permisible de tensión en (pulgadas) dados en la sección II, parte D

E = Eficiencia de la junta.

Esfuerzo longitudinal.

Para el esfuerzo longitudinal en la junta circunferencial de un cascarón cilíndrico son:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad o \quad P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad (\text{ecuaciones 4.5 y 4.6})$$

Las fórmulas 4.5 y 4.6 están limitadas a utilizarse cuando el espesor es menor que o igual a la mitad del radio interno o que la presión P no exceda 1.25SE. La notación es idéntica a la expuesta para las ecuaciones 4.3 y 4.4, las mismas ecuaciones frente a las 4.5 y 4.6 refleja el hecho que la junta longitudinal es de mayor resistencia que la junta circunferencial sobre recipientes a presión. En la página 20 del código ASME sección VIII división 1 que contiene la 16ª nota al pie de página de la parte UG señala que normalmente el esfuerzo circunferencial actúa sobre la junta longitudinal la cual es la que prevalece. Sin embargo, este no es el caso cuando la eficiencia de la junta circunferencial es menor que la mitad de la junta longitudinal o cuando otras cargas provocan grandes esfuerzos en la dirección longitudinal.

4.2 Espesor del cascarón bajo presión externa.

Como se observa en el principio de este capítulo, los esfuerzos de tensión se producen cuando un recipiente con un espesor delgado se somete a una presión interna. La posible fisura se controla por el esfuerzo de tensión limitando alguna porción del módulo de elasticidad o la fuerza de tensión del material. Cuando el mismo recipiente se somete a una presión externa, la tensión que predomine se convertirá en compresión y la inestabilidad del esfuerzo resultará con base en el material empleado por el nivel de límite de tensión.





El límite de pandeo depende de la curva esfuerzo-deformación del recipiente para el material y geometría del mismo. De hecho, si el recipiente queda fuera del campo de un recipiente de pared delgada, la falla puede ocurrir por rendimiento del material.

El procedimiento para determinar el espesor mínimo está basado en un diagrama geométrico (figura 4.2 G) y una serie de materiales similar como se muestra en el diagrama 4.3 CS-2 los cuales se dan en la subparte 3 de la sección II, parte D.

El procedimiento en UG-28 para determinar la presión externa máxima permisible de trabajo PEMPT (“MAEWP”) de un cilindro son dados en dos métodos: el primer método es para cilindros que tienen un valor de D_0/t mayor o igual a 10 y el segundo método es para cilindros que tienen D_0/t menor a 10. En cada caso, una cierta presión externa permisible es calculada en base al factor “B” el cual depende sobre el material, temperatura y geometría del recipiente.

Cilindros con $D_0/t \geq 10$.

Los pasos para determinar PEMPT son dados en la figura 4.4, los símbolos son definidos a continuación:

A = Factor determinado por la figura 4.2 G proporcionada en la sección II, parte D subparte 3.

B = Factor determinado del gráfico del material aplicable para máxima temperatura de diseño de metal.

D_0 = Diámetro externo de contorno del cascarón.

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

L = Longitud de la sección del recipiente sin soporte.



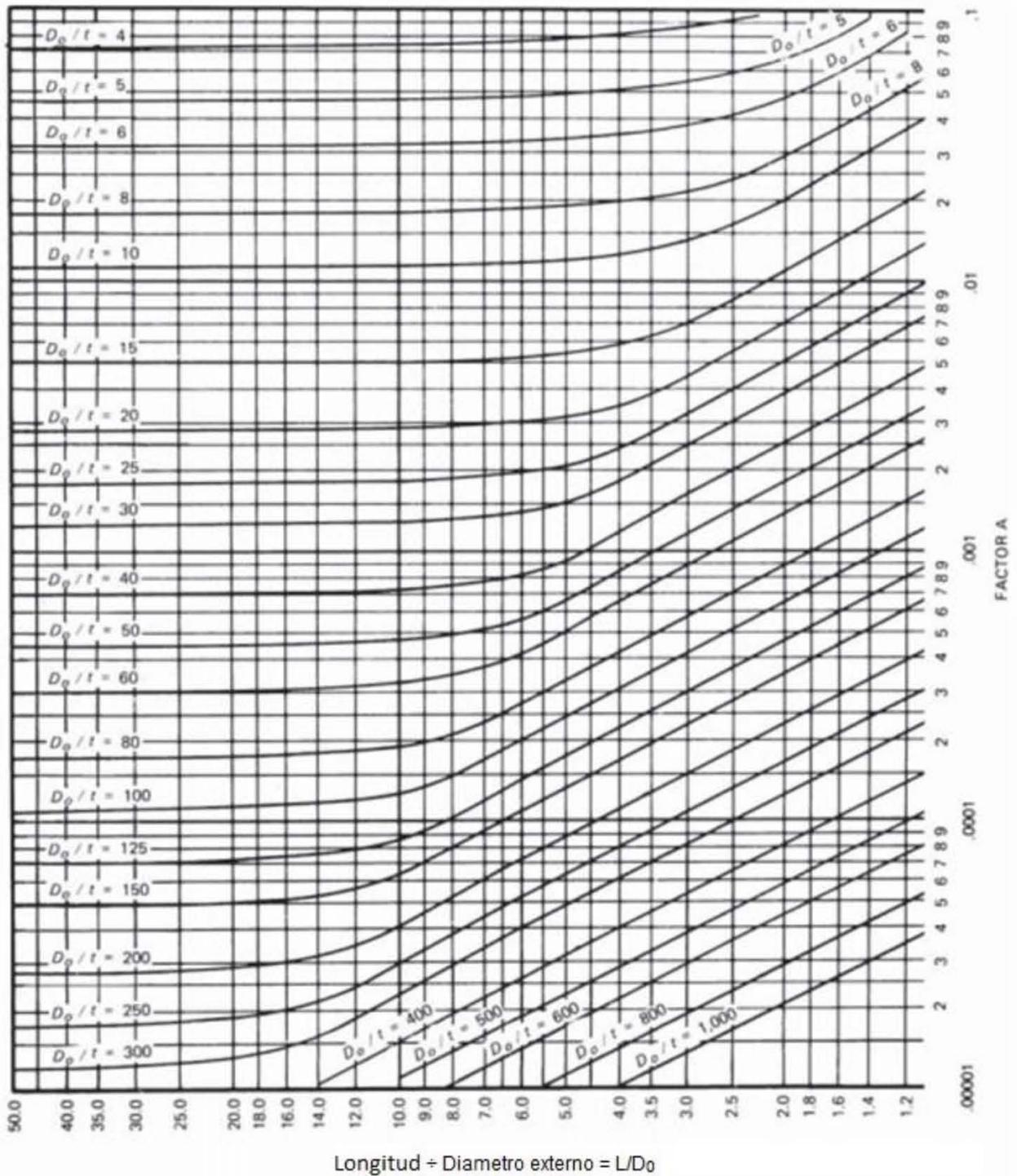


Figura 4.2 G⁶ Diagrama para componentes bajo presión externa.

⁶ Diagrama extraído del ASME Boiler & Pressure Vessel Code 2011a Addenda, Sección II parte D, propiedades de materiales subparte 3, pág, 748.



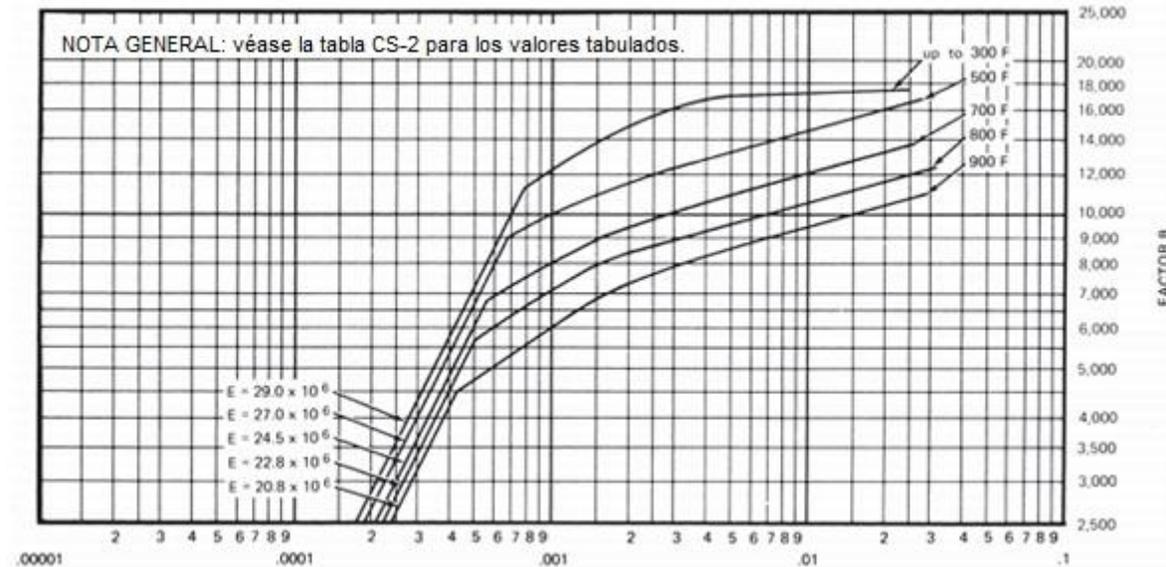


Figura 4.3 CS-27 Diagrama para determinar el espesor del cascarón bajo presión externa.

P = Presión externa de diseño.

P_a = A un valor t será la presión externa máxima permisible de trabajo.

R_0 = Radio externo.

t_{mr} = Espesor mínimo requerido.

t_n = Espesor nominal.

Paso 1: Es necesario determinar el D_0/t , y que el valor de (t) sea válido. Este espesor (t) inicial es necesario para satisfacer los requisitos de presión interna (UG-27).

Paso 2a: El valor de D_0/t y L/D_0 son usados en la figura 4.2 G para determinar. El límite superior de L/D_0 es igual a 50 si algún valor calculado es superior se ajustará a 50.

Paso 2b: El límite inferior de L/D_0 es 0.05 como en el paso anterior si el valor inferior es menor se ajustará al 0.05.

Paso 3: El valor de A es leído de la figura 4.2 G, la interpolación se permite para los valores de D_0/t que no caigan en las curvas.

⁷ Ibídem pág. 750.





Paso 4: Con el valor de A se ingresa al No. de diagrama de presión externa de acuerdo a las tablas de esfuerzos máximos permisibles 1A y 1B.

Paso 5: Pasar al paso 7 si el valor de A cae a la izquierda de las líneas de temperatura. Si el valor de A cae a la derecha de las líneas de temperatura desplazarse a la intersección con la línea horizontal proyectada en el límite superior.

Paso 6: Dada la fórmula puede ser calculada la presión externa máxima permisible con el valor de B.

Paso 7: El uso de esta fórmula es porque el valor de A cae del lado izquierdo y el valor de B no se puede leer.

Si la presión externa máxima permisible calculada en los pasos 6 ó 7 es menor que la presión externa (P) requerida, entonces el valor de t debe ser incrementado o el valor de L debe disminuir y repetir el procedimiento hasta que el valor de la presión externa permisible sea igual o mayor a P.

Cilindros con $D_0/t < 10$.

Los pasos para determinar PEMPT son dados en la figura 4.6 los símbolos son análogos al método anterior. Como el valor de D_0/t decrece, posibilidad del pandeo disminuye y el rendimiento del material aumenta.

Paso 1: Determinar las relaciones de D_0/t y L/D_0 , (t) es el espesor requerido o si no se tiene debe suponerse para el cálculo de la presión interna.



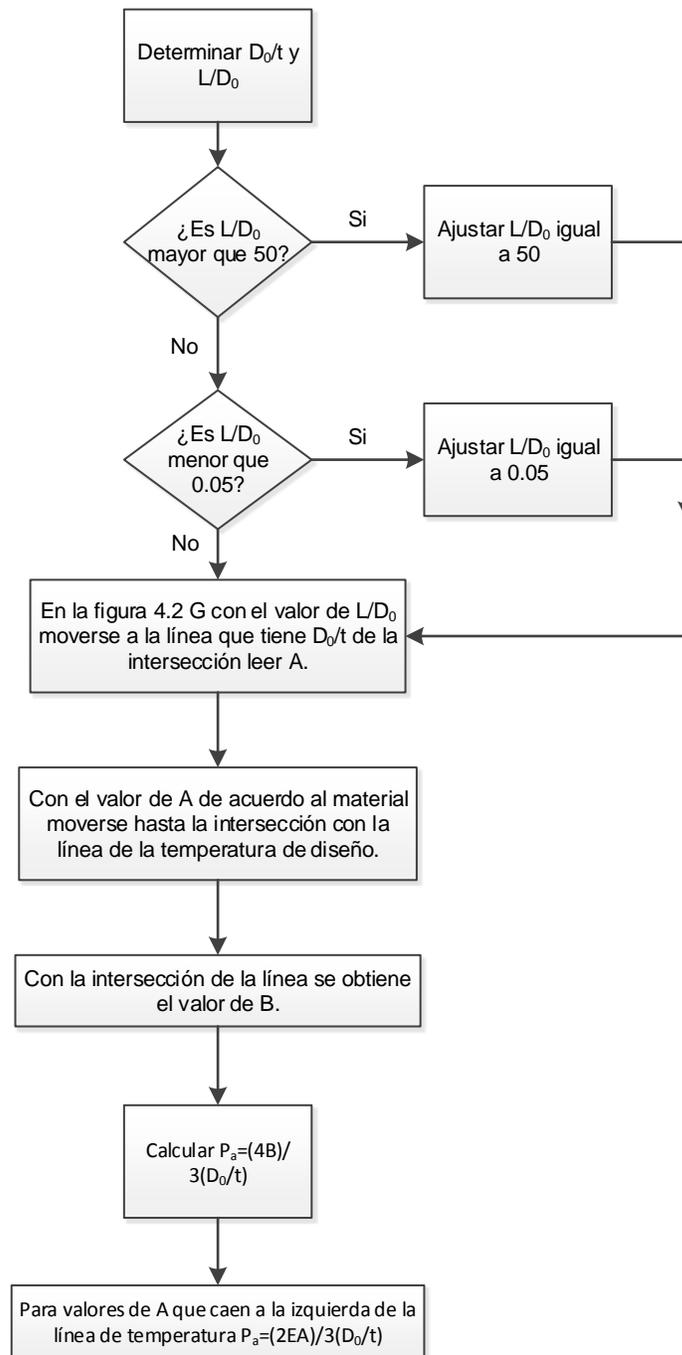


Figura 4.4 Procedimiento extraído del párrafo UG-28 para $D_0/t \geq 10$.

Paso 2: Verificar el valor de D_0/t si es menor que en la figura 4.2 G por debajo del límite de 4. Entonces usar la fórmula de A. Si la A calculada es mayor que el límite superior de 0.10, se ajustará al valor de 0.10.





Paso 3: Si D_0/t es mayor o igual a 4, usar los pasos del 1 hasta el 4 de la fig. 4.4 para determinar A.

Paso 4: Con el valor de A se ingresa al No. de diagrama de presión externa de acuerdo a las tablas de esfuerzos máximos permisibles 1A y 1B.

Paso 5: Si el valor de A cae a la derecha de las líneas de temperatura desplazarse a la intersección con la línea horizontal proyectada en el límite superior.

Paso 6: Calcular PEMPT, P_{a1} con el factor B.

Paso 7: Para el espesor de cilindros, la posibilidad de que el material será expuesto a un sobre esfuerzo previo a un pandeo mayor. Por lo tanto, la presión externa máxima permisible se basa en el menor esfuerzo de tensión permisible. El esfuerzo de tensión permisible a temperatura de diseño se toma de las tablas 1A o 1B de la sección II, parte D.

Paso 8: El valor de B^* debe ser igual a B obtenido por el desplazamiento horizontal hasta el límite superior con la línea de temperatura de diseño.

Paso 9: S es el valor más pequeño de S1 y S2.

Paso 10: Calcular P_{a2} , la presión externa máxima permisible es basada en el esfuerzo de tensión permisible y el límite elástico.

Paso 11: La presión externa máxima permisible para los recipientes es la menor de P_{a1} o P_{a2} .

Como con el procedimiento de $D_0/t \geq 10$, este proceso debe ser repetido con un valor (t) mayor o con una longitud menor (L) si la presión externa permisible es menor que la necesaria de presión externa de diseño.



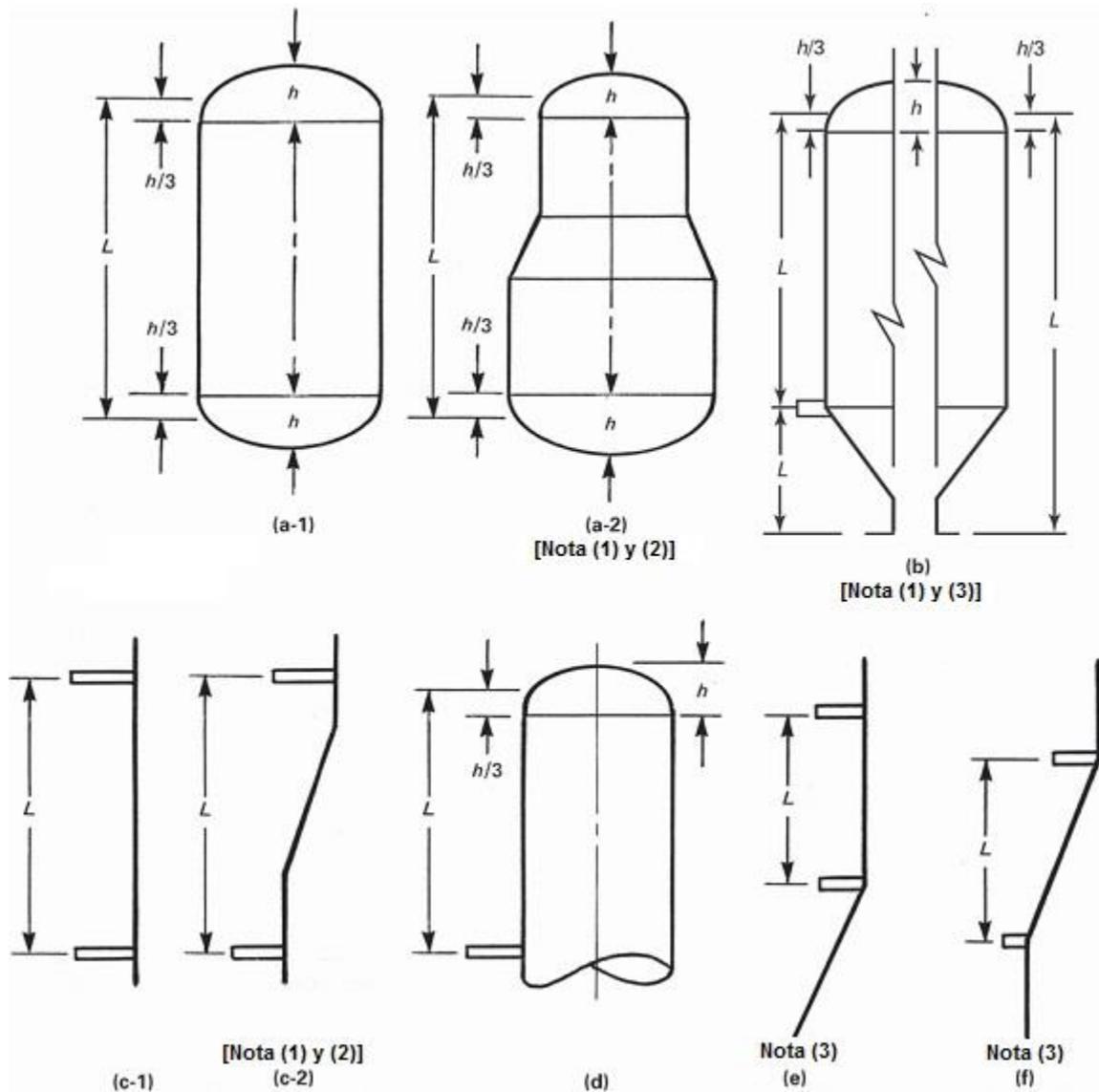


Figura 4.5 UG-28.1⁸ Representación gráfica de líneas de apoyo para el diseño de recipientes cilíndricos sometidos a presión externa.

Notas:

- (1) Cuando el cono se une con el cilindro o la conexión con el cilindro no es una línea de apoyo, el espesor nominal del cono, placa o sección toricónica no deberá ser menor que el espesor mínimo requerido de la cascarón cilíndrico adyacente. También, deberá satisfacer el requisito de refuerzo del apéndice obligatorio 1-8 cuando una conexión no se proporciona en la unión de cono y el cilindro.
- (2) Los cálculos se realizan mediante el diámetro y el espesor correspondiente de cada sección cilíndrica con dimensión (L) como se muestra. Los espesores de las secciones de transición se basan en la Nota (1).

⁸ Gráfico extraído del ASME Boiler & Pressure Vessel Code 2011a Addenda, Sección VIII div. 1. Reglas para la construcción de recipientes a presión, pág. 22.





- (3) Cuando el cono se une con el cilindro o la conexión con el cilindro es una línea de apoyo, el momento de inercia se proporcionará en conformidad con el apéndice obligatorio 1-8 [véase UG-33 (f)]

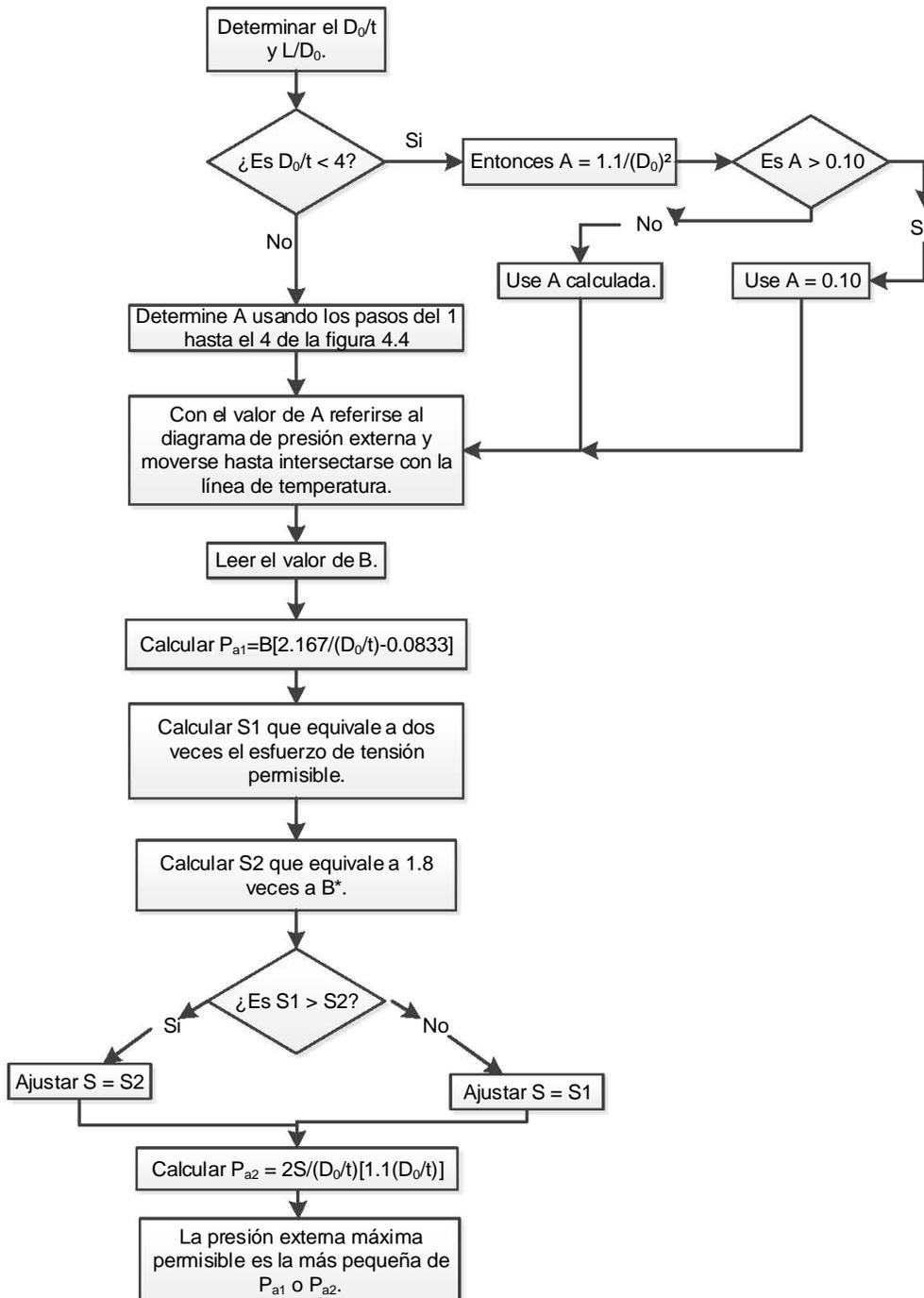


Figura 4.6 Procedimiento extraído del párrafo UG-28 para $D_0/t < 10$.





El párrafo UG-28 requiere que la presión externa máxima permisible de trabajo no sea menor que la máxima esperada en operación entre la diferencia del exterior e interior del recipiente en cualquier momento. El cilindro tiene una junta de recubrimiento longitudinal, entonces los cálculos del espesor externo se basa en $2P$ en lugar de P .

Los refuerzos u otros medios de apoyó pueden ser utilizados para prevenir una sobrepresión o una distorsión mayor. Si la cámara a presión está sometida a presión externa en forma distinta que el cilindro o las tapas deben tener tirantes o tener la prueba de calidad acorde con la UG-101(p).

UG-29 Los anillos de refuerzo para cascarones cilíndricos bajo presión externa.

El código ASME facilita dos métodos para el dimensionamiento de anillos de refuerzo. Método (a) basado en anillos de refuerzo aportando un refuerzo completo adicional. Método (b) basado en una combinación anillo/cascarón facilitando un refuerzo adicional. En ambos métodos se necesita suponer un tamaño inicial y la forma del anillo.

(a) Un solo anillo de refuerzo.

1) Determinar B , donde:

$$B = 3/4 \left[\frac{PD_0}{t + \left(\frac{A_s}{L_s}\right)} \right] \quad (\text{ecuación 4.7})$$

A_s = Área transversal del anillo de refuerzo, pulgadas cuadradas (in^2).

L_s = La distancia entre ambas líneas de apoyo de los anillos de refuerzo, pulgada (in).

D_0 = Diámetro externo del cascarón, pulgada (in).

2). Ingresar al número de gráfico de presión externa en la sección II parte D, subparte 3 y determinar el valor de A que corresponde al valor calculado sobre B .

3). Determine el momento de inercia requerido del anillo de refuerzo (I_s).

$$I_s = \frac{D_0^2 L_s \left(t + \frac{A_s}{L_s} \right) A}{14} \quad (\text{ecuación 4.8})$$





- 4). Determinar el momento inercial existente del anillo, I (in).
- 5). I debe ser igual o mayor que I_s .

(b). La combinación de esfuerzo anillo/cascarón.

- 1). Determinar B, donde:

$$B = 3/4 \left[\frac{PD_0}{t + \left(\frac{A_s}{L_s}\right)} \right] \quad (\text{ecuación 4.9})$$

2) Ingresar al No. gráfico de presión externa en la sección II parte D, subparte 3 y determinar el valor de A que corresponde al valor calculado sobre B.

- 3) Determinar el momento de inercia requerido de la combinación anillo/cascarón I'_s .

$$I_s = \frac{D_0^2 L_s \left(t + \frac{A_s}{L_s}\right) A}{14} \quad (\text{ecuación 4.10})$$

$$I_{s'} = \frac{D_0^2 L_s \left(t + \frac{A_s}{L_s}\right) A}{10.9} \quad (\text{ecuación 4.11})$$

4) Determinar el momento de inercia de la combinación de la sección cascarón y el anillo donde juntos actúan, I' . La longitud del cascarón utilizada en los cálculos no deberá ser mayor que $1.10 (D_0 t)^{1/2}$

- 5) I' deberá ser igual a o mayor que I'_s .

Nota que para las fórmulas de B son idénticas, si el valor de B cae al final del lado izquierdo de la curva del material/temperatura, entonces A se calculará utilizando la ecuación $A = 2B/E$ donde E es el módulo de elasticidad. Si se utilizan diferentes materiales tanto para el cascarón y el anillo de refuerzo, se sugiere ingresar al No. de diagrama de presión externa donde se proporcionan los valores más pequeños de A.





CAPÍTULO IV

Los anillos de refuerzo deben prolongarse completamente alrededor de la circunferencia del cilindro. Todas las juntas y conexiones entre anillos deben mantener el requisito de momento de inercia en la sección de combinación anillo/cascarón.

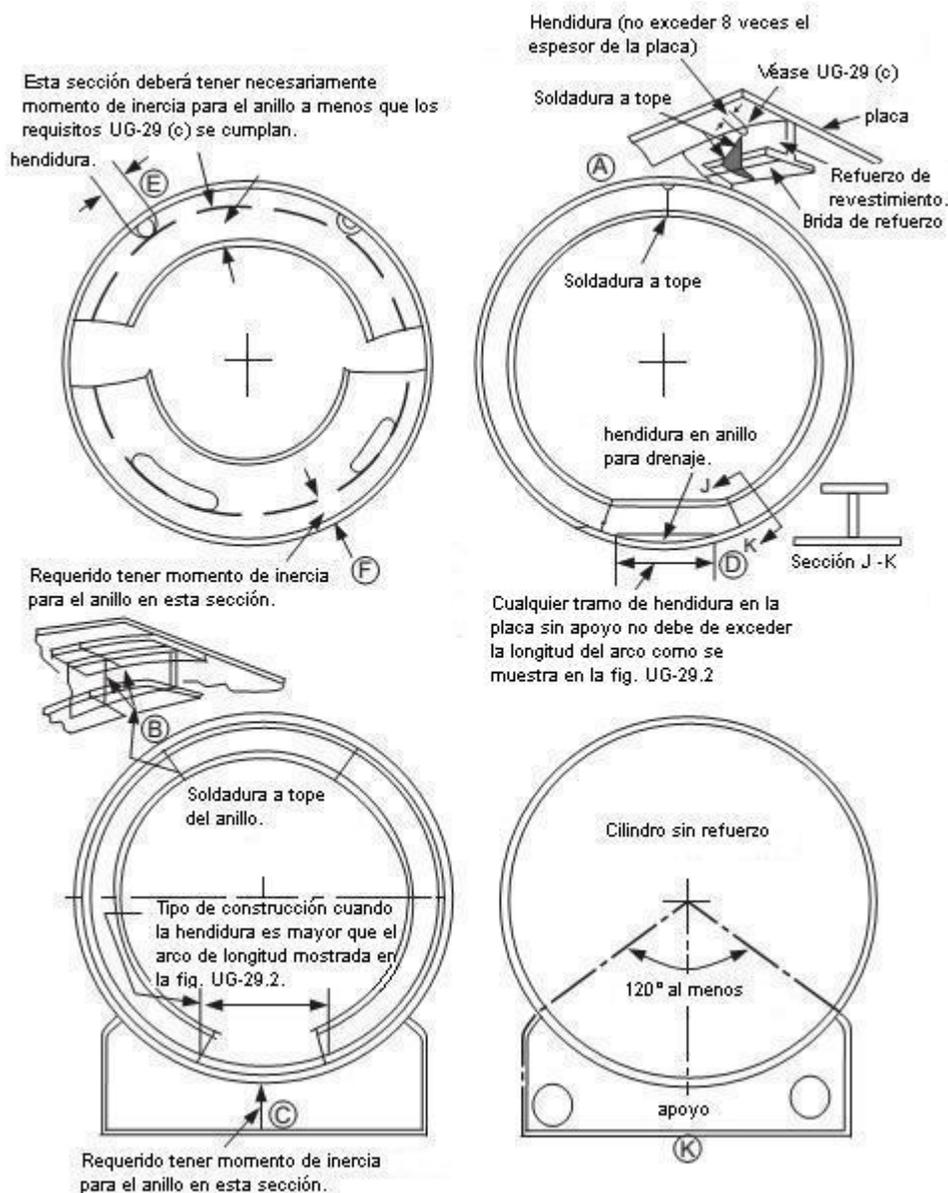


Figura 4.7 UG-29.1⁹ Diversos arreglos de anillos de refuerzo para recipientes cilíndricos sometidos a presión externa.

⁹ Gráfico extraído del ASME Boiler & Pressure Vessel Code 2011a Addenda, Sección VIII div. 1 Reglas para la construcción de recipientes a presión, pág. 27.





Se permiten hendiduras limitadas en anillos de refuerzo adyacentes al cascarón. La longitud de la hendidura permitida dependerá de L/D_0 y D_0/t dados por la figura 4.8 UG-29.2. Las hendiduras mayores que la longitud permitida deben ser reforzados en la superficie opuesta o cumplir con los requisitos adicionales dados en UG-29 los cuales son:

- 1.- El arco del cascarón sin soporte el límite es de 90 grados
- 2.- El arco del cascarón sin soporte en anillos de refuerzo adyacentes escalonados y
- 3.- Incrementar la longitud del cascarón sin soporte entre la distancia tapa y anillo de ambos lados.

Estructuras perpendiculares al eje horizontal como deflectores, platos o alguna otra pueden funcionar como refuerzos siempre que cumplan todos los requisitos del párrafo UG-29 y UG-30.



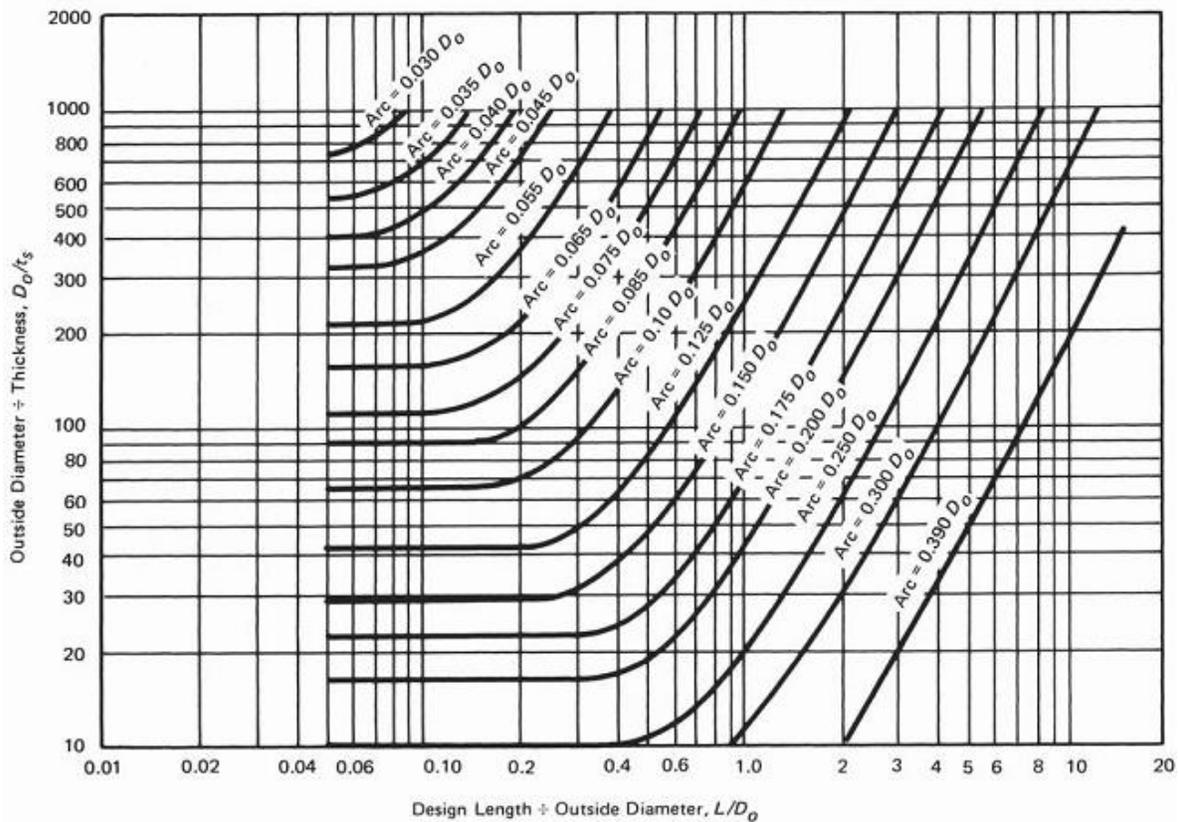


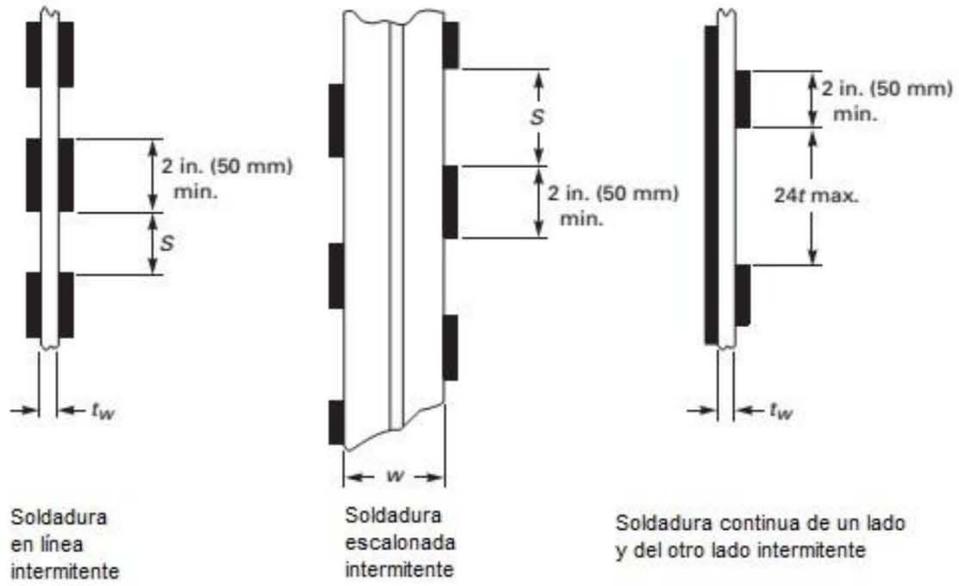
Figura 4.8 UG-29.2¹⁰ Arco máximo del cascarón sin soporte debido a la hendidura en el anillo de refuerzo del cilindro bajo presión externa.

UG-30 La fijación del anillo de refuerzo.

Para asegurar que los anillos de refuerzo son eficaces, UG-30 establece los requisitos mínimos de soldadura. Los refuerzos pueden ser soldados o fijados al cascarón. Los anillos pueden estar unidos con soldadura continua, intermitente o en combinación. Véase la figura 4.9 UG-30 para detalles aceptables.

¹⁰ Ibidem pág. 28.





$S \leq 8t$ refuerzo externo
 $S \leq 12t$ refuerzo interno

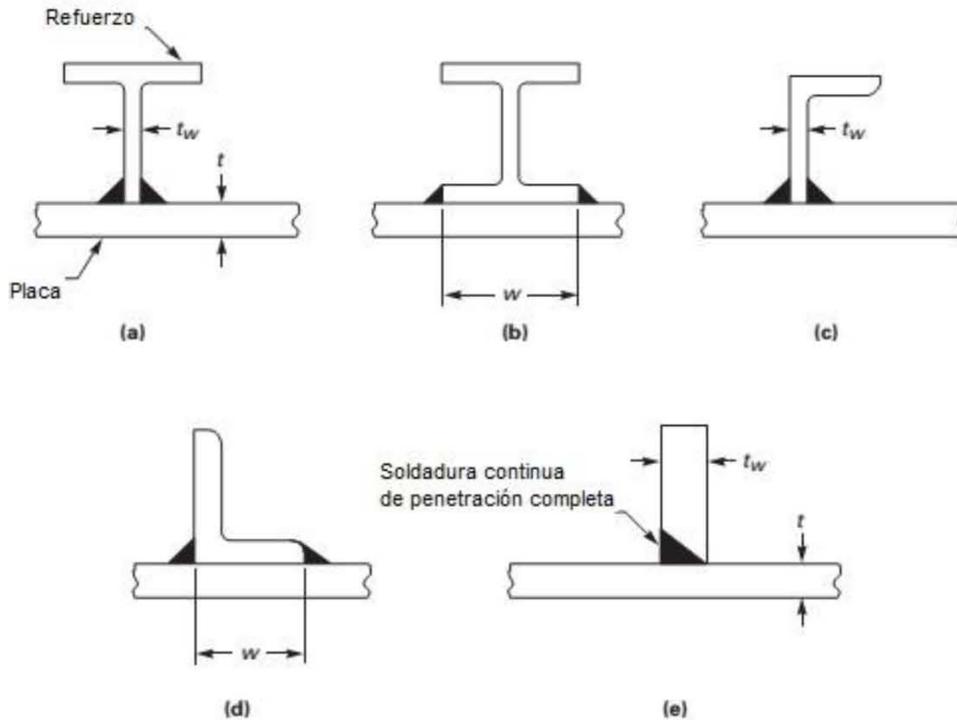


Figura 4.9 UG-30¹¹ Métodos aceptables del fijado de anillos de refuerzo.

¹¹ Ibídem pág. 29





Cuando se diseñan intercambiadores o cascarones, el diseñador debe utilizar las reglas de UG-27 para presión interna y UG-28 para presión externa. Los valores de esfuerzos permisibles para ambas estructuras sin costura y soldada se encuentran en la sección II, parte D.

Cuando se utiliza las fórmulas 4.3 y 4.4 del párrafo UG-27, el párrafo UW-12 indica la junta de eficiencia $E = 1.0$, por otra parte $E = 0.85$ cuando el radiografiado es por puntos, necesariamente cumple la UW-11(a) (5). No se permite el incremento del esfuerzo permisible o la eficiencia para la radiografía de la junta longitudinal.

El espesor requerido cumple con el párrafo UG-27 y UG-28 el filamento debe ser incrementado donde termina la placa por $0.8/n$ pulgadas, donde n es el número de filamento por pulgada. El cálculo del espesor también puede necesitar un incremento debido al rolado, expansión, corrosión, erosión u otro mecanismo de recubrimiento.

UG-32 Tapas y secciones formadas, presión en lado cóncavo.

Este párrafo contiene los requisitos de diseño para el formado de tapas sujetas a presión interna. Hay cinco tipos de formas geométricas para tapas: elipsoidal, toriesférica, hemisférica, cónica y toricónica, los últimos dos tipos geométricos de tapas se usan también para cambios de diámetros entre placas

Tapa elipsoidal

El cálculo para el espesor mínimo requerido de tapas elipsoidales 2:1 es:

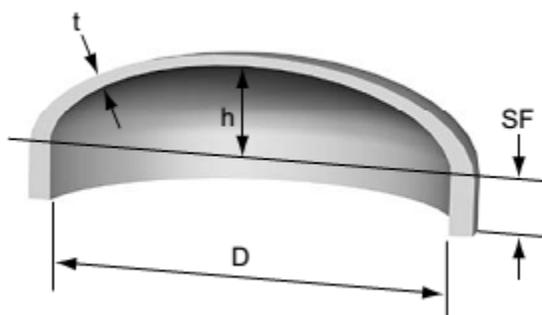


Figura 4.10 Tapa elipsoidal.



$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} \quad \text{o} \quad P = \frac{2SEt}{D + 0.2t} \quad (\text{ecuaciones 4.12 y 4.13})$$

Una tapa elipsoidal 2:1 tiene la mitad del eje menor, (h) es igual a un cuarto del diámetro interior (D) de la tapa, (SF) es la longitud necesaria de saya por UG-32(1). La tapa elipsoidal puede aproximarse con una tapa que contenga un radio de nudillo de 0.17D y un radio esférico de 0.90D.

En el apéndice 1-4 se dan las siguientes fórmulas para tapas elipsoidales con D/2h

$$t = \frac{PKD}{2SE - 0.2P} \quad \text{o} \quad P = \frac{2SEt}{KD + 0.2t} \quad (\text{ecuaciones 4.14 y 4.15})$$

Donde:

$$K = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right] \quad (\text{ecuación 4.16})$$

El factor K es dado en la tabla 4-4.1 del apéndice y depende sobre la razón del D/2h en la tapa. Si la razón D/2h es mayor a 2 y la fuerza de tensión mínima del material es mayor a 70000 psi (4921 Kg/cm²), entonces el esfuerzo de tensión máximo permisible S deberá ser igual a 20000 psi (1406 Kg/cm²) a temperatura ambiente.

Tabla 4-4.1¹²

Valores del factor K

(Utilice valores cercanos a D/2h, interpolación innecesaria).

D/2h	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
K	1.83	1.73	1.64	1.55	1.46	1.37	1.29	1.21	1.14	1.07	1.00
D/2h	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	...
K	0.93	0.87	0.81	0.76	0.71	0.66	0.61	0.57	0.53	0.50	...

¹² Tabla extraída del Apéndice 1-4 del ASME Boiler & Pressure Vessel Code 2011a Addenda, Sección VIII div. 1 Reglas para la construcción de recipientes a presión, pág. 377.





Tapa toriesférica.

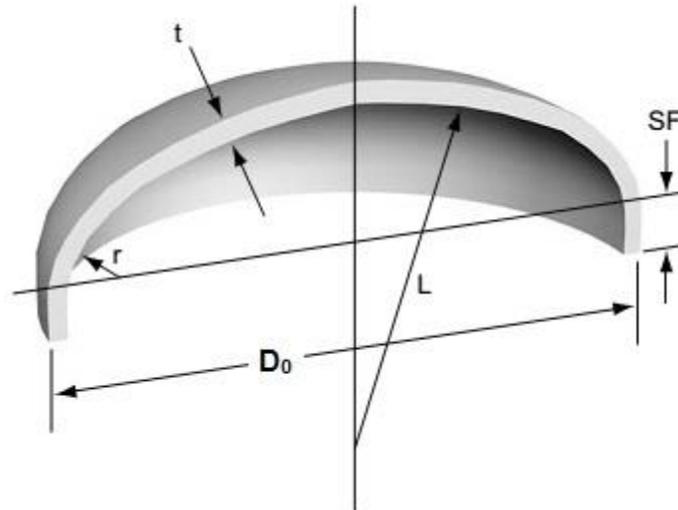


Figura 4.11 Tapa toriesférica.

Las fórmulas dadas en UG-32 se aplican a tapas toriesféricas a lo que comúnmente se refiere tener un radio de nudillo (r) del 6% del radio interno de la corona (L), el mismo es igual al diámetro externo (D₀). El espesor mínimo requerido y la PMTP para la tapa son:

$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} \quad o \quad P = \frac{SEt}{0.885L + 0.1t} \quad (\text{ecuaciones 4.17 y 4.18})$$

Otra fórmula para el radio de nudillo de 6 % del interior de la corona se proporciona en el apéndice 1-4, son:

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P} \quad o \quad P = \frac{2SEt}{LM + 0.2t} \quad (\text{ecuaciones 4.19 y 4.20})$$

El factor M depende sobre la razón de L/r de la tapa toriesférica y se determina con la siguiente fórmula:

$$M = \frac{1}{4} \left[3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right] \quad (\text{ecuación 4.21})$$





El valor del esfuerzo de tensión permisible, S para las tapas toriesféricas también está limitado. Si la fuerza de tensión mínima del material es mayor a 70000 psi (4921 Kg/cm²), entonces el esfuerzo de tensión máximo permisible S deberá ser igual a 20000 psi (1406 Kg/cm²) a temperatura ambiente.

Tabla 4-4.2¹³
 Valores del factor M
 (Utilice valores cercanos de L/r , interpolación innecesaria).

L/r	1.0	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22
L/r	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
M	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50
L/r	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16 ² / ₃
M	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77

Tapa hemisférica.

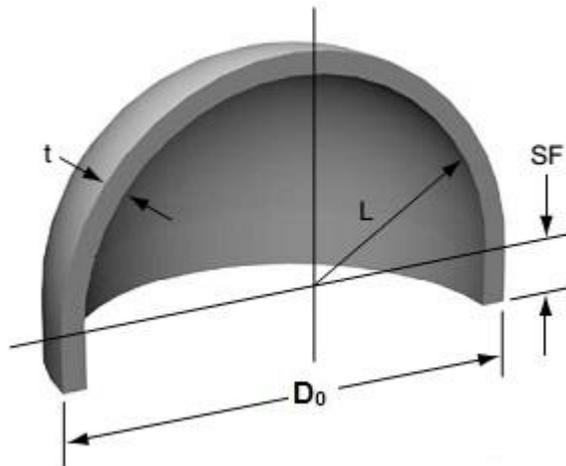


Figura 4.12 Tapa hemisférica.

El espesor mínimo requerido y la PMTP para las tapas hemisféricas son:

¹³ Ibidem pág. 378.





$$t = \frac{PL}{2SE - 0.2P} \quad \text{o} \quad P = \frac{2SEt}{L + 0.2t} \quad (\text{ecuaciones 4.22 y 4.23})$$

Las fórmulas 4.22 y 4.23 son aplicables solo cuando el espesor es menor o igual a $0.356L$ o que P no exceda $0.665SE$.

Tapa y sección cónica (sin curvaturas de transición).

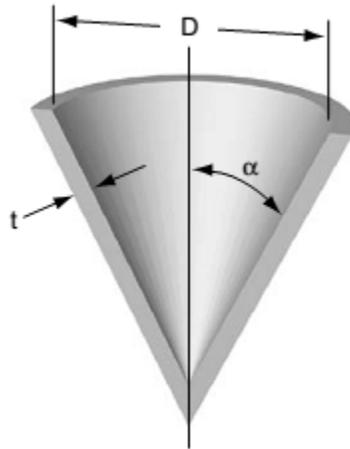


Figura 4.13 Tapa cónica.

El uso más común de un cascarón cónico es la transición entre cuerpos cilíndricos de diferentes diámetros. En este caso en generalmente, es cuando se utiliza como tapa. La tapa cónica generalmente termina con una abertura en lugar de un vértice de soldadura. El espesor mínimo requerido y la presión máxima de trabajo permitida de una sección de cónica que tiene un ángulo de medio vértice α , igual o menor a 30° son:

$$t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)} \quad \text{o} \quad P = \frac{2SEt \cos \alpha}{D + 1.2t \cos \alpha} \quad (\text{ecuaciones 4.24 y 4.25})$$

El ángulo de unión entre la sección cónica y el cilindro deberá tener un contorno liso y equivaldrá a una junta de soldadura tipo 1. Puede ser necesario incrementar el espesor del cilindro para obtener un contorno liso a la unión.





Puede requerir de refuerzos dependiendo sobre la magnitud del esfuerzo discontinuo a las uniones como hacia cilindro. El refuerzo puede ser de la forma del exceso del espesor del cascarón o los anillos de refuerzo.

4.3 Diseño de silletas.

La selección del tipo de silletas para un recipiente a presión depende de varias variables como por ejemplo: el tamaño del recipiente, el espesor, el área donde se colocará el recipiente, la relación de espaciado del piso al recipiente, los materiales de construcción y temperatura de operación.

El soporte de silletas se basa en el peso del recipiente considerando el diseño de cargas, la combinación de las mismas como es viento y terremotos (véase la figura 4.14), la fuerza de fricción causada por la expansión o contracción del recipiente en función de la temperatura. Por cambios en la temperatura las estructuras se pueden hacer más fuertes y lo suficientemente flexibles para resistir las fuerzas térmicas. Sin embargo, si se espera un intervalo de temperaturas mayores al del recipiente se puede aplicar una placa especial de auto-lubricación con el coeficiente de fricción bajo f_0 se debe proporcionar para reducir las fuerzas de expansión. Por lo general, a menos que el lugar especial lo requiera, la carga de viento puede ser tomada en cuenta en los cálculos. Si las tensiones por carga de viento o terremoto se añaden a la otra carga subrayar las tensiones admisibles para ser incrementadas en un tercio.

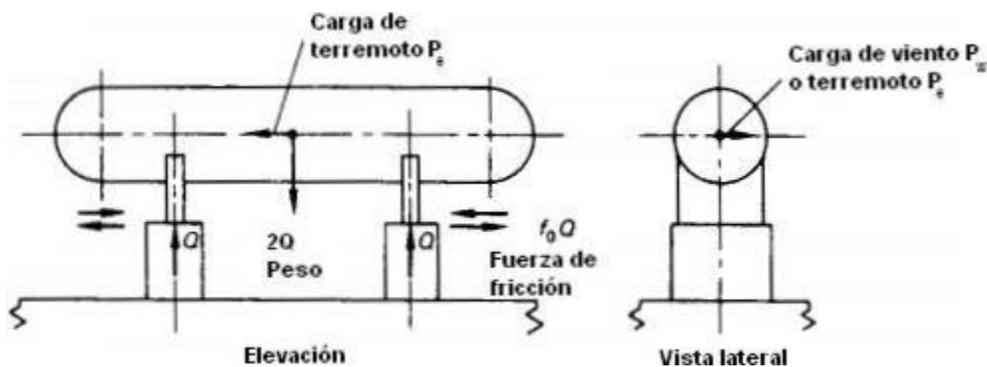


Figura 4.14 Diseño de cargas para recipientes horizontales sobre silletas.



Los materiales que usualmente se utilizan para la construcción de silletas son: SA-283 Grado A o C y SA-516 para temperaturas de diseño bajas.

Análisis de esfuerzos. Los componentes de soporte en silleta: la brida superior, la web, los refuerzos y la placa base con soldaduras de conexión son investigados por los esfuerzos máximos.

La placa de desgaste entre la brida superior y el recipiente, si se añaden para reducir las tensiones locales concentradas en el espesor de pared, se hace la consideración que es una parte del recipiente.

La brida superior. La amplia gama de la brida superior varía de 20.32 a 45.72 cm (8 a 18 pulgadas) para el cálculo del espesor t_f .

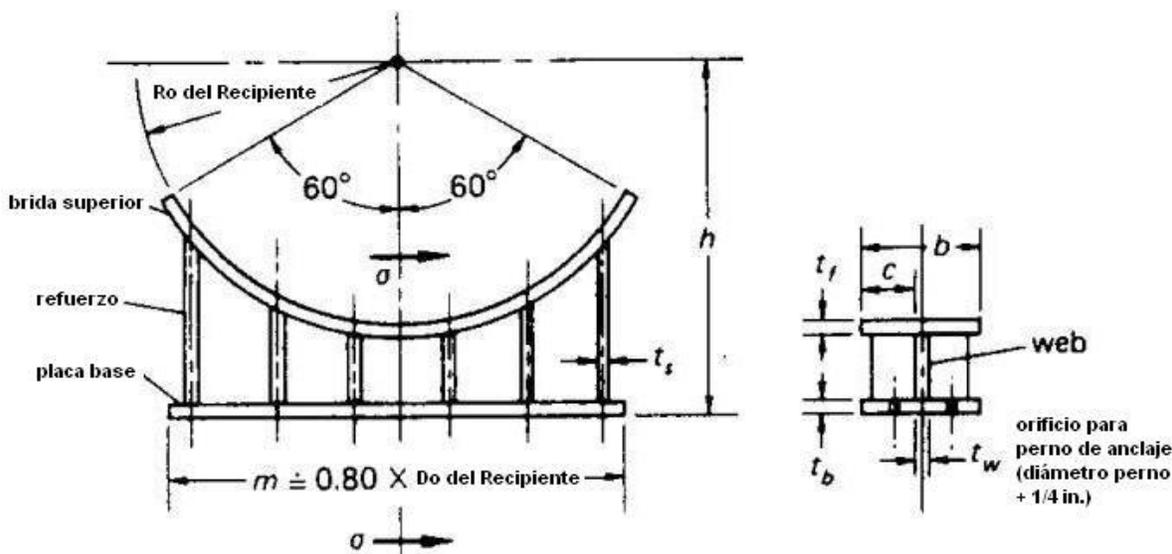


Figura 4.15 Detalles típicos para recipientes horizontales grandes apoyados en silletas.

La web lleva la carga de compresión a partir del peso así como cualquier flexión debido a la fuerza de expansión térmica o un terremoto.

Los refuerzos. Refuerzan la brida, la web, y la placa base. Junto con la web que se pueden tomar para ser columnas cortas, que lleva la carga vertical debido al peso y momento de flexión debido a la fuerza de expansión térmica en la base de la silleta. El número aproximado de refuerzos es $N = (m/24) + 1$ incluyendo los que no fueran para refuerzos. El espesor de refuerzo con diámetro mayores de 182.88 cm (6 pies).





Los pernos de anclaje. Si la carga por viento no es suficientemente grande como para causar una elevación, el tamaño mínimo de los pernos de anclaje son: 19 a 25.4 mm ($\frac{3}{4}$ a 1 in) se pueden utilizar para localizar las silletas. Sin embargo, deben ser diseñados para superar cualquier expansión térmica o fuerza sísmica.

Las soldaduras. Generalmente, la soldadura de brida al cascarón es continua en todo su alrededor. Las conexiones de soldaduras de web a la brida, web a la placa base pueden ser intermitentes o continuas. Por lo general, los tamaños mínimos de soldadura 6.35 a 11.11 mm ($\frac{1}{4}$ a $\frac{7}{16}$ pulgadas) en base al espesor a satisfacer.

4.4 Ejemplo ilustrativo de la hoja de cálculo.

Con el fin de demostrar un caso típico a continuación se presenta la hoja de cálculo para la automatización referente a los recipientes a presión de forma horizontal conforme:

Al código internacional 2010 ASME calderas y recipientes a presión 2011^a adenda 1ro de julio del 2011 y la ayuda del software (Microsoft Excel versión 2010).





UNIVERSIDAD NACIONAL DE MÉXICO

Diseño de recipiente cilíndrico horizontal bajo presión interna.

Ingreso de parámetros

Selección de material.

DIMENSIONES			
126	inch	Diam. Interno	
0.25	inch	Corrosión permisible	
SA-516-Gr.70		Material	
85%		Eficiencia Longitudinal	
85%		Eficiencia Circunferencial	
184.8	PSI	Presión de diseño	
140	°F	Temperatura de diseño	

Cálculo para obtener el espesor:
de acuerdo al código ASME UG-27 (c)(1)

$$t = \frac{P(R + C.A)}{SE - 0.6P} = 0.692 \text{ in} \Rightarrow 17.579 \text{ mm} \quad \text{Costura Longitudinal}$$

$$t = \frac{PR_o}{SE + 0.4P} = \text{---} \text{ in} \Rightarrow \text{---} \text{ mm}$$

de acuerdo al código ASME UG-27 (c)(2)

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = 0.342 \text{ in} \Rightarrow 8.679 \text{ mm} \quad \text{Costura Circunferencial}$$

$$t = \frac{PR_o}{2SE + 1.4P} = \text{---} \text{ in} \Rightarrow \text{---} \text{ mm}$$

Espesor mínimo requerido: => 0.692 in / 17.579 mm

Espesor requerido:
Espesor mínimo + C.A = 0.942 in / 23.929 mm

Cálculo para obtener la presión máxima de trabajo permisible:
de acuerdo al código ASME UG-27 (c)(1)

$$P = \frac{SE t}{R + 0.6 t} = 270.23 \text{ psi} \Rightarrow 18.916 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{Esfuerzo Circunferencial}$$

$$P = \frac{SE t}{R_o - 0.4 t} = \text{---} \text{ psi} \Rightarrow \text{---} \text{ Kg/cm}^2$$

de acuerdo al código ASME UG-27 (c)(2)

$$P = \frac{2SE t}{R - 0.4 t} = 549.19 \text{ psi} \Rightarrow 38.443 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{Esfuerzo Longitudinal}$$

$$P = \frac{2SE t}{R_o - 1.4 t} = \text{---} \text{ psi} \Rightarrow \text{---} \text{ Kg/cm}^2$$

Presión máxima de trabajo permisible:
270.23 psi / 18.916 Kg/cm²
Aceptado

Cambio de unidades.

Resultados en base a el espesor.

Resultados en base a la presión.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE MÉXICO

Selección de material.

Diseño de recipiente cilíndrico horizontal bajo presión externa.

Ingreso de parámetros

DIMENSIONES		
126	inch	Diám. interno
840	inch	Longitud
0.25	inch	Corrosión permisible
SA-516-Gr.70		Material
85%		Eficiencia Longitudinal
85%		Eficiencia Circunferencial
184.8	PSI	Presión de diseño
140	°F	Temperatura de diseño

Cálculo para obtener el espesor:
de acuerdo al código ASME UG-27 (c)(1)

Cambio de unidades.

$t = \frac{P(R + C.A)}{SE - 0.6P}$	0.689 in	=>	17.51 mm	} Costura
$t = \frac{PR_o}{SE + 0.4P}$	---	=>	---	

de acuerdo al código ASME UG-27 (c)(2)

$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P}$	0.682 in	=>	17.32 mm	} Costura Circunferencial
$t = \frac{PR_o}{2SE + 1.4P}$	---	=>	---	

Espesor mínimo requerido: =>

	0.689 in		
	17.51 mm		

Espesor más el factor de C.A:

Espesor mínimo + C.A =	0.939 in		23.859 mm
------------------------	----------	--	-----------

Resultados en base a el espesor.

Cálculo para obtener la presión externa máxima permisible de trabajo:
de acuerdo al código ASME UG-28

$D_o = D + 2(t)$	127.88 in		3248.12 mm
------------------	-----------	--	------------

$\frac{D_o}{t} =$	185.5		$\frac{L}{D_o} =$	6.57
-------------------	-------	--	-------------------	------

$P_a = \frac{4B}{3 \left(\frac{D_o}{t}\right)}$	7.8 psi		0.5 Kg/cm ²	Resultados en base a la presión.
---	---------	--	------------------------	----------------------------------







UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

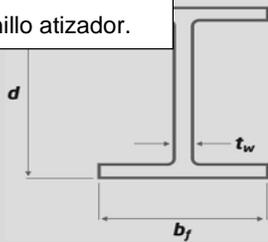


Cálculo de anillos atizadores para recipientes cilíndricos bajo presión externa:
de acuerdo al código ASME UG-29

Ingreso de
parámetros

6	Tipo de anillo:	Perfil W
1.92	Alma (d)	
0.343	Patin (b _f)	
0.2	Espesor patin (t _f)	
	Espesor alma (t _w)	

Selección de
anillo atizador.



$$I_s = \frac{[D_o^2 L_s (t + \frac{A_s}{L_s}) A]}{14} = \mathbf{118.44} \text{ inch}^4$$

$$I_{s'} = \frac{[D_o^2 L_s (t + \frac{A_s}{L_s}) A]}{10.9} = \mathbf{152.13} \text{ inch}^4$$







UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

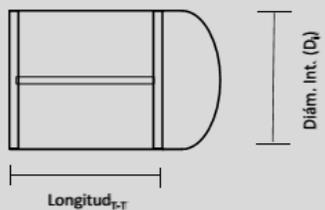


Diseño de tapas para recipiente a presión.

DIMENSIONES

TIPO DE TAPA: Semielíptica ← Selección del tipo de tapa.

96	inch	Diámetro Interno.
0.125	inch	Corrosión permisible.
	SA-285-Gr.C	Material.
	85%	Eficiencia.
100	PSI	Presión diseño.
140	°F	Temperatura diseño.
20	inch	Radio de la corona.
2	inch	Radio de nudillo.
45	°	Alfa (α).



Ingreso de parámetros →

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} = \boxed{0.360} \text{ in} \quad \boxed{9.14} \text{ mm}$$

Espesor mínimo + C.A = $\boxed{0.547} \text{ in} \quad \boxed{13.91} \text{ mm}$

$$P = \frac{2SEt}{D + 0.2t} = \boxed{169.36} \text{ psi} \quad \boxed{11.91} \text{ Kg/cm}^2$$





CAPÍTULO V.

ANÁLISIS Y CONCLUSIONES.

En el presente trabajo se desarrolló una memoria de cálculo completamente funcional en una paquetería popular, el cual es el caso del motor de Microsoft Office Excel, en base a su interfaz de VBA es posible automatizar el método del cálculo que en este caso fue para recipientes a presión cilíndrica horizontal. La aportación de este tipo de herramientas, hacen que el cálculo sea de una manera más sencilla y entendible para el usuario o estudiante.

El propósito de una hoja automatizada es finalmente obtener un producto más seguro, económico y rentable. Las bondades del software es que es fácil e intuitivo, con lo cual, en la actualidad se tiende a programar para los cálculos de la ingeniería, así como en muchas otras ciencias, por el simple hecho de exactitud y un tiempo breve empleado para su elaboración.

En un aspecto importante el tener en cuenta, la mayor eficiencia al menor costo y esto se puede hacer con la programación, ya que se mecaniza los cálculos no importando los errores humanos cuando se tienen que elaborar muchas veces el mismo procedimiento.

A través del trabajo se revisaron las normas mexicanas en materia de seguridad y riesgo, así como para el cálculo de recipientes a presión en conjunto con las normas de referencia que son elaboradas por PEMEX ya que son requisitos que se deben presentar ante la jurisdicción pertinente, así como verificar que el cliente cuente con el personal calificado para la instalación, operación y mantenimiento del equipo.

Un propósito más, es fomentar a las nuevas generaciones a diseñar o programar todos sus cálculos en este tipo de software para su beneficio tanto en campo laboral como para entender los cálculos.





BIBLIOGRAFÍA.

BALL, Bruce E. y CARTER, Will J. CASTI Guidebook to ASME Section VIII Div. 1 - Pressure Vessels. 3 ed. Canada: CASTI Publishing Inc., 2002. 286 p. ISBN 1-894038-62-2.

MEGYESY, Eugene F. Manual de recipientes a presión Diseño y cálculo. 7 ed. México: Limusa S.A de C.V, 1992. 482 p. ISBN 968-18-1985-3.

BEDNAR, Henry H. Pressure vessel design handbook. 2 ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1986. 431 p. ISBN 0-89464-503

MOSS, Dennis R. Pressure vessel design manual: illustrated procedures for solving major pressure vessel design problems. 3 ed. EUA: Elsevier, 2004. 499 p. ISBN 0-7506-7740-6.

ELLENBERGER, J. Phillip, CHUSE, Robert y CARSON, Bryce E. Pressure vessels The ASME code simplified. 8 ed. EUA: McGraw-Hill, 2004. 278 p.

BROWNELL, Lloyd E. y YOUNG, Edwin H. Equipment design: Process vessel design. New York: John Wiley & Sons Inc., 1959. 408 p.

NOM-018-STPS-2000. Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. México, 2000.

NOM-020-STPS-2011, Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad. México, 2011.

NRF-009-PEMEX-2004, Identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento. México, 2004

NRF-028-PEMEX-2010, Diseño y construcción de recipientes a presión. México, 2010.

ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Pressure Vessels, Sección VIII División 1, Rules for construction of pressure vessels. Edición 2010 addenda 2011^a.

ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Sección II Parte D Subparte 1 Properties (Customary) MATERIALS. Edición 2010 addenda 2011^a.

ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Sección II Parte A. Ferrous Material Specifications (Beginning to SA-450) MATERIALS. Edición 2010 addenda 2011^a.

ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Sección II Parte A. Ferrous Material Specifications (SA-451 to End) MATERIALS. Edición 2010 addenda 2011^a.

