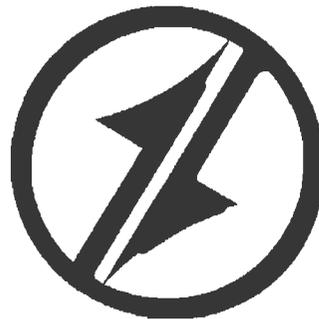


**CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN
EN MATERIALES**

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**USO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN DISEÑADOS
BAJO CODIGO ASME VS NORMAS OFICIALES MEXICANAS**

POR

JOSÉ LUIS BAUTISTA MALAGÓN

MONOGRAFÍA

**EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2005

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**USO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN DISEÑADOS
BAJO CODIGO ASME VS NORMAS OFICIALES MEXICANAS**

POR

JOSÉ LUIS BAUTISTA MALAGÓN

MONOGRAFÍA

**EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2005

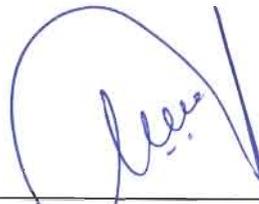
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.

Gerencia de Desarrollo Humano

División de estudios de Postgrado

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la monografía Uso de Recipientes Sujetos a Presión diseñados bajo Código ASME vs Normas Oficiales Mexicanas, Realizada por el alumno José Luís Bautista Malagón, con numero de matricula 04ES016 sea aceptada para su defensa como Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

El Comité Tutorial



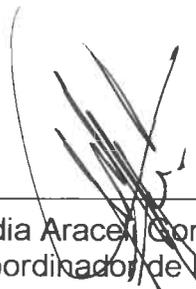
Ing. Armando García Sánchez
Tutor Académico



Ing. Héctor Omar Soto Car
Tutor de Planta



Dr. Felipe Arturo Reyes Valdés
Asesor



Ing. Claudia Araceli González Rodríguez
Coordinador de Postgrado

ÍNDICE

1. SÍNTESIS	1
2. OBJETIVO	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. ANTECEDENTES	5
4.1 Reseña del código ASME	5
4.2 Sociedades e institutos	6
4.3 Antecedentes de la STPS	9
4.3.1 Departamento del trabajo	9
4.3.2 Secretaria del Trabajo y Previsión Social	10
4.4 Requerimientos de la NOM-020-STPS-2002	12
4.4.1 Recipientes exceptuados	12
5 DESARROLLO DEL PROYECTO	15
5.1 Tipos de recipientes	15
5.2 Tipos de tapas de recipiente bajo presión interna	18
5.3 Criterios de diseño ASME Sección VIII División I	20
5.4 Limitantes de la división I	22
5.5 Materiales	23
5.6 Propiedades que deben tener los materiales para satisfacer las condiciones de servicio	27
5.7 Evaluación de los materiales sugeridos	31
5.8 Selección del material	32
5.9 Esfuerzos admisibles	35
5.9.1 Filosofía del diseño	35
5.9.2 Categoría de exposición N	36
6 RECIPIENTES CILÍNDRICOS HORIZONTALES	37
6.1 Calculo del cilindro	37

6.2	Caculo de las tapas	39
6.3	Cálculos de acuerdo al reglamento de la STPS	42
7	PRUEBAS EN RECIPIENTES A PRESIÓN	44
7.1	Prueba hidrostática	44
7.2	Pruebas neumáticas	45
7.3	Pruebas No destructivas	45
7.3.1	Inspección radiográfica	46
7.3.2	Ultrasonido (UT)	48
7.3.3	Líquidos penetrantes (PT)	49
7.3.4	Partículas Magnéticas (MT)	50
7.3.5	Inspección Visual (VT)	52
7.4	Demostración de seguridad de acuerdo a la NOM-020-STPS-2002	53
7.4.1	Prueba de presión hidrostática	53
7.4.2	Prueba de presión hidrostática - neumática	54
7.4.3	Prueba neumática	55
7.4.4	Exámenes no destructivos	56
7.5	Tipos de fallas	57
8	CONCLUSIONES	59
9	BIBLIOGRAFÍA	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de recipientes	16
Figura 2. Grafico de referencia para recipientes a presión Código ASME, Sección VIII Div. 1	22
Figura 3. Diagrama general de esfuerzo-deformación	25
Figura 4. Diagrama comparativos de esfuerzo-deformación. 1) Latón blando; 2) Acero bajo carbono; 3) Bronce duro; 4) Acero laminado frío; 5) Acero de contenido medio de carbono recocido; 6) Acero de contenido medio de carbono tratado térmicamente.	26
Figura 5 Diagrama de Esfuerzo deformación	26
Figura 6. Perfil de soldadura	30
Figura 7. Zonas esenciales de una soldadura.	30
Figura 8. Calculo del espesor del cuerpo cilíndrico	38
Figura 9. Calculo del espesor de cabeza semielíptica.	40
Figura 10 Calculo de la válvula de seguridad	41
Figura 11. Localización de defectos	46
Figura 12. Inspección radiográfica	47
Figura 13. Inspección radiográfica	48
Figura 14. Inspección ultrasónica de una soldadura circunferencial utilizando técnicas del haz angular	49
Figura 15. Aplicación de líquidos penetrantes	49
Figura 16 Aplicación de líquidos penetrantes	51
Figura 17. Instrumentos de medición para inspección visual	52

1.

SINTESIS

Los recipientes sujetos a presión que se emplean generalmente en el país están contruidos esencialmente en base a lo establecido en el Código ASME Sección VIII. Así mismo es común que existan paquetes tecnológicos de origen Europeo los cuales tienen códigos diferentes a los americanos.

En el presente trabajo se plantean las consideraciones a tomar en cuenta para complementar lo establecido en la interpretación de criterios por las empresas encargadas.

En México actualmente se realizan actividades encaminadas a la aplicación de la NOM-020-STPS-2002, para dar cumplimiento a las condiciones de funcionamiento y seguridad de los Recipientes a Presión y Calderas. Así mismo es importante establecer los requisitos mínimos de seguridad para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y calderas en los centros de trabajo, para la prevención de riesgos a los trabajadores y daños en las instalaciones.

En la actualidad para recipientes sujetos a presión que se encuentran en operación, la demostración de la seguridad se realiza mediante las pruebas hidrostáticas las cuales solo refleja un 2% de las fallas, mientras que con PND se logra detectar hasta un 65%, con inspección visual un 20% y con otros métodos alternos un 13%. En conclusión se debe fomentar el uso de métodos alternos para realizar la liberación de los equipos sujetos a presión de acuerdo a la NOM-020-STPS-2002.

2. OBJETIVO

Los recipientes sujetos a presión que se emplean generalmente están contruidos en base a lo establecido en el Código ASME Sección VIII. Así mismo es común que existan paquetes tecnológicos de origen europeo los cuales tienen códigos diferentes a los americanos. Por ello la necesidad de entender las especificaciones del Código y su correcta aplicación para los equipos que se encuentran en operación y que en su mayoría se diseñaron bajo las especificaciones de ASME.

En el presente trabajo se pretende establecer las diferencias para la liberación de RSP que se encuentran en funcionamiento de acuerdo a la NOM-020-STPS-2002, y a lo establecido en el Código ASME.

Así como señalar las pruebas alternas más viables a realizar para llevar acabo la liberación de recipientes sujetos a presión ya en operación. Para lo cual es importante establecer los requisitos mínimos de seguridad para el funcionamiento de los equipos en los centros de trabajo, para la prevención de riesgos a los trabajadores y daños en las instalaciones.

3.

INTRODUCCIÓN

El principal Código utilizado en México, Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, para la fabricación de RSP, es el "CÓDIGO A.S.M.E. SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 1".

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

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

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

En respuesta a las necesidades obvias de diseño y estandarización, numerosas sociedades fueron formadas entre 1911 y 1921, tales como la A.S.A. (Asociación Americana de Estándares) ahora ANSI (Instituto Americano de Estándares Nacionales) el A.I.S.C. (Instituto Americano del Acero de Construcción) y la A.W.S. (Sociedad Americana de Soldadura) [2].

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

El primer antecedente de la Administración del Trabajo en este siglo en nuestro país, se encuentra en 1911 cuando se crea el Departamento del Trabajo, dependiente de la Secretaría de Fomento, Colonización e Industria. De esta manera, Don Francisco I. Madero institucionalizó las acciones oficiales en favor de los trabajadores.

En 1917, la Ley de Secretarías de Estado incluye la materia laboral como uno de los ramos de la Administración Pública al instituir dentro de la Secretaría de Industria, Comercio y trabajo el servicio inspectivo del trabajo a cargo de un departamento específico.

En 1955, se publica en el diario oficial de la federación el reglamento para la inspección de generadores a vapor y recipientes sujetos a presión. En el cual se establecen algunos cálculos que hasta la fecha siguen fundamentando la Norma 020-STPS-2002 [4].

4.

ANTECEDENTES

4.1 Reseña del Código ASME

El Código para calderas y recipientes a presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (A.S.M.E.), se originó por la necesidad de proteger a la sociedad de las continuas explosiones de calderas que se sucedían antes de reglamentar su diseño y construcción.

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

Inglaterra fue uno de los primeros países que sintió esta necesidad, y fue después de uno de los más grandes desastres que sufrió la ciudad de Londres al explotar una caldera en el año de 1815.

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

En 1911, debido a la falta de uniformidad para la fabricación de calderas, los fabricantes y usuarios de calderas y recipientes a presión recurrieron al concilio

de la ASME para corregir esta situación. El concilio respondió a esto nombrando un comité para que formule especificaciones uniformes para la construcción de calderas de vapor y otros recipientes a presión especificados para su cuidado en servicio. El comité estaba formado por siete miembros, todos ellos de reconocido prestigio dentro de sus respectivos campos, un ingeniero de seguros para calderas, un fabricante de materiales, dos fabricantes de calderas, dos profesores de ingeniería y un ingeniero consultor.

El comité fue asesorado por otro Comité en calidad de consejero, formado de 18 miembros que representaban varias fases del diseño, construcción, instalación y operación de calderas.

En respuesta a las necesidades obvias de diseño y estandarización, numerosas sociedades fueron formadas entre 1911 y 1921, tales como la A.S.A. (Asociación Americana de Estándares) ahora ANSI (Instituto Americano de Estándares Nacionales) el A.I.S.C. (Instituto Americano del Acero de Construcción) y la A.W.S. (Sociedad Americana de Soldadura). Los códigos estándares fueron establecidos para proporcionar métodos de fabricación, registros y reportar datos de diseño [1].

4.2 Sociedades e institutos

A.W.S. (American Welding Society)

Se encarga de proporcionar la información fundamental de soldadura, diseño de soldadura, calificación, pruebas e inspección de soldaduras, así como una Guía de la aplicación y uso de la soldadura.

A.I.S.C. (American Institute of Steel Construction)

Fundado en 1921, su primer manual surgió en 1926, proporciona una Guía y código para maximizar la eficiencia del diseño de acero estructural y seguridad.

El código A.I.S.C. contiene ecuaciones de diseño, criterios de diseño y diseños prácticos para acero estructural. Su uso es recomendado para el diseño de edificios, puentes o cualquier estructura de acero, incluyendo aquellas que sirvan como soportes rígidos de tubería.

A.N.S.I. (American National Standards Institute)

Inicialmente establecida en 1918 como A.S.A. (American Standards Association) cambio su nombre en 1967 a U.S.A.S.I. (U.S.A. Standards Institute) y en 1969 cambio a A.N.S.I. No todos los estándares de U.S. son directamente resueltos por A.N.S.I. El A.S.M.E., A.W.S., y numerosas organizaciones definen los estándares y códigos aplicables a la tubería. A.N.S.I. clasifica la aplicación del sistema de tuberías, bridas, pernos, roscas, válvulas.

A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials)

Fue fundada en 1898 para desarrollar los estándares de la característica y eficiencia de los materiales, productos, suministros de servicios y producir lo relativo a su comportamiento.

A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers)

En 1913, en comité editó el primer reporte preliminar de 2000 ingenieros mecánicos, profesionales e inspectores de seguros.

En 1914, se editó la sección 1 del código A.S.M.E., uno de los primeros códigos y estándares en U.S.

Después de tres años de innumerables reuniones y audiencias públicas, fue adoptado en la primavera de 1925, el primer Código A.S.M.E., "Reglas para la Construcción de Calderas Estacionarias y para las Presiones Permisibles de Trabajo", conocido como la edición 1914.

Desde entonces, el Código ha sufrido muchos cambios y se han agregado muchas secciones de acuerdo a las necesidades de diseño y uso.

Las secciones han aparecido en el siguiente orden:

Sección I	Calderas de potencia (Power Boilers)	1914
Sección II	Especificaciones de Materiales (Material Specifications)	1924
Sección III	Calderas de Locomotoras (Boilers of Locomotives)	1921
Sección IV	Calderas para Calefacción de baja presión (Low-Pressure Heating Boilers)	1923
Sección V	Calderas en Miniatura (Miniature Boilers)	1922
Sección VI *	Inspección (Inspection)	1924
Sección VII	Reglas sugeridas para el cuidado de las calderas de potencia (Suggested Rules for care of Power Boilers)	1926
Sección VIII	Recipientes a Presión no sometidos a fuego directo (Unfired Pressure Vessels)	1925
Sección IX *	Requisitos de Soldadura (Welding Qualifications)	1940
Sección X	Recipientes a Presión de Plástico Reforzado y fibra de vidrio. (Fiber glass reinforced plastic pressure vessel)	
Sección XI	Reglas para Inspección en Servicio de Plantas de Potencia Nuclear. (Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plants)	

* Esta sección estuvo incorporada a la sección I desde su aparición hasta 1949, finalmente fue cancelada en 1952.

** La primera vez que apareció esta sección, fue en 1937 como suplemento al Código.

El aumento de secciones en el Código, refleja el progreso de la industria en este campo. Se ha conservado un crecimiento espontáneo y se han requerido revisiones constantes.

Este Código es publicado por la Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos, su edición es trianual; 1965, 1968, 1971, 1974, 1977, 1980, 1983, 1986, 1989, 1992, 1995, 1998, 2001, 2004, etc., sin embargo, la asociación antes mencionada emite adendas que incluyen adiciones y revisiones que se publican en los años en que no se emite una nueva edición del Código.[2]

4.3 Antecedentes de la STPS

El primer antecedente de la Administración del Trabajo en este siglo, se encuentra en 1911 cuando se crea el Departamento del Trabajo, dependiente de la Secretaría de Fomento, Colonización e Industria. De esta manera, Don Francisco I. Madero institucionalizó las acciones oficiales en favor de los trabajadores.

En 1917, la Ley de Secretarías de Estado incluye la materia laboral como uno de los ramos de la Administración Pública al instituir dentro de la Secretaría de Industria, Comercio y trabajo el servicio inspectivo del trabajo a cargo de un departamento específico.

4.3.1 Departamento del Trabajo

Por Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de diciembre de 1932, se creó el Departamento del Trabajo como organismo autónomo, con subordinación directa al Titular del Poder Ejecutivo Federal.

Entre las atribuciones del nuevo Departamento destacaron:

- Propuestas de iniciativas, aplicación y vigilancia de las Leyes Federales del Trabajo y su Reglamento
- Conciliación y prevención de conflictos entre el capital y el trabajo e integrantes
- Promoción de congresos y reuniones nacionales e internacionales en materia laboral
- Creación de comisiones mixtas y otros órganos preventivos y conciliadores de conflictos
- Establecimiento de bolsas de trabajo

Diez años después, la estructura del Departamento del Trabajo ya no respondía a las características y complejidad de los problemas laborales, debido a la propia evolución del movimiento obrero y el desarrollo experimentado por el país durante este periodo.

4.3.2 Secretaría del Trabajo y Previsión Social

Por tal motivo, el 31 de diciembre de 1940 se reformó la Ley de Secretarías y Departamentos de Estado para crear la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, cuya organización permitiría hacer frente a las nuevas circunstancias. El 9 de abril de 1941 se expidió el primer Reglamento Interior de esta Secretaría, que definió las funciones y Estructuras de la Dependencia. El 9 de Abril de 1957 entró en vigor un nuevo Reglamento Interior para ampliar su ámbito de competencia.

El 25 de julio de 1974, el Ejecutivo Federal creó:

El Instituto Nacional de Estudios del Trabajo

El Centro Nacional de Información y Estadísticas del Trabajo

Ambos como órganos desconcentrados dependientes de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

El primero tuvo por objeto "la preparación y elevación del nivel cultural del personal al que compete la aplicación de las normas de trabajo, la formación de funcionarios para el servicio público y el desarrollo de especialistas que puedan fungir como asesores de los factores de la producción."

El segundo tuvo señalados como objetivos la integración y mejoramiento de la información y las estadísticas en materia laboral, su difusión pública, así como la promoción de su utilización en el diseño de políticas sobre la materia".

En cuanto al agrupamiento de entidades de la administración pública paraestatal por sectores definidos, establecido por el Acuerdo Presidencial del 17 de enero de 1977, quedaron bajo coordinación del secretario de la STPS, las siguientes:

- La comisión Nacional de Salarios Mínimos (creación publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de noviembre de 1962).
- El Fideicomiso para el Centro de Estudios Históricos del Movimiento Obrero Mexicano (creación publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de junio de 1962)
- El fondo de Fomento y Garantía para el Consumo de los Trabajadores (creación publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo de 1974)
- El Consejo Nacional para Promover la Cultura y Recreación de los Trabajadores (creación publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de julio de 1975)
- La Editorial Popular de los Trabajadores (creación publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de julio de 1975)

A la iniciativa del Ejecutivo Federal, en el mes de Enero de 1978 el Poder Legislativo reformó las fracciones XII, XIII, XXXI del Apartado A del Artículo 123 Constitucional. A través de dichas reformas se consignó en la Ley Suprema de la Federación el deber de los patrones de proporcionar a sus trabajadores capacitación y adiestramiento en el trabajo y se federalizó la aplicación de las normas laborales en varias ramas industriales, así como la citada materia de capacitación y adiestramiento, y la seguridad e higiene en el trabajo [4].

4.4 Requerimientos de la NOM-020-STPS-2002.

Objetivo de la Norma.

Establecer los requisitos mínimos de seguridad para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y calderas en los centros de trabajo, para la prevención de riesgos a los trabajadores y daños en las instalaciones.

Campo de aplicación de la Norma.

La Norma Oficial Mexicana NOM-020-STPS-2002, rige en todo el territorio nacional mexicano y aplica en todos los centros de trabajo en donde funcionen recipientes sujetos a presión interna o externa, calderas o recipientes criogénicos.

4.4.1 Recipientes exceptuados.

Condiciones en recipientes sujetos a presión que no requieren de la autorización de funcionamiento ante la STPS:

Recipientes sujetos a presión:

- a. Que su sección transversal más amplia sea menor de 15.2 cm., (6 Pulgadas) sin importar la longitud del recipiente, y que además contenga fluidos no peligrosos.

- b. Que trabajen con agua, aire y/o fluidos no peligrosos, que su temperatura de operación no exceda de 70° C (158° F) y que la presión de calibración del dispositivo de seguridad sea inferior a 5.0 kg./cm². (71.1 PSI). Los equipos que trabajen a vacío sí requieren autorización de funcionamiento.
- c. Que se destinen a contener líquidos criogénicos, cuyo volumen sea menor a 1m³, su diámetro no exceda de 100 cm., (39.37 Pulgadas.) en la sección más amplia del recipiente interior, y la presión de calibración del dispositivo de seguridad se encuentre entre 0 y 5 kg./cm².
- d. Que trabajen interconectados en una misma línea de proceso donde la presión de operación del conjunto de equipos, y la de cada uno de los equipos, se encuentre entre 0.3 y 2 kg/cm² de presión manométrica, y al final de la línea de proceso se encuentren abiertos a la atmósfera.
- e. Que sean receptores de aire asociados con los sistemas de frenos de equipo móvil.

Calderas:

- a. Que cuenten con una superficie de calefacción menor de 10 m² y que la presión de calibración del dispositivo de seguridad sea menor a 3.5 Kg./cm².
- b. Que su temperatura de operación no sea mayor de 70° C.

Quedan exceptuados del cumplimiento de esta Norma:

- a. Las campanas de buceo.
- b. Las cámaras o campanas hiperbáricas.

- c. Los recipientes utilizados como extintores.
- d. Las tuberías y sus componentes (juntas de expansión y conexiones).
- e. Los recipientes portátiles que contengan gases comprimidos.
- f. Las partes para contener presión de otros componentes o mecanismos que sirven para mezclado, separación, aspersión, distribución, medición o control de fluidos.
- g. Los equipos que contengan gas licuado de petróleo que se encuentran regulados por otras disposiciones legales cuya vigilancia compete a la Secretaría de Energía.
- h. Carros-Tanque que transporten gases comprimidos, cuyas regulaciones se encuentran a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes [6].

5.

DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 Tipos de recipientes

Para el desarrollo del proyecto el código ASME se deben de señalar los tipos de recipientes ya que 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:

Por su uso:

Los podemos dividir en recipientes de almacenamiento y en recipientes de procesos. Los primeros nos sirven únicamente para almacenar fluidos a presión y de acuerdo con sus servicios son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques de día, tanques acumuladores, etc.

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 incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según sea el caso.

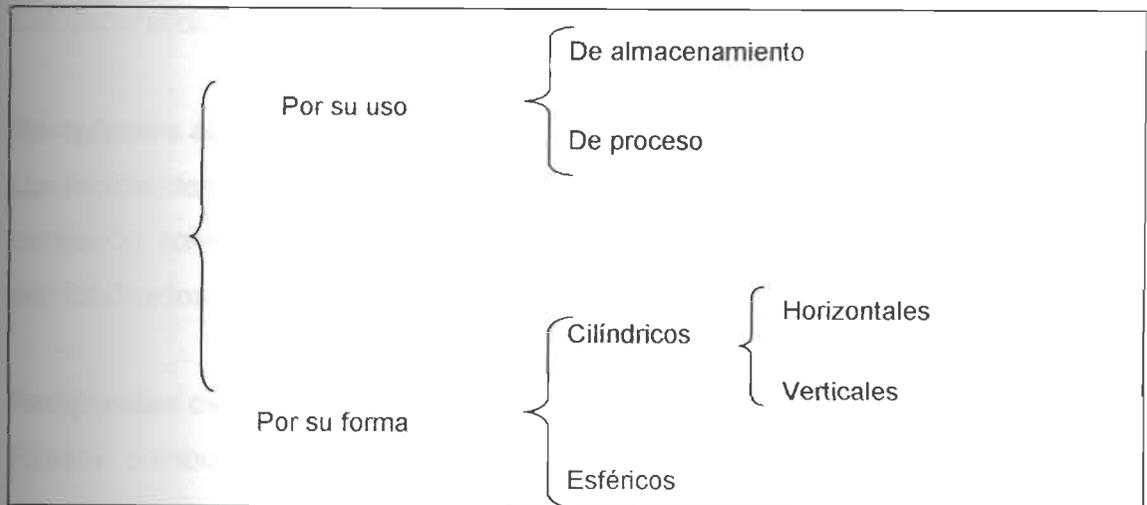


Figura 1. Tipos de recipientes

Los esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes esféricos a altas presiones. Puesto que la forma esférica es la forma natural que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna esta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión sin embargo en la fabricación de estos es mucho más cara a comparación de los recipientes cilíndricos [2].

Los tipos más comunes de recipientes pueden ser clasificados de acuerdo a su geometría como:

1.- Recipientes Abiertos.

1.1 Tanques Abiertos.

2.- Recipientes Cerrados.

2.1 Tanques cilíndricos verticales, fondo plano.

2.2 Recipientes cilíndricos horizontales y verticales con cabezas formadas.

2.3 Recipientes esféricos.

Las generalidades en el uso de los tipos más comunes de recipientes son:

Recipientes abiertos

Los recipientes abiertos son comúnmente utilizados como tanque igualador o de oscilación como tinajas para dosificar operaciones donde los. Estos recipientes son fabricados de acero, por su bajo costo inicial y fácil fabricación.

Recipientes cerrados

Fluidos combustibles o tóxicos o gases finos deben ser almacenados en recipientes cerrados. Sustancias químicas peligrosas, tales como ácidos o sosa cáustica son menos peligrosas si son almacenadas en recipientes cerrados.

Tanques cilíndricos de fondo plano

El diseño en el tanque cilíndrico vertical operando a la presión atmosférica, es el tanque cilíndrico con un techo cónico y un fondo plano descansando directamente en una cimentación compuesta de arena, grava o piedra triturada. En los casos donde se desea usar una alimentación de gravedad, el tanque es levantado arriba del terreno y el fondo plano debe ser incorporado por columnas y vigas de acero.

Recipientes cilíndricos horizontales y verticales con cabezas formadas

Son usados cuando la presión de vapor del líquido manejado puede determinar un diseño más resistente. Varios códigos han sido desarrollados o por medio de los esfuerzos del API y el ASME para gobernar el diseño de tales recipientes. Una gran variedad de cabezas formadas son usadas para cerrar los extremos de los recipientes cilíndricos. Las cabezas formadas incluyen la semiesférica, elíptica, toriesférica, cabeza estándar común y toricoidal. Para propósitos especiales de placas planas son usadas para cerrar un recipiente abierto. Sin embargo las cabezas planas son raramente usadas en recipientes grandes.

Recipientes esféricos

El almacenamiento de grandes volúmenes de material bajo presión son normalmente de los recipientes esféricos. Las capacidades y presiones utilizadas varían grandemente. Para los recipientes mayores el rango de capacidad es de 1000 hasta 25000 Psi (70.31 - 1757.75 Kg/cm²). Y de 10 hasta 200 Psi (0.7031 - 14.06 Kg/cm²) para los recipientes menores.

Cuando una masa dada de gas esta almacenada bajo la presión es obvio que el volumen de almacenamiento requerido será inversamente proporcional a la presión de almacenamiento.

En general cuando 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 [2] [3].

5.2. Tipos de tapas de recipientes bajo presión interna

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.

Tapas planas:

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

Tapas toriesféricas:

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

Tapas semielípticas:

Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semielípticas soportan mayores presiones que las toriesféricas. El proceso de fabricación de estas tapas es troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1, su costo es alto y en México se fabrican hasta un diámetro máximo de 3 mts.

Tapas semiesféricas:

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

Tapa 80:10:

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

Tapas cónicas:

Se utilizan generalmente en fondos donde pudiese haber acumulación de sólidos y como transiciones en cambios de diámetro de recipientes cilíndricos. Su uso es muy común en torres fraccionadoras o de destilación, no hay límites

en cuanto a dimensiones para su fabricación y su única limitación consiste en que el ángulo de vértice no deberá de ser calculado como tapa plana.

Tapas toricónicas:

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

Tapas planas con ceja:

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

Tapas únicamente abombadas:

Son empleadas en recipientes a presión manométrica relativamente baja, su costo puede considerarse bajo, sin embargo, si se usan para soportar presiones relativamente altas, será necesario analizar la concentración de esfuerzos generada, al efectuar un cambio brusco de dirección [2] [3].

5.3 Criterios de diseño ASME Sección VIII División 1

Una vez teniendo una idea de lo que es y cómo está formado el Código A.S.M.E., nos enfocaremos a la Sección VIII, ya que es la relacionada con Recipientes a Presión.

La Sección VIII del Código A.S.M.E., contiene dos Divisiones, la División 1, que cubre el diseño de los recipientes a presión no sujetos a fuego directo y la División 2, que contiene otras alternativas para el cálculo de recipientes a presión.

Las reglas de la División 1, de esta Sección del Código, cubren los requisitos mínimos para el diseño, fabricación, inspección y certificación de recipientes a presión.

En esta parte del código se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación inspección y para obtener la certificación autorizada de la ASME para los recipientes a presión, en base a esto se ha dividido en:

Subsección A. Parte UG que cubre los requerimientos generales.

Subsección B. Requerimientos de fabricación

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

Parte UF.- Para recipientes que serán fabricados por forjado

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

Subsección C. Requerimientos de materiales

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

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

Parte UCI.- Para los construidos con fierro fundido.

Parte UCL.- Para los construidos con una placa "Clad" integral o con recubrimiento tipo "Lining".

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

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

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

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

5.4 Limitantes de la División 1

- El espesor mínimo que se establece para recipientes construidos en acero al carbón será de 3/32" (2.38mm)
- La presión deberá ser menor a 3000 psi.
- Calentadores tubulares sujetos a fuego.
- Recipientes a presión que son parte integral de componentes de sistemas de tubería
- Sistemas de tuberías.
- La presión mínima a que deberán diseñarse los recipientes será de 15 PSIG (1 atmósfera)
- Componentes de tubería.
- Recipientes para menos de 454.3 litros (120 galones) de capacidad de agua, que utilizan aire como elemento que origina la presión.
- Suministro de calor no mayor de 58,600 W (200,000 Btu/h)
- Temperatura del agua de 99° c (210°f)
- Recipientes que no excedan de 15.2 cm (6 pulg) de diámetro [2].

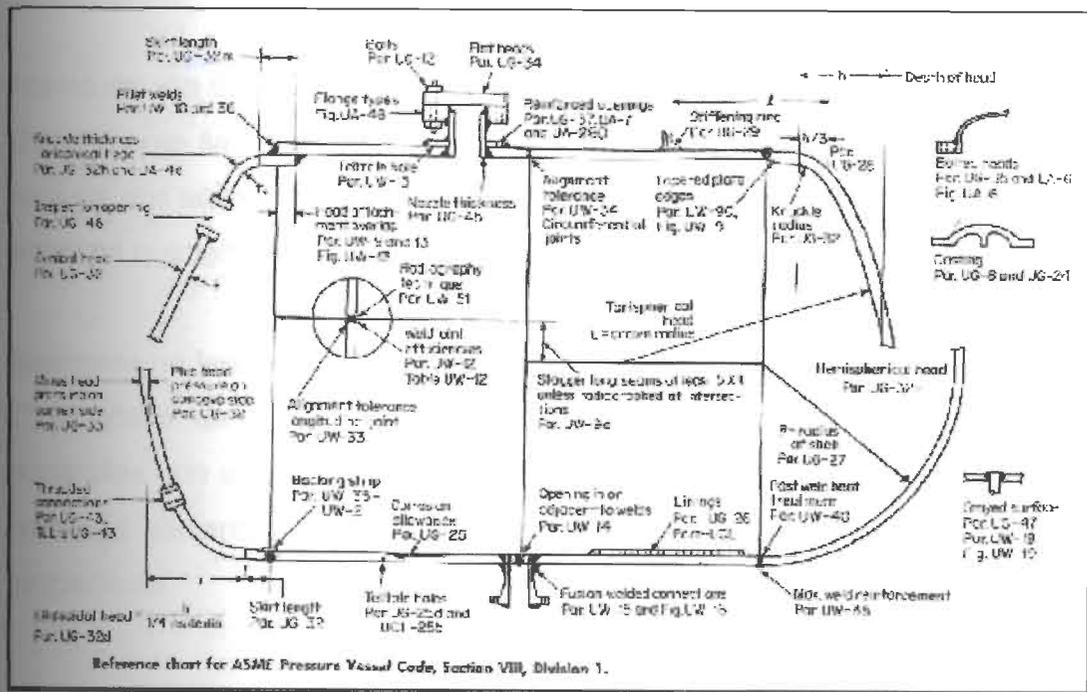


Figura 2. Grafico de referencia para recipientes a presión Código ASME, Sección VIII Div. 1

5.5. Materiales

La variedad de aplicaciones del acero para fines de ingeniería se debe al amplio intervalo de propiedades físicas que se pueden obtener por cambios en el contenido de carbono y en el tratamiento térmico. Los criterios de la selección de los materiales que pueden aplicarse a los recipientes son los siguientes:

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, etc. 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 rangos más altos de temperaturas respecto a los aceros al carbón.

Aceros de alta aleación

Comúnmente llamados aceros inoxidable. Su costo en general es mayor que para los dos anteriores. El contenido de elementos de aleación es 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.

Los aceros al carbón y de baja aleación son usualmente usados donde las condiciones de servicio lo permitan por los bajos costos y la gran utilidad de estos aceros [3].

Los aceros al carbono pueden subdividirse de manera general en tres grupos:

- 1) De bajo contenido de carbono, 0.05 a 0.25% de carbono, en los que solamente se requiere una resistencia moderada unida a una plasticidad considerable (Aceros Suaves).
- 2) Acero para maquinaria, 0.30 a 0.55% de carbono, los cuales pueden tratarse térmicamente para desarrollar alta resistencia (Aceros de medio carbono)
- 3) Aceros para herramientas con 0.60 a 1.30% de carbono, Este ultimo grupo comprende también los aceros para rieles y para resortes. usados cuando se requiere alta resistencia al desgaste (Aceros de alto carbono – Aceros para herramientas) [4, 5].

La curva de esfuerzo deformación a la tracción de ingeniería se obtiene por la acción de carga estática sobre una probeta estándar, es decir, mediante la aplicación suficientemente lenta de carga, para que todas las partes de la probeta estén en equilibrio en todo instante. La curva se obtiene en general, gobernando la rapidez de la carga en la maquina de tracción. La norma ASTM E8 especifica una rapidez de carga que no exceda de 70 Kg./mm^2 ($100,00 \text{ lb./pulg}^2$)/min.

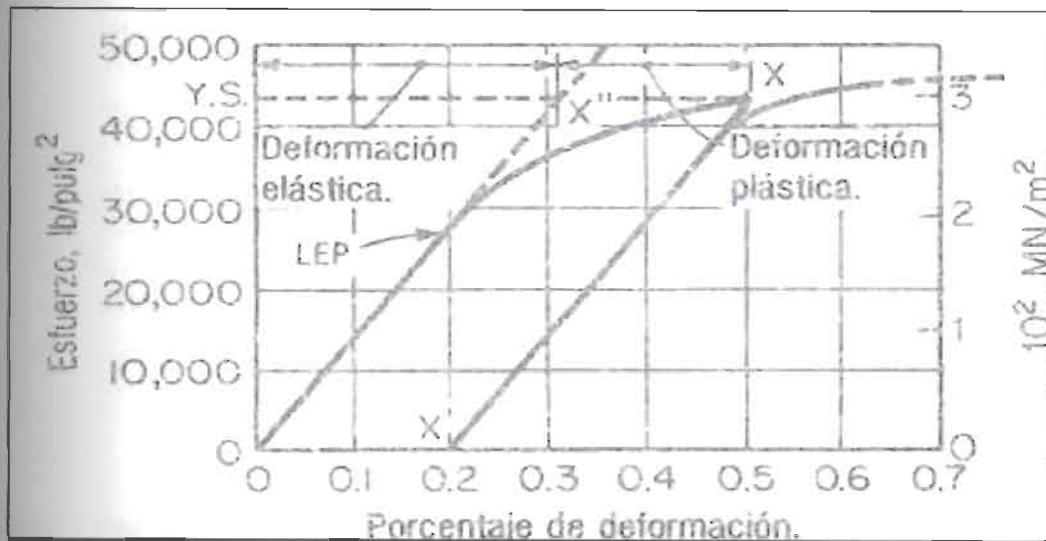


Figura 3. Diagrama general de esfuerzo-deformación

Para la mayor parte de los materiales de la ingeniería, la curva debe tener una región elástica inicial (Ver Fig. anterior), en la cual la deformación es reversible e independiente del tiempo. La pendiente de esta región es el módulo de Young E , El límite elástico proporcional (LEP) es el punto donde la curva comienza a desviarse de la línea recta. El límite elástico (con frecuencia no distinguible del LEP) es el punto sobre la curva mas allá del cual esta presente la deformación plástica después que deja de actuar la carga. Si se aumenta aun mas el esfuerzo, la curva esfuerzo deformación se aparta cada vez más de la línea recta. Al descargar la probeta en el punto X , la porción XX' es lineal, y es, en esencia paralela a la línea original OX' .

La distancia original OX' se llama grado de deformación permanente, que corresponde al esfuerzo en X . Esta es la base para la construcción de la arbitraria resistencia de cadencia. Para determinar la resistencia de cadencia, se traza una recta XX' paralela a la línea elástica inicial OX' , pero desplazada de ella por un valor arbitrario de deformación permanente, la deformación permanente mas usada es de 0.20% del tramo de medición original. La intersección de esta línea con la curva determina el valor del esfuerzo llamado resistencia de cadencia.

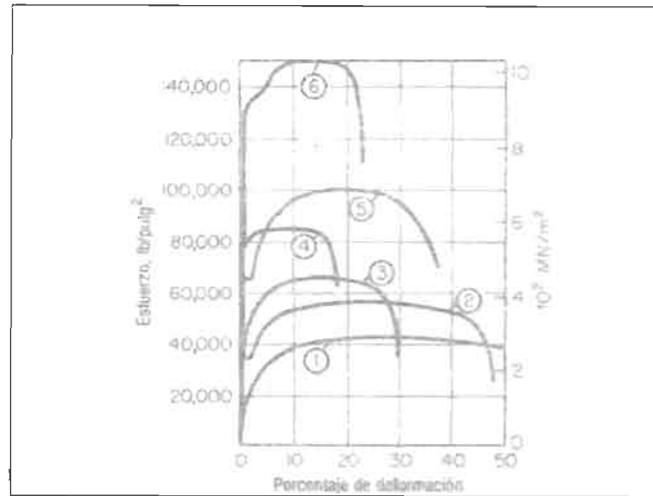


Figura 4. Diagrama comparativos de esfuerzo-deformación. 1) Latón blando; 2) Acero bajo carbono; 3) Bronce duro; 4) Acero laminado frío; 5) Acero de contenido medio de carbono recocido; 6) Acero de contenido medio de carbono tratado térmicamente.

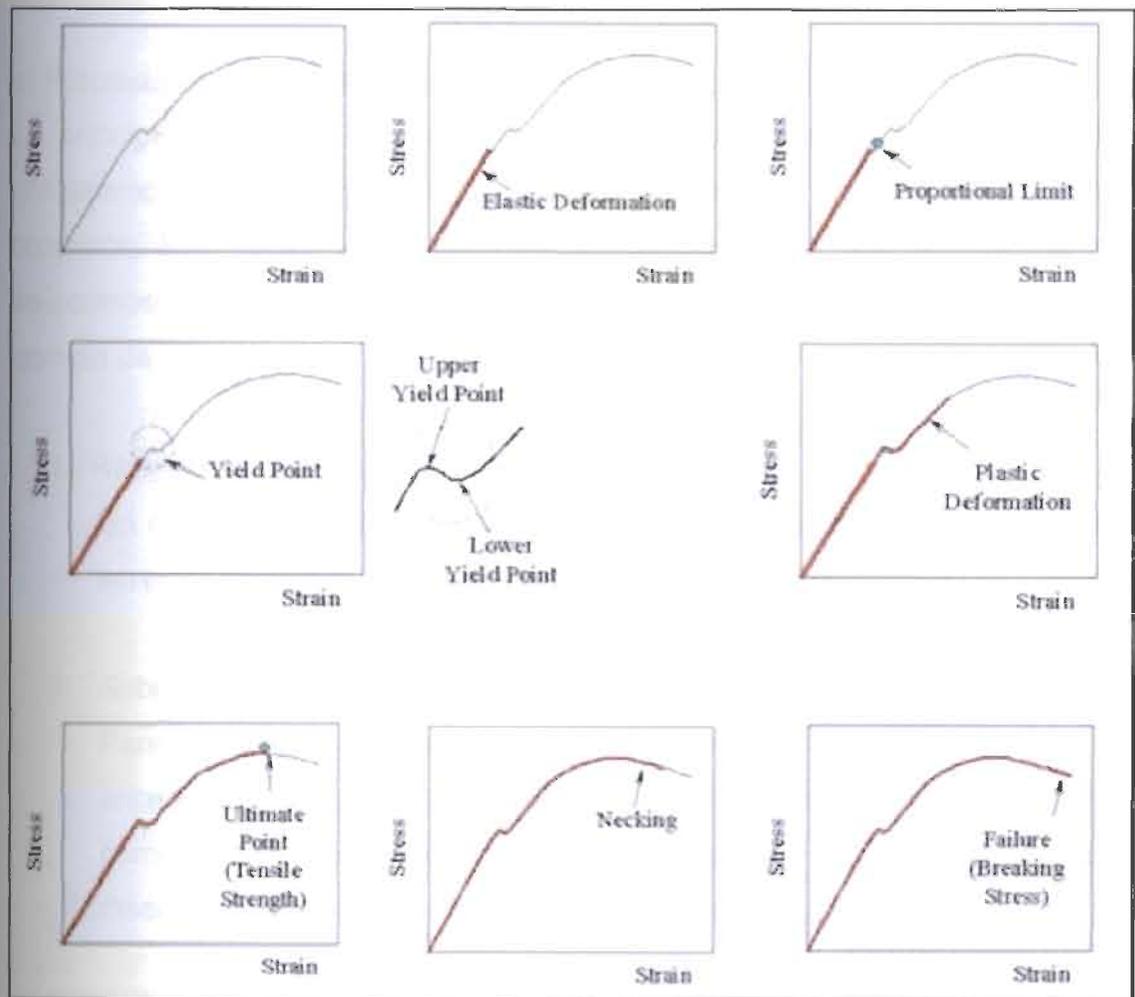


Figura 5 Diagrama de Esfuerzo deformación

5.6. Propiedades que deben tener los materiales para satisfacer las condiciones de servicio.

a) Propiedades mecánicas.

Al considerar las propiedades mecánicas del material es deseable que tenga buena resistencia a la tensión, alto nivel de cedencia, porcentaje de alargamiento alto y mínima reducción de área. Con estas propiedades principales se establecen los esfuerzos de diseño para el material en cuestión.

b) Propiedades físicas.

En este tipo de propiedades se buscará que el material deseado tenga coeficiente de dilatación térmica.

c) Propiedades químicas.

La principal propiedad química que debemos considerar en el material que utilizaremos en la fabricación de recipientes a presión, es su resistencia a la corrosión. Este factor es de muchísima importancia, ya que un material mal seleccionado nos causará múltiples problemas, las consecuencias que se derivan de ello son:

I.- Reposición del equipo corroído.

Un material que no sea resistente al ataque corrosivo, puede corroerse en poco tiempo de servicio.

II.- Sobre diseño en las dimensiones.

Para materiales poco resistentes a la corrosión, es necesario dejar un excedente en los espesores, dejando margen para la corrosión, esto trae como consecuencia que los equipos resulten más pesados, encarecen el diseño y además de no ser siempre la mejor solución.

III.- Mantenimiento preventivo.

Para proteger a los equipos del medio ambiente corrosivo es necesario usar pinturas protectoras.

IV.- Paros debidos a la corrosión de los equipos.

Un recipiente a presión que ha sido atacado por la corrosión, necesariamente debe ser retirado de operación, lo cual implica pérdidas en la producción.

V.- Contaminación o pérdida del producto.

Cuando en los componentes de los recipientes a presión se han llegado a producir perforaciones en las paredes metálicas, los productos de la corrosión contaminan el producto, lo cual en algunos casos implica un costo elevado.

VI.- Daños a equipos adyacentes.

La destrucción de un recipiente a presión por corrosión, puede dañar los equipos con los que esté colaborando en el proceso.

VII.- Consecuencias de tipo social.

La falla repentina de un recipiente a presión corroído, puede ocasionar desgracias personales, además de que los productos de la corrosión, pueden ser nocivos para la salud.

d) Soldabilidad.

Los materiales usados para fabricar recipientes a presión, deben tener buenas propiedades de soldabilidad, dado que la mayoría de sus componentes son de construcción soldada. Para el caso en que se tengan que soldar materiales disímiles, estos deberán ser compatibles en sus propiedades estructurales a fin de que sean compatibles y se deberá de revisar la especificación técnica de cada uno. Un material, cuantos más elementos de aleación contenga, mayores

precauciones deberán tomarse durante los procedimientos de soldadura, de tal manera que se conserven las características que proporcionan los elementos de aleación [2] [3].

Tipos de fallas en recipientes por defectos de la unión. Para comprender mejor los tipos de fallas presentes en las soldaduras de los recipientes sujetos a presión es necesario definir el concepto de unión soldada o soldadura como sigue:

Soldadura es la unión de metales o plástico por métodos que no precisan dispositivos de sujeción.

Podemos distinguir varios métodos de soldar, en el más corriente se produce la fusión de la zona de contacto de las dos piezas metálicas efectuándose la unión al solidificar el metal fundido.

Zonas que confirman una soldadura:

1. Metal base: formado por las dos partes o piezas que se quieren unir.
2. Metal de aporte: integrado por los diferentes pases o cordones de soldadura.
3. Penetración de la fusión donde se efectúa la unión entre los dos metales.
4. Zona afectada por el calor: zona de metal base adyacente al área de fusión cuyas propiedades se ven afectadas por el calor.

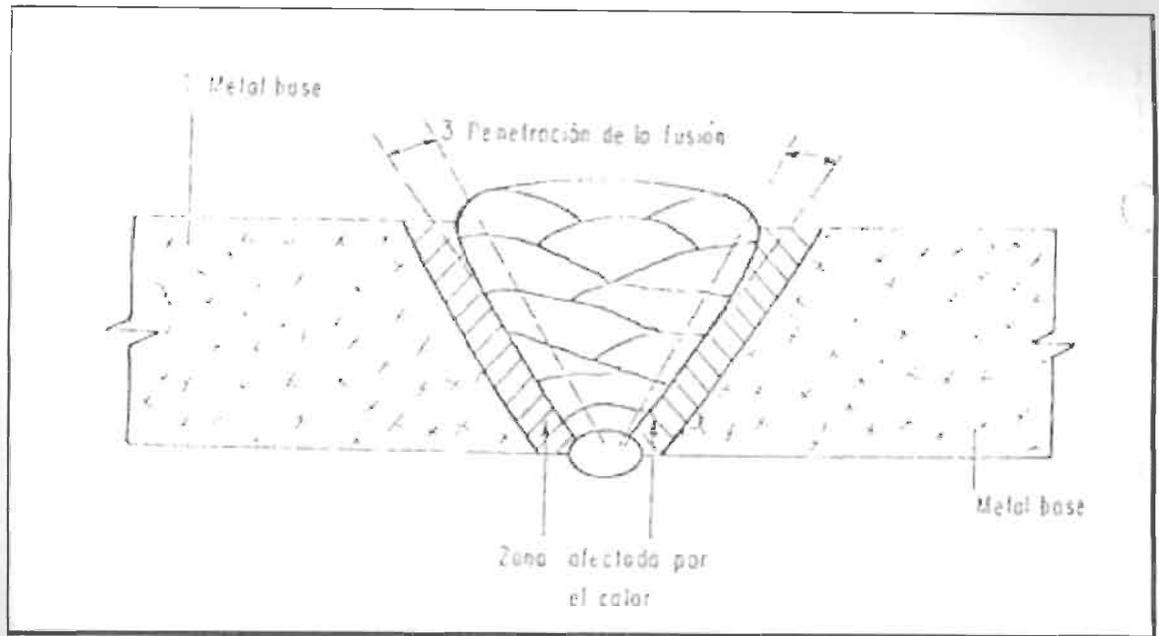


Figura 6. Perfil de soldadura.

Además de las zonas esenciales de una soldadura se muestran todos los detalles concernientes al diseño de una junta soldada [4].

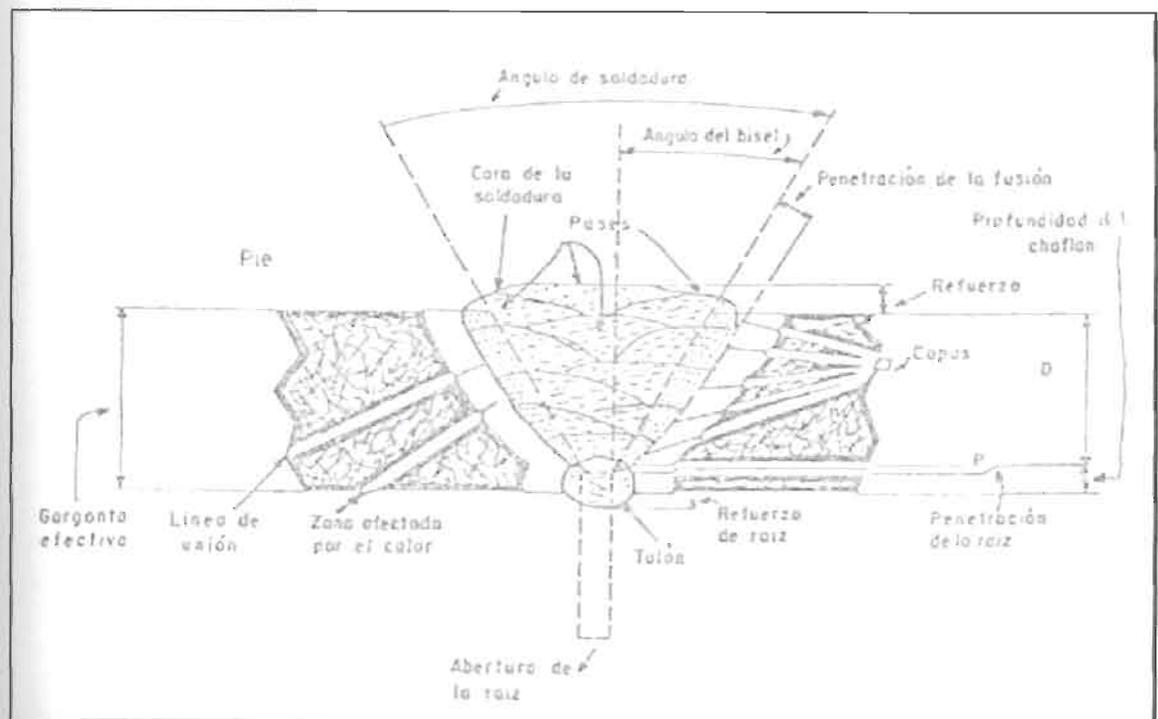


Figura 7. Zonas esenciales de una soldadura.

5.7. Evaluación de los materiales sugeridos.

En esta etapa, se toman en cuenta los aspectos relacionados con la vida útil de la planta donde se instalarán los recipientes o equipos que se estén diseñando y se fija la atención en los siguientes puntos:

I.- Vida estimada de la planta.

Una planta se proyecta para un determinado tiempo de vida útil, generalmente 30 años, esto sirve de base para formarnos un criterio sobre la clase de posibles materiales que podemos utilizar.

II.- Duración estimada del material.

Para esto, es necesario auxiliarnos de la literatura existente sobre el comportamiento de los materiales en situaciones similares, reportes de experiencias de las personas que han operado y conocen los problemas que se presentan en plantas donde se manejen productos idénticos para hacer buenas estimaciones.

III.- Confiabilidad del material.

Es necesario tener en cuenta las consecuencias económicas de seguridad del personal y del equipo en caso de que se llegaran a presentar fallas inesperadas.

IV.- Disponibilidad y tiempo de entrega del material.

Es conveniente tener en cuenta la producción nacional de materiales para construcción de recipientes a presión, ya que existiría la posibilidad de utilizar los materiales de que se dispone sin tener grandes tiempos de entrega y a un costo menor que las importaciones.

Los siguientes esfuerzos Permisibles de Materiales corresponden para temperaturas dentro del rango de -28.8 a 343.3 °C, fuera de este rango no usar estos valores de esfuerzo, consultar ASME Sección II Parte D.

Material	Esfuerzo permisible
SA-283 GRADO "A"	11,300 PSI
SA-283 GRADO "B"	12,500 PSI
SA-283 GRADO "C"	13,800 PSI
SA-283 GRADO "D"	15,000 PSI
SA-285, GRADO "A"	11,300 PSI
SA-285 GRADO "B"	12,500 PSI
SA-285 GRADO "C"	13,800 PSI
SA-515 GRADO "60"	15,000 PSI
SA-515 GRADO "65"	16,200 PSI
SA-515 GRADO "70"	17,500 PSI
SA-516, GRADO "55"	13,800 PSI
SA-516 GRADO "60"	15,000 PSI
SA-516 GRADO "65"	16,200 PSI
SA-516 GRADO "70"	17,500 PSI
SA-36	14,500 PSI
SA-662 GRADO "A"	14,500 PSI
SA-662 GRADO "B"	16,300 PSI
SA-662 GRADO "C"	17,500 PSI
SA-537	15,900 PSI (Espesores 2 1/2" a 4") 17,500 PSI (Espesores > 4" a 6")
SA-455	17,500 PSI (Espesores 5/8" a 3/4")

V.- Costo del material y de fabricación.

Por lo general, a un alto costo de material le corresponde un alto costo de fabricación.

VI.- Costo de mantenimiento e inspección.

Un material de propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión menores, requiere de mantenimientos e inspecciones frecuentes, lo cual implica tiempo fuera de servicio y mayores gastos por este concepto [2].

5.8 Selección del material

La decisión final sobre el material a utilizar será de acuerdo a lo siguiente:

Material más adecuado, será aquel que cumpla con el mayor porcentaje de requisitos tales como:

1.- Requisitos Técnicos.

Cumplir con el mayor número de requisitos técnicos es lo más importante para un material, ya que de éstos depende el funcionamiento correcto y seguro del equipo.

2.- Requisitos Económicos.

Estos requisitos lo cumplen los materiales que impliquen los menores gastos como son los iniciales, de operación y de mantenimiento, sin que por este concepto se tenga que sacrificar el requisito técnico, que repetimos, es el más importante [2].

Materiales más comunes

El Código A.S.M.E. indica la forma de suministro de los materiales más utilizados, la cual va implícita en su especificación.

	18,300 PSI (Espesores > 3/8" a 5/8")
	18,700 PSI (Espesores < 3/8")
SA-738 GRADO "C"	17,200 PSI (Espesores > 4" a 6")
	18,600 PSI (Espesores > 2 1/2" a 4")
	19,700 PSI (Espesores < 2 1/2")
SA-738 GRADO "A"	18,400 PSI
SA-738 GRADO "B"	21,300 PSI
SA-299	8,700 PSI (Espesores > 1")
	18,700 PSI (Espesores < 1")
SA-612	19,000 PSI (Espesores > 1/2" hasta 1")
	20,000 PSI (Espesores < 1/2")
SA-724 GRADO "A"	22,200 PSI
SA-724 GRADO "B"	23,400 PSI
SA-724 GRADO "C"	22,200 PSI

Entre otros estos son los materiales ferríticos (acero) más comúnmente comerciales empleados en la construcción de recipientes sujetos a presión [4].

Entre los materiales de más comúnmente usados en la fabricación de recipientes a presión, está principalmente el acero al carbón y algunas aleaciones especiales como:

Aceros Especiales austeníticos y ferríticos:

Titanio Incoloy
Zirconio Hastelloy
Hafnio Monel
Tántalo Inconel
Molibdeno Admiralty [2] [3].

5.9 Esfuerzos admisibles

Son los grados de exactitud con los cuales las cargas pueden ser estimadas, la confiabilidad de los esfuerzos estimados para estas cargas, la uniformidad del material, el peligro a la falla ocurre y en otras consideraciones como:

Esfuerzos locales con concentración de esfuerzos, fatiga y corrosión.

Para materiales que sean sometidos a temperaturas inferiores al rango de termofluencia los esfuerzos admisibles se pueden considerar con el 25% de la resistencia a la tensión o el 62.5% de la resistencia a la cedencia a la temperatura de operación. Los materiales usados para anclaje en el rango de temperatura de -20 a 400°F (-28.88 a 204.44°C) se considera que es un 20% de la resistencia a la cedencia.

El porcentaje de resistencia a la cedencia usando como esfuerzo admisible es controlado por un número de factores tales como la exactitud con la cual la carga de confiabilidad de los esfuerzos con frecuencia se usa un esfuerzo admisible para aceros estructurales [3].

5.9.1 Filosofía del diseño

En general los recipientes a presión diseñados de acuerdo con el código ASME Sección VIII Div. 1. Son diseñados por reglas que no requieren una evaluación detallada de todos los esfuerzos. Se reconoce que existen esfuerzos

secundarios elevados flexionantes pero al admitir un factor elevado de seguridad y las reglas del diseño, estos esfuerzos serán compensados como regla general cuando se realiza un análisis mas detallado de esfuerzos permiten considerar esfuerzos admisibles mayores en lugar de usar un factor de seguridad elevado como el utilizado en el código. Un factor de seguridad elevado refleja una falta de conocimiento de los esfuerzos reales.

El diseñador debe de familiarizarse con los diversos tipos de esfuerzos y cargas para lograr un diseño económico y seguro [3].

5.9.2 Categorías de exposición N

Zona A

Para grandes ciudades donde por lo menos el 50% de los edificios excede a 70' pies de altura.

Zona B

Áreas urbanas suburbanas y boscosas.

Zona C

Para terreno abierto como terracerias donde cualquier obstrucción sea menor a 30' pies.

Zona D

Para áreas costeras, planas, incluye aquellas áreas localizadas como mínimo a 10 veces la altura de la estructura.

6.

RECIPIENTES CILÍNDRICOS HORIZONTALES

En este capítulo, enunciaremos los procedimientos a seguir para efectuar los cálculos necesarios en el diseño de diferentes tipos de recipientes a presión, en el caso de los cilíndricos horizontales, es necesario efectuar los siguientes cálculos.

6.1 Calculo del cilindro

Memoria de cálculos para espesor del cuerpo cilíndrico con presión interna (UG-27) [7]

En la Figura No. 8, se muestra un formato para el cálculo del espesor del cilindro por presión interna, en él, se puede observar que se realizaron tres cálculos con eficiencia de soldaduras de 0.7, 0.85 y 1.0 respectivamente.

Al usar	$E = 0.7$ calculamos que	$t = 0.488''$
Usando	$E = 0.85$ tenemos que	$t = 0.402''$
Para	$E = 1.0$ obtenemos que	$t = 0.341''$

Todos los espesores han sido calculados sin considerar tolerancia por corrosión. Usando en nuestro recipiente $t = 0.488''$ no gastaremos en radiografías, pero el espesor resultante es muy alto, y consecuente caro. En el tercer caso obtuvimos que $t = 0.341''$, usaríamos un espesor pequeño, pero gastaríamos mucho en radiografiar al 100%. El punto óptimo de eficiencia de soldaduras, por experiencia para los cuerpos cilíndricos, lo tenemos cuando $E = 0.85$, es decir, el espesor no es muy grande y el costo del radiografiado es relativamente bajo.

Por lo anterior, es recomendable usar $E = 0.85$ en la mayoría de los cilindros sometidos a presión interna, solamente en casos especiales, utilizaremos otro valor de la eficiencia de soldaduras [2].

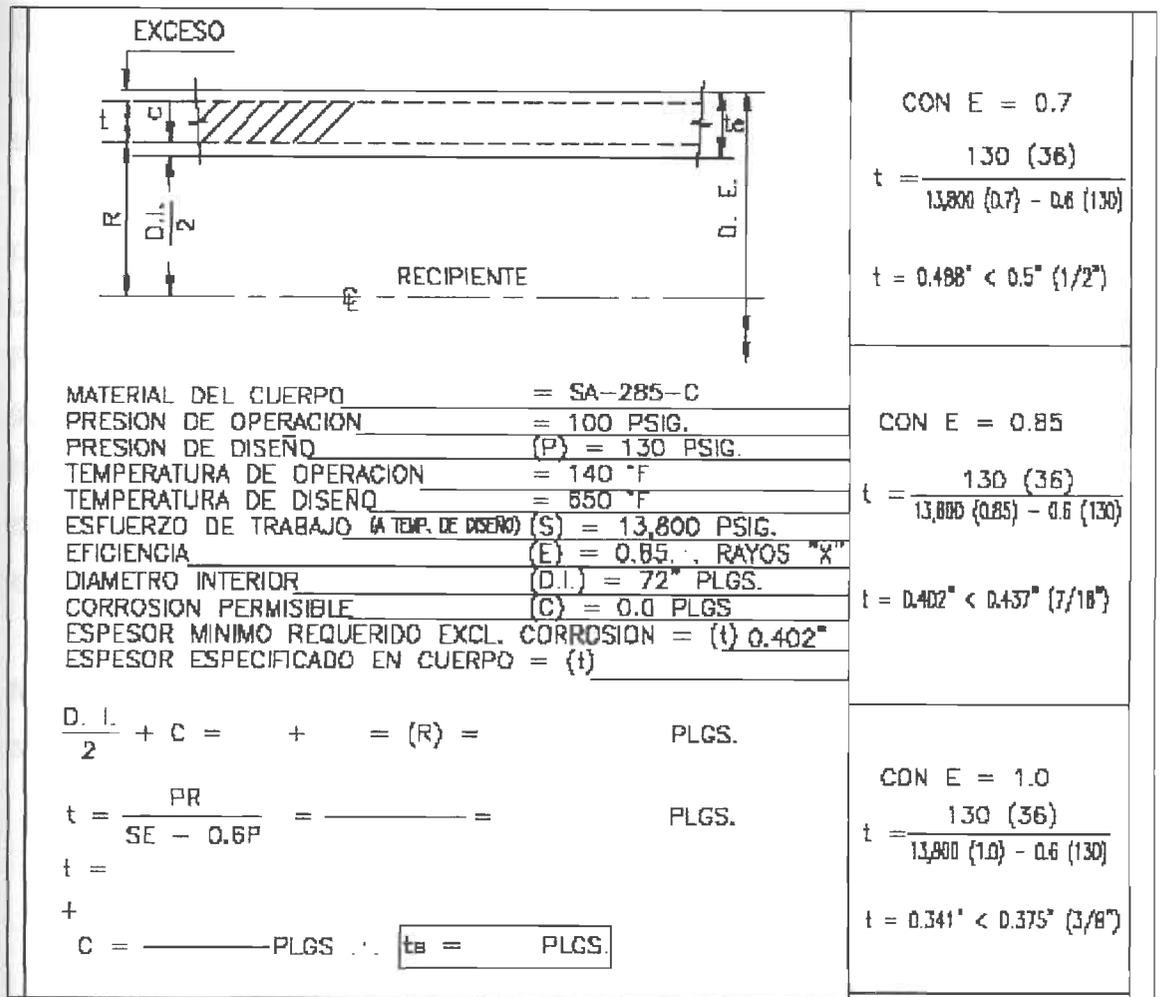


Figura 8. Calculo del espesor del cuerpo cilindrico.

6.2 Cálculo de las tapas y válvula de alivio

Así como en los cilindros de recipientes sometidos a presión, es recomendable usar una eficiencia de 0.85, en las tapas es conveniente usar un valor de $E = 1.0$, en algunos casos las tapas son fabricadas de una sola pieza, ello involucra que no tengan soldaduras y automáticamente el valor de la eficiencia es 1.0; Cuando las tapas no son fabricadas de una sola pieza, es conveniente radiografiar totalmente las soldaduras, cuyas longitudes son generalmente pequeñas, y consecuentemente, el radiografiado no es muy costoso comparado con el costo resultante del incremento en el espesor de las tapas. En las Figuras antes mencionadas, hemos elaborado los cálculos de los espesores de las tapas usando valores de $E = 0.7$, 0.85 y 1.0 respectivamente, el objeto de haberlos realizado, es hacer una comparación entre los resultados obtenidos y de esta manera formarnos un criterio propio basado en este tipo de experiencias.

Memoria de cálculos para espesor de cabeza semielíptica con presión Interna, solo cabezas con relación 2:1 (UG-32 y UA-4) [2] [7].

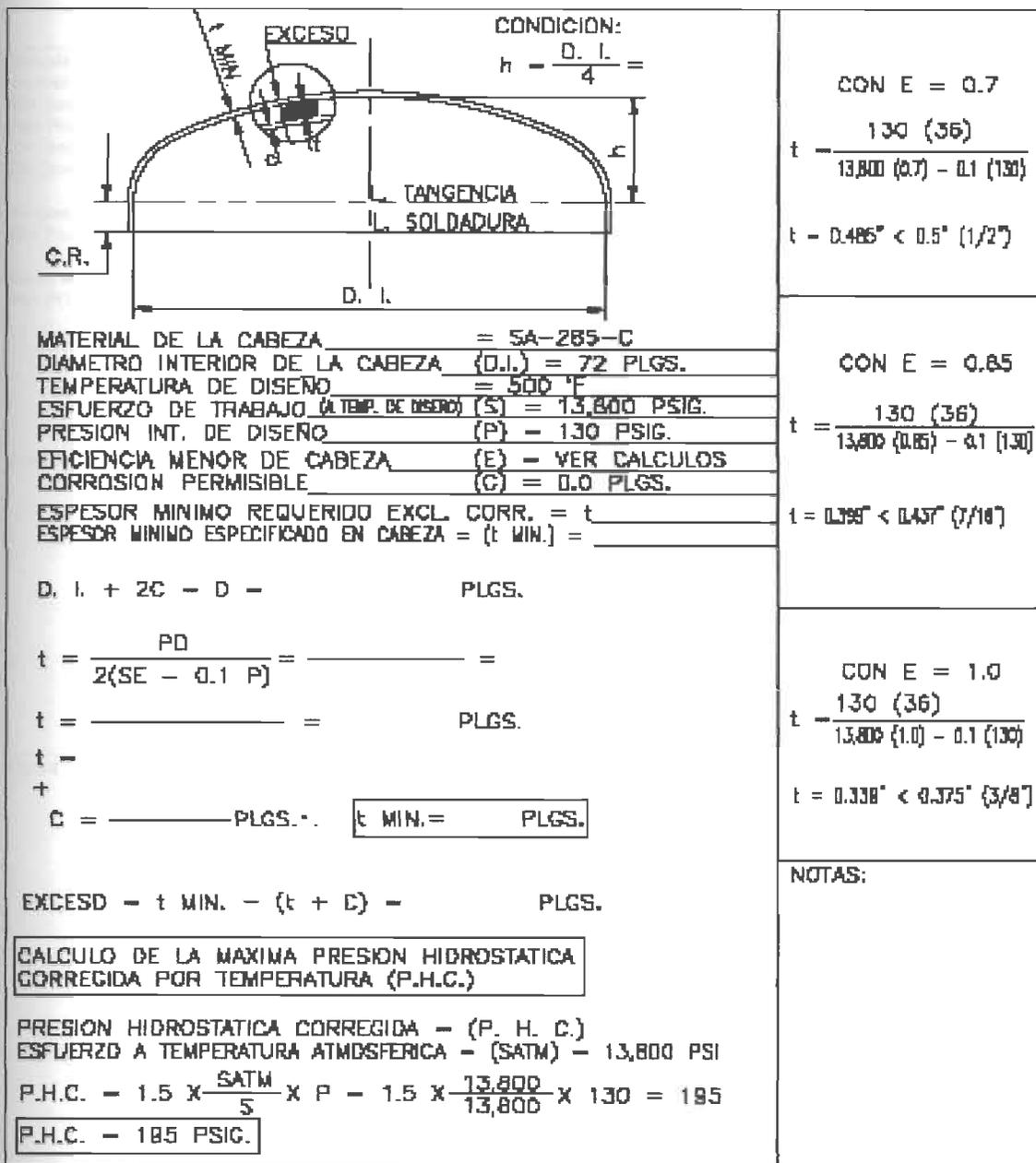


Figura 9. Calculo del espesor de cabeza semiéptica.

Valvula de alivio

a= Area de descarga del orificio de la valvula de alivio (pulg)²

W= Gasto (Libras por hora lbs/hr)

Pa= Presión interna de la valvula en condiciones de flujo (Presión +Sobrepresión (10%) +1 atm)

T= Temperatura de fluido en el interior de la valvula ($^{\circ}F+460=Ranking$) = $60^{\circ}F+460= 520 Ranking$

C= Constante del aire basada en la razon de calores especificos $K = \frac{C_p}{C_v}$ C= 356

K= Coeficiente de descarga de la valvula de seguridad para vapores y gases (0.975)

M = Peso molecular del aire 28.97

Gasto requerido W= 4836.94 lbs/hr = 2194 kg/hr

Pa= P(1.1)+1 atm

	P=		7 Kg/cm ²		99.56340317 psi
	1 Atm		1.0332 Kg/cm ²		14.69 psi
Libras	Pa=	99.56340317	1.1	14.69 =	124.209743 psi
Kilos	Pa=	9	1.1	1.0332	10.9332 Kg/cm ²

Área de descarga calculada para el gasto requerido:

$$A = \frac{W \sqrt{T}}{C_k p_a \sqrt{M}} = \frac{4836.942032 \sqrt{520}}{356 \cdot 0.975 \cdot 124.209743 \sqrt{28.97}}$$

$$= \frac{110299.2488}{43113.20196 \cdot 5.38237866} = \frac{110299.2488}{232051.5781} = 0.475322123 \text{ plg}^2$$

$$= 1.207318193 \text{ cm}^2$$

$$D = \frac{2 \sqrt{A}}{\sqrt{\pi}} = \frac{1.37887218}{1.77245592} = 0.77794441 \text{ plg}$$

$$= 1.97597881 \text{ cm}$$

Figura 10. Calculo de la Válvula de seguridad.

6.4 Cálculos de acuerdo al Reglamento de la STPS

De acuerdo al Artículo 100 del Reglamento de la STPS para inspección de generadores de vapor y recipientes sujetos a presión el cálculo es de la siguiente manera:

$$P = \frac{200KEM}{Dc}$$

Donde

P= Presión máxima de trabajo permitida

K= Coeficiente de ruptura por tracción del material que se empleé, en kg/mm^2

e= Espesor de la plancha en milímetros

EM = el menor de los coeficientes que resulte de la aplicación de las formulas señaladas en los artículos 98 y 99

D= Diámetro máximo interior del cuerpo del cilindro en mm

C= Coeficiente de edad que deberá ser igual a 5 para calderas con 15 años o menos de uso, aumentándose 0.5 por cada cinco años en exceso sobre los primeros 15.

Ejemplo del caculo:

$$60\text{lb/plg}^2 = 4219 \text{ Kg/Cm}^2 = 42.19 \text{ kg/mm}$$

$$P = \frac{200(42.19\text{kg/mm})(6.35)(0.7)}{749.3(5.0)}$$

Diámetro de la válvula de seguridad

$$D = 26 \frac{\sqrt{H}}{P + 0.59}$$

$$D = 26 \frac{\sqrt{5.42\text{m}^2}}{10\text{kg/cm}^2 + 0.59}$$

H = Superficies de calefacción en metros cuadrados

D = Diámetro de válvula en milímetros

P = Presión máxima manométrica a la que pueden trabajar los generadores y recipientes

7.

PRUEBAS EN RECIPIENTES A PRESIÓN.

Durante la fabricación de cualquier recipiente a presión, se efectúan diferentes pruebas para llevar a cabo un control de calidad aceptable, estas son, entre otras, Radiografiado, partículas magnéticas, Ultrasonido y líquidos penetrantes.

Este tipo de pruebas, como se mencionó anteriormente, son efectuadas durante la fabricación y el departamento de control de calidad de cada compañía es responsable de que se lleven a cabo.

7.1 Prueba hidrostática

Consiste en someter el recipiente a presión una vez terminado a una presión 1.5 veces la presión de diseño y conservar esta presión durante un tiempo suficiente para verificar que no haya fugas en ningún cordón de soldadura, como su nombre lo indica, esta prueba se lleva a cabo con líquido, el cual generalmente es agua.

Cuando se lleva a cabo una prueba hidrostática en un recipiente a presión, es recomendable tomar las siguientes precauciones:

- 1.- Por ningún motivo debe excederse la presión de prueba señalada en la placa de nombre.
- 2.- En recipientes a presión usados, con corrosión en cualquiera de sus componentes, deberá reducirse la presión de prueba proporcionalmente.

- 3.- Siempre que sea posible, evítese hacer pruebas neumáticas, ya que además de ser peligrosas, tienden a dañar los equipos.

7.2 Pruebas neumáticas

Las diferencias básicas entre este tipo de pruebas y la prueba hidrostática, consisten en el valor de la presión de prueba y el fluido a usar en la misma, la presión neumática de prueba es alcanzada mediante la inyección de gases. Como ya dijimos anteriormente, no es recomendable efectuar pruebas neumáticas, sin embargo, cuando se haga indispensable la práctica de este tipo de prueba, se deberán tomar las siguientes precauciones:

- 1.- Las pruebas neumáticas deben sobrepasar con muy poco la presión de operación, el Código A.S.M.E., recomienda que la presión de prueba neumática sea como máximo 1.25 veces la máxima presión de trabajo permisible y definitivamente deben evitarse en recipientes a presión usados.
- 2.- En las pruebas neumáticas con gases diferentes al aire, deben usarse gases no corrosivos, no tóxicos, incombustibles y fáciles de identificar cuando escapan. El Freón es un gas recomendable para efectuar las pruebas neumáticas.
- 3.- La mayoría de los gases para pruebas neumáticas, se encuentran en recipientes a muy alta presión, por lo tanto, es indispensable que se extremen las precauciones al transvasarlos al recipiente a probar, pues puede ocurrir un incremento excesivo en la presión de prueba sumamente peligroso [2].

7.3 Pruebas No destructivas

En la actualidad las Pruebas No Destructivas son una parte importante en el proceso de fabricación de muchos de los productos de nuestras industrias y en los programas de mantenimiento.

Una prueba no destructiva es aquella que no afecta la utilidad futura de la pieza. Las PND permiten detectar defectos superficiales, subsuperficiales e internos.

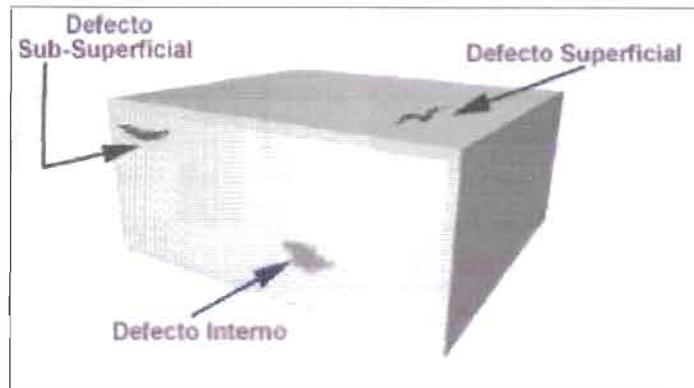


Fig. 11 Localización de los defectos

Las Pruebas No Destructivas más comunes en nuestro medio son, para:

Defectos Superficiales:	Inspección	Visual
	Líquidos	Penetrantes
	Partículas Magnéticas	
Defectos Subsuperficiales:	Partículas	Magnéticas
	Radiografía Ultrasonido	
Defectos Internos:	Radiografía Ultrasonido	

7.3.1 Inspección Radiográfica (RT)

Una radiografía es la imagen obtenida en una película radiográfica, por medio de la radiación X ó Gamma transmitida a través del objeto a prueba. La radiografía es una imagen en dos dimensiones de un objeto que tiene tres dimensiones.

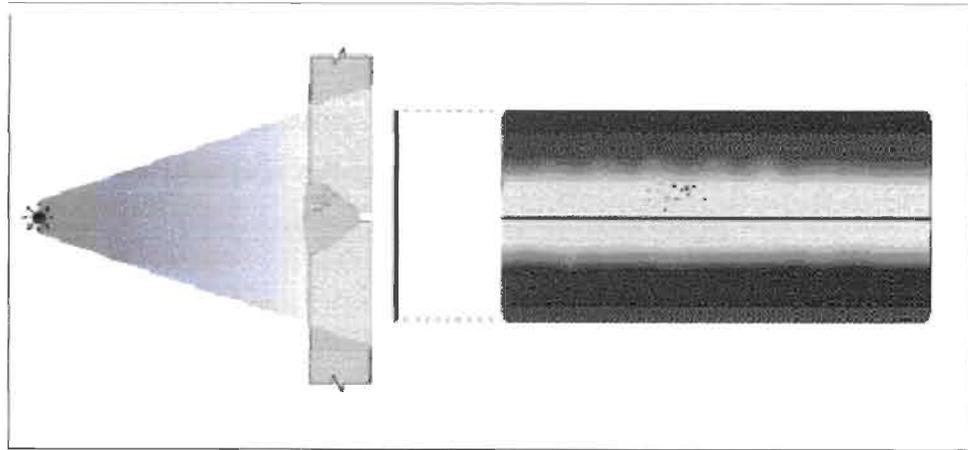


Fig. 12 Inspección radiográfica

La imagen resultante en la radiografía como áreas de diferente densidad (grado de oscuridad) es el resultado de las diferentes intensidades de radiación que llegan a la película debidas a diferencias en espesores, densidades ó sanidad dentro del objeto a prueba.

La radiografía es aplicable a una gran variedad de materiales en una gran variedad de configuraciones, soldadura, piezas de fundición, piezas forjadas, piezas maquinadas, componentes electrónicos entre otros.

La mayor parte de la radiografía industrial se hace con Rayos Gamma provenientes del isótopo radiactivo IRIDIO 192, con el cual se pueden obtener buenas radiografías en espesores de acero del orden de 1/8" hasta 4"

La radiografía es el único método que proporciona un registro permanente de resultados y es el método que mejor revela la naturaleza interna de la pieza a prueba.

Sin embargo, la radiografía es el método mas peligroso debido al riesgo inherente al uso de radiaciones, se requiere de la participación de técnicos altamente calificados y de una especial atención a la seguridad radiológica [4].

7.3.2 Ultrasonido (UT)

La prueba ultrasónica consiste básicamente en inyectar ondas ultrasónicas al interior de la pieza a prueba, al propagarse estas ondas por la pieza sufren ciertos cambios que son detectados por nuestro sistema de prueba, que nos proporciona una indicación del estado interno de la pieza.

En la siguiente figura se muestra del lado izquierdo la indicación en la pantalla de un instrumento ultrasónico que corresponde a un material sano, del lado derecho se presenta la indicación de una discontinuidad.

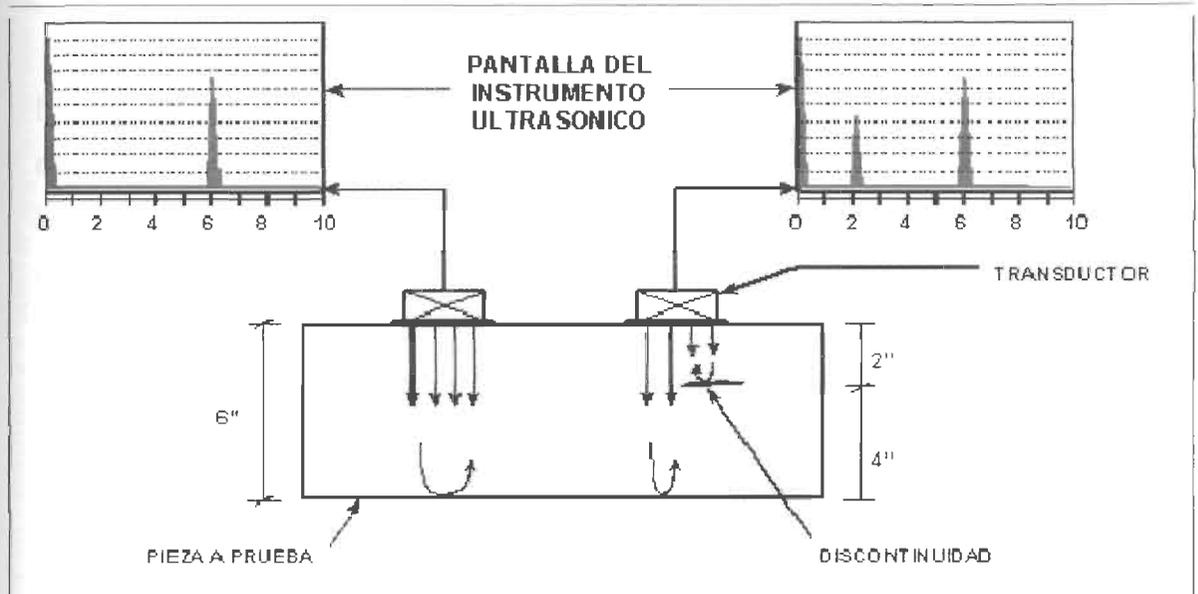


Fig. 13 Inspección radiográfica

El Ultrasonido se utiliza para medir espesores de pared desde el exterior de recipientes o tuberías sujetos a corrosión, se utilizan pequeños instrumentos con una precisión estándar de $\pm 0.001''$.

Los detectores ultrasónicos actuales pesan del orden de 3 Kg y se utilizan para detección y análisis de laminaciones en placas de acero y para la inspección de soldadura, piezas de fundición, piezas forjadas, entre otros.

En la siguiente figura, se muestra la inspección ultrasónica de una soldadura circunferencial utilizando la técnica del haz angular:



Fig. 14 Inspección ultrasónica de una soldadura circunferencial utilizando la técnica del haz angular:

El Ultrasonido es el único método disponible para la detección de fallas internas desde un solo lado de la pieza, es el único que proporciona la localización de las fallas en tres dimensiones y además permite la inspección de prácticamente cualquier espesor de acero [4].

7.3.3 Líquidos Penetrantes (PT)

La prueba de Penetrantes consiste básicamente en aplicar un líquido PENETRANTE sobre una superficie a prueba para que por CAPILARIDAD entre en los defectos superficiales del tipo de grietas y porosidad. Después de transcurrido el tiempo de penetración, se remueve el penetrante superficial, teniendo cuidado de dejar solamente el que ha entrado en los defectos.

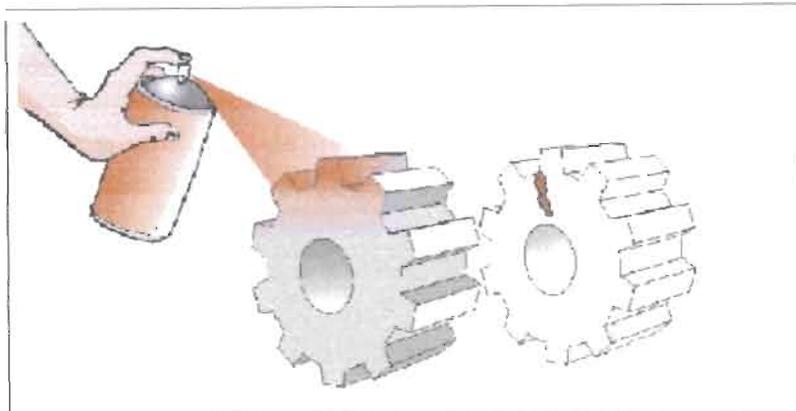


Fig. 15 Aplicación de líquidos penetrantes

Luego se aplica una delgada capa de un polvo blanco llamado REVELADOR, el penetrante emerge de las grietas y nos proporciona una indicación que contrasta en color con la capa de revelador blanco.

La prueba de líquidos penetrantes requiere tener una superficie de inspección limpia y seca. Se pueden detectar solamente discontinuidades superficiales abiertas a la superficie.

Este método se puede utilizar en cualquier material como lo son: el acero, aluminio, cobre, magnesio, entre otros. La única limitante es que se tiene es que no se debe aplicar en un material poroso.

En el caso más común se utilizan penetrantes visibles removibles con solvente, con un revelador húmedo no acuoso que se aplica mediante spray. Para mayor rapidez hay penetrantes removibles con agua y para mayor sensibilidad hay penetrantes fluorescentes.

7.3.4 Partículas Magnéticas (MT)

El principio de la Inspección con Partículas Magnéticas es que al establecer un flujo magnético en la pieza a prueba, la presencia de una discontinuidad provoca distorsión del campo y fugas magnéticas, las cuales son detectadas al rociar Partículas Magnéticas sobre la superficie. Las fugas magnéticas ocasionan acumulaciones de las partículas, que son indicaciones de discontinuidades.

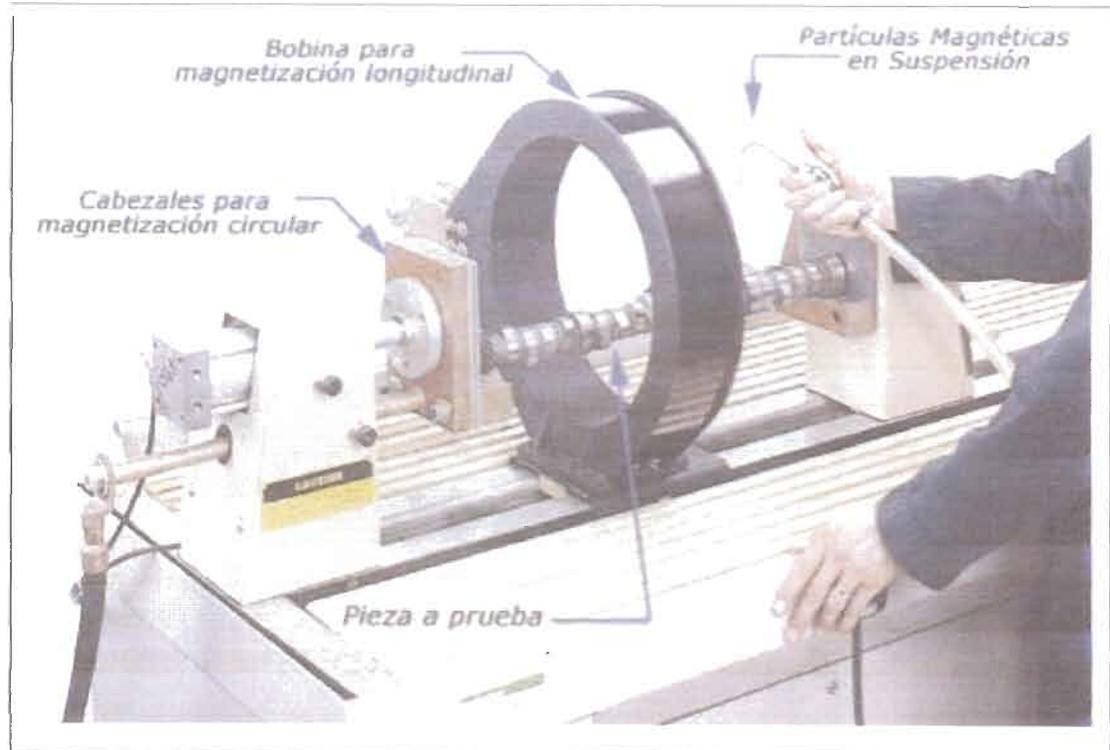


Fig. 16 Aplicación de líquidos penetrantes

El método de Inspección con Partículas Magnéticas es muy útil para la detección de defectos superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. Se pueden utilizar partículas visibles bajo luz blanca ó fluorescente.

No se puede inspeccionar por este método piezas de cobre, aluminio, magnesio y la mayoría de los aceros inoxidables.

Los aceros al carbón son ferromagnéticos, en volúmenes grandes de inspección se prefiere usar Partículas Magnéticas en lugar de penetrantes por rapidez y economía [4].

7.4.5 Inspección Visual (VT)

El método más sencillo, el más económico y el más utilizado es la Inspección Visual.



Fig. 17 Instrumentos de medición para inspección visual

Durante la Inspección Visual es especialmente importante asegurar:

- La precisión visual del Inspector.
- La limpieza de la superficie de inspección.
- Que se cuenta con una iluminación adecuada.
- Que el ángulo de visión no es menor de 30° .
- Que cuando se utiliza visión directa, la distancia de los ojos del inspector a la superficie bajo inspección no es mayor de 24".

En todos los métodos de inspección no destructiva se requiere la participación de personal calificado trabajando con equipo y procedimientos aprobados, pero en Inspección Visual, esto es especialmente importante para poder obtener resultados verdaderos y consistentes [4].

7.4 Demostración de seguridad de acuerdo a la NOM-020-STPS-2002.

Prueba de presión. El equipo debe ser preparado para realizar la prueba en las visitas de inspección inicial y extraordinaria o ante la unidad de verificación, según aplique.

7.4.1 Prueba de presión hidrostática.

La prueba consiste en presurizar al equipo sin estar en funcionamiento y desenergizado, desconectado de sus partes mecánicas y neumáticas, a una temperatura no mayor de 40°C, con graficador de presión o manómetro calibrado conectado al equipo, hasta una presión de prueba que debe ser al menos 10% por arriba de la presión de calibración del dispositivo de seguridad (el de menor valor, cuando se cuente con más de un dispositivo de seguridad), con un fluido incompresible cuyo comportamiento al incremento de presión no genere riesgos, y aplicar el siguiente procedimiento genérico:

- a. Determinar el valor de la presión de prueba a que será sometido el equipo;
- b. Incrementar paulatinamente la presión en al menos tres etapas del valor de la presión de prueba (aproximadamente hasta 33%, 66% y 100%);
- c. Mantener la presión en cada una de las dos primeras etapas, durante el tiempo suficiente para inspeccionar visualmente las posibles deformidades, lagrimeos, fugas, decrementos de presión en el manómetro o graficador de presión, o cualquier otra señal que pudiera decidir suspender la prueba y determinar los resultados como no satisfactorios;
- d. Al llegar al valor de la presión de prueba, esperar al menos 30 minutos manteniendo esta presión, e inspeccionar según se establece en el inciso c), si no existe un decremento de presión de más de 5% del valor de la presión de prueba o no hay motivos para considerar que el equipo

operará sin condiciones de seguridad, la prueba se considerará satisfactoria.

7.4.2 Prueba de presión hidrostática-neumática.

La prueba consiste en un incremento de presión al recipiente interior del recipiente criogénico, debiendo estar desconectado de la línea a la que suministra fluido a presión, contener el mismo líquido criogénico con el que opera, cuando menos al 60% de su capacidad y el complemento de su capacidad con un gas inerte; contar con un graficador de presión o manómetro calibrado conectado al recipiente interior y un vacuómetro conectado al espacio anular del recipiente criogénico y aplicar el siguiente procedimiento genérico:

- a. Determinar el valor de la presión de prueba, de conformidad con lo siguiente: para los recipientes en servicio de gases, el valor de la presión de prueba debe ser igual a la presión de diseño del equipo; para los recipientes en servicio de líquidos, el valor de la presión de prueba debe ser igual a la presión de calibración del dispositivo de seguridad del equipo;
- b. Incrementar paulatinamente la presión, en al menos tres etapas del valor de la presión de prueba (aproximadamente 33%, 66% y 100%);
- c. Mantener la presión en cada una de las dos primeras etapas, durante al menos 15 minutos, para determinar posibles decrementos de presión en el manómetro o graficador de presión, incrementos de presión en el vacuómetro, o cualquier otra señal que pudiera decidir suspender la prueba y determinar los resultados como no satisfactorios;
- d. Al llegar al valor de presión de prueba, esperar al menos 30 minutos manteniendo esta presión, e inspeccionar según se establece en el Apartado 9.1.1, inciso c);
- e. Si no existe un decremento de presión de más del 5% del valor de la presión de prueba, un incremento de la presión en el vacuómetro o no

hay motivos para considerar que el equipo operará sin condiciones de seguridad, la prueba se considerará satisfactoria;

- f. Durante la prueba se debe contar con el diagrama de control de flujo de las conexiones del recipiente criogénico.

7.4.3 Prueba neumática.

Esta prueba solo puede ser aplicada en recipientes sujetos a presión en que la presión de calibración de su dispositivo de seguridad sea igual o menor de 10 kg/cm²; que su capacidad volumétrica no sea superior a 10 m³; que la presión interna máxima sea al menos de 20 kg/cm² (tomando como referencia los espesores reales del equipo) y el fluido que maneje sea exclusivamente aire. La prueba se debe efectuar con una variación máxima de 1°C de la temperatura en el recipiente sujeto a presión y con las medidas de seguridad para garantizar que no existan riesgos a las instalaciones ni al personal. La prueba consiste en someter al recipiente sujeto a presión, sin estar en funcionamiento, desconectado de sus partes eléctricas, mecánicas y neumáticas hasta la primera brida no soldada, con un graficador de presión o manómetro conectado al recipiente y utilizando aire o gas inerte y a una temperatura no mayor de 40°C, a un valor de presión de prueba que debe estar entre 10% y 15% por arriba del valor de la presión de calibración del dispositivo de seguridad, y se debe aplicar el siguiente procedimiento genérico:

- a. determinar el valor de la presión de prueba;
- b. incrementar paulatinamente la presión en al menos tres etapas del valor de la presión de prueba (aproximadamente hasta 33%, 66% y 100%). Cualquier comportamiento del equipo en los incrementos de presión que a juicio del inspector o de la unidad de verificación represente un riesgo (abombamientos, deformidades o fugas, por ejemplo), será motivo para suspender la prueba y determinar el resultado de ésta como no satisfactoria;

- c. al llegar al valor de la presión de prueba, bloquear el suministro de presión; esperar al menos 15 minutos y observar. Cualquier comportamiento del equipo que a juicio del inspector o de la unidad de verificación represente un riesgo (abombamientos, deformidades o fugas, por ejemplo) será motivo para suspender la prueba y determinar el resultado de ésta como no satisfactoria;
- d. si existe decremento de presión de más del 5% del valor de la presión de prueba, ésta se considerará no satisfactoria.

Nota: Esta prueba es considerada de alto riesgo, por lo que se recomienda realizar un análisis de los riesgos que implica optar por esta opción. El patrón asume la responsabilidad de la seguridad de los que intervienen durante su realización.

7.4.4 Exámenes no destructivos.

El patrón debe tener el equipo preparado para realizar los exámenes no destructivos en las visitas de inspección inicial o extraordinaria que realice la autoridad del trabajo, o en su caso, en las verificaciones correspondientes de la unidad de verificación.

Los exámenes y su alcance de aplicación (zonas críticas y puntos de medición, entre otros), deben ser el resultado de la revisión del equipo, del análisis efectuado de su funcionamiento y de la factibilidad para su aplicación; deben ser realizados por personal especialista en los equipos, con experiencia en el diseño, construcción, inspección en servicio, materiales, soldadura, corrosión y amplio conocimiento de códigos, normas y especificaciones técnicas en la materia, y aplicarse, al menos una combinación de un examen volumétrico y uno superficial o uno de fuga, según el siguiente listado no limitativo:

- a. volumétricos:
 - 1. ultrasonido industrial;
 - 2. radiografía industrial;
 - 3. radiografía con neutrones (radiografía neutrónica);
 - 4. emisión acústica;
- b. superficiales:
 - 1. líquidos penetrantes;
 - 2. electromagnetismo (corrientes de Eddy);
 - 3. partículas magnéticas;
- c. de fuga:
 - 1. por variación de presión;
 - 2. espectrómetro de masas;
 - 3. por burbujas [6].

7.5 Tipos de fallas

Las fallas en recipientes sujetos a presión La siguiente información de las causas de estas fallas ha sido obtenida de 35 revisiones anuales que cubren 100,300 recipientes sujetos a presión entre el año 1962 a 1967, 105,400 de 1968 a 1973 y 104,320 de 1973 a 1998, no considerando para esta información recipientes sujetos a gases de combustión o fuego directo.

Los tipos de Falla:

- Porosidad
- Inclusiones
- Falta de fusión
- Falta de penetración
- Mordedura
- Socavados
- Solapado

- Laminaciones
- Dé-laminaciones
- Desgarre laminar
- Grietas o Fisuras

Distribución de fallas.

• Propagación de grietas:	64%
• Defectos existentes antes de la fabricación:	2%
• Corrosión:	11%
• Mala operación – Error humano:	21%
• No conocido:	2 %
Total: 100%	

Causas que han propiciado la aparición de grietas:

• Fatiga del material:	24%
• Corrosión:	14%
• Defectos en materiales:	29%
• No conocido:	33%
Total: 100%	

8.

CONCLUSIONES

En México actualmente la liberación de recipientes sujetos a presión se realiza por personal no actualizado para llevar a cabo esta actividad ya que en la práctica se encuentran una gran cantidad de memorias de cálculo fundamentadas en el Reglamento el cual quedó obsoleto desde hace algún tiempo atrás. Así mismo la gran mayoría se libera mediante la demostración de seguridad que se le practica con la prueba hidrostática.

Las normas mexicanas establecidas actualmente en nuestro país presentan una deficiencia y un retraso tecnológico, ya que la prueba más solicitada es la hidrostática y esta se realiza solo a una presión 10% superior al dispositivo de seguridad el cual opera un 10% arriba de la presión de operación.

En contraparte el código ASME Señala que la prueba hidrostática se debe realizar a 1.5 veces la presión de diseño.

En el reglamento en el artículo 15 sección II, se habla sobre el factor que se deberá aplicar al realizar la prueba hidrostática quedando igual a como lo establece el ASME, para presiones de 2 a 10 kg/cm². Para presiones mayores a 10 se deberán de sumar 5 kg/cm². No así en la NOM-020-STPS-2002 en la cual se establece que deberá ser un 10 % arriba de la presión del dispositivo de seguridad.

Los cálculos para la presión interna máxima de trabajo de un RSP de acuerdo a la reglamento en el Artículo 100, considera aun la eficiencia del remachado y la eficiencia de la plancha, temas que actualmente nadie toma en cuenta para un

RSP. Actualmente y debido a la deficiencia de métodos veraces y efectivos se recurre en un 99% de los casos al código ASME.

Para los cálculos de espesores mínimos tanto para cuerpo como para cabezas generalmente se emplea el factor de eficiencia de la soldadura 0.85 debido a que es el más viable por condición de costo y que proporciona una confiabilidad alta.

En el caso de equipos que llevan ya varios años funcionando y que no se localizan los datos de la memoria técnica del equipo se recurre a realizarle una medición de espesores y se determina emplear el factor de eficiencia de 0.7, debido a que es el de menor rango y con mayor margen de seguridad.

En la revisión de algunos trabajos se determina que la realización de las pruebas hidrostáticas en equipos en uso solo refleja un 2% de las fallas, mientras que con PND se logra detectar hasta un 65%, Con inspección visual un 20% y con Otros métodos alternos un 13%. En síntesis la aplicación de las pruebas hidrostáticas en equipos en uso de acuerdo a la NOM-020, no debería ser el método con más uso.

9.

BIBLIOGRAFÍA

1. Casting Guidebook to ASME Section VIII Div. 1.
Ball Bruce E. and Carter Will J.
2005
2. Diseño y calculo de Recipientes a Presión
Ing. Juan Manuel Estrada
2001
3. Recipiente a Presión. Monografias.com.
Isaias Cruz
1997
4. Curso para la Elaboración y Revisión de Memorias de Cálculo y Aplicación de Pruebas No Destructivas en Recipientes Sujetos a Presión y Calderas.
Ing. J. Miguel Cervantes Vargas.
2005.
5. Pressure Vessel HandBock.
Eugene F. Megyesy.
Sixth Edición
1992.
6. Norma Oficial Mexicana NOM-020-STPS-2002
Secretaria del Trabajo y Previsión Social (STPS)
2002

7. Código A.S.M.E. Sección VIII División 1.

Edición 2004, más adendas.

2004

8. Reglamento para la inspección de generadores de vapor y recipientes sujetos a presión

Secretaria del Trabajo y Previsión Social.

1955.