40

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

"ARAGON"

FALLA DE ORIGEN

FUNDAMENTOS ELEMENTALES PARA REALIZAR LA INSPECCION DE RECIPIENTES A PRESION PARA PLANTAS DE PROCESO EN LA INDUSTRIA PETROLERA

T E S I S P R O F E S I O N A L

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a

DAVID LICEA ALVAREZ

San Juan de Aragón, Méx. 1995

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 está 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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

DAVID LICEA ALVAREZ
P r e s e n t e .

En referencia a su atento escrito de fecha 6 de abril del año en curso, por el que solicita autorización para cambio de título de su trabajo de Tesis, mismo que propone se denomine "FUNDAMENTOS ELEMENTALES PARA REALIZAR LA INSPECCION DE RECIPIENTES A PRESION PARA PLANTAS DE PROCESO EN LA INDUSTRIA PETROLERA", dirigido por el profesor, Ing. GERARDO MENDEZ ACEVEDO, con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., a 11 de 28 de 1994
EL DIRECTOR

DIRECCION

M. en I. CLAUDIO C. [illegible] CASTRO

c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
c c p Ing. Raúl Barrón Vera, Jefe de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
c c p Ing. Gerardo Méndez Acevedo, Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/eva

FALLA DE ORIGEN

A TODOS MIS MAESTROS;
ESCUELAS QUE CONTRIBUYERON
EN MI DESARROLLO CULTURAL.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

A LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN.
POR SUS VALIOSOS CONOCIMIENTOS QUE FUNDAMENTARON MI FORMACIÓN PROFESIONAL.

AL HONORABLE JURADO: *ING. ROBERTO CORTES BUENROSTRO*
ING. MAURICIO BUTANDA MEJÍA
ING. ARQUÍMEDES SOLIS TELLEZ
ING. JACOBO VERA ALVAREZ

A MI DIRECTOR DE TESIS: *ING. GERARDO MÉNDEZ ACEVEDO*

POR SU VALIOSA AYUDA Y EL TIEMPO QUE ME BRINDO DURANTE LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.

EL MÁS SINCERO AGRADECIMIENTO A LA SRA. PILAR MONROY R. POR SU VALIOSO APOYO Y AYUDA INCONDICIONAL. ASICOMO A TODO EL PERSONAL DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE RECIPIENTES DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO, ESPECIALMENTE A LOS INGENIEROS: CARLOS NAVARRETE SALDAÑA, FRANCISCO MAGAÑA PÉREZ Y MANUEL JUÁREZ LÓPEZ POR EL INTERÉS MOSTRADO EN LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO.

FUNDAMENTOS ELEMENTALES PARA REALIZAR LA INSPECCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN PARA PLANTAS DE PROCESO EN LA INDUSTRIA PETROLERA.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 9

1. CLASIFICACIÓN DE LOS RECIPIENTES PARA PLANTAS DE PROCESO.

1.1. Generalidades 12
1.2. Clasificación de los recipientes 12
1.3. Recipientes abiertos 13
1.4. Recipientes cerrados 13
1.5. Tipos de recipientes 16
1.6. Tipos de cabezas para recipientes a presión 20

2. CÓDIGOS QUE REGLAMENTAN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIONES DE RECIPIENTES A PRESIÓN

2.1. Antecedentes 25
2.2. Código ASME 25
2.3. Código ASME sección VIII, división 1. 29
2.4. Código ASME sección VIII, división 2. 30
2.5. Criterios de diseño y calculo de recipientes sujetos a presión 34

3. PRINCIPALES MATERIALES Y ESPECIFICACIONES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN.

3.1. Consideraciones generales 38
3.2. Especificación de materiales 39
3.3. Selección de materiales 39
3.4. Aleaciones ferrosas 42
3.5. Aceros resistentes a altas temperaturas 49
3.6. Aleaciones no ferrosas 49
3.7 Aleaciones especiales 52
3.8 Materiales amparados por el Código ASME 53

4. ENSAYE E INSPECCIÓN DE MATERIALES

4.1	Generalidades	61
4.2.	Inspección de los materiales	61
4.3.	Especificación de materiales	62
4.4.	Ensayos no destructivos	62
4.5.	Ensayos destructivos	70

5. SOLDADURA

5.1	Consideraciones generales	76
5.2.	Clasificación general de los métodos de soldadura	76
5.3.	La soldadura de arco	76
5.4.	Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores	84
5.5	Calificación de procedimientos de soldadura para materiales ferrosos.	88
5.6.	Calificación del rendimiento de soldadores con el uso de materiales ferrosos.	91

6. TRATAMIENTO TÉRMICO EN LOS RECIPIENTES A PRESIÓN

6.1	Introducción	95
6.2.	Principales tratamientos térmicos	96
6.3.	Tensiones residuales en los metales	98
6.4.	Normas para los tratamientos térmicos	99
6.5.	Relevado de esfuerzos	100

7. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN PARA RECIPIENTES A PRESIÓN EN LA INDUSTRIA PETROLERA

7.1	Introducción	103
7.2.	Preparaciones preliminares.	103
7.3.	Procedimientos de inspección y tolerancias	103

7.4.	Soldadura	107
7.5.	Ultrasonido	107
7.6.	Rectitud	107
7.7.	Soportes para internos	108
7.8.	Longitud	108
7.9.	Boquillas	108
7.10.	Radiografiado	108
7.11.	Rechazos	109
7.12.	Soportes y clips	109
7.13.	Relevado de esfuerzos	109
7.14.	Prueba hidrostática	111
7.15.	Limpieza	112
7.16.	Acabado	112
7.17.	Pintura	112
7.18.	Embarque	112
7.19.	Certificados de aceptación	113

CONCLUSIONES 116

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

En la segunda mitad del siglo XX hemos vivido avances muy importantes en la ciencia y la tecnología, fundamentalmente, la fuerza primaria que ha permitido tal desarrollo ha sido el petróleo. Este se ha constituido en la fuente natural no renovable básica para la obtención de la energía en el mundo. Esto ha permitido que el petróleo continúe siendo nuestra principal fuente de captación de divisas, además de estar considerado como el recurso que aporta el 90 por ciento de la energía primaria que consume el país.

A pesar de las fluctuaciones de los precios en el mercado internacional, durante muchos años más los ingresos por concepto de la exportación del petróleo y sus derivados continuarán siendo la más importante fuente de divisas y el primer sustento energético de los mexicanos. Es por este motivo que en los próximos años el incremento de la demanda de productos petrolíferos (necesarios para satisfacer las necesidades internas de energía y para satisfacer la plataforma de exportación) exigirá ampliación de la infraestructura del sistema nacional de refinación y petroquímica. De acuerdo con lo anterior, será necesario ampliar y construir nuevas instalaciones para aumentar su capacidad de producción, almacenamiento y distribución.

Los recipientes son equipos muy importantes en una refinería o planta petroquímica, ya que constituyen una sección básica de la mayor parte de los equipos de proceso, almacenamiento y distribución de productos del petróleo y sus derivados.

Es por esta razón que el presente trabajo esta encaminado a hacer resaltar y fundamentar la importancia que reviste el proceso de inspección durante la fabricación de recipientes a presión, con el objeto de certificar que estos equipos cumplan con todas las especificaciones de diseño e ingeniería que reglamentan y rigen su construcción garantizando que sean enviados a campo listos para su instalación y operación en las plantas de proceso que tengan como destino. Asimismo, evitar gastos elevados de reparación en campo, rechazo de los equipos al fabricante; en caso de no poder efectuar la reparación o reparaciones en el lugar de su instalación, retraso en los tiempos de entrega establecidos de origen, interrupción en el proceso en caso de falla durante su instalación y operación, y sobre todo garantizar la seguridad e integridad de los operarios y el resto de las instalaciones que les rodean.

En el Capítulo 1 se hace un análisis detallado de la clasificación de los principales tipos de recipientes a presión que son utilizados en la industria petrolera, de acuerdo con su servicio, condiciones de operación, su posición y forma geométrica. El Capítulo 2 comprende una breve reseña histórica, del origen y surgimiento de los Códigos que reglamentan actualmente el diseño y construcción de Recipientes a Presión, específicamente del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión, Sección VIII.

En el capítulo 3 se relacionan algunos criterios importantes, que deben ser considerados cuando se efectúe la selección y determinación de los materiales que serán utilizados en la construcción de recipientes a presión. Así mismo, se hace referencia a las principales especificaciones de la ASTM que son aceptadas y de manejo cotidiano para este propósito. Además, se hace énfasis en las propiedades químicas que deben reunir los materiales utilizados en la fabricación de recipientes a presión.

El capítulo 4 contempla los principales ensayos que son utilizados durante el proceso de fabricación de estos equipos, describiendo de manera general sus características mas significativas; en cuanto a la aplicación y resultados que aportan para determinar si las propiedades de un material después de ser sometido a un proceso de manufactura quedan dentro de los límites requeridos.

Dentro del Capítulo 5 se analiza una técnica que va intimamente ligada al desarrollo de los metales. Esta técnica se denomina soldadura; método de unión localizada entre dos materiales que es producida por un calentamiento a una temperatura adecuada o por presión, con o sin la aplicación de material de aporte. En virtud de que la soldadura es un proceso de fabricación muy importante dentro de la manufactura de recipientes a presión. En este Capítulo se indican algunos de los principales procesos básicos que son utilizados para producir soldaduras.

En el Capítulo 6 se considera uno de los aspectos mas importantes en la fabricación de recipientes a presión, el tratamiento térmico. Bajo esta denominación se entienden ciertas operaciones consistentes en el calentamiento de los metales o aleaciones metálicas, dentro de límites prefijados de temperatura y duración para alcanzar determinadas propiedades intrínsecas. El calor puede ser aplicado en muchas formas a los aceros al carbono, para modificar sus cualidades. Es por lo tanto importante para el ingeniero, entender el tratamiento térmico de manera que pueda utilizarlo para mejorar las propiedades de los metales.

Por último, en el Capítulo 7 se establecen algunos criterios elementales que deben ser tomados en cuenta para efectuar la inspección de recipientes a presión. Estos comprenden desde la revisión de los principales parámetros de diseño del equipo, verificación de materiales, inspección durante la manufactura; visual, líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografiado, partículas magnéticas, etc., hasta el embarque del equipo.

CAPITULO 1

CLASIFICACIÓN DE LOS RECIPIENTES PARA PLANTAS DE PROCESO

1.1. GENERALIDADES

El desarrollo que han tenido los recipientes en la actualidad se hace notorio considerando que en la medida que la industria avanza, conjuntamente lo hacen los materiales, formas de equipos, tipos de proceso, etc., mismos que tienen relación directa con la ingeniería de recipientes. El desarrollo que ha alcanzado la Ingeniería de Recipientes en la actualidad es muy importante, considerando la cantidad de nuevos Códigos que han surgido para el diseño, materiales, fabricación, inspección y pruebas, así como nuevos procesos de fabricación.

En relación con la gran variedad de procesos químicos y petroquímicos podemos deducir que los tipos de recipientes son muy extensos, tomando en cuenta que los recipientes tienen múltiples aplicaciones y que intervienen en toda clase de plantas industriales, independientemente de su capacidad de producción o tipo de proceso, los tipos de recipientes se hacen muy extensos. Así por ejemplo, para almacenar agua se tiene gran diversidad de formas, los autotanques y carros tanque nos muestran otro tipo de recipientes, los almacenadores de grano, los tanques de concreto, los tanques de oscilación, los tanques de baja presión, los tanques de alta presión y reactores.

Los tipos más comúnmente usados se pueden considerar como recipientes abiertos y recipientes cerrados. Los factores que determinan el tipo de recipiente que será necesario utilizar dependen de la función del mismo, la naturaleza del fluido a manejar, la temperatura de operación, la presión de operación, la capacidad o volumen de almacenamiento y su localización.

1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RECIPIENTES

Los recipientes pueden ser clasificados conforme a su servicio, de acuerdo a su presión y temperatura, al tipo de material con que se construyen, su geometría o la forma en que van a ser instalados. De acuerdo a la presión a que están sometidos podemos clasificar a los recipientes en dos grupos: Recipientes a Presión y Recipientes Atmosféricos.

Se denominan Recipientes a Presión a todos aquellos recipientes que trabajan a presión arriba o abajo de la presión atmosférica, dichos recipientes deberán ser siempre cerrados.

A su vez, los recipientes atmosféricos pueden ser abiertos o cerrados dependiendo del tipo de fluido a almacenar, así para el almacenamiento de combustibles tóxicos y ofensivos, ácidos y gases, etc., se hace necesario el uso de recipientes cerrados, tal es el caso de los recipientes usados en la

industria petrolera y petroquímica. Mientras que los recipientes abiertos se usan normalmente como tanques de balance, tanques mezcladores, tanques de reposo, etc.

Atendiendo a su geometría y la manera de operar los recipientes pueden clasificarse como sigue.

1.3. RECIPIENTES ABIERTOS

Los recipientes abiertos como se indico anteriormente son utilizados principalmente como tanques de balance, tanques mezcladores, tanques de reposo, etc., evidentemente estos tipos de recipientes son baratos en comparación con los recipientes cerrados; ambos de la misma capacidad. La decisión de usar un recipiente abierto o cerrado dependerá del tipo de fluido que deberá manejar y de las características de operación a las que se encuentre sujeto.

Los recipientes abiertos de bajas capacidades son comúnmente de forma circular y fondo plano, son construidos de acero al carbono, concreto y algunas veces de madera (ver figura No. 1). Otros materiales de construcción se hallan limitados en uso debido a serios problemas de corrosión o contaminación. En muchos casos estos recipientes se revisten con plomo, hule, vidrio o plástico con el fin de mejorar la resistencia a la corrosión.

1.4. RECIPIENTES CERRADOS

Los recipientes cerrados manejan fluidos tales como: combustibles tóxicos u ofensivos, ácidos y gases. De acuerdo con lo anterior, se desprende que en la industria petrolera y petroquímica es necesaria la utilización de recipientes y tanques cerrados.

Los recipientes cerrados pueden dividirse en recipientes cilíndricos verticales de fondo plano y de cubierta cónica, los cuales normalmente trabajan a presiones atmosféricas y su función es la de almacenar productos como son: gasolina, combustoleo, gasavión, keroseno, acetonitrilo, etc. En la figura 2 se muestra un arreglo típico correspondiente a esta variedad de recipientes, en donde se puede observar cada uno de los elementos que lo conforman.

También existen recipientes cilíndricos con cabezas abombadas en sus extremos, estos tipos de recipientes son utilizados en aquellos procesos donde la presión de vapor del líquido acumulado impone un diseño riguroso.

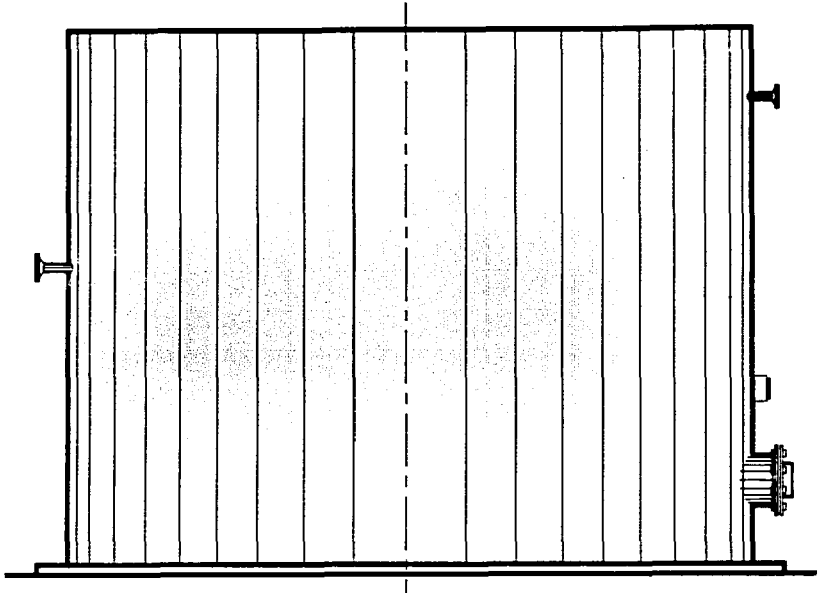
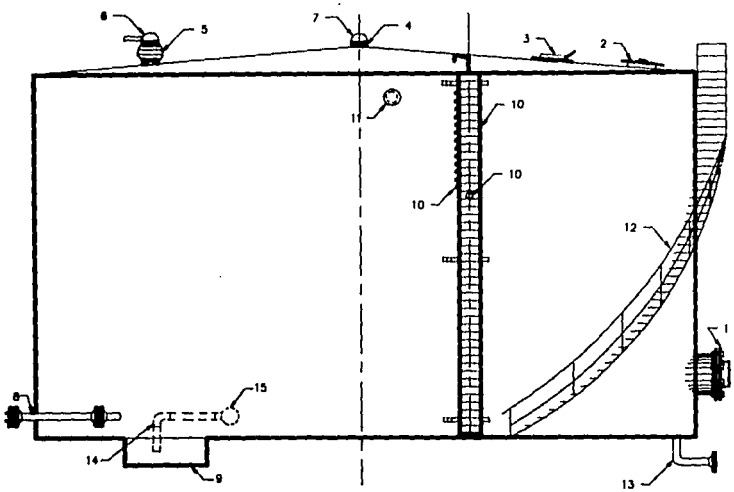


FIG.–1 TANQUE ATMOSFERICO ABIERTO



1 CUBIERTA DE ACCESO
2 CUBIERTA DE ACCESO
3 COMPUERTA CALIBRADA
4 TOBERA
5 PARALLAMAS
6 RESPIRADERO (PRODUCTOS VOLATILES)
7 RESPIRADERO LIBRE (PRODUCTOS NO VOLATILES)
8 TOBERAS CON CUBIERTA
9 SUMIDERO
10 FLOTADOR
10 INDICADOR
10 INDICADOR DE NIVEL DEL TANQUE
11 CONEXION A CAMARA DE ESPUMA
12 ESCALERA ESPIRAL
13 TUBO DE DRENAJE
14 EXTRACCION DE AGUA POR DESTILACION
15 VALVULA ANTICONGELANTE

FIG.-2 TANQUE ATMOSFERICO CERRADO

En cuanto al servicio que ofrecen se puede decir que son ampliamente usados como equipos de proceso: torres o columnas de destilación, evaporadores, reactores, cambiadores de calor, etc.

Por último, los recipientes esféricos constituyen otra variante dentro de los recipientes cerrados, este tipo de recipientes son utilizados donde se requiere almacenar grandes volúmenes de aquellos productos derivados de la destilación y refinación del petróleo, así como gases y líquidos volátiles.

1.5. TIPOS DE RECIPIENTES

La ingeniería química trata con el estudio de los procesos industriales, los cuales tienen mucha importancia debido a la transformación de una materia en otra por medios químicos y físicos, estos procesos requieren del manejo y almacenamiento de grandes cantidades de materia, realizando esto en recipientes de distintas configuraciones.

Los tipos más comunes de recipientes a presión se pueden clasificar principalmente en recipientes horizontales, recipientes verticales y recipientes esféricos.

Los recipientes horizontales son aquellos que descansan sobre dos soportes (silletas), como se ilustra en la figura No. 3; un recipiente horizontal clásico es el denominado salchicha. Los recipientes horizontales normalmente se utilizan como acumuladores ya sea de reflujo de vapor, o bien de sustancias que provengan de equipos especiales.

Dentro de los recipientes verticales se encuentra una gran variedad, aunque los normalmente usados son reactores o torres fraccionadoras; habiendo muchos más pero su servicio en el proceso es de menor importancia. Normalmente los recipientes verticales están soportados por medio de faldones rectos o cónicos, soportes integrados al cuerpo del recipiente, patas de ángulo o tubo, en las figuras Nos. 4 y 5 se observan algunas variantes de los recipientes verticales, dentro de los que podemos ver los de un solo diámetro o sección, los de dos diámetros o secciones, existiendo también de más diámetros considerándose como casos especiales.

Normalmente, los recipientes esféricos se usan principalmente para el almacenamiento de grandes volúmenes de fluidos bajo presiones moderadas, principalmente gases a temperaturas y presiones normales, tales como gas natural, butano, isobutileno, hidrógeno, amoniaco y muchos otros productos petroquímicos. El almacenaje de los productos mencionados en este tipo de recipientes es más económico que en otro tipo de equipos.

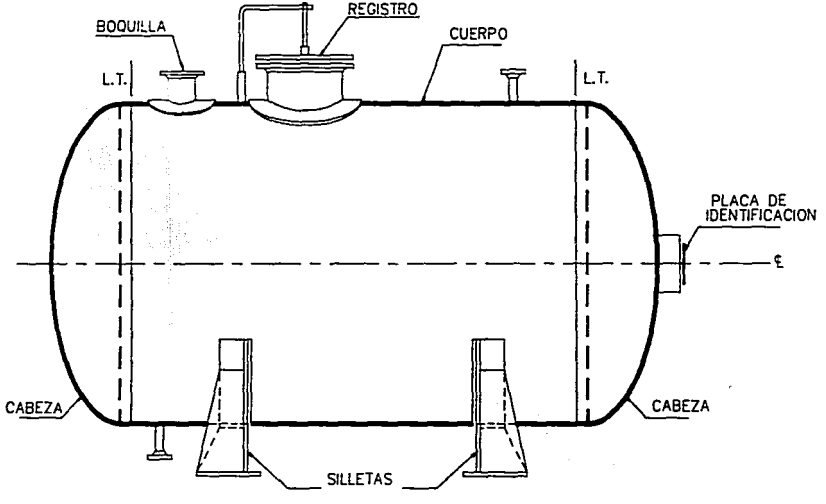


FIG.–3 RECIPIENTE HORIZONTAL

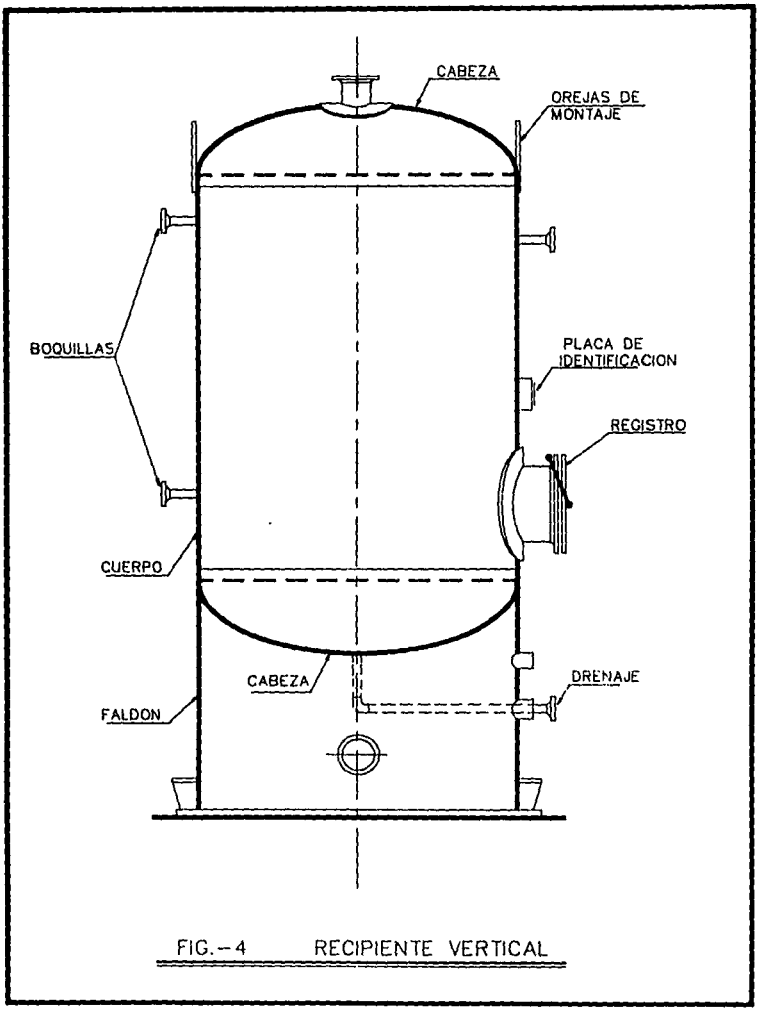
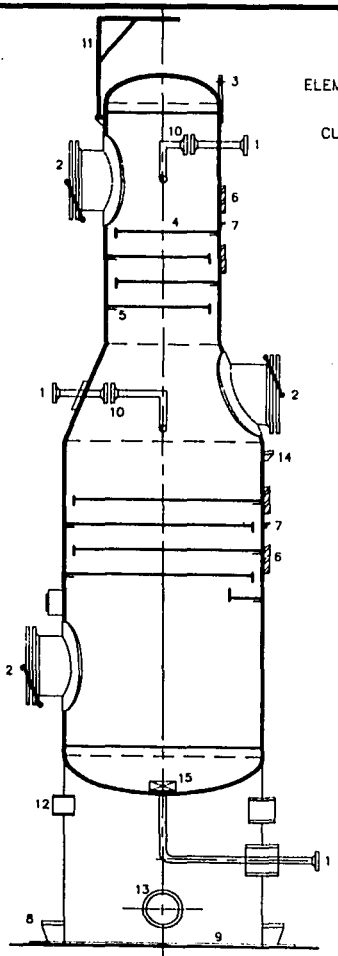


FIG.-4 RECIPIENTE VERTICAL



ELEMENTOS PRINCIPALES Y ACCESORIOS CON QUE

CUENTAN LOS RECIPIENTES A PRESION DE DOS SECCIONES

1.- BOQUILLAS
2.- REGISTROS DE HOMBRES
3.- OREJAS DE MONTAJE
4.- PLATOS
5.- SOPORTES DE PLATOS
6.- AISLAMIENTOS
7.- SOPORTE DE AISLAMIENTO
8.- SILLETAS Y ANCLAS
9.- ANO DE BASE
10.- TUBERIA INTERIOR
11.- PESCANTE DE TUBO
12.- VENTEOS EN EL FALDON
13.- AGUJEROS DE ACCESO EN EL FALDON
14.- GRAPAS P/PLATFS. ESCS. Y TUBS.
15.- ELIMINADOR DE REMOLINOS

(USO INDUSTRIA DE PROCESOS)

FIG.-5 RECIPIENTE A PRESION DE DOS SECCIONES

FALLA DE ORIGEN

Las esferas a presión utilizan efectivamente el principio de operación de un recipiente, que, conteniendo únicamente un producto volátil en estado líquido y vapores no permite perdidas por evaporación, siempre y cuando la presión del vapor para la mínima temperatura en la superficie del líquido no sea inferior a la que accione la válvula de alivio de vacío, y que la presión de vapor a la máxima temperatura en la superficie del líquido no sea mayor a la que abra la válvula de alivio de presión.

Un volumen considerable se puede almacenar mediante una esfera o bien por medio de tanques cilíndricos convencionales colocados en batería, trayendo por consecuencia el almacenamiento en este último caso; un considerable aumento en la inversión por requerir más acero y mayor cantidad de materiales como son boquillas y conexiones, para su instalación una cantidad mayor de tuberías y cimentaciones. Siendo un factor muy importante en el caso de tener que instalarse en lugares donde el valor del terreno es muy alto o bien donde se tienen espacios reducidos, en virtud de que los recipientes en batería ocupan mucho más superficie de terreno en comparación con el recipiente esférico (Ver figura No. 6).

1.6. TIPOS DE CABEZAS PARA RECIPIENTES A PRESIÓN

Uno de los factores primordiales que intervienen en el diseño y construcción de recipientes a presión cilíndricos es la forma de cierre en los extremos de las envolventes, la cual podría ser simplemente por medio de placas planas o por cabezas de forma cónica, que no ofrecen dificultades en su fabricación. Sin embargo, debido a la discontinuidad de formas tan marcada que ambas establecen al unirse con la sección cilíndrica de un recipiente, se origina una concentración de esfuerzos considerable en la unión debida a la presión contenida en dicho recipiente. Si este incremento de esfuerzos es de tal magnitud que sobrepase al punto de cedencia del acero empleado, la zona debilitada quedará propensa a la ruptura.

Aunque el uso de cabezas planas y cónicas no esta totalmente descartado, el empleo de cabezas abombadas es el más comúnmente usado, ya que este tipo de cabezas presenta una gran reducción al cambio brusco de forma cuando se ensamblen al cuerpo del recipiente, disminuyendo de esta manera las localizaciones de esfuerzos que se mencionan en el párrafo anterior, cuya aplicación se limita a operaciones de baja presión, en general todos los recipientes que operan en vacío o que en su espacio de vapor admiten una presión manométrica igual o superior a 0.350 kg /cm², se construyen con cabezas abombadas que pueden adaptarse indistintamente a la sección cilíndrica del recipiente, de manera que la presión interior actúe sobre su lado cóncavo o invertido

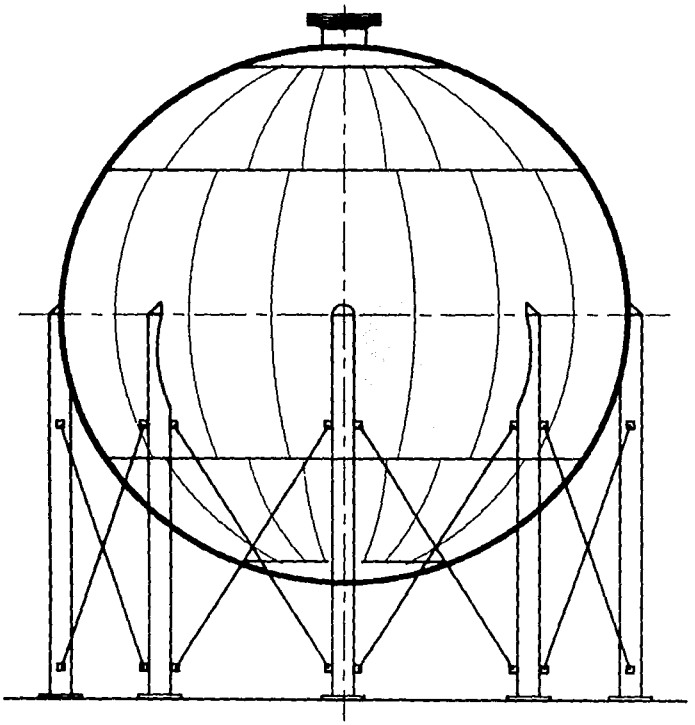


FIG.–6 RECIPIENTE ESFERICO

Actualmente se cuenta con varias clases de cabezas o tapas prefabricadas las cuales son en su mayoría elaboradas a partir de una placa circular plana. El Código para Recipientes a Presión (ASME) permite utilizar las cabezas que se consideran más típicas, en la figura No. 7 se ilustran los modelos más comunes de cabezas abombadas permitidas por el Código ASME, aunque como se dijo anteriormente, en algunos diseños es viable la utilización de tapas planas o cónicas.

Por todo lo expuesto anteriormente se puede establecer que existe una gran variedad de diferentes tipos de recipientes a presión. Una forma de visualizar esto, es simplemente haciendo una combinación entre los diferentes tipos de recipientes cilíndricos (horizontales y verticales) con las diferentes formas de cabezas o tipos de tapas que existen; con lo cual se obtendrá para cada tipo de recipiente un caso particular y por lo tanto un diseño también particular.

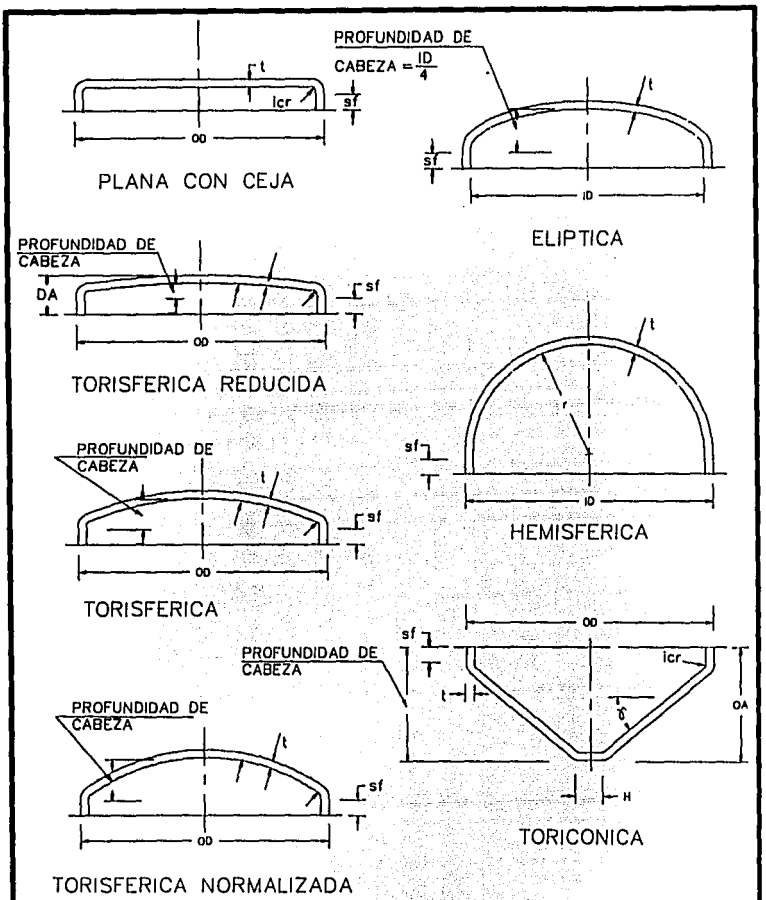


FIG.–7 DISTINTOS TIPOS DE CABEZAS PARA RECIPIENTES A PRESION

CAPITULO 2

CÓDIGOS QUE REGLAMENTAN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN.

2.1. ANTECEDENTES

Todos los diseños, fabricación, pruebas e inspección de recipientes a presión se basan en un código en la mayor parte de los países incluyendo el nuestro, se ha llegado a considerar como una ley que dictamina los requerimientos mínimos para cada una de las fases indicadas anteriormente.

De acuerdo con lo anterior, los países altamente industrializados cuentan con códigos propios. De tal forma, tenemos que dentro de los de mayor importancia se pueden citar los siguientes:

El Código ASME (American Society of Mechanical Engineers) que es el que actualmente rige en los Estados Unidos de América.

El Código BS-5500 o BS-1515: (British Standar) que es el Código Británico que se emplea en Inglaterra.

El Código JIS B 8243: (Japanese Industrial Standar), publicado por la Asociación Japonesa de Estandars, utilizado en Japón

El Código Alemán A. D.: MERKBLATIER CODE, es el que gobierna principalmente en Alemania y los Países Bajos.

Dentro de los Códigos mencionados anteriormente, definitivamente el adoptado en nuestro país es el Código ASME. En virtud de que las técnicas y materiales que se especifican en él, se manejan comúnmente en la mayor parte de las Industrias Nacionales. Productores de acero y de otros materiales aquí en México están acostumbrados al manejo de las especificaciones del Código ASTM y están produciendo muchos materiales de estas especificaciones con la misma calidad que los materiales producidos en otros países como los Estados Unidos, Inglaterra, Japón y otros.

2.2. CÓDIGO ASME

A continuación y a manera de reseña, se describirá de forma breve el origen del Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME).

El Código para Calderas y Recipientes a Presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), se originó debido a la necesidad de proteger a la sociedad de las continuas explosiones de calderas, que se sucedían antes de reglamentar su diseño y construcción.

Inglaterra fue uno de los primeros países que sintió esa necesidad, al sufrir uno de los más graves desastres en la ciudad de Londres cuando explotó una caldera en 1815. La investigación de las causas de esta explosión la llevo a cabo la Cámara de los Comunes por medio de un Comité, el cual después de agotar todas sus pesquisas logró establecer tres de las principales causas del desastre: construcción inapropiada, material inadecuado y aumento gradual y excesivo de la presión. Al final de su informe dicho Comité recomendaba el empleo de cabezas hemisféricas, el hierro forjado como material de construcción y el empleo de dos válvulas de seguridad.

En los Estados Unidos de América las personas dedicadas a la fabricación de calderas se agruparon en una Asociación en el año de 1889, esta Asociación nombró un Comité encargado de preparar reglas y especificaciones en las que se fundamentará la fabricación en taller de las calderas. Como resultado de los estudios hechos por este Comité, se presentó ante la Asociación un informe en el que se cubrían temas como: especificaciones de materiales, armado por medio de remaches, factores de seguridad, tipos de cabezas, bridas, así como reglas para realizar la prueba hidrostática.

No obstante los dos intentos anteriores por evitar las explosiones de calderas, éstas continuaban sucediendo; a principios de este siglo, tan solo en Estados Unidos ocurrieron entre 350 y 400, con tremendas pérdidas de vidas y propiedades. Debido a esto los fabricantes y usuarios de calderas y recipientes a presión apelaron ante el concilio de la ASME. El concilio de la ASME, respondió a este llamado nombrando un Comité para que formulará especificaciones para la construcción de Calderas de Vapor y otros Recipientes a Presión, así como especificaciones 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 por 18 miembros que representaban varias fases del diseño, construcción, instalación y operación de calderas.

El Comité presentó un informe preliminar en 1913 y envió 2000 copias de él a profesores de ingeniería mecánica, a departamentos de ingeniería de compañías de seguros de calderas, a jefes de inspectores de los departamentos de inspección de calderas, a fabricantes de calderas, a editores de revistas de ingeniería y a todos los interesados en la construcción y operación de calderas, solicitando sus comentarios al respecto.

Después de tres años de innumerables reuniones y audiencias públicas, fue adoptado en la primavera de 1915 el primer Código ASME, "Reglas para la Construcción de Calderas Estacionarias y para las Presiones Permisibles de Trabajo", conocido como la Edición de 1914.

Desde entonces, el código ha sufrido muchos cambios y se han agregado nuevas secciones de acuerdo a las necesidades. Cada nuevo material, cada nuevo diseño, cada nuevo método de fabricación trae consigo nuevos problemas de estudio para el Comité que prescribe el Código, exigiendo la experiencia técnica de muchos subcomités para expedir nuevos suplementos y nuevas revisiones al mismo.

Como resultado del espléndido trabajo de esos subcomités; el Código ASME ha desarrollado un conjunto de normas que garantizan cualquier estado de diseño y cualquier construcción de Calderas y Recipientes a Presión dentro de los límites del propio Código.

Tomando en cuenta los adelantos tecnológicos, nuevos materiales, requisitos más exigentes y reglamentos más estrictos, este comité ha tenido que ser muy eficaz para mantenerse al tanto en este mundo cambiante. Este Comité se reúne seis veces al año para deliberar y adaptar cambios. A consecuencia de esto produce dos apéndices publicados e incorporados al Código. Una edición revisada y completa es publicada cada tres años.

El Código esta dividido en muchas secciones, cada sección cubre una parte del Código principal. Algunas de estas secciones están relacionadas con las especificaciones particulares de cada equipo y su aplicación, otras expresan las especificaciones para materiales y métodos de fabricación del equipo, otras exponen los requerimientos para el cuidado e inspección de los equipos instalados.

Las siguientes Secciones están relacionadas específicamente con el Diseño y Construcción de Recipientes a Presión.

Sección I Calderas de Potencia.

Sección II. Especificaciones de Materiales.

Parte A- Materiales Ferrosos
Parte B- Materiales no Ferrosos
Parte C- Electrodos y Materiales de Aporte de Soldadura.
Parte D- Propiedades

Sección III. Componentes de Plantas Nucleares.

Subsección NCA- Requisitos Generales para la División 1 y 2

Sección	III.-	División 1.
		Subsección NB- Componentes Clase 1 Subsección NC- Componentes Clase 2. Subsección ND- Componentes Clase 3. Subsección NE- Componentes Clase MC Subsección NF- Componentes Soporte Subsección NG- Estructuras Soportes del Núcleo
Sección	III.-	División 2.
		Código para vasijas del reactor y contenciones de hormigón.
Sección	IV.-	Calderas para Calefacción.
Sección	V.-	Ensayos no Destructivos.
Sección	VI.-	Reglas recomendadas para el cuidado y operación de Calderas para calefacción.
Sección	VII.-	Reglas recomendadas para el cuidado de las Calderas de Potencia.
Sección	VIII.	Recipientes a Presión.
		División 1 Recipientes a Presión División 2 Reglas Alternativas para Recipientes a Presión
Sección	IX.	Calificaciones de Soldadura y Soldadura Fuerte.
Sección	X.	Recipientes de Plástico Reforzado de Fibra de Vidrio.
Sección	XI.	Reglas para Inspección en Servicio y componentes para Centrales Nucleares.

De este modo, tenemos que el Código ASME para Calderas y Recipientes sujetos a Presión constituye un conjunto de Normas, Especificaciones, fórmulas de diseño y criterios basados en muchos años de experiencia, el cual es aplicado al diseño, fabricación, instalación, inspección y certificación de una Caldera o Recipiente a Presión, estableciendo un juego de normas mínimas para garantizar la seguridad e integridad del equipo para dar el servicio con que fue originalmente planeado.

Una vez teniendo la idea de lo que es y como esta formado el Código ASME, nos encausaremos a la Sección VIII, en virtud de que es la que esta relacionada con el diseño y construcción de Recipientes a Presión.

2.3. CÓDIGO ASME SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 1.

La Sección VIII del Código ASME, contiene dos divisiones, la División 1, que cubre el diseño de los Recipientes a Presión no sometidos a fuego directo y la División 2, que contiene reglas alternativas para el cálculo de Recipientes a Presión.

Las reglas en la División 1 de esta Sección del Código, cubre los requisitos mínimos de construcción; para el diseño, fabricación, inspección y certificación de Recipientes a Presión.

La División 1 de la Sección VIII, esta dividida en tres Sub-secciones:

Sub-sección A- Parte UG que cubre los requisitos generales aplicables a todos los Recipientes a Presión.

Sub-sección B- Que comprende los requisitos específicos aplicables a los diferentes métodos empleados en la fabricación de Recipientes a Presión.

- 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".

Sub-sección C- Cubre los requisitos específicos aplicables a las diferentes clases de materiales usados en la construcción de Recipientes a Presión.

- Parte USC.- Para recipientes construidos con aceros al carbón.
- Parte UNF.- Para los construidos con materiales no ferrosos.

Parte UHA.-	Para los construidos con aceros de alta aleación.
Parte UCI.-	Para los construidos con fierro fundido.
Parte UCL.-	Para los construidos con placa "clad" integral o con recubrimiento tipo "lining".
Parte UCD.-	Para los construidos con fierro fundido dúctil.
Parte UHT.-	Para los construidos con aceros ferríticos con propiedades de tensión mejoradas por tratamiento térmico.
Parte ULW.-	Para los fabricados por el método de multicapas.
Parte ULT.-	Para los construidos con materiales con esfuerzos permitidos más altos a bajas temperaturas.

La jurisdicción de este Código termina en:

(1). La primera junta circunferencial en conexiones soldadas.
(2). La cara de la primera brida en conexiones bridadas y atornilladas.
(3). La primera junta roscada en este tipo de conexiones.

2.4 CÓDIGO ASME SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 2.

Como se mencionó anteriormente, el considerable avance tecnológico que se ha desarrollado en los últimos años ha traído como consecuencia la implementación de nuevos Códigos y Normas; la sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos conscientes de ello, crea dentro de la Sección VIII de su Código un nuevo tomo denominado División 2 "Reglas Alternativas para Construcción de Recipientes a Presión".

La División 2, proporciona un juego alternativo de reglas para la construcción de recipientes a presión. Aunque representa una aproximación completamente moderna para el Diseño y Construcción de Recipientes a Presión, no esta contemplada para reemplazar repentinamente a la División 1, tal cambio deberá de realizarse en forma gradual, en la actualidad es muy reducido el número de fabricantes que empiezan a construir sus equipos utilizando esta División del Código.

La División 2, es una modificación de la División 1, nuevos requisitos han sido añadidos y otros se han hecho más rigurosos para lograr un diseño balanceado. Los resultados se ponen de manifiesto en el diseño de recipientes con un grado de seguridad que iguala o sobrepasa a los recipientes construidos de acuerdo con la División 1. En algunos aspectos, la División 2 es similar a la Sección III (Código para Recipientes Nucleares), aunque no fue la intención del Comité basarse en la Sección III. Después de varios años de experiencia un intento probablemente será hecho para consolidar las Divisiones 1 y 2.

Disposiciones del Código ASME Sección VIII, División 2.

Aunque la División 1 tiene tres clases de recipientes (radiografiado total, radiografiado por puntos y sin radiografiado) de acuerdo con tres niveles de esfuerzos permisibles. La división 2 tiene solo una clase; todas las soldaduras principales deben ser completamente radiografiadas. Las siguientes disposiciones del Código que están comprendidas en la División 2 son dignas de ser consideradas.

Requisitos Generales de la División 2.

El usuario deberá preparar y transmitir al fabricante una especificación de diseño certificada por un ingeniero especialista, en la cual comprenda la vida esperada del recipiente, además deberá indicar si la operación es o no cíclica. La firma del diseñador del recipiente puede o no ser significativa, puesto que todas las condiciones de operación que no estén certificadas son proporcionadas por la ingeniería de proceso. El fabricante preparará un reporte de diseño también certificado por un ingeniero especialista calificado, el cual comprenderá los cálculos de diseño y sus respectivos dibujos.

Requisitos del Material.

Algunos de los más notables pasos encaminados a buscar la mayor integridad e inherente seguridad en la División 2, pueden ser encontrados en las reglas que gobiernan la selección y prueba de materiales, si bien estos pasos son comparativamente sencillos de describir, son bastante significativos tanto que para muchos servicios comunes, ingenieros especialistas en materiales son de

la opinión que solo refinamientos mínimos en diseño y fabricación son necesarios para afirmar seguridad adecuada en la faceta de mayores esfuerzos permisibles. La capacidad de los materiales para resistir servicio severo es afectada por una consideración inicial en la selección de materiales que pueden ser utilizados bajo las reglas de la División 2, lo cual es un aspecto importante que contribuye a la seguridad.

Una de las bases para la selección de especificaciones aceptables de acero, fue desarrollada en base al estudio de defectos de un número de especificaciones permitidas en la División 1. Por más que estas especificaciones han sido usadas satisfactoriamente por largo tiempo, fue decidido que para un Código que usa mayores esfuerzos y para esto necesitando unas bases más conservadoras de selección, algunas de ellas fueran deficientes en sus requisitos, aunque los materiales como son producidos normalmente han sido satisfactorios. Por lo tanto materiales que no especifican su máximo contenido de carbono no son aceptados en la División 2.

El diseño, fabricación, y requisitos de pruebas no destructivas de la División 2, están dirigidas para reducir la posibilidad de fractura por fragilidad. Los requisitos para pruebas de materiales amparados en la División 2 añaden aún más protección contra fractura por fragilidad en comparación con la División 1.

Requisitos de Diseño.

Los requisitos de diseño de la División 2, consisten en un texto comparable a los párrafos sobre diseño en la parte UG de la Sección VIII, División 1 y los siguientes cinco apéndices:

Apéndice 2	Cartas para determinar los espesores de cascarón en recipientes cilíndricos y esféricos.
Apéndice 3	Reglas para conexiones bridadas.
Apéndice 4	Diseño basado en análisis de esfuerzos.
Apéndice 5	Diseño basado en análisis de fatiga.
Apéndice 6	Análisis experimentales de esfuerzos.

Estos cinco apéndices proporcionan los medios para evaluar los recipientes en condiciones de servicio severo, utilizando métodos modernos de análisis de esfuerzos.

Algunos de los detalles de diseño de la División 1 los cuales pueden elevar los esfuerzos, no son permitidos en la División 2.

Requisitos de Fabricación.

El propósito fundamental de la División 2, es hacer posible la construcción de recipientes de menor espesor que el permitido por las reglas de la División 1 y al mismo tiempo garantizar por lo menos un excelente grado de seguridad en servicio. En general las nuevas reglas toman especial cuidado para proporcionar protección contra discontinuidades involuntarias.

Los requisitos para la obtención de la tenacidad al impacto en materiales soldados son más amplios, las pruebas de impacto son exigidas sobre metales para soldar en placas de prueba para la calificación del procedimiento de soldadura, para todas las aleaciones altas y para todas los materiales que requieran prueba de impacto. Los tipos de soldadura permisibles y los tipos de examen requeridos para la unión de boquillas soldadas, son indicados aparte en detalle. Estos requisitos difieren para los diversos tipos de materiales.

Requisitos para Inspección.

La División 2 de conformidad con la práctica moderna del Código, distingue en forma más terminante que la División 1, los conceptos de inspección y examen por una parte, asimismo entre examen y prueba.

La División 2 más claramente que la División 1, pone de manifiesto que exámenes serán llevados a cabo por el fabricante.

Cuando el inspector no tiene testimonio de un examen efectuado durante la construcción. La División 2 exige que el fabricante certifique al inspector que el examen ha sido realizado y que los requisitos han sido cumplidos.

La División 2, exige el testimonio del inspector en la prueba hidrostática final o en la prueba neumática.

Requisitos para efectuar la Prueba Hidrostática.

Mientras que la División 1 exige que la presión de prueba hidrostática mínima sea 1.5 veces la máxima presión de trabajo permisible corregida por temperatura. La División 2, requiere que la presión de prueba hidrostática mínima sea 1.25 veces la presión de diseño, también corregida por temperatura.

La División 2, contrario a la División 1, establece límites superiores de presiones prueba.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, en nuestro país la aplicación de la División 2 ha sido poco difundida, principalmente por lo rígido que son sus procedimientos de fabricación. Como consecuencia de esto, el enfoque que se dará a este trabajo estará dirigido básicamente a la división 1, que es la utilizada en la industria nacional.

2.5. CRITERIOS DE DISEÑO Y CALCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN.

El Código ASME en su Sección VIII División 1, en su parte UG (requerimientos Generales) contiene los criterios de diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión y establece las limitaciones en el uso de fórmulas y procedimientos de cálculos.

2.5.1. SISTEMAS DE REVISIÓN Y CALCULO

2.5.1.1. Presiones permisibles.

Cuerpos cilíndricos, esféricos y cabezas semiésfericas sujetas a presión interna. La máxima presión permisible en los recipientes cilíndricos será dada por la fórmula siguiente:

$$P = SE\, t_c / (R_c + 0.6\, t_c)$$

Donde:

t_c = espesor en condiciones corroidas, en pulgadas = (espesor - corrosión)
P = presión permisible, en lb/pulg^2.
S = esfuerzo permisible, en lb/pulg^2. (Secc. II parte D)
E = eficiencia de la soldadura en las uniones longitudinales.
R_c = radio interior en condiciones corroidas, en pulgadas.

Esta fórmula se aplicará únicamente si t es menor que 1/2R o P es menor de 0.385 SE.

En caso de recipientes esféricos o casquetes semiésfericos la máxima presión admisible estará dada por la fórmula siguiente:

$$P = 2\, SEt_c / R_c + 0.2t_c$$

Esta fórmula se aplicará cuando t sea menor que 0.356 R o bien P sea menor de 0.665 SE. Los esfuerzos máximos permisibles para cada material se tomarán del Código ASME (tabla USC-23).

Cuerpos cilíndricos, esféricos y cabezas semiesféricas sujetas a presión externa. Las partes cilíndricas de los recipientes y los recipientes esféricos, así como los casquetes semiesféricos, tendrán una presión máxima permisible computada de acuerdo con los párrafos UG-28, UG-29 y UG-30 del Código ASME y usando las tablas de espesores del Apéndice V del propio código.

Casquetes elipsoidales sometidos a presión interna. La presión máxima permisible en el interior de casquetes elipsoidales, cuando la relación entre los ejes es 2:1; será calculada mediante la siguiente fórmula:

$$P = 2\ SEt_c / D_c + 0.2t_c$$

Donde:

D = diámetro interior en pulgadas del casquete en la unión circunferencial. Las demás variables tienen el mismo significado que en el párrafo 2.5.1.1.1

Cabezas torisféricas sometidas a presión interna. En este caso, la máxima presión permisible para el recipiente, cuando la relación entre los radios de la transición y la sección de transición sea de 100:6 (cabeza toriesférica estándar ASME), estará dada por la siguiente fórmula:

$$P = SEt_c / 0.885L + 0.1t_c$$

Donde:

L = radio interior de la transición. Las otras variables tienen el mismo significado que en párrafos anteriores.

Cabezas elipsoidales y torisféricas sometidas a presión externa. Los casquetes elipsoidales y torisféricos tendrán una presión externa máxima permisible calculada de acuerdo con el párrafo UG-33 del Código ASME y usando las tablas del Apéndice V del propio código.

Tapas planas sin refuerzos sujetas a presión. En aquellos casos en que una tapa se encuentre sujeta a presión, el valor máximo permisible de ésta, estará dada por la fórmula siguiente:

$$P = SEt_c^2 / D^2 C$$

Donde:

t = espesor corroido de la tapa, en pulgadas (espesor nominal - corrosión).
D = diámetro interior, en pulgadas.
S = esfuerzo máximo permisible, en lb/pulg2.
C = constante que depende del tipo de construcción, cuyo valor especifica el código ASME (párrafo UG-34).
E = eficiencia de la junta soldada (1.0).

Tapas esféricas atornilladas. Las tapas esféricas atornilladas deberán estar diseñadas de acuerdo con el párrafo UA-6 del Código ASME.

Conexiones con bridas atornilladas. Las conexiones con bridas atornilladas sujetas a presión interna, deberán satisfacer los requisitos estipulados en los párrafos UA-45 hasta UA-55 del Código ASME. Las bridas deben satisfacer los requisitos dimensionales de estándares aceptados comúnmente, por ejemplo el código ASA B16.5.

CAPITULO 3

PRINCIPALES MATERIALES Y ESPECIFICACIONES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN.

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Aunque son muchos los factores que contribuyen en la selección del tipo de recipientes a presión, los dos requerimientos básicos que trascienden en la selección, son el económico y el de seguridad. Muchos aspectos son considerados; la disponibilidad de materiales, la resistencia a la corrosión, resistencia de materiales, tipos y magnitudes de cargas incluyendo cargas por sismo y viento de acuerdo a la localización de su instalación, el lugar de fabricación (taller o campo), transporte al sitio, la posición de instalación del recipiente y la disponibilidad para el suministro y trabajo de erección en sitio. El criterio para la selección de los materiales aplicables en la industria del petróleo, esta en función de las condiciones de operación que priven en ella, estas condiciones son fundamentalmente aquellas que están determinadas por ambientes corrosivos, por altas presiones y temperaturas, estos factores son esenciales en cuanto a los aspectos del diseño y vida útil del equipo.

Con el incremento del empleo de recipientes a presión especiales en petroquímica y otras industrias, la disponibilidad de materiales adecuados que sean ligeros, apropiados y de buena calidad es el mayor problema. La mayor parte de los materiales usados en la fabricación de recipientes es el acero al carbono. Muchos otros materiales especiales son usados también por su resistencia a la corrosión o por ser aptos para contener fluidos que degraden las propiedades de los materiales. La sustitución de materiales es muy común, el clad y revestimientos son usados ampliamente. El ingeniero de diseño debe tener estrecha comunicación con el ingeniero de proceso, en este orden todos los materiales empleados deberán contribuir para asegurar completamente la integridad del recipiente. Para aquellos recipientes que requieren ensamblarse en campo (en contraste con aquellos que pueden ser construidos en el taller), un aseguramiento de la calidad apropiado deberá ser establecido para lograr soldaduras aceptables, no obstante para las condiciones desfavorables con que sea fabricado el recipiente. Debiendo establecerse provisiones por radiografiado, relevado de esfuerzos y otras operaciones requeridas en campo.

Para aquellos recipientes que serán operados en climas donde se encuentran bajas temperaturas, o bien, contienen fluidos de operación a bajas temperaturas, se debe tener especial cuidado de asegurarse de la resistencia al impacto de los materiales a bajas temperaturas. Para obtener esta propiedad, los recipientes pueden requerir de aleaciones especiales de acero, materiales no ferrosos o algún tratamiento térmico especial.

3.2. ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES

Todos los códigos y estándares contienen especificaciones de materiales y describen los requerimientos de los materiales que son permisibles. Aquellos materiales que son permitidos por una especificación del código son listados y limitados de acuerdo a un valor de esfuerzo permisible determinado. Dependiendo del código o estándar, los materiales permitidos para un recipiente de proceso en particular son limitados.

Los materiales usados para el diseño y fabricación de recipientes a presión, también están rigidos por las Normas y Códigos de la ASTM (American Society for Testing Materials) y la AWS (American Welding Society) que son las autoridades máximas en materiales y electrodos respectivamente.

Normalmente el código que reglamenta el diseño de recipientes a presión, reglamenta también los materiales a usar, tomando en este caso las especificaciones del Código ASTM, así como, los métodos y pruebas para dichos materiales mediante un acuerdo con la mencionada Institución. Haciéndole dos pequeñas modificaciones estampa su símbolo junto al símbolo de la ASTM y le antepone la letra "S" a la especificación del material, ejemplo:

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

El Código ASME (American Society of Mechanical Engineers), hace lo mismo con los materiales para electrodos amparados por la AWS. Es importante aclarar que el Código ASME dedica toda la Sección II a los materiales que ampara.

La Sección II, además de proporcionar una lista de todos los materiales que pueden emplearse para el diseño y fabricación de recipientes a presión no sometidos a fuego directo, también agrega los valores de los esfuerzos máximos permisibles a distintas temperaturas.

3.3. SELECCIÓN DE MATERIALES

Las vasta mayoría de recipientes son construidos de aleaciones ferrosas. Las aleaciones ferrosas están definidas por aquellas que contienen más o al menos 50% de acero. Ellas son utilizadas de acuerdo con el Código ASME, Sección VIII División 1 y 2, incluyendo aceros al carbono y aceros de baja aleación, aceros inoxidables, hierro fundido, hierro forjado y acero templados.

Dentro de las aleaciones no ferrosas se incluye el aluminio, cobre, níquel, titanio y zirconio.

La ASTM designa a todas las aleaciones ferrosas con la letra A y todas las aleaciones no ferrosas con la letra B. El Código ASME como ya lo indicamos anteriormente, utilizada los prefijos SA y SB respectivamente. De tal forma que en la mayoría de los casos las especificaciones de la ASME y la ASTM son idénticas. En primer instancia, solamente materiales con la designación SA o en su caso SB que se encuentren contenidos en el Código ASME, pueden ser empleados en la construcción de Calderas y Recipientes a Presión.

Sin embargo, no existen reglas específicas que se encuentren disponibles hasta este momento, para lograr una selección adecuada para un determinado proceso, en virtud de que la selección es complicada y depende de muchos factores, tales como corrosión, esfuerzos permisibles y costos. De ahí, que la prevención de fallas dependa en gran medida de una correcta selección del material, la cual deberá llevarse a cabo eligiendo el material más económico que satisfaga los requerimientos de diseño, de especificaciones y Código.

3.3.1. CORROSIÓN

La experiencia nos ha enseñado que todos los metales que conocemos poseen diferentes tendencias a corroerse. Es decir, unos serán más resistentes que otros a reaccionar frente a un mismo medio. Los materiales se degradan inexorablemente con el tiempo de muy diversas formas, dejan de ser funcionales, perdiendo sus propiedades mecánicas. Existen muy diversas formas por las cuales un metal o aleación deja de ser útil a consecuencia de su inestabilidad frente al medio. El metal bien puede disolverse lentamente y regresar a su estado original en la naturaleza (corrosión uniforme).

Asimismo, los metales, bajo ciertas condiciones, pueden formar grietas y romperse catastrófica y súbitamente al estar sujetos simultáneamente a un medio agresivo y a un esfuerzo mecánico moderado (corrosión bajo tensión). También pueden ser atacados muy localizadamente en forma de pequeños agujeros profundos que avanzan rápidamente, llegando a perforar gruesas secciones de estructuras metálicas, haciendo a éstas deficientes en sus propiedades mecánicas e inutilizándolas por completo (corrosión por picaduras). Los metales también pueden sufrir de fatiga con la consecuencia pérdida de resistencia cuando son sometidos a esfuerzos periódicos (corrosión por fatiga) o fragilizarse súbitamente y ser inoperativos (fragilidad por hidrógeno). Es entonces precisamente cuando todos los conocimientos que se tienen en la lucha contra la corrosion deben ser aplicados para que un material o aleación perdure más años en servicio, sin transformarse

rápidamente en formas combinadas (óxidos, sulfuros, etc.) o en sistemas degradados localizadamente que no cumplan con los requisitos exigidos a los metales o aleaciones originales; tales como resistencia, dureza, apariencia, etc. Es probablemente uno de los aspectos más importantes que deberán tomarse en consideración durante la selección de materiales.

En presencia de un medio acuoso, la corrosión es de naturaleza electroquímica. Tal corrosión es un proceso espontáneo que denota la existencia de una zona anódica (que sufre la corrosión), una zona catódica y un electrolito, siendo imprescindible la presencia de estos tres elementos para que este tipo de corrosión pueda existir (se requiere asimismo del contacto eléctrico entre la zona anódica y catódica).

La corrosión más frecuente es toda de naturaleza electroquímica y resulta de la formación de multitud de zonas anódicas y catódicas sobre la superficie metálica, siendo el electrolito, en caso de no estar el metal sumergido o enterrado, el agua de condensación de la atmósfera, para lo cual se necesita que la humedad relativa del aire sea del orden del 70% o superior.

La limpieza y acabado de las superficies interiores de un recipiente a presión antes de su operación, es muy importante para prevenir corrosión subsecuente en operación.

3.3.2. ESFUERZOS

El nivel de esfuerzos de un material tiene una influencia significativa en la selección de materiales para una determinada aplicación. Esto es especialmente correcto a elevadas temperaturas, donde el esfuerzo de cedencia y el esfuerzo último a la tensión son relativamente bajos y el comportamiento de la expansión y ruptura pueden controlarse de acuerdo con los valores del esfuerzo permisible. Los esfuerzos indicados en la Sección II parte D (Propiedades de los Materiales) están considerados de acuerdo con el esfuerzo último a la tensión (Ultimate Tensile Strength, UTS) y/o al esfuerzo de cedencia (Yield Strength, YS). Este criterio que se considera para realizar la seleccion del material adecuado, esta en función de tomar como punto de referencia el menor de los esfuerzos que resulte después de comparar los valores que se obtienen a partir de las siguientes relaciones: UTS/4 ó 5/8(YS). En el Código ASME, Sección VIII División 1 el criterio para esfuerzos permisibles a temperaturas elevadas se considera tomando en cuenta ambos comportamientos de expansión y ruptura.

3.3.3. COSTO DE MATERIALES

Puesto que los costos de los materiales son significativamente variados, el diseñador deberá ponderar el costo de los materiales contra otros factores como son la corrosión, expectativa de vida del equipo, disponibilidad de materiales, costo de reemplazo, y sus correspondientes restricciones del código para su fabricación y reparación.

Un sumario de los costos de algunos materiales frecuentemente usados es determinado en la tabla 3-1. En vista de la gran diferencia en costos, el diseñador deberá considerar todos los factores detalladamente.

Tabla 3-1. Costo aproximado de materiales empleados en la construcción de recipientes a presión.

Tipo	Costo (dlls/lb)
Acero al Carbóno	0.3
Aceros de Baja Aleación	0.75
Aceros Inoxidables	0.90 a 2.50
Aluminio	1.50
Cobre, Bronce	1.75
Incoloy	4.00
Monel	5.00
Inconel	6.00
Hastelloys	15.00
Titanio	15.00
Zirconio	20.00
Tantalio	100.00

Hasta antes de enero de 1992.

3.4. ALEACIONES FERROSAS

Las aleaciones de hierro que contienen al menos un 2% de carbono son conocidas como aceros, y aquellas que contienen más del 2% se conocen como hierro colado o de fundición. Los aceros están divididos además, dentro de aquellos con un contenido de carbono de más del 0.8%, son llamados aceros hipereutectoides y aquellos con un contenido de carbono

menor de 0.8%, son conocidos como aceros hipoeutectoides. Los demás aceros empleados en aplicaciones para recipientes a presión tienen un contenido de carbono al menos de 0.4%. Los aceros con un contenido de carbono por encima de 0.4% son muy frágiles y duros para soldar.

El empleo del hierro de fundición en recipientes a presión data desde antes del siglo XIX. Sin embargo, por esta razón el hierro de fundición es muy frágil y no puede ser rolado, estirado o soldado, luego el uso en recipientes a presión es limitado por lo complicado de sus componentes y su configuración. El Código ASME Sección VIII, División 1, también impone limitaciones en los rangos de presión y temperatura, así como para los métodos de reparación.

Los aceros de aleación pueden ser obtenidos con una extensa variedad de elementos de aleación. El Código ASME Sección VIII, División 1, divide los aceros aleados dentro de la siguiente clasificación:

3.4.1. ACEROS AL CARBONO

Estos son ampliamente usados en la construcción de recipientes a presión, tienen principalmente manganeso y silicio como principales elementos de aleación y están limitados para aplicaciones en temperaturas por abajo de los 380° C.

Los aceros han adquirido una importancia exclusiva debido a su resistencia, viscosidad y su habilidad para soportar cargas dinámicas. El acero varia mucho sus propiedades dependiendo de su composición, tratamiento térmico y maquinado.

El acero al carbono es el más disponible y económico de los aceros, es recomendable su empleo en la fabricación de recipientes donde no existan altas presiones, ni temperaturas elevadas.

Dentro de las principales propiedades físicas de los aceros al carbono tenemos la dureza, resistencia a la fatiga y la soldabilidad.

3.4.1.1. ACEROS AL BAJO CARBONO

El acero al bajo carbono con un contenido de carbono menor a 0.25%, comúnmente llamado acero al carbono, es el material soldable mas utilizado. Ningún acero posee las propiedades de módulo a la tensión del acero al carbono.

El acero al carbono es generalmente apropiado para almacenar líquidos orgánicos, con excepción de los clorinados de soluciones alcalinas y ácidos minerales diluidos. La temperatura máxima de trabajo es de 550°C y la mínima - 10 °C, y con relevado térmico de esfuerzos a - 30°C.

3.4.1.2. ACEROS AL ALTO CARBONO

Los aceros al alto carbono con más de 0.3% de carbono son difíciles de soldar, por lo que son utilizados para aplicaciones que no involucren un proceso de soldadura.

3.4.2. ACEROS DE BAJA ALEACIÓN

Estos son esencialmente aceros que contienen además de carbono, elementos de aleación como el níquel, cromo y molibdeno. Estos elementos mejoran los aceros para aplicaciones en altas temperaturas y servicios donde se maneje hidrógeno.

El propósito de la aleación es modificar las propiedades del acero en una forma específica y sus resultados dependen de la cantidad agregada, ya que cada uno de los elementos imparte distintas propiedades, tal como se indicará a continuación.

3.4.2.1. ELEMENTOS ALEANTES Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES DE LOS ACEROS

Aluminio (Al)

- El aluminio es fuerte desoxidante y se combina con el nitrógeno reduciendo la susceptibilidad de deformación por envejecimiento.
- En pequeñas cantidades restringe el tamaño de grano .
- Junto con el nitrógeno forma nitruros de alta dureza.
- Mejora la resistencia a la escamación (oxidación) a temperaturas altas.

Carbono (C)

- El Carbono es un elemento aleante que se encuentra presente en todos los aceros hasta en un 2%, pero generalmente de 0.004 a 0.50%, alcanzando alta influencia sobre ellos.

- El carbono puede existir en el acero en forma combinada como carburo de fierro.

- Conforme aumenta el contenido de carbono, mejoran las propiedades mecánicas de resistencia y dureza, pero las propiedades de elasticidad, forjabilidad, soldabilidad y corte tienden a desmejorar.

Cromo (Cr)

- El cromo incrementa la dureza, la resistencia y reduce ligeramente la elasticidad.

- Los aceros con alto contenido de cromo son resistentes a la corrosión.

- Mejora la resistencia al calor y a la escamación (oxidación) a temperaturas altas.

- Conforme aumenta el contenido de cromo, las propiedades de soldabilidad decaen.

Manganeso (Mn)

- El manganeso se encuentra presente en todos los aceros en cantidades que alcanzan hasta el 2%.

- Contrarresta la fragilidad inducida por el azufre.

- Mejora las propiedades de resistencia del acero, reduciendo ligeramente su elasticidad e influye favorablemente sobre las propiedades de soldabilidad y forja.

- Incrementa la templabilidad.

Molibdeno (Mo).

- La función principal del molibdeno consiste en aumentar la dureza y tenacidad del acero.

- Mejora la resistencia a la tensión, especialmente la resistencia al calor, e influye favorablemente sobre las propiedades de soldabilidad.

- Normalmente se utiliza combinado con cromo.

Níquel (Ni)

- En el campo de acero aleado, el níquel es un elemento adecuado para usarse especialmente en aceros austeníticos, aceros resistentes a la corrosión y a la escamación, así como con aceros tratados térmicamente para mejorar su tenacidad.

- Incrementa la resistencia del acero, pero menos que el silicio y el manganeso, con reducción muy ligera de elasticidad.

- En combinación con cromo proporciona buenas propiedades de resistencia a la corrosión, mejora las propiedades de soldabilidad e incrementa notablemente la resistencia al impacto en aceros estructurales, especialmente a temperaturas criogénicas.

- Aumenta la resistencia a la fatiga y la ductilidad.

Silicio (Si)

- Al igual que el manganeso, se encuentra presente en todos los aceros debido a que los minerales utilizados en su fabricación lo contienen en una cantidad variable.

- En cantidades que alcanzan hasta el 2%, mejora significativamente la resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

- Afecta ligeramente la elasticidad, mientras que incrementa la resistencia a la tensión. También eleva el punto de cedencia.

Titanio (Ti)

- El titanio es un elemento aleante utilizado principalmente en aceros inoxidables para la estabilización contra la corrosión intragranular. Es fuerte formador de carburos, además de tener propiedades de refinamiento de grano.

- Previene la formación de austenita en los aceros con alto contenido de cromo.

Vanadio (V)

- El efecto principal del vanadio consiste en refinar el grano y mejorar las propiedades mecánicas.

- Mejora la resistencia a la tensión y al punto de cedencia; especialmente las propiedades de dureza en caliente.

- Es fuerte formador de carburos.

Niobio-columbio, Tantalio (Nb-Cb, Ta)

- Estos elementos aparecen casi siempre juntos y son muy difíciles de separarse, por lo general son aleados juntos y se usan principalmente como estabilizadores.

- Mejora la resistencia y la dureza a temperaturas elevadas.

3.4.2.2. ACERO AL BAJO CARBONO, BAJA ALEACIÓN

Los aceros al bajo carbono de baja aleación se usan mucho en la fabricación de recipientes. El contenido de carbono no debe ser superior al 0.2% y los elementos de aleación que no deben exceder 12% son níquel, cromo, molibdeno, vanadio, boro y cobre.

3.4.2.3. ACEROS AL ALTO CARBONO, ALTA ALEACIÓN

Estos aceros prácticamente no son usados en la fabricación de recipientes de proceso, debido a su dificultad de soldarse.

3.4.2.4. ACEROS ALTA ALEACIÓN

Estos son quizá el material de construcción más usado en la fabricación de recipientes de proceso, son los comúnmente llamados aceros inoxidables y contienen generalmente al menos 18% de cromo y 8% de níquel. Estos aceros se pueden dividir en ferríticos (estructura cristalina magnética), austeníticos (estructura cristalina no magnética) y martensiticos. Una aclaración importante es que la clasificación con la que comúnmente se les conoce a estos aceros, es la clasificación del Código AISI (Instituto Americano del Hierro y el Acero) que no corresponde necesariamente a la clasificación del Código ASME.

3.4.2.5. ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS

Este grupo incluye los tipos 403, 410, 414 y 416, que contienen un máximo de 0.15% de carbono, 1.25% de manganeso, de 11.5 a 14% de cromo y entre 1.25 a 2.5% de níquel. Los tipos 420, 430 y 431 contienen entre 0.12 y 0.20% de carbono, un máximo de 1% de manganeso, entre 12 y 18% de cromo y entre 1.25 y 2.5 de níquel. Los tipos 440 varían entre 0.6 y 1.2% de carbono, un máximo de 1% de manganeso, entre 16 y 18% de cromo y entre 1.25 y 2.5% de níquel. Siendo difíciles de soldar, no se usan en aplicaciones que involucren juntas soldadas.

3.4.2.6. ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS

Los aceros ferríticos se pueden definir en: de bajo carbono (0.08%), 12-13% de cromo (tipo 405) y de medio carbono (0.12-.0.20%), 17-30% cromo (tipos 430 y 446). Los primeros son adecuados cuando el material no es corrosivo para el acero al carbono, pero la contaminación por la oxidación no puede ser tolerada; estos aceros deben de trabajar hasta un máximo de 450°C, los segundos se usan generalmente en la producción de ácido nítrico y el tipo 446 es especialmente resistente al oxígeno y al azufre y pueden trabajar hasta 1150° C.

3.4.2.7. ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

Son los más comúnmente usados y propiedades más adecuadas a las exigencias de las condiciones de proceso que se presentan en la industria química de proceso. La serie 200 tiene un contenido máximo de carbono de 0.15%, entre 5.5 y 10% de manganeso, 1% máximo de silice, entre 16 y 19% de cromo, entre 3.5 y 6% de níquel y un máximo de 0.25% de nitrógeno; esta serie es más económica que la serie 300, ya que reemplaza parcialmente al níquel con manganeso. La serie 300 (301, 302, 302B, 303, 303S, 304, 304L,

305, 308, 309, 309S, 310, 310S, 314, 316, 316L, 317, 321, 347 y 348) posée un máximo de 0.15% de carbono, con excepción del 309, del 310 y del 314 que contienen 0.2, 0.25, y 0.25% máximo respectivamente, un máximo de 2% de manganeso, un máximo de 1.5% de silice, a excepción del 302B y del 314 que pueden llegar a contener hasta el 3% , entre 16 y 26% de cromo y entre 6 y 22% de níquel; además se define para cada tipo un máximo de trazas de ciertos elementos. Posiblemente los dos tipos más usados son el 304 y el 316, siendo el primero muy adecuado para corrosiones intermedias y el segundo para corrosiones más importantes. El 304 tiene un máximo de 0.08% de carbono, un máximo de 2% de manganeso, 1% de silice, entre 18 y 20% de cromo y entre 8 y 12% de níquel; una variante es el 304L que posee un máximo de 3% de carbono. El tipo 316 tienen 0.08% máximo de carbono, 2% máximo de manganeso, 1% máximo de silice, 16 y 18% de cromo, 10 a 14% de níquel y entre 2 a 3% de molibdeno; su variante el 316L tiene un máximo de 0.03% de carbono. Las variantes 304L y 316L se usan en las mismas aplicaciones que el 304 y 316, cuando se necesita soldar placas de espesores mayores de 6.5 mm y de 1 cm. respectivamente.

3.5. ACEROS RESISTENTES A ALTAS TEMPERATURAS.

Conocidos también como aceros refractarios, este tipo de aceros resiste muy altas temperaturas sin que se presente oxidación y sin tener cambio alguno en sus propiedades mecánicas.

La resistencia de los aceros se ve seriamente afectada por las temperaturas elevadas a las que están expuestos, sobre todo a temperaturas mayores a los 400°C. Los aceros más resistentes a altas temperaturas que pueden considerarse refractarios, son los aceros austeníticos inoxidables al cromo níquel, cuyo elevado porcentaje de níquel favorece la formación de carburos de cromo que protegen al acero contra la corrosión. Algunos de estos aceros son aquellos que contienen 35% níquel y 18% cromo, 22% níquel y 15% cromo y por último los que contienen 25% níquel y 9% cromo.

3.6. ALEACIONES NO FERROSAS.

El Código ASME Sección VIII, División 1, lista cinco aleaciones no ferrosas de acuerdo con el código para la construcción de recipientes de proceso: aluminio, cobre, níquel, titanio y zirconio. Estas aleaciones son normalmente usadas en ambientes corrosivos, o bien, a elevadas temperaturas donde las aleaciones ferrosas son inadecuadas. Las aleaciones no ferrosas son generalmente no magnéticas, excepto para el níquel comercialmente puro que es ligeramente magnético.

3.6.1. ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO

Los criterios principales en la selección del aluminio como material de construcción en una planta de proceso, son su resistencia a la corrosión, su facilidad de fabricación y su precio. Las ventajas que ofrece son su gran conductividad de calor, baja densidad y alta ductibilidad. Sus desventajas son su pobre cortado y baja resistencia mecánica.

Las aleaciones de aluminio tienen una combinación única de propiedades, que las hace útil en algunas aplicaciones de equipos de proceso. Ellas son no magnéticas, son ligeras en peso, tienen buena maleabilidad y tienen un excelente rango de peso-esfuerzo. Las superficies del aluminio expuestas a la atmósfera forman una capa invisible de oxido que protege el metal de mayor oxidación, esta característica determina su alta resistencia del aluminio a la corrosión.

Las aleaciones del aluminio se pueden dividir en tres clases: aluminio de varios grados de pureza, aleaciones de fundición y aleaciones de forja.

Aluminio puro de 99% mínimo: es muy utilizado en aplicaciones de proceso, en las cuales su resistencia a la corrosión y alta conductividad térmica son necesarias.

Aleaciones sin tratamiento térmico; son las mas utilizadas, con incrementos substanciales en su resistencia mecánica y en su dureza. Se usan dos elementos de aleación, el magnesio y el manganeso, en proporciones que varían entre el 1.7 y 5.5% para el primero y entre 0.5 y 1.5% para el segundo.

Aleaciones con tratamiento térmico; se añaden pequeñas cantidades de cobre, magnesio y/o silice, que pueden incrementar más su resistencia por tratamiento térmico.

Aleaciones de forja: se utilizan como materiales resistentes a la corrosión, agregando magnesio, silice y manganeso, como elementos de aleación, el primero varia entre el 0.2 y 6%, el segundo entre 4.5 y 13%, y el tercero entre 0.3 y 0.7%.

3.6.2. COBRE Y ALEACIONES DE COBRE

El cobre tiene propiedades excelentes de conductividad térmica y eléctrica, además de poseer buena duración en ambientes de corrosividad intermedia. Ya que es relativamente débil, se le usa mucho en aleaciones con zinc (latón), estaño (bronce), aluminio y niquel.

La mayoría de las aleaciones de cobre son usadas por su buena resistencia a la corrosión y maquinabilidad. Además, son homogeneos tal como el acero o el aluminio y en consecuencia no son susceptibles de tratamientos térmicos. Su resistencia es generalmente quebradiza, solamente puede ser alterada por el trabajo en frío. El sistema de designación de las aleaciones de cobre sirve para identificar el tipo de material. Las aleaciones de cobre mas comunes son:

Latón: aleación de cobre y zinc con un mínimo del 50% de cobre.

Bronce: aleación de cobre y estaño.

La mayor parte de las aleaciones de cobre se distinguen por su color, excepto las aleaciones de cobre-níquel, las cuales tienden a perder su color característico según el incremento de níquel.

3.6.3. NÍQUEL Y ALEACIONES DE NÍQUEL

EL níquel puro (99% mínimo y un máximo de 0.15% de carbono) es usado cuando se necesita eliminar completamente la presencia del hierro y del cobre. Es fácilmente soldable, pero debido a su alto costo, solo se usa cuando las aleaciones de níquel no son adecuadas.

El níquel y las aleaciones de níquel poseen una excelente resistencia a la corrosión y a la oxidación, que los hacen ideales para altas temperaturas con aplicaciones en medios ambientes corrosivos.

3.6.4. TITANIO, ZIRCONIO Y SUS ALEACIONES

El titanio, zirconio y sus aleaciones son usados en equipos de proceso sujetos a ambientes severos. En el Código ASME Sección VIII, División 1, el titanio puro es listado por grados 1, 2 y 3, y las aleaciones de titanio son listadas de acuerdo a los grados 7 y 12. Dos grados de zirconio también son especificados en el Código, como zirconio puro tenemos el 702 y para zirconio aleado el 705.

Los módulos de elasticidad para el titanio y el zirconio son aproximadamente la mitad que el del acero. También el coeficiente de expansión térmica de ambos es aproximadamente la mitad que el del acero. La densidad del zirconio es escasamente menor que la del acero, puesto que la densidad del titanio es aproximadamente 0.58% veces la del acero.

3.7. ALEACIONES ESPECIALES

Existe un grupo de aleaciones especiales en las que están comprendidos el monel, el inconel y el hastelloy. El monel es una aleación de níquel-cobre, en donde aproximadamente existen dos tercios de níquel por cada tercio de cobre, además de otros elementos que pueden ser aluminio, hierro, titanio, silicio, manganeso, carbono y azufre. El cobre es completamente soluble en níquel y se añade para incrementar la formabilidad, disminuir su precio y retener la resistencia a la corrosión del níquel. El monel tiene alta resistencia a los ácidos, alcalis, salmueras, productos alimenticios y a la atmósfera. Todos estos materiales son altamente resistentes a la corrosión originada por las temperaturas elevadas, ofreciendo excelentes propiedades físicas y mecánicas aún en condiciones muy drásticas de servicio.

Hay tres calidades especiales de Monel que contienen pequeñas cantidades de elementos aleantes agregados. El Monel K contiene alrededor del 3% de aluminio. El Monel H tiene 3% de silicio agregado y el Monel S tiene un 4% del mismo elemento. Se usan en coladas y pueden ser endurecidos por precipitación.

El Monel común es difícil de maquinar. Sin embargo, una calidad de maquinado libre (Monel R) puede producirse añadiendo un 0.35% de azufre. De todas estas calidades existen diferentes variedades de acuerdo con las múltiples aplicaciones de este material; que es la aleación resistente a la corrosión por excelencia. Además de ser una de las mas inoxidables que se conocen para soportar perfectamente temperaturas muy elevadas.

El inconel y Hastelloy son aleaciones de níquel con adición de otros elementos de aleación en cantidades variables. Sus principales elementos de aleación son el hierro, carbono, silicio, manganeso, cromo, molibdeno, tungsteno y fósforo.

Estos materiales son fuertemente resistentes a la corrosión a altas temperaturas, por lo cual ofrecen buenas propiedades físicas y mecánicas aún en las condiciones más desfavorables de servicio.

El inconel es una aleación que esta compuesta en mayor parte de níquel 76%, cromo 16% y hierro 8%, combinando la resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y tensión que le confiere el níquel junto con la que le adiciona el cromo para soportar la oxidación a altas temperaturas. Este tipo de aleación es muy importante por su capacidad para soportar calentamientos continuos en un intervalo de 0 a 870 °C sin llegar a fragilizarse.

El hastelloy es una aleación a base de níquel, molibdeno, hierro, silicio, cobre y otros elementos, su composición depende del tipo de hastelloy, algunas de las clasificaciones mas comunes son: hastelloy A, B, C y D. Las tres primeras contienen molibdeno y hierro.

La composición del hastelloy tipo A es de 57% níquel, 20% molibdeno y 20% de hierro. La composición del hastelloy tipo B es de 62% níquel, 28% molibdeno y 5% de hierro. Estas aleaciones tienen estructura austenitica y mediante el trabajo en frío es posible obtener mayor resistencia y mejorar su alta resistencia a la corrosión.

El hastelloy tipo C esta compuesto por 54% níquel, 17% molibdeno, 15% cromo, 5% hierro y 4% de tungsteno, se caracteriza por su alta resistencia a la corrosión y a los ácidos oxidantes, conserva buenas propiedades a altas temperaturas y es resistente a la corrosión atmosférica.

El hastelloy tipo D es uno de los mas comunes y contiene 10% de silicio y 3% de cobre, una de sus propiedades caracteristicas es su alta resistencia a la corrosión por ácido sulfúrico concentrado a altas temperaturas.

3.8. MATERIALES AMPARADOS POR EL CÓDIGO ASME

La ASME ha establecido el criterio de recomendar casi de manera única materiales dúctiles a las condiciones de operación esperadas, es decir que al aproximarse de manera gradual a su resistencia última, presenten un patrón de falla observable y predecible, con el objeto de tomar las medidas de seguridad, reparo o reemplazo pertinentes.

Las placas de acero al carbono y las de acero de baja aleación se usan en la mayoría de los casos donde lo permiten las condiciones de servicio debido a su bajo costo y mayor disponibilidad.

En las partes secundarias de los recipientes (partes no sometidas a presión) por ejemplo: en soportes y algunos accesorios misceláneos pueden utilizarse aceros estructurales, tales como el SA-36 y/o SA-283 (Grado A, B, C y D) estas dos especificaciones tienen limitaciones por lo cual no se recomienda utilizarlas para partes sujetas a presión, a menos que se cumpla con los requerimientos estipulados por el Código ASME Sección VIII parte USC-6. Estos aceros pueden ser utilizados cumpliendo con los siguientes requerimientos:

a) Recipientes que no vayan a ser usados en servicios con substancias letales, ya sea en líquidos o gases.

b) Que las temperaturas a las cuales el material vaya a ser usado esté entre -29°C (-20°F) y 343°C (650°F). No se deben emplear para Generadores de Vapor no sometidos a fuego directo.

c) Para cascarones, cabezas y boquillas en las cuales el espesor de placa no exceda de 1.6 cm. (5/8").

d) El acero sea fabricado por el proceso de horno eléctrico, horno de hogar abierto o por el proceso de oxígeno básico.

Uno de los aceros más empleados en la construcción de recipientes a presión es el SA-285 grado C que esta compuesto por 0.28% de carbono, 0.9% manganeso, 0.035% de fósforo y 0.04% de azufre. Este tipo de acero es muy dúctil y fácil de formar, soldar y maquinar.

Es también uno de los aceros mas económicos y de mayor existencia en el mercado, este acero es el más indicado para utilizarse en temperaturas moderadas no menores de 18.33 °C y no mayores de 345 °C.

En los casos de temperaturas mas altas, se usan con ventaja aceros de alta resistencia para reducir el espesor de pared; el SA-515 grado 70 que contiene 0.33% de carbono y de 0.13 a 0.33% de silicio, es un material muy bueno para esas aplicaciones, requiriendo un espesor de pared de solamente el 78% del que se requeriría con el SA-285 grado C. Este material es de fácil fabricación siendo mas caro que los otros aceros. El rango de temperatura en el que se puede emplear esta entre 18.33 °C a 413 °C.

Cuando existen temperaturas mas elevadas que las indicadas anteriormente, se utilizan regularmente aceros de baja aleación, tal es el caso del SA-387 cuya composición es de 1.25% cromo y 0.5% de molibdeno, el cual puede ser usado hasta aproximadamente 566 °C.

Hasta el momento, se han mencionado los casos para temperaturas moderadas o altas, pero existen una gran variedad de procesos en los cuales se tienen temperaturas criogénicas; en estos casos los materiales más recomendables dentro de los aceros al carbono son: el SA-516 grado 70 (0.27% carbono, 0.8 a 1.25% manganeso y de 0.13 a 0.33% de silicio), el cual puede usarse en un rango de temperaturas entre -45 °C a 15 °C, en caso de tener temperaturas más bajas, se puede pensar en utilizar aceros a base de níquel como el SA-203 (2.5 a 3.5% níquel).

Cuando existen temperaturas aún más bajas que las mencionadas anteriormente, se utilizan aceros inoxidables como el SA-240 tipo 304, que resiste temperaturas hasta -254 °C tal como se indica en la tabla 3.2

SERVICIO		CRIOGENICO		TEMPERATURAS BAJAS				
TEMPERATURA DE	°C	-254 A -196	-195 A -102	-101 A -60	-59 A -46	-45 A -29	-29 A -16	-15 A 0
OPERACION	°F	-425 A -321	-320 A -151	-150 A -76	-75 A -51	-50 A -21	-20 A +4	5 A 32
PLACA ASME SA- CASCARON Y CABEZAS PLANTILLAS DE REFUERZO BRIDAS CIEGAS DE PLACA PARTE SUPERIOR FALDON PLACA CUELLO DE BOQUILLAS AROS PARA PLATOS APOYO DE BAJANTES PLACAS, MAMPARAS INTERIORES		240 TP 304 / 304 240 TP 304 / 304L 240 TP 304 / 347	240 TP 304 / 304L 240 TP 316 / 316L	203-D 203-E	203-A 203-B	516 TODOS LOS GRADOS VER NOTA 2	516 TODOS LOS GRADOS t < 1" PRUEBA DE IMPACTO	516 TODOS LOS GRADOS t < 2" PRUEBA DE IMPACTO
FORJAS ASME SA- BRIDAS FORJADAS, COPLE BOQUILLAS FORJADAS		182 f 304 182 f 304L 182 f 347	182 f 304 / 304L 182 f 316 / 316L	350 LF3	350 LF3	350 LF1 350 LF2	350 LF1 350 LF2	
CONEXIONES SOLDABLES:		403 WP 304 403 WP 304L 403 WP 347	403 WP 304 / 304L 403 WP 316 / 316L	420 WPL3	420 WPL3	420 WPL6	420 WPL6	420 WPL6
TUBERIA ASME SA- CUELLOS DE BOQUILLAS TUB. INTERIOR (VER HOJA DE DATOS)		312 TP 304 312 TP 304L 312 TP 347	312 TP 304 / 304L 312 TP 316 / 316L	333-3	333-3	333-6	53-B S/COSTURA 106-B	53-B S/COSTURA 106-B
TORNILLERIA ASME SA- ESPARRAGOS EXTERIORES TUERCAS EXTERIORES TUERCAS INTERIORES TORNILLERIA INTERIOR		320 -B8 ENDURECIDO 194-8 (S5-SA-20) 194-8 (S5-SA-20) 320-B8 ENDURECIDO	320 -B8 ENDURECIDO 194-8 (S5-SA-20) 194-8 (S5-SA-20) 320-B8 ENDURECIDO	320-L7 194-4 194-4 320-L7	320-L7 194-4 194-4 320-L7	320-L7 194-4 194-4 320-L7	193-B7 194-2H 193-B6 194-8	193-B7 194-2H 193-B6 194-8
SOPORTES ASME SA- FALDON SUPERIOR 1200 mm FALDON INFERIOR 283-C SILLETAS, MENSULAS 283-C PATAS 36		IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA
EMPAQUES EXTERIORES FLEXITALLIC CG INTERIORES ASBESTO								

TABLA 3.2 Lista de Materiales empleados en la Fabricación de Recipientes a Presión.

Continua en pagina siguiente

SERVICIO		TEMPERAURAS INTERMEDIAS			TEMPERATURAS ELEVADAS				
TEMPERATURA DE	°C	1 A 16	16 A 343	344 A 413	413 A 468	469 A 538	538 A 593	593 A 816	> 816
OPERACION	°F	33 A 60	61 A 650	651 A 775	776 A 875	876 A 1000	1000 A 1100	1100 A 1500	> 1500
PLACA ASME SA- CASCARON Y CABEZAS PLANTILLAS DE REFUERZO BRIDAS CIEGAS DE PLACA PARTE SUPERIOR FALDON PLACA CUELLO DE BOQUILLAS AROS PARA PLATOS APOYO DE BAJANTES PLACAS, MAMPARAS INTERIORES		285-C 3/4" MAX 515-55/60/65 1/4"MAX 516 TODOS LOS GRADOS Y ESPESORES	285-C 3/4" MAX 515-55/60/65 1/4"MAX 516 TODOS LOS GRADOS Y ESPESORES	515-70	204-B 204-C	387-11-CL1 387-11-CL2 387-12-CL1	387-22 CL1	240 TP 304 240 TP 316 240 TP 321 347 INMUNE A LA CORROSION INTRAGRANULAR CON RECOCIDO	240 TP 310
FORJAS ASME SA- BRIDAS FORJADAS, COPLE BOQUILLAS FORJADAS		105 181-I 181-II	105 181-I 181-II	105	182 FI	182 FI 182 12	182 F 22	182 F 304H 182 F 316H 182 F 321H 182 F 347H	182 F 310
CONEXIONES SOLDABLES;		234-WPB "	234-WPB	234-WPB	234-WPB	234-WPB 234-WP12	234 WP 22	403-WP 304H 403-WP 316H 403-WP 321H 403-WP 347H	403-WP 310
TUBERIA ASME SA- CUELLOS DE BOQUILLAS TUB. INTERIOR (VER HOJA DE DATOS)		53-B S/COSTURA 106-B	53-B S/COSTURA 106-B	106-B	335-PI	335-PII 335-P12	335-P22		312 TP 310
TORNILLERIA ASME SA- ESPARRAGOS EXTERIORES TUERCAS EXTERIORES TUERCAS INTERIORES TORNILLERIA INTERIOR		193-B7 194-2H 193-B8 194-8	193-B7 194-2H 193-B8 194-8	193-B7 194-2H 193-B8 194-8	193-B7 194-2H 193-B8 194-8	193-B7 194-2H 193-B8 194-8	193-B7 194-2H 193-B8 194-8	193-B7 194-2H 193-B8 194-8	55 310
SOPORTES ASME SA- FALDON SUPERIOR 1200 mm FALDON INFERIOR 283-C SILLETAS, MENSULAS 283-C PATAS 36		IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA	IDEM A PLACA
EMPAQUES EXTERIORES FLEXITALLIC CG INTERIORES ASBESTO									

TABLA 3.2 Lista de Materiales empleados en la Fabricación de Recipientes a Presión.

En la tabla 3.3, se listan algunos de los materiales que son empleados en la construcción de recipientes a presión de acuerdo con la substancia que manejan (servicio), al que vayan a ser destinados.

SUBSTANCIAS	ACERO AL CARBONO	ACERO AL NÍQUEL	INCONEL	MONEL	ACERO INOXIDABLE (18Cr-8Ni)	ACERO INOX (18Cr-8Ni-Mo)
ACETONA	A	A	A	A	A	A
ACETILENO	A	A	---	A	A	A
CERVEZA	P	A	A	A	A	A
BENZENO BENZAL	A	A	A	A	A	A
BENCINA NAFTA	A	A	A	A	A	A
ÁCIDO BÓRICO	X	---	---	P	A	A
CLORUROS EN GENERAL	X	R	R	R	X	X
BUTANO	A	---	---	A	A	A
ÁCIDO CÍTRICO	X	R	A	A	A	A
MERCURIO	A	A	---	A	A	A
GAS NATURAL	A	A	A	A	A	A
ACEITES PETRÓLEOS 500°F CRUDO	A	P	A	P	P	R
ÁCIDO FOSFÓRICO	P	P	P	P	P	R

A = BUENO	R = RECOMENDABLE	P = PRECAUCIÓN (DEPENDE DE LAS CONDICIONES)	X = NO RECOMENDABLE

Tabla 3.3 Materiales recomendables de acuerdo con el servicio y substancias que manejaran.

La tabla 3.4, muestra los materiales recomendables que pueden ser usados según las temperaturas a que vaya a estar operando el recipiente.

TEMPERATURAS	MATERIAL
> 516 °C	ACERO INOXIDABLE (18% Cr, 8% Ni)
516 a 413 °C	CROMO-MOLIBDENO
18 a 413 °C	ACERO AL CARBONO
-40 a 15 °C	ACERO AL CARBONO
-45 a -65 °C	ACERO AL NÍQUEL (2.5% Ni)
-65 a -100 °C	ACERO AL NÍQUEL (3.5% Ni)
-100 a -195 °C	ACERO AL NÍQUEL (9% Ni)
-195 a -252°C	ACERO INOXIDABLE (18% Cr, 8% Ni)

Tabla 3.4. Materiales recomendables de acuerdo a la temperatura de operación.

CAPITULO 4

ENSAYE E INSPECCIÓN DE MATERIALES

4.1 GENERALIDADES

El uso extensivo de procedimientos de ensaye para control de procesos de manufactura y construcción, son hechos significantes y bien reconocidos de nuestro desarrollo tecnológico. Una producción satisfactoria depende de la inspección y control de calidad de los productos manufacturados, lo que implica un sistema de muestreo y ensaye. La preparación de especificaciones adecuadas y la aceptación del material involucra la comprensión de los métodos de ensaye e inspección.

El ensaye comercial se preocupa, principalmente, ya sea por la verificación de la aceptabilidad de los materiales bajo especificaciones de adquisición o por el control de la producción o fabricación, con el objeto de determinar si las propiedades de un material o de una parte de él quedan dentro de los límites requeridos.

Con respecto a la utilización de un material o de una parte después del ensaye, los ensayos pueden clasificarse como destructivos o no destructivos.

4.2. INSPECCIÓN DE LOS MATERIALES

Aunque sus funciones se empalman, es recomendable distinguir entre el ensaye, como tal, y la inspección. Específicamente, el ensaye se relaciona con la realización física de las operaciones (ensayos) para determinar las medidas cuantitativas de ciertas propiedades. La inspección cubre la observación de los procesos y productos de fabricación o construcción con el propósito de garantizar la presencia de las cualidades deseadas.

En muchos de los casos la inspección puede ser enteramente cualitativa e involucra solamente la observación visual de la corrección de las operaciones o dimensiones, la detección de defectos superficiales, o posiblemente la indicación de la presencia o ausencia de condiciones indeseables. Por otra parte la inspección puede implicar la realización de ensayos complicados para averiguar si los requerimientos de las especificaciones han sido satisfechos.

La inspección propugna el control de la calidad por medio de la aplicación de criterios establecidos e implica la idea de rechazar material subnormal. Al ensayar la meta es determinar la calidad. El significado real de cualquier ensayo reside en el grado al cual nos capacita para predecir el desempeño de un material en servicio.

4.3. ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES

Una especificación es el intento de parte del consumidor para decirle al productor lo que desea. obviamente, la habilidad y exactitud con que algo puede especificarse depende del grado de conocimiento relacionado con ello y la precisión con que sus cualidades puedan determinarse. Una especificación intenta ser una declaración de una norma de calidad. La especificación ideal definiría de manera única las cualidades de un material necesario para servir con la mayor eficiencia para un uso dado, y es posible acercarse a ella si pueden realizarse ensayos realmente significativos para determinar la presencia de las cualidades requeridas.

Las especificaciones para materiales de construcción pueden definir los requerimientos para la aceptabilidad del material de una o todas las siguientes maneras:

1. Especificando el método de fabricación
2. Especificando forma, dimensiones y acabado
3. Especificando las propiedades químicas, físicas o mecánicas deseadas.

4.4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Frecuentemente es deseable conocer las propiedades características de un producto sin someterlo a ensayos destructivos. Una prueba no destructiva es el examen de un objeto efectuado de tal forma que no impida su utilización futura. Varios tipos de defectos son inherentes a los equipos metálicos. Algunos de los más comunes son las costuras, las fallas subsuperficiales, las grietas resultantes del templado, la fragilización y la fatiga. Costura es un término genérico que incluye las tiras de inclusiones no metálicas y las grietas alargadas, así como los defectos causados por el sobrerrelleno o bajorrelleno en las operaciones de laminado; tales defectos corren en la dirección del laminado.

Las fallas subsuperficiales forman una grande e importante clase de defectos incluyendo los de porosidad y las inclusiones. Las grietas por templado, frecuentemente se desarrollan durante las operaciones de tratamiento térmico, quedando acentuada su ocurrencia por cambios súbitos de sección. Las grietas por fragilización, así como las grietas producidas por la acción química y el esfuerzo mecánico, comúnmente ocurren en calderas y recipientes a presión. Las grietas por fatiga resultan de muchas repeticiones de esfuerzo; frecuentemente se debe a concentraciones de esfuerzos en los cambios de sección, ranuras de las operaciones de máquinado, costuras, grietas por templado y traslapes de forja.

Varios métodos de ensaye no destructivo usados para determinar ciertas propiedades o la presencia de cualesquier defectos que incluye el Código ASME Sección VIII, División 1, son: Inspección visual, Inspección por partículas magnéticas, Inspección ultrasónica, Líquidos penetrantes, Inspección radiográfica, Prueba hidrostática y Prueba neumática.

4.4.1. INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual del objeto nunca debe omitirse cuando sea necesario detectar la presencia de posibles defectos superficiales. Los microscopios equipados con aditamentos fotográficos frecuentemente se usan para obtener registros permanentes de los defectos, zonas dudosas y variaciones estructurales.

La comprobación de las dimensiones por medio del uso de escalas, cintas, micrómetros o calibradores especiales, también pude considerarse como un tipo de inspección visual.

4.4.2. ENSAYOS PENETRANTES

Todos los procesos de penetración líquida son métodos de ensaye no destructivos para encontrar las discontinuidades abiertas a la superficie. Pueden usarse eficazmente no solo en la inspección de los metales ferrosos sino también son especialmente útiles para productos metálicos no ferrosos y sobre materiales no porosos.

Las discontinuidades superficiales tales como grietas, costuras, traslapes, laminaciones, o falta de adhesión son indicadas por estos métodos. Son aplicables a la inspección en proceso, final y de mantenimiento. Los diversos métodos de inspección por penetración líquida están cubiertos por la ASTM, E 165.

Los líquidos usados ingresan por pequeñas aberturas, tales como fisuras o porosidades, por acción capilar. La velocidad y la extensión de esta acción dependen de propiedades tales como la tensión superficial, la cohesión, la adhesión, y la viscosidad. También son influidos por factores como la condición de la superficie del material y el interior de la discontinuidad.

Para que el líquido penetre efectivamente, la superficie del material debe limpiarse perfectamente de toda materia que pueda obstruir la entrada del líquido al defecto. Después de limpiar, el líquido penetrante se aplica uniformemente a la superficie y se le permite permanecer el tiempo suficiente

para facilitar su penetración en posibles discontinuidades. Luego el líquido se remueve completamente de la superficie y se aplica un revelador húmedo o seco. El líquido que haya penetrado las discontinuidades regresará entonces a la superficie y el revelador coadyuvará a delinearlas. Esto indicará la ubicación, naturaleza general y magnitud de cualesquiera discontinuidades presentes. Para apresurar esta acción la parte puede golpearse fuertemente para producir vibraciones y forzar el líquido fuera del defecto.

4.4.3. INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

Los rayos X y aún los más cortos rayos gamma, son tipos de ondas electromagnéticas usados en la industria para penetrar los materiales opacos y obtener un registro permanente del resultado sobre película sensibilizada. Estas ondas cortas de energía radiante se han convertido en un útil instrumento para la inspección del interior de los metales y otros materiales. Cuando estos rayos atraviesan un material de estructura no uniforme que contenga defectos tales como cavidades o grietas, o porciones de densidad variables, los rayos que atraviesan las partes menos densas del objeto son absorbidos en menor grado que los rayos que atraviesan el material sano adyacente. Al revelar una película fotosensible colocada sobre el extremo lejano del objeto expuesto a la radiación de onda corta, resulta una imagen de áreas claras y obscuras, representando las últimas aquellas partes del material que poseen una densidad inferior. Esta película es llamada exografía cuando es producida por rayos X, y gammagrafía cuando es producida por los rayos gamma; ambos tipos de película son denominados radiografías. Para ser satisfactoria, una radiografía debe mostrar el tamaño y la forma de cualquier defecto o heterogeneidad significativos. La práctica recomendada para el ensaye radiográfico esta cubierta en la ASTM E 94.

Las dos aplicaciones más comunes de la radiografía industrial son el examen de los productos soldados y piezas fundidas. El valor de la inspección radiográfica de las juntas soldadas al mostrar la presencia de defectos esta bien reconocido. Las soldaduras en recipientes a presión de todos los tipos, tubería de presión en la mayoría de los proyectos de plantas industriales reciben una inspección de 100%.

Los defectos comunes y su apariencia característica sobre los negativos de las fundiciones son los siguientes:

1. Las cavidades de gas y sopladuras son indicadas por áreas oscuras circulares bien definidas.
2. La porosidad por contracción aparece como una región oscura fibrosa e irregular que posee una silueta indistinta.

3. Las grietas aparecen como áreas oscurecidas de ancho variable.
4. Las inclusiones de arena están representadas por manchas grises o negras de textura irregular o granular con linderos indistintos.
5. Las inclusiones en las fundiciones de acero aparecen como áreas oscuras de silueta definida. En las aleaciones ligeras las inclusiones pueden ser más densas que el metal básico y por ello causar áreas claras.

Cuando la superficie examinada posea una superficie áspera, su radiografía debe estudiarse para no confundir cualesquiera áreas oscuras o claras, las cuales resultan de la aspereza superficial, con marcas similares que podrían indicar irregularidades internas.

En las soldaduras de acero los defectos más comunes son las inclusiones de escoria, la porosidad, las grietas y la fusión incompleta. Como estos defectos o fallas son menos densos que el acero, producen áreas oscurecidas sobre el negativo. La fusión incompleta produce una línea oscura paralela a la junta; las otras imperfecciones aparecen según se describe para las fundiciones.

4.4.4. INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

El método de partículas magnéticas de inspección es un procedimiento utilizado para determinar la presencia de defectos en o cerca de la superficie de objetos ferromagnéticos. Se basa en el principio de que, si un objeto es magnetizado, las irregularidades del material, tales como grietas, o inclusiones no metálicas, las cuales están en ángulo con las líneas de fuerza magnéticas, causan un cambio abrupto en la trayectoria de un flujo magnético que corra por la pieza perpendicularmente a la irregularidad, resultando en una dispersión local del flujo e interferencia con las líneas de fuerza magnéticas. Esta interferencia se detecta por medio de la aplicación de un fino polvo de material magnético, el cual tiende a apilarse y saltar sobre las discontinuidades. En condiciones favorables, una grieta superficial es indicada por una línea de las finas partículas que siguen el contorno de la grieta, y un defecto subsuperficial por una acumulación desdibujada de las finas partículas sobre la superficie cercana al defecto. Una descripción más completa del procedimiento se ofrece en el ASTM E 709.

Varios tipos de defectos son detectables por el método de partículas magnéticas. Algunas de las grietas más comunes son originadas por el templado, la deformación y la fragilización, las costuras y los defectos subsuperficiales.

Los defectos subsuperficiales pueden localizarse solo cuando están relativamente cercanos a la superficie, pero por lo común la deseabilidad de localizarlos aumenta según se acerquen a la superficie.

Los materiales a examinar deberán necesariamente ser capaces de magnetizarse hasta un grado apreciable. Las aleaciones que son solo ligeramente magnéticas no producen resultados muy satisfactorios, y el método no es aplicable a los aceros austeníticos, tales como los del tipo 18-8% de cromo y níquel.

En las juntas soldadas el agrietamiento superficial que no puede ser visto a ojo constituye cierto porcentaje de los defectos que ocurren, pero con mucho el mayor número de defectos perjudiciales, tales como porosidad y falta de fusión se encuentra que yacen bajo la superficie donde resultan difíciles de detectar. Asimismo, frecuentemente existe un cambio de permeabilidad en la raíz entre el metal soldante y el básico que es lo bastante brusco para causar una línea de adherencia del polvo, pero no significa falta de fusión. En algunos casos es difícil distinguir entre esta línea y una indicación que sí signifique mala fusión.

La sensibilidad del método de partículas magnéticas requiere que su aplicación e interpretación sean supervisadas por personal con experiencia en ingeniería y metalurgia; la familiaridad con el análisis de esfuerzos de la parte y el efecto de los defectos sobre la resistencia de los materiales constituye un prerrequisito si han de evitarse rechazos innecesarios y costosos.

4.4.5. INSPECCIÓN ULTRASÓNICA

Ahora las vibraciones ultrasónicas se usan comúnmente para localizar diminutos defectos internos en objetos metálicos tanto ferrosos como no ferrosos. La frecuencia de las vibraciones utilizadas esta en el rango de 100000 a 20 millones de ciclos por segundo, mientras que el rango audible o sonico es únicamente de 16 a 20000 c/seg. (ciclos por segundo). Tanto las vibraciones u ondas sónicas como las ultrasónicas son transmitidas por los materiales sólidos mucho más fácilmente que por el aire; de hecho, las ondas iniciadas en una cara de los objetos sólidos regresan por reflexión al llegar a cualquier bolsa de aire del material o la cara opuesta del mismo, como se muestra en la fig. 8. El método de ensayo para localizar defectos aprovecha este fenómeno al determinar electrónicamente los periodos relativos para que las ondas ultrasónicas se reflejen desde el defecto y la cara opuesta.

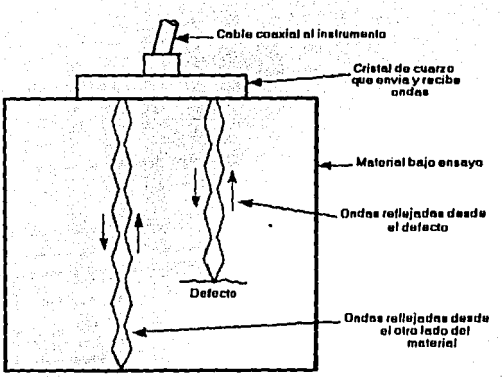


Fig.8. Detección de defectos por medio de ondas supersónicas. La posición del defecto es localizada sobre el patrón osciloscopico, el cual depende del lapso de tiempo para que las ondas sean reflejadas.

Las ondas ultrasónicas son usualmente producidas por un efecto piezoeléctrico, el cual consiste en la producción de deformación mecánica de ciertos cristales, tales como el cuarzo, al ser colocados en campos eléctricos. Un voltaje alterno produce oscilaciones mecánicas del cristal en la misma frecuencia. El tanteador que lleva el cristal se coloca contra la pieza de ensayo, la cual es sometida a estas oscilaciones. Las ondas como la luz, tienden a viajar en rayos con un ángulo de divergencia determinado por la razón entre la longitud de la onda y el diámetro de la fuente.

Usualmente un cristal palpador es usado tanto para enviar como para recibir. Se le coloca contra la pieza de ensayo utilizando una pelicula de aceite para lograr una mejor transmisión de las ondas de sonido.

Un ciclo de la operación continua del equipo es aproximadamente como sigue: si se usa una frecuencia de 5 millones de ciclos, las oscilaciones eléctricas de esta frecuencia se aplicarian al cristal durante, digamos, un

millonésimo de segundo de modo que cinco ondas de la frecuencia de 5 millones de ciclos serían enviadas adentro de la superficie del objeto. El cristal cesa entonces de transmitir y queda listo para recibir cualesquiera ondas reflejadas, después que éstas han viajado por el acero aproximadamente 245000 plg/seg. Las ondas reflejadas hacen vibrar el cristal, produciendo impulsos eléctricos, los cuales alimentan un osciloscopio de rayos catódicos. Este ciclo se repite 60 veces por segundo. El osciloscopio se sincroniza para que el rayo se desvíe hacia la derecha 60 veces por segundo en coordinación con el ciclo de transmisión. La vibración original que hiere la superficie de transmisión forma una cresta (o pico) aguda del lado izquierdo de la pantalla del osciloscopio, y las ondas reflejadas son indicadas por un pico a la derecha hasta una distancia dependiente del espesor atravesado y el tiempo requerido. Mientras el cristal esta recibiendo durante 1/60 seg. hay tiempo para que una onda viaje 2000 plg y regrese antes de que el siguiente ciclo se inicie. Si la pieza de acero tiene un defecto, una gran parte del rayo que hiere este defecto será reflejada al cristal antes que el rayo que llega a la cara opuesta sea reflejado de regreso al cristal. El osciloscopio mostraría entonces picos no solamente para las ondas ingresantes y aquellas reflejadas de la superficie opuesta , sino también uno intermedio para las ondas reflejadas desde el defecto como se muestra en la fig. 9.

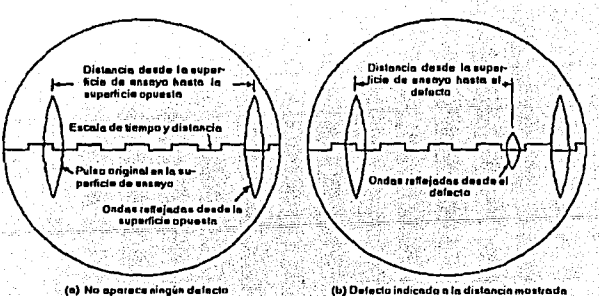


Fig.9. Pantalla osciloscópica del aparato ultrasónico que muestra la diferencia desde la superficie de ensayo hasta el defecto.

Como el rayo transmitido por el cristal es muy angosto, es necesario que toda la superficie sea cubierta por un movimiento progresivo del cristal. Aún más, como algunas grietas pueden ser paralelas a las ondas y, por lo tanto, reflejan muy poco del rayo, es necesario conducir dos series de ensayos en las cuales los rayos ultrasónicos sean normales unos a otros.

4.4.6. PRUEBA HIDROSTÁTICA

Todos los recipientes terminados deberán someterse y pasar satisfactoriamente la prueba hidrostática o neumática según se especifique. En el código ASME, Sección VIII, División 1, se describe como se llevan a cabo las pruebas así como las precauciones que hay que tomar según el caso.

Todos los recipientes diseñados por presión interna deberán sujetarse a una prueba hidrostática, la cual se aplicará en cualquier punto del recipiente.

La prueba se realiza sometiendo a presión los recipientes hasta alcanzar 1.5 veces la presión máxima permisible de trabajo (Maximum Allowable Working Pressure; MAWP), con el fin de comprobar la resistencia del recipiente y sus accesorios y detectar la presencia de posibles fugas.

La MAWP, para un recipiente sometido a presión deberá definirse como la máxima presión permisible en el elemento más débil del recipiente en condiciones corroídas, bajo el efecto de una temperatura de diseño en condiciones normales de operación y bajo los efectos de otras cargas (carga de viento, carga de sismo, presión exterior, etc.) que se agregan a la presión interna. En todos los casos el valor de la MAWP para el cálculo de la presión de prueba hidrostática, será cuando el recipiente este nuevo y frío.

4.4.7. PRUEBA NEUMÁTICA

Esta prueba puede ser utilizada en lugar de la prueba hidrostática y se recomienda usarla en los siguientes casos: Para recipientes que estén soportados de tal manera que no se tenga la seguridad de que puedan ser llenados con agua. Para recipientes que no puedan secarse fácilmente y que vayan a usarse en servicios donde los residuos de la prueba hidráulica no puedan permitirse.

La presión de la prueba neumática será al menos igual a 1.25 veces la MAWP

Alcance.

Se tiene la opinión de que la prueba hidrostática o neumática reemplaza todas las demás pruebas no destructivas, tanto del material como de la soldadura, por lo que es conveniente establecer la siguiente consideración; un recipiente puede pasar satisfactoriamente la prueba pero puede fallar en servicio a causa del desarrollo de grietas, que es lento y depende de muchos factores.

No controlar estos factores conduce a una posición antieconómica e irresponsable.

El código ASME, establece las normas para efectuar la prueba hidrostática y neumática.

4.5. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Las pruebas mecánicas más usadas son las estáticas, de fatiga, de impacto y de dureza. Todas las pruebas se realizan sobre muestras de formas y dimensiones determinadas que se han reconocido como patrones, pues ligeros cambios en ellas afectan grandemente los resultados. Según el material y la prueba a realizar se elige la probeta adecuada, las normas y códigos dan suficientes indicaciones al respecto.

4.5.1. ENSAYOS ESTÁTICOS DE TENSIÓN Y DE COMPRESIÓN

Los términos ensayo de tensión y ensayo de compresión usualmente se usan para referirse a ensayos en los cuales una probeta preparada es sometida a una carga monoaxial gradualmente creciente (es decir, estática) hasta que ocurre la falla. En un ensayo de tensión simple, la operación se realiza sujetando los extremos opuestos de la pieza del material y separándolos. En un ensayo de compresión, se logra sometiendo una pieza de material a una carga en los extremos que produce una acción aplastante. En un ensayo de tensión la probeta se alarga en una dirección paralela a la carga aplicada; en un ensayo de compresión, la pieza se acorta. Dentro de los límites de la practicabilidad, la resultante de la carga se hace coincidiendo con el eje longitudinal de la probeta.

Estos ensayos se emplean para conocer el comportamiento de los metales sometidos a tensiones múltiples que actúan en una sola dirección o a tensiones en varias direcciones.

Las probetas son cilíndricas o prismáticas en su forma y de sección transversal constante a lo largo del tramo dentro del cual las mediciones se toman. Así se hace un intento para obtener una distribución uniforme del esfuerzo directo sobre secciones críticas normales a la dirección de la carga. El logro de estas condiciones ideales esta limitado por la forma y su fidelidad de la pieza de ensayo, por la efectividad de los dispositivos de sujeción y apoyo, y por la acción de la máquina de ensaye.

Los ensayos estáticos de tensión y compresión son los más comúnmente realizados y son de los más simples de todos los ensayos mecánicos. Estos ensayos implican la normalización de las probetas con respecto a tamaño, forma y método de preparación y la de los procedimientos de ensaye.

4.5.1.1. ENSAYO DE TENSIÓN

En el ensayo comercial de tensión de los metales, las propiedades usualmente determinadas son la resistencia a la cedencia (el punto de cedencia de los metales dúctiles), la resistencia a la tensión, la ductilidad (el alargamiento y la reducción del área seccional), y el tipo de fractura. En ensayos más completos, como en una gran parte de la labor de investigación, las determinaciones de las relaciones entre esfuerzo y deformación, el módulo de elasticidad y otras propiedades mecánicas, se incluyen.

Realización de ensayos. Previamente a la aplicación de cargas en una probeta, sus dimensiones se miden. En el caso más simple, solamente el diámetro o el ancho y el grueso de la sección crítica se miden. En las probetas cilíndricas, las mediciones deben hacerse sobre dos diámetros cuando menos, mutuamente perpendiculares.

Antes de poner una probeta en una máquina debe comprobarse que el dispositivo de carga de la máquina, de la indicación de carga cero y se hagan los ajustes si fuere necesario.

Cuando se coloca una probeta en una máquina, el dispositivo de sujeción debe revisarse para cerciorarse de que funcione debidamente. La velocidad del ensaye no debe ser mayor que aquella a la cual las lecturas de carga y otras pueden tomarse con el grado de exactitud deseado.

Con frecuencia la carga se aplica a cualquier velocidad conveniente, hasta la mitad de la resistencia a la cedencia o el punto de cedencia especificados, o hasta una cuarta parte de la resistencia a la tensión especificada, cualquiera que sea menor. Arriba de este punto la carga es aplicada según la velocidad especificada. Después de que la probeta ha fallado, se le retira de la máquina de ensaye.

Las dimensiones original y final, así como las cargas críticas, se registran al observarse. Se anotan la característica de la fractura y la presencia de algunos defectos. también se anotan las condiciones de ensayo, particularmente el tipo de equipo usado y la rapidez del ensaye. Las deformaciones, esfuerzos, porcentaje de elongación y reducción del área se calculan sobre la base de las dimensiones originales.

4.5.1.2. ENSAYO DE COMPRESIÓN

Cuando menos en teoría, el ensayo de compresión es meramente lo contrario del de tensión con respecto a la dirección o el sentido del esfuerzo aplicado. En los ensayos comerciales la única propiedad ordinariamente determinada es la resistencia a la compresión. Para el esfuerzo uniforme de la probeta de compresión, una sección circular es preferible a otras formas. El tamaño real depende del tipo de material, del tipo de mediciones a realizar y del aparato de ensaye disponible.

Los extremos a los cuales se aplica la carga deben ser planos y perpendiculares al eje de la probeta. En un ensayo de compresión, una distribución de esfuerzos absolutamente uniformes prácticamente nunca se alcanza. La identificación, las dimensiones, las cargas críticas, las lecturas compresométricas, el tipo de falla, incluyendo los croquis, etc., se registran en una forma apropiada al tipo de ensayo y la extensión de los datos a tomar.

4.5.2. ENSAYOS DE DUREZA

Es fácil comprender el concepto general de la dureza como una cualidad de la materia que tiene que ver con la solidez y la firmeza del contorno, pero no se ha ideado todavía alguna medida universal de la dureza aplicable a todos los materiales. La idea fundamental de que la dureza se mide por la resistencia a la indentación es la base para una variedad de instrumentos. El penetrador , ya sea una bola, un cono o una pirámide simples o truncados, usualmente, se hacen de acero o de diamante y, por lo general, se usan bajo una carga estática. Se puede medir la carga que produzca, la profundidad de la huella dada o la huella producida por cierta carga. La variable sería una función de la dureza.

Probablemente los ensayos de dureza más usados en nuestro país son por lo general, los de Brinell y Rockwell. Sin embargo, el creciente uso de acero endurecido a introducido el uso de otros ensayos tales como aquellos realizados en las máquinas Vickers.

4.5.2.1. ENSAYO BRINELL

El ensayo de Brinell consiste en oprimir una bola de acero endurecido contra una probeta. De acuerdo con las especificaciones de la ASTM (ASTM E 10), se acostumbra usar una bola de 10 mm. y una carga de 3000 kg. para metales duros, 1 500 kg. para metales de dureza intermedia y 500 kg. (o un mínimo de 100 kg.) para materiales suaves. En el ensayo normal la carga completa se mantiene por un mínimo de 15 seg. para los metales no ferrosos y de 30 seg. para los metales más suaves, y después se mide el diámetro de la huella, el diámetro de la indentación se mide usando un microscopio micrómetro que lleve una escala transparente grabada en el campo visual. La escala tiene divisiones correspondientes a 0.1 mm. y las mediciones se hacen por estimación, hasta cuando menos 0.02 mm.

El número de dureza Brinell es nominalmente la presión por área unitaria en kilogramos por milímetro cuadrado, de la huella que queda después de retirar la carga. Se obtiene dividiendo la carga aplicada por el área de la superficie de la huella la cual se supone esférica. Si P es la carga aplicada (en kilogramos), D es el diámetro de la bola de acero (en milímetros), y d es el diámetro de la huella (en milímetros), entonces:

$$\text{El número de dureza Brinell (Bhn)} = \frac{\text{carga sobre la bola}}{\text{área indentada}} = \frac{P}{[(\pi D/2)(D-(D^2-d^2)^{1/2})]}$$

En la práctica los números de Brinell, correspondientes a un diámetro de huella dado y observado se toman de las tablas como las ofrecidas en la especificación ASTM E 10.

4.5.2.2. ENSAYO ROCKWELL

El ensayo Rockwell es similar al de Brinell en que el número de dureza encontrado es una función del grado de penetración de la pieza de ensayo por la acción de un penetrador bajo una carga estática dada. Se usan varias cargas y penetradores, dependiendo de las condiciones de ensayo. Difiere del ensayo de Brinell en que los penetradores y las cargas son menores, de ahí que la huella resultante sea menor y menos profunda. Es aplicable al ensaye de materiales que posean durezas que rebasen el alcance de la dureza Brinell, y es más rápido porque arroja lecturas directas arbitrarias. El valor de la dureza, según se lee en un indicador de carátula especialmente graduado, es un número arbitrario que está inversamente relacionado con la profundidad de la huella.

Los penetradores más utilizados son el brale que es un cono de diamante de 120 grados y bolas de acero de 2 mm., 3 mm., 6 mm., y 13 mm., y las cargas aplicadas son de 60, 100 y 150 kg.

Dependiendo de la carga y el penetrador se tendrán distintas escalas. La escala B es para ensayar materiales de dureza intermedia tales como los aceros con bajo y mediano contenido de carbono en condiciones de templado. El rango de trabajo de esta escala es de 0 a 100 (penetrador de bola).

La escala C, comúnmente es la más usada para materiales más duros que B 100. Los aceros más duros son de aproximadamente C 70. El rango útil de esta escala es de C 20 hacia arriba.

Las escalas Rockwell están divididas en 100 divisiones y cada división o punto de dureza es el equivalente de 0,002 mm. de penetración.

El número de dureza debe especificarse mediante el símbolo HR seguido de la letra que designa la escala y precedida del número de dureza. Por ejemplo 82 HRB indica una dureza Rockwell de 82 unidades medida en la escala B.

4.5.2.3. ENSAYO VICKERS

Esta máquina es un poco similar a la de Brinell en que se hace una penetración y determina el número de dureza de la razón P/A de la carga P en kilogramos y del área superficial A de la penetración en milímetros cuadrados. El penetrador es una pirámide de base cuadrada en la cual el ángulo entre las caras opuestas es de 136 grados. La carga puede variar desde 5 hasta 120 kg. en incrementos de 5 kg. El aparato de dureza Vickers funciona bajo el mismo principio que el de ensaye Brinell.

Una ventaja de la máquina Vickers radica en la medición de la huella; una lectura mucho más exacta puede hacerse de la diagonal de un cuadrado que del diámetro de un círculo cuando la medición ha de hacerse entre dos tangentes del círculo. Es un método bastante rápido y puede usarse sobre metal tan delgado como 0.006 plg. Se sostiene que resulta exacto para durezas tan altas como 1300 (aproximadamente 850 Brinell).

CAPITULO 5

SOLDADURA

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El continúo desarrollo de la tecnología en el mundo ha provocado el uso de materiales de construcción cada vez más especializados, y por consiguiente la soldadura, método de unión idóneo, se ha convertido en una técnica cada día más extensa y compleja.

Se describe la soldadura como el proceso de unión localizada de los metales, en los cuales esta unión es efectuada por calentamiento a una temperatura adecuada o por presión; con o sin la aplicación de metal de aporte.

Es por tanto la soldadura una técnica que va íntimamente ligada al desarrollo de los metales. Los diferentes tipos de acero y las variadas aleaciones poseen determinadas características, relacionadas directamente con su composición química. Siendo este un factor importante para determinar la selección del procedimiento más idóneo.

Existen en la actualidad alrededor de 40 procedimientos de soldadura, muchos de los cuales se aplican en diversas modalidades y variantes patentadas bajo diversos nombres y marcas comerciales.

Sin embargo existe un cierto numero de métodos de soldar, que pueden considerarse básicos o fundamentales y se pueden agrupar en tres tipos de operaciones: soldadura de arco, soldadura de gas y soldadura por resistencia.

5.2. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS MÉTODOS DE SOLDADURA

Pueden hacerse muchas clasificaciones de los métodos de soldadura. La más ampliamente aceptada es la propuesta por la AWS (American Welding Society), que es también la más autorizada. En la tabla 5.1 se presenta en forma simplificada, una clasificación apegada a la de la AWS.

5.3. LA SOLDADURA DE ARCO

En este procedimiento la unión de las partes tiene lugar por fusión y coalescencia del metal base; el calor necesario se obtiene mediante la formación de un arco eléctrico entre el metal y un electrodo a través de una capa de gas altamente ionizado, y se alcanzan temperaturas superiores a 5000 °C.

Para producir el arco puede utilizarse corriente alterna o directa, aunque siempre es preferible esta última que se genera con motores o con máquinas

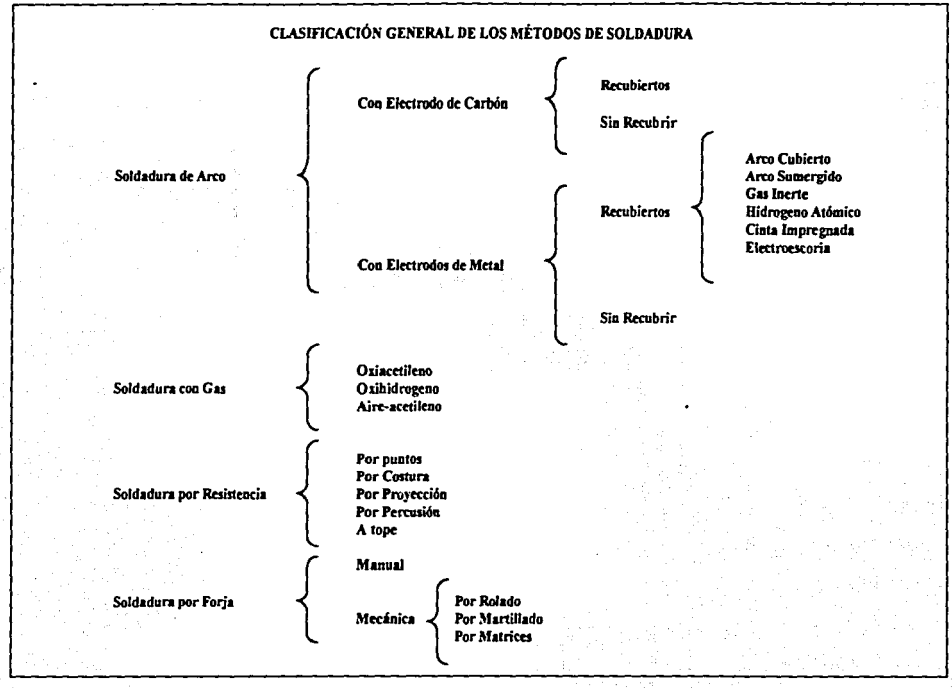


Tabla 5.1 Clasificación General de los Métodos de Soldadura.

rectificadoras. La corriente directa es de bajo voltaje y alto amperaje. Generalmente se opera con máquinas hasta de 1000 amperes y de 40 a 90 voltios; el arco es de 20 a 40 voltios.

La polaridad de la corriente directa es determinante para la penetración de la soldadura en el metal base, ya que rige la forma de distribución del calor. Es importante también porque influye en el consumo de electrodos. Cuando se utiliza polaridad directa el polo negativo esta en el electrodo; cuando la polaridad es inversa, éste es el polo positivo.

Cuando se utiliza corriente alterna se tiene bajo amperaje y un alto voltaje. La corriente alterna puede proveerse con un motor o con un transformador que abate el voltaje desde la tensión de la línea de alto voltaje, hasta unos 80 voltios. En ciertos procesos se usa corriente alterna de alta frecuencia para iniciar y estabilizar el arco.

El arco eléctrico consta de dos partes: un plasma interior formado por gases atomizados y vapores provenientes de materiales sólidos volatilizados, y una flama exterior, entre el electrodo y el metal base hay un intercambio de partículas positivas y negativas a través del plasma. La energía térmica desarrollada por el arco hace que algunos átomos sufran ionización, efecto que es aumentado por la energía de choque, volviéndose iones positivos al perder sus electrones exteriores. La presencia de las partículas positivas y negativas permite la conducción de la corriente eléctrica a bajos voltajes.

Las áreas en donde se genera el calor son el ánodo, el cátodo y el plasma. La energía por unidad de longitud introducida durante la soldadura es igual al producto del voltaje por el amperaje y por el tiempo en segundos, dividido entre la longitud soldada por minuto; y el calor generado por el arco, expresado en Joules, es igual al producto del voltaje por el amperaje y por el tiempo.

La ventaja principal del arco es que permite una alta concentración de calor.

La relación entre el voltaje y el amperaje con respecto al arco es factor muy importante en la eficiencia de la soldadura.

El voltaje del arco puede ser creciente, decreciente o constante. El voltaje creciente mantiene un arco constante aunque varíe la cantidad de metal por fundir y puede controlarse de manera que aumente según lo requiera el arco de acuerdo con el Procedimiento de Soldadura que vaya a utilizarse. El voltaje decreciente permite aplicar una alta tensión al iniciar la operación, y cuando el electrodo entra en corto circuito con el metal cae al mínimo, en

tanto que el amperaje alcanza su valor máximo; una vez establecido el arco, el voltaje aumenta y el amperaje baja, y durante la operación el control es automático al variar directamente el voltaje e inversamente el amperaje con respecto a la distancia que el electrodo guarda del metal base (longitud del arco). Esto permite una operación segura, con distribución uniforme del calor y consumo económico y controlado de electrodos.

Cuando el voltaje es constante se mantiene independientemente del arco y el amperaje es prácticamente ilimitado y más que suficiente para fundir los electrodos en el momento mismo en que se produce el arco.

5.3.1. SOLDADURA CON ELECTRODOS DE CARBONO

Este procedimiento utiliza corriente directa y electrodos que pueden ser cubiertos o sin recubrir; se opera con uno o dos electrodos. Los electrodos sin recubrimiento se utilizan mucho para soldar cobre y sus aleaciones, y relativamente poco en el caso de los metales ferrosos.

Los electrodos recubiertos contienen una porción fundente que se les aplica en forma de polvo, pasta, papeles especiales u otras combinaciones. Se utilizan principalmente para los procesos automáticos de soldadura. En soladura con electrodos de carbón el arco es independiente de la fuente de corriente y es de mayor longitud que en el caso de los electrodos metálicos. Se prefiere siempre utilizar una elevada densidad de corriente porque se facilita el control del arco, al mismo tiempo que se mantiene su estabilidad.

El procedimiento se emplea también para soldar ciertos tipos de acero aleado, laminas delgadas de acero de bajo contenido de carbono y algunas aleaciones no ferrosas.

Una de sus inconvenientes principales es el que supone el elevado consumo de electrodos.

5.3.2. SOLDADURA CON ELECTRODOS METÁLICOS

Se efectúa con electrodos consumibles el hierro, acero y otros materiales metálicos, que hacen las veces de polo eléctrico al mismo tiempo que suministran el metal de aporte. En este procedimiento, la eficacia esta condicionada, entre otros factores importantes, por el voltaje aplicado, la polaridad de la corriente, el metal de que esta hecho el electrodo y la masa del metal base.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

La elevada temperatura del arco, volatiza el metal del electrodo y en el extremo de este se inicia una corriente de gases en expansión y gotillas de metal fundido que son lanzadas sobre el metal base gracias a las fuerzas magnéticas de compresión generadas por la corriente de alta frecuencia, permitiendo una rápida coalescencia de los metales.

La soldadura al aire, con electrodo desnudo, produce cordones y depósitos de muy mala calidad debido a los efectos nocivos del oxigeno y el nitrógeno del aire, que provocan toda una serie de problemas de contaminación e incompatibilidades; por otra parte, la humedad atmosférica también,ocasiona problemas, principalmente porque aporta hidrógeno que es absorbido por los depósitos de soldadura con sus consecuencias negativas, como fragilidad, agrietamiento y porosidad principalmente.

Debido a lo anterior se utilizan los electrodos recubiertos. El Procedimiento de Soldadura con electrodos metálicos ofrece variantes, aplicables a los procesos continuos; estas variantes permiten utilizar alambre como electrodo desnudo enrollado. El alambre puede ser sólido, en cuyo caso los ingredientes protectores se incorporan en el punto mismo de la soldadura, o hueco, con los ingredientes como relleno.

5.3.2.1. SOLDADURA CON ELECTRODO METÁLICO SÓLIDO CON FUNDENTE MAGNÉTICO Y PROTECCIÓN DE BIÓXIDO DE CARBONO.

El electrodo está contenido dentro de una guia metálica que colocada en polaridad inversa, se conecta al polo positivo una fuente de corriente directa, en tanto que el metal base se halla conectado al polo negativo. El conjunto electrodo guía, se halla contenido dentro de una funda de protección: por cuya parte superior se introduce el fundente magnético. Por un lado de la misma funda se inyecta bióxido de carbono. El fundente se adhiere al electrodo manteniendo su extremo siempre recubierto y el arco se forma dentro de una nube protectora de gas carbónico.

Las proporciones de fundente y gas pueden hacerse variar de acuerdo con el tipo de materiales que van a soldar. Las soldaduras obtenidas por este procedimiento son de muy buena calidad.

5.3.2.2. SOLDADURA CON ELECTRODO METÁLICO HUECO Y PROTECCIÓN DE BIÓXIDO DE CARBONO.

Este método emplea un electrodo hueco en cuyo interior se encuentra el fundente pulverizado que llega al metal base junto con el arco. El electrodo y su guía se encuentran contenidos en una funda a través de la cual se inyecta el gas carbónico ofreciendo, igual que el método anterior, protección de la atmósfera, evitando los efectos nocivos del nitrógeno y el oxígeno.

5.3.2.3. SOLDADURA CON ELECTRODOS DE CONTACTO

Se les llama electrodos de contacto a una nueva variedad que utiliza revestimientos de polvo metálico. Son utilizados para la soldadura por arrastre o contacto con muy buenos resultados debido al hecho de que el recubrimiento funde antes que el alambre, produciendo el deposito rápidamente y dando buena protección a la soldadura. Son de reciente aparición y aún se encuentran en etapa de desarrollo.

5.3.3. SOLDADURA CON HIDRÓGENO ATÓMICO

En este procedimiento se emplea el arco como fuente indirecta de calor, con dos electrodos de tungsteno y corriente alterna. A través del arco se lanza un chorro de hidrógeno hasta el metal base, el intenso calor disocia el hidrogeno molecular y se forma hidrógeno atómico dentro del arco; al salir de éste, las moléculas vuelven a unirse liberando la enorme cantidad de energía que absorbieron durante la disociación. Este fenómeno hace que la cantidad de calor disponible sea mucho mayor que la obtenida con un arco común, y es del orden de más de 6000 °C. La nube de hidrógeno caliente protege a la soldadura del contacto con la atmósfera.

El procedimiento difiere de otros métodos de soldadura de arco en que éste se forma entre dos electrodos, en vez de entre un electrodo y el metal base.

Es muy adecuado para operaciones manuales que requieren gran facilidad de maniobra y estricto control de temperatura. Permite trabajar con aleaciones que son difíciles de soldar por otros procedimientos.

5.3.4. SOLDADURA CON PROTECCIÓN DE GAS INERTE

Los gases utilizados para crear atmósferas protectoras aplicables a la soldadura de arco son el argón, el helio y mezclas de ambos conteniendo muy pequeñas cantidades de nitrógeno y bióxido de carbono para reducir el costo

de operación, oxígeno e hidrógeno. También se usan para trabajos especiales el propano, el monóxido de carbono, el nitrógeno e inclusive gases muy tóxicos como son el cloro, el anhídrido sulfuroso y el sulfuro de hidrógeno. La aplicación de estos últimos es sumamente limitada.

La corriente utilizada puede ser directa o alterna, según la clase de metal que se vaya a soldar. Se aplican electrodos consumibles, no consumibles y botones metálicos, dependiendo también de la clase del metal, la forma de soldar y del trabajo especifico a desarrollar.

La soldadura con protección de gas inerte esta indicada para ser utilizada en metales que se oxidan fácilmente a temperaturas elevadas (aluminio, magnesio, titanio), acero inoxidable, diversos aceros aleados y acero al carbono. Es aplicable en espesores no muy grandes.

5.3.4.1. SOLDADURA CON ELECTRODOS DE TUNGSTENO Y PROTECCIÓN DE GAS INERTE (TIG "TUNGSTEN INERT GAS").

Este procedimiento usa electrodos de tungsteno puro, o de tungsteno con pequeñas adiciones de óxido de torio (tungsteno/torio), y de óxido de zirconio (tungsteno/zirconio), que facilitan la emisión de electrones y hacen más eficiente la operación.

La soldadura se hace en atmósfera de argón cuando se va a realizar normalmente sobre secciones con poco espesor. Se aplica bajo voltaje con pocas variaciones que permite el control de calor al cambiar la distancia de arco. Es recomendable para laminas delgadas y tubos de pared pequeña.

5.3.4.2. SOLDADURA DE ARCO METÁLICO Y GAS

En esta modalidad de soldadura hay transferencia de metal, ya sea por rociado o por disminución del arco. Esta última forma de transferencia es una combinación de fusión por arco y calentamiento por resistencia, que resultan en un efecto de "pegado". En la transferencia el arco se establece entre el electrodo y el metal base a través de gotillas de metal fundido.

Como atmósfera de protección se emplea bióxido de carbono solo o mezclado con argón.

El procedimiento tiene como ventajas principales: la comodidad para soldar en cualquier posición, un gran control de la penetración y el hecho de que las modificaciones estructurales dentro de la zona afectada térmicamente son mínimas.

5.3.5. SOLDADURA POR PUNTOS O DE HILVÁN

Se efectúa con gas inerte y electrodos consumibles, o utilizando soplete de gas con arco de tungsteno y corriente continua.

Es un procedimiento muy indicado para soldar grandes uniones con forma irregular en laminas muy delgadas, su costo es bajo.

5.3.6. SOLDADURA CON ARCO SUMERGIDO

En este procedimiento el calor es generado por una corriente eléctrica que se establece entre un electrodo desnudo y el metal por soldar a través de un arco que esta cubierto por una capa de fundente granular que se extiende a lo largo de las partes que se van a soldar. El procedimiento tiene lugar bajo la capa del fundente. Durante la realización de la soldadura el fundente forma una capa sobre el arco, el metal de soldadura fundido y el metal base, y, en consecuencia, evita la contaminación por la atmósfera circundante y permite el control de la velocidad de enfriamiento. Asimismo, suministra desoxidantes y captadores que mejoran la calidad del metal de soldadura cuando toma forma.

El proceso permite utilizar corrientes muy altas, del orden de 300 a 4000 amperios, directa o alterna, y lograr una alta penetración y una gran velocidad de deposito.

Los fundentes pueden ser ácidos (silico-aluminato de calcio), o básico (óxido de calcio, óxido de titanio, óxido de magnesio, óxido de sodio). A veces se añaden metales o aleaciones pulverizados.

Se obtienen depósitos de buena calidad, limpios y libres de porosidades.

La soldadura con arco sumergido permite soldar en un solo paso placas con grandes espesores. Se aplica en aceros de bajo carbono, aleados y en una gran variedad de metales no ferrosos.

Con este procedimiento no es posible soldar verticalmente debido a la gran fluidez del fundente y solo pueden soldarse partes planas o ligeramente inclinadas y también pueden efectuarse soldaduras circulares.

5.3.7. SOLDADURA CON ELECTROESCORIA

En este procedimiento el calor se obtiene a partir de la resistencia presentada por un fundente líquido. Se alcanzan alrededor de 1800 °C.

Las partes por soldar se rodean de un molde de cera y de un crisol en medio de los cuales se alimenta un fundente granular. Se utiliza un electrodo hueco o sólido que también contiene fundente. Todo el conjunto se coloca dentro de unas placas de cobre móviles en sentido vertical, que se refrigeran con agua. El conjunto entero se hace descansar sobre una placa de inicio y una vez establecido el arco y habiendo comenzado la fusión de las partes a soldar, las placas de cobre conteniendo el sistema soldante se mueven en forma ascendente de manera que la soldadura terminada va quedando en la parte inferior.

El procedimiento de electroescoria, permite soldar grandes espesores en un solo paso, juntas T, juntas de esquina y otras partes difíciles, a muy alta velocidad.

Se obtienen excelentes soldaduras sin distorsiones ni fracturas.

5.4. PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y CALIFICACIÓN DE SOLDADORES.

En el caso específico de los procesos de soldadura utilizados en la manufactura de recipientes, en el proyecto y diseño se reconoce la importancia de la calificación de procedimientos y soldadores. Las especificaciones del diseño mecánico de los equipos mencionados anteriormente, cada vez son más abiertos en el sentido de aprovechar mejor la capacidad resistiva de los metales. Es decir, se ha logrado ir reduciendo los espesores, en función del mejoramiento en los procesos de obtención de los metales y la investigación de nuevas y más resistentes aleaciones.

Toda empresa que se precie de llenar plenamente los requerimientos del código ASME en sus secciones I, II, VIII y IX, deben tener un sistema organizado para elaborar y calificar los procedimientos de soldadura bajo los cuales desarrollará su producción, llevando también un buen control de los mismos, así como actualizarlos con revisiones originadas por cambios, supresiones y/o adiciones del código y de los estándares de la AWS.

Es indispensable también, el registro adecuado de todos los procedimientos de soldadura que vayan siendo necesarios de elaborar, indicando o describiendo todas y cada una de las características que los constituyen, su

calificación y resultados de prueba obtenidos, así como los nombres y las marcas de los soldadores que sean calificados en ellos.

5.4.1. ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA CON EL USO DE MATERIALES FERROSOS.

La Sociedad Americana de Soldadura define como Procedimiento el detalle de elementos, con valores o rangos de valores formulados, de un proceso o método utilizado para producir un resultado específico. Asimismo, define como Procedimiento de Soldadura; el detalle de métodos y prácticas incluyendo equipos y materiales involucrados en la obtención de un elemento soldado.

Básicamente para elaborar un buen Procedimiento de Soldadura, se deben atender las disposiciones y recomendaciones sugeridas por la AWS o cualquier otra institución similar. Para equipo mecánico fabricado bajo el código ASME, además se observarán los requisitos indicados y se calificarán según la sección IX del mismo. De acuerdo con lo expuesto anteriormente todo procedimiento estará constituido fundamentalmente por:

A) Variables esenciales. Son todos aquellos factores que afectan directamente las propiedades físicas y químicas del metal depositado y/o del metal base. Cambiar cualquiera de estos factores implica la recalificación del Procedimiento de Soldadura.

B) Variables no esenciales. Están constituidas por factores de importancia secundaria que no afectan las propiedades físicas y químicas del metal depositado y/o del metal base, y que solo se establecen para obtener una buena práctica de soldadura, limpieza, eficiencia y apariencia. Pueden ser hechos dentro del Procedimiento de Soldadura sin que se requiera recalificación.

Como Proceso de soldadura deberá entenderse; el método de unión de metales en donde la coalición se produce por medio de un calentamiento de ellos a temperaturas adecuadas con o sin la aplicación de presión, o por medio de la aplicación de presión solamente sin calentamiento, y en ambos casos con o sin el empleo de un metal de aporte.

Los procesos de soldadura aceptados para fabricación de recipientes por el código A.S.M.E, en la parte UW de las sección VIII están limitados a los siguientes:

PROCESOS DE SOLDADURA DE ARCO O GAS

1.- Arco metálico protegido
2.- Arco metálico protegido con gas inerte
3.- Arco metálico sumergido
4.- Arco tungsteno protegido con gas inerte
5.- Oxiacetileno

PROCESOS DE SOLDADURA POR PRESIÓN

1.- Flash
2.- Resistencia eléctrica
3.- Inducción
4.- Térmica (con presión)
5.- Gas (con presión)

El fabricante esta en libertad de seleccionar el uso de cualquiera de estos procesos y según lo estime conveniente, para cualquier parte de la fabricación que sean adecuados.

4.2. VARIABLES ESENCIALES PARA LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA EN GENERAL.

Tomando en consideración y como punto de partida los procesos mencionados anteriormente, tenemos las siguientes variables esenciales:

1. Cambio de Proceso de Soldadura o Combinación de Procesos.
2. Material base (especificación y grupo No. P)
3. Metal de aporte
4. Electrodo (en los procesos protegidos con gas)
   a) Tipo (consumible o no consumible)
   b) Material (en los no consumibles)
   c) Tipo y composición (en los consumibles)
5. Fundente
   a) Tipo
   b) Composición nominal
6. Posición para soldar (y sentido de la progresión en el caso de soldadura aplicada verticalmente)
7. Precalentamiento
8. Temperatura de interpasos
9. Tratamiento térmico
10. Tipo de Recubrimiento (de capas simples o capas múltiples)

11. Características eléctricas
    a) Tipo de corriente (AC o DC)
    b) Polaridad

5.4.2.1. VARIABLES ESENCIALES PARA PROCEDIMIENTOS DE RECUBRIMIENTO PARA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN.

1. Proceso de soldadura
2. Metal base (especificación y grupo No. P)
3. Clasificación de sub-grupo del material base en los casos de los grupos P Nos. 10, 11 y 12.

NOTA: No serán variables esenciales los incisos 2 y 3 anteriores, cuando se trate de cambios en materiales base cuyo análisis químico sea nominalmente el mismo y además tengan la misma resistencia a la tensión.

4. Composición química del metal depositado
    a) Análisis No. A
    b) Cada tipo A.I.S.I en los análisis Nos. 7 y 8
    c) Cada aleación no ferrosa
5. Posición para soldar
6. Precalentamiento
7. Temperatura de interpasos
8. Tratamiento térmico
9. Tipo de recubrimiento (de capa simple o capas múltiples)
10. Características eléctricas
    a) Tipo de corriente (AC o DC)
    b) Polaridad

5.4.2.2. VARIABLES ESENCIALES ADICIONALES PARA LOS PROCESOS DE ARCO SUMERGIDO, ARCO METÁLICO PROTEGIDO EN GAS INERTE Y ARCO TUNGSTENO PROTEGIDO EN GAS INERTE.

1. Fundente
    a) Tipo
    b) Composición nominal
2. Técnica de simple o múltiple electrodo
3. Adición u omisión de metal de aporte suplementario
4. Adición u omisión de la oscilación en el electrodo o electrodos
5. Área de la sección transversal del electrodo o del metal de aporte suplementario.
6. Técnica de soldadura
    a) Amperaje

b) Voltaje
c) Velocidad de deposito
7. Gas protector
a) Composición
b) Proporción de los gases si se trata de una mezcla
c) Flujo

5.5. CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA MATERIALES FERROSOS.

Una vez elaborado un Procedimiento de Soldadura sobre las bases a seguir indicadas anteriormente, se procede a la comprobación de su apropiabilidad en lo que establece el código ASME para fabricación, lo cúal se lleva a cabo a través de su calificación atendiendo las indicaciones de la sección IX.

Se define como Calificación de Procedimiento de Soldadura la demostración y comprobación (certificación) de las soldaduras hechas bajo un procedimiento específico pueden cumplir ciertas normas prescritas.

Habiéndose calificado satisfactoriamente un procedimiento de soldadura, cualquier cambio que se realice en cualquiera de las variables esenciales, dará lugar a un nuevo procedimiento que requerirá completa calificación. Sin embargo, los cambios en las variables no esenciales, no originarán un nuevo procedimiento ni se requerirá recalificación. Solo será necesario indicar dichos cambios en la descripción del procedimiento y en la hoja de registro de calificación existente.

La calificación de soldadura se establece sobre la base de dos factores que son:

1. Calificación de procedimiento
2. Calificación del rendimiento o ejecución

La soldadura en la calificación de un procedimiento, será ejecutada siguiendo todas las especificaciones elaboradas para el mismo. El deposito se llevará a cabo en una orientación determinada con respecto a los planos horizontal y/o vertical, para lo cual establece el Código cinco posiciones básicas en soldadura de ranura para placa y tubería que son: plana, horizontal, vertical, sobre-cabeza e inclinada. Para soldadura de filete sólo son especificadas las cuatro primeras posiciones.

Los tipos de pruebas requeridas para la calificación de un procedimiento con soldaduras ya sean de ranura o de filete, serán hechas en soldaduras de ranura utilizando probetas de tensión de sección reducida y probetas de flexión guiada. Estas pruebas en soldaduras de ranura calificarán para ambos tipos de deposito, excepto en procedimientos con materiales base de los grupos P Número 11 (excluyendo P-11A, subgrupo 1) y P Número 12. Cuando así sea, solo los procedimientos con soldadura de ranura se calificarán como se indicó anteriormente y en los de soldadura con filete se hará con probetas para pruebas de fractura y macro-examen por decapado en ácido.

En los procedimientos de recubrimiento para corrosión, las pruebas requeridas para la calificación son los análisis de la superficie del recubrimiento por medio de líquido penetrante y el de probetas de doblez guiado. Además, se determinará la composición química del recubrimiento a una profundidad desde la superficie de por lo menos 0.020", pero no mayor que la de su mínimo espesor.

Para los procedimientos con pruebas de impacto, éstas serán adicionales a las de calificación que se requieran y se llevarán a cabo según se especifique en las secciones correspondientes del Código, atendiendo al tipo de material y a las características del diseño.

En las tablas QW-466.1, QW-466.2 y QW-466.3 de la Sección IX del Código ASME, se indican el tipo y número de probetas que deben ser analizadas, así como el rango de espesores calificado para uso en construcción, para un espesor dado de placa o tubo de prueba utilizado en la calificación.

Las dimensiones y la preparación de las placas de prueba serán como se menciona en el párrafo QW-466 de la Sección IX. Para soldaduras de ranura en placa, las probetas pueden ser obtenidas de la placa de prueba en cualquier orden, pero en forma similar a la que se muestra en las figuras QW-466.1, QW-466.2 y QW-466.3 y deberán ser maquinadas a la forma y dimensiones en la correspondiente figura. Para soldaduras de ranura en tubería, las probetas serán obtenidas de acuerdo con la figuras QW-466.4 y deberán ser maquinadas a la forma y dimensiones indicadas en la respectiva figura.

La calificación hecha en tubería también calificará para placa pero no viceversa, excepto cuando se trate de tuberías de diámetro mayor de 24", en las que sí será valida la calificación de placa. Sin embargo, la calificación en placa en las posiciones plana y horizontal, también calificará para tubería en las mismas posiciones dentro de los límites siguientes:

a) En los procesos de arco metálico, arco metálico protegido y arco tungsteno en gas inerte, la calificación en placa también calificar para tubería de diámetro exterior de 4" y mayor.

b) En el proceso de arco sumergido, la calificación de placa también calificará para tubería de diámetro exterior de 8" y mayor.

Los propósitos de las pruebas en la calificación de soldadura son: en las de tensión; la determinación del esfuerzo resistente de la junta soldada, el cual deberá ser no menor del mínimo esfuerzo a la tensión especificado para el material base, o para el más débil de los dos si se emplean materiales base de diferentes características físicas. En aquellos casos donde las secciones I u VIII, estipulen el uso de soldadura de menor esfuerzo resistente a la temperatura ambiente que el del metal base, la prueba de tensión deberá resistir el mínimo esfuerzo resistente a la temperatura ambiente que el del metal base, la prueba de tensión debe resistir el mínimo esfuerzo especificado para el metal de soldadura. Si en las probetas de sección rectangular reducida para las pruebas de calificación en placa, la fractura se produce en el metal base fuera de la soldadura o de la línea de fusión , se considerará que la prueba es aceptable si el esfuerzo de ruptura no es menor de 95% del mínimo esfuerzo de tensión especificado para el metal base.

Las pruebas de flexión guiada se utilizan para comprobar el grado de sanidad y la ductilidad de la soldadura depositada y no deberán presentar grietas o aberturas de ningún tipo sobre la superficie convexa de la probeta después del doblado, que exceda de 1/8" medido en cualquier dirección exceptuando aquellas grietas que ocurran en las aristas, las cuales no serán tomadas en consideración a no ser que exista evidencia definitiva de que son resultado de inclusiones de escoria o de otros defectos internos.

En las pruebas de dobles de los procedimientos de soldadura de recubrimiento para corrosión, la dimensión máxima permitida para grietas o aberturas será de 1/16".

En las pruebas de fractura para soldadura de filete, las probetas para ser aceptables no se fracturarán, o en caso de que se fracturen, no deberán mostrar evidencia de grietas en la superficie fracturada o de fusión incompleta en la raíz y la suma de las longitudes de inclusiones y poros visibles no excederá de 2". En el macro-examen de las probetas, la examinación visual de la sección transversal del filete mostrará fusión completa en la raíz e inexistencia de grietas y la diferencia entre las longitudes de los catetos del filete no será más de 1/8".

En los procedimientos de recubrimiento para corrosión, la superficie de la última capa de soldadura será examinada con liquido penetrante siguiendo los métodos para su aplicación y para la evaluación de las indicaciones, de acuerdo con el Apéndice 8 de la Sección VIII, División 1 del Código ASME.

De acuerdo con las mayores indicaciones del liquido penetrante, se seccionará la placa de prueba para hacer cuatro probetas para flexión lateral guiada, dos paralelas a la dirección de la soldadura y dos perpendiculares a ella. El análisis químico del recubrimiento resistente a la corrosión se hará con el objeto de comprobar su dilución o contaminación con el metal base.

5.6. CALIFICACIÓN DEL RENDIMIENTO DE SOLDADORES CON EL USO DE MATERIALES FERROSOS.

Como Calificación de Soldador se entiende, la demostración de la habilidad de un soldador para producir soldaduras que cumplan las normas prescritas.

Los soldadores que efectúen la soldadura para la calificación de un procedimiento, quedarán asimismo calificados en tal procedimiento. La prueba de calificación de un soldador puede ser suspendida en cualquier etapa del procedimiento, siempre que llegue a ser evidente al conductor de la misma, que el soldador o el operador no tiene la habilidad requerida para producir resultados satisfactorios. Se deberá llevar un registro de los procedimientos incluyendo las variables esenciales, bajo los cuales los soldadores han sido examinados, indicando también los resultados de las pruebas. A cada soldador y operador calificados, le será asignado un número de identificación, letra o símbolo que deberán utilizar para identificar el trabajo realizado por cada uno.

Para que un soldador pueda soldar bajo las reglas del Código, deberá ser calificado mediante la ejecución de probetas soldadas que cumplan las pruebas mecánicas indicadas en el párrafo QW-302 de la Sección IX, con la alternativa de que los soldadores que efectúen soldaduras de ranura con el proceso manual de arco metálico protegido, con electrodos recubiertos, pueden ser calificados mediante la examinación radiográfica de su soldadura de acuerdo con el inciso (d) del mismo párrafo, en sustitución de las pruebas mecánicas. Una longitud mínima de 6" en soldadura de placa será radiografiada y la totalidad de ella en el caso de tubería. Se cumplirá con la técnica y las normas de aceptación del párrafo UW-51 de la Sección VIII, División 1 del Código ASME.

Los soldadores que hayan pasado las pruebas requeridas para soldadura de ranura, estarán calificados también para hacer soldaduras de filete en todos los espesores, tamaños y diámetros. Los soldadores que hayan pasado las pruebas requeridas para soldadura de filete, estarán calificados para realizar soldaduras de este tipo únicamente. Así también, los soldadores y operadores que hayan pasado las pruebas en soldadura de recubrimiento, estarán calificados para éste tipo de deposito solamente.

Los operadores de máquinas automáticas que efectúen la soldadura para la calificación de un procedimiento, quedarán así también calificados en tal procedimiento. Para los operadores de equipos automáticos, en los que tanto la posición de la cabeza de la máquina con respecto al trabajo, así como la velocidad del deposito son controladas mecánicamente excepto para ajustes menores, se establece también una alternativa para ser calificados en sustitución de las pruebas mecánicas. Una longitud mínima de 3 pies de soldadura hecha por el operador, será examinada radiográficamente o por seccionamiento, esta soldadura podrá ser de una placa de prueba o de la obtenida en producción. A fin de que la calificación sea aceptable, las radiografías de la junta soldada serán hechas de acuerdo con la técnica prescrita en el párrafo UW-51 de la Sección VIII, División 1 del Código y ambas, la examinación radiográfica y la de seccionamiento, deberán cumplir con las normas correspondientes dadas en el párrafo QW-302.2 de la Sección IX. Si la soldadura no se encuentra dentro de estas normas, una o más juntas posteriores soldadas por el operador serán examinadas por el mismo método, hasta que demuestre que es capaz de producir soldaduras aceptables. Cuando las soldaduras examinadas de esa manera sean de producción, se considerarán inaceptables si no llenan los requisitos mínimos del párrafo del Código para el cual el elemento soldado ha sido elaborado.

Las soldaduras que requieran una combinación de procesos pueden ser ejecutadas por uno o más soldadores u operadores, pero cada quién sin embargo, podrá efectuar solamente la soldadura para la cual ha sido calificado.

La Sección IX del Código ASME, Calificaciones de Soldadura, en que están basados los comentarios que han sido expuestos, fue originalmente modelada a partir de la de la Norma para Calificación de Procedimientos (AWS B3.0-41) de la Sociedad Americana de Soldadura. Los principios básicos aún se siguen aplicando, sin embargo, el Código los ha expandido hasta abarcar muchos otros procesos de soldadura y muchas otras aleaciones de acero y metales no ferrosos que la técnica ha ido desarrollando.

En nuestro país, la utilización del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión se ha generalizado en el medio industrial serio y capacitado, siendo desde hace tiempo indispensable el buen uso del mismo a través de su buen conocimiento.

CAPITULO 6

TRATAMIENTO TÉRMICO EN LOS RECIPIENTES A PRESIÓN

6.1 INTRODUCCIÓN

Este es uno de los aspectos más importantes en la fabricación de recipientes a presión. Bajo la denominación de tratamientos térmicos, se entienden ciertas operaciones consistentes en el calentamiento de los metales o aleaciones metálicas, dentro de límites prefijados de temperatura y duración para alcanzar determinadas propiedades intrínsecas, así como también, el enfriamiento con modalidades especiales (enfriamiento instantáneo, lento o con escalones de temperaturas intermedias), pero sin la intervención de trabajo mecánico alguno.

El tratamiento térmico en los materiales ferrosos, como en otras aleaciones, tiene como objeto fundamental modificar sus propiedades, ya sea para mejorarlas o bien para corregir condiciones indeseables inducidas durante el proceso de fabricación.

Normalmente los cambios deseados son en el aspecto de propiedades mecánicas, pero otras propiedades también pueden sufrir alteraciones, como son las eléctricas, las magnéticas y la resistencia a la corrosión.

La principal característica del tratamiento térmico está en que el cambio de propiedades se lleva a cabo en el estado sólido. Uno de los fenómenos más notables, estudiado por la metalografía, consiste en que la estructura que algunas aleaciones adquieren en el acto de su solidificación; sufre notables modificaciones sin que varíe la composición química, ya que se cambia la agrupación de los elementos componentes, formándose algunas soluciones en sustitución del agregado primitivo en cuerpos simples.

Además, un metal al variar la temperatura a que se encuentra sometido, puede variar (como ocurre con el fierro) sus estructuras alotrópicas. Pero estas modificaciones no se perciben a simple vista ni se manifiestan en un análisis químico, a pesar de que influyen decisivamente en las propiedades mecánicas y de trabajo de los metales.

En la actualidad, los cambios de estructura se revelan con la ayuda del microscopio y pruebas micrográficas de probetas preparadas especialmente para tal fin.

Para poder determinar estas temperaturas se han elaborado diagramas de equilibrio; en donde se observan las diferentes relaciones de temperatura y concentración de elementos constituyentes, encontrándose que en las diferentes zonas del diagrama de equilibrio, cada aleación ofrecerá propiedades distintas, debido a la diversa naturaleza de sus componentes que han sido generados a las temperaturas comprendidas en la zona considerada.

En dichos diagramas hay puntos críticos en donde tiene lugar un paro o retraso en el aumento o disminución de la temperatura, de la misma manera en que se registra un cambio de estado en el punto de equilibrio de la ebullición o congelación de un líquido. Se llaman puntos críticos a las anomalías observadas en las curvas de los diagramas obtenidos, al mirar la temperatura ó temperaturas críticas en que se producen los cambios de estructura.

La transformación de un metal puede ser reversible o irreversible. Por lo general, las transformaciones de las estructuras son reversibles, es decir, en el calentamiento los estados intermedios se suceden con un orden determinado A, B, C y en el enfriamiento lento subsiguiente, tienen lugar idénticas transformaciones en orden inverso, ó sea, C, B y A. Así pues, el metal vuelve de nuevo a su estructura primitiva anterior al calentamiento. Esto ejerce una importancia decisiva en los tratamientos térmicos, es decir, en los cambios de estructura en una masa sólida.

A causa de la inercia natural de los metales, sus transformaciones durante el enfriamiento se producen a temperaturas algo más bajas que durante el calentamiento, pero en algunas aleaciones, estos retrasos durante el enfriamiento, son tan notables que las transformaciones inversas ya no se producen y en este caso, se designan como irreversibles, como ocurre con ciertos aceros.

6.2. PRINCIPALES TRATAMIENTOS TÉRMICOS

De lo dicho anteriormente, se deduce que los cambios de estructura de los metales ó aleaciones para alcanzar determinadas características, dependen del tratamiento térmico a que se someten. Estas transformaciones se realizan en los metales y aleaciones de fierro, así como también en las aleaciones que no pertenecen a este grupo (bronce, latón, aluminio, etc.). Para el fierro y sus aleaciones que son los materiales más comunes en la industria, se emplean los siguientes tratamientos térmicos:

a) Recocido y normalizado
b) temple
c) Revenido y bonificación
d) Cementación y nitruración
e) Regeneración
f) Relevado de esfuerzos

A continuación se define cada una de estas operaciones:

Recocido. Es un tratamiento térmico que consiste en calentar el metal o aleación hasta la temperatura necesaria para alcanzar la estructura austenítica, seguido de un enfriamiento lento natural, obtenido generalmente dejando el metal en el interior del horno donde se realizó el calentamiento.

Normalizado. Es un tratamiento análogo al anterior en cuanto al calentamiento, excepto enfriamiento que tiene lugar fuera del horno, en un local donde no existan corrientes de aire, por lo tanto, será más rápido que en el recocido.

Temple. Consiste en calentar el material hasta la temperatura en que se alcanza la estructura austenítica, seguido de un enfriamiento rápido y a veces extremadamente rápido, usando agentes externos como aceite o agua para lograr el enfriamiento. Con ello se fija en el metal la estructura correspondiente a la temperatura alcanzada.

Revenido. Es una operación inversa a la del temple, que sirve para amortiguar la dureza o fragilidad que un temple excesivamente rápido confiere a los aceros.

Bonificación. Bajo este nombre se entiende un tratamiento compuesto por los dos últimos dos procesos; temple y revenido.

Cementación. Consiste en difundir en el metal o aleación otro metal o metaloide para comunicarle ciertas propiedades; aunque la cementación propiamente dicha, es la que se aplica al fierro con la difusión de carbono; la del fierro con el zinc se llama **sherardización.** Cuando la cementación se efectúa en sales amoniacales, se llama **nitruración.**

Regeneración. Consiste en un tratamiento destinado a destruir los efectos de un recalentamiento.

Relevado de esfuerzos. Es una operación que se sigue para eliminar esfuerzos residuales resultantes de haber sometido un material a trabajos mecánicos ó de soldadura. Este punto es el que se tratará con más amplitud ya que es el tratamiento térmico al que con mayor frecuencia es necesario acudir en la fabricación de recipientes a presión.

6.3. TENSIONES RESIDUALES EN LOS METALES

Cuando un material es sujeto a deformación ó proceso de soldadura, sufre esfuerzos que alteran las condiciones cristalográficas originales, creando tensiones internas o residuales que pueden alterar las propiedades mecánicas del material llegando a provocar fallas cuando el equipo está en operación.

Las tensiones residuales son una de las tres características fundamentales que determinan el comportamiento de un metal en servicio y son tan importantes como las otras dos; composición química y microestructura, pero su naturaleza abstracta y su facilidad de variación, para cualquier cambio de carga ó de temperatura las hace especialmente difíciles de analizar.

El proyectista suele considerar solo la magnitud de las posibles tensiones en servicio, despreciando las tensiones residuales, siendo que éstas pueden sobrepasar el valor de las primeras. En los materiales tratados térmicamente pueden producirse tensiones residuales muy elevadas, que temporalmente pueden quedar ocultas y dar lugar a la rotura súbita del material en alguna etapa de su operación.

La presencia de tensiones residuales en los metales no es siempre perjudicial, hay por el contrario un grupo bastante grande de productos comerciales, en los que las tensiones se introducen deliberadamente para mejorar sus propiedades mecánicas.

El trabajo en frío aumenta, en general, la resistencia a la tracción y el límite de fluencia de los metales y aleaciones, y si se realiza en grado moderado, no se reduce la ductilidad al grado que pueda perjudicarse su tenacidad. Sin embargo, en los materiales soldados, las tensiones residuales son como en otros muchos casos de Ingeniería, perjudiciales y su presencia no solo no tiene ninguna utilidad sino que disminuye su resistencia. Las tensiones residuales son especialmente indeseables en metales sometidos a corrosión, por ejemplo podemos citar la corrosión por fatiga, que se produce por la acción simultánea de esfuerzos alternados y corrosión, habiéndose observado que su efecto combinado es considerablemente más nocivo que su acción separada. Este tipo de corrosión se puede encontrar en la unión de boquillas al cuerpo, cuando éstas están sometidas a rotación, y cuando los esfuerzos alternados de tracción y compresión actúan bajo condiciones corrosivas.

Investigaciones efectuadas al respecto, han demostrado que el deterioro por corrosión con fatiga se debe al desarrollo de fisuras transversales a lo largo de las inclusiones no metálicas, encontrándose que es muy natural que las fisuras sigan los límites de la inclusión, porque el metal está normalmente más deformado por el trabajo mecánico en la parte en contacto con las inclusiones duras.

Cuando los materiales están sujetos a corrosión son atacados en primer lugar los límites de grano. Esta tendencia selectiva se explica por las especiales diferencias cristalinas y químicas que invariablemente existen en éstos, ya que cuando comienza la cristalización, ciertas impurezas van siendo empujadas por el crecimiento cristalino hacia la periferia, dónde finalmente quedan segregadas.

Uno de los límites de grano es la discontinuidad de orientación en la unión de dos o tres cristales adyacentes. Aparte de tales consideraciones es natural esperar que la corrosión sea, en algunos casos selectiva en los límites de grano, como camino fácil para la penetración en el metal.

Los defectos anteriores son los más comúnmente encontrados en los materiales que han sido sujetos a diversos trabajos de transformación; para aminorarlos hasta un rango de seguridad aceptable se realiza el relevado de esfuerzos.

6.4. NORMAS PARA LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

El Código ASME en su Sección octava y otras normas internacionales, mencionan específicamente cuándo y bajo qué circunstancias los materiales requieren relevado de esfuerzos. Para realizar esta operación, es indispensable la observación de normas, ya que de no ser así se puede originar la destrucción completa de la estructura del metal, en lugar de mejorarla.

En primer lugar, es indispensable que el calentamiento del metal se efectúe con absoluta regularidad, para que en ninguna de las diferentes zonas se tengan calentamientos excesivos con relación a la más próxima. El calentamiento ha de ser lento y progresivo hasta la temperatura establecida, y debe cuidarse que no exceda de 50°C del punto crítico más alto que convenga alcanzar, de modo que la pieza se encuentren dentro de la zona del diagrama en la que existe la estructura que se quiere fijar o interese modificar.

Una vez que se alcanza la temperatura más conveniente, ha de mantenerse durante un periodo suficientemente largo para que se produzcan las transformaciones estructurales deseadas. El enfriamiento consecutivo ha de ser tan rápido para que se realice en un tiempo más breve que el requerido para la transformación estructural inversa y ha de realizarse a una temperatura a la cual la viscosidad del metal ha adquirido tales valores que la transformación estructural sea imposible.

6.5. RELEVADO DE ESFUERZOS

Generalmente se ha entendido el relevado de esfuerzos como un calentamiento del acero por debajo de los puntos de transformación, tal que permita un reacomodo atómico de la estructura, reduciendo así los esfuerzos residuales.

6.5.1. TIPOS DE RELEVADO DE ESFUERZOS

Existen básicamente dos tipos de relevado de esfuerzos, el mecánico y el térmico, aunque en la actualidad se estén desarrollando procesos nuevos basados en técnicas ultramodernas, como lo son el relevado por vibraciones, sin embargo, en esté trabajo únicamente se hablará de los dos primeros.

6.5.1.1. RELEVADO DE ESFUERZOS MECÁNICO

El método más común para reducir los esfuerzos residuales del temple, es una deformación mecánica controlada en los molinos. Esta deformación consiste en un estirado o una compresión del producto, suficiente para lograr una cantidad pequeña y controlada de deformación plástica (1-3%). Además se logran los mejores resultados aplicando la deformación inmediatamente después de haber templado el material.

6.5.1.2. RELEVADO DE ESFUERZOS TÉRMICO

Existen diferentes tipos de relevado de esfuerzos por medio de calentamiento, en el caso del acero, el método consiste en llevar el material a una temperatura indicada en la norma o especificación del mismo, a la cual se obtenga un flujo plástico interno; es decir un reacomodo atómico, sin llegar a los puntos de transformación del material en cuestión, y luego se aplicará un enfriamiento lento que permita enfriar la pieza sin crear en ella nuevas tensiones residuales.

6.5.1.3. PRINCIPIO DEL RELEVADO DE ESFUERZOS

Vamos a tratar ahora de dar una explicación de lo que sucede en los materiales cuando se da un relevado de esfuerzos. Cuando un metal deformado es sujeto a un calentamiento tal, que las dislocaciones son capaces de salirse de los planos de deslizamiento en que fueron generadas, las tensiones residuales son relevadas por el movimiento de esas dislocaciones que se encuentran ahora en libertad de moverse bajo pequeños esfuerzos.

Al solidificar dos metales en una soldadura, durante el enfriamiento brusco de una aleación, o durante una deformación en frío, las redes cristalinas quedan tensionadas, merced a que los átomos que componen las redes, o bien no tuvieron tiempo de acomodarse, o bien han sido obligados a salirse de su posición original, o los defectos del material han originado gran número de dislocaciones, todo ello provoca las tensiones residuales, es decir hay un desarreglo , una falta de homogeneidad en la red, algunos átomos están "fuera de lugar", pues bien al aplicarles un calentamiento no muy elevado, estos átomos empiezan a moverse cada vez más aprisa hasta que logran alcanzar un estado más estable, lográndose con ello una disminución de las tensiones residuales en el metal.

6.5.1.4. IMPORTANCIA DE SU APLICACIÓN

La eliminación de esfuerzos o tensiones residuales es importante desde diversos puntos de vista, es conveniente hacer hincapié en su influencia en los problemas de corrosión, que son los más extendidos; en general podemos afirmar que los materiales sujetos a tensión se corroerán más pronto y rápido que los que no lo están. Últimamente se ha encontrado que el relevado de esfuerzos aumenta en gran medida la resistencia a la corrosión bajo tensión de los aceros inoxidables de la serie 300.

Durante la soldadura se producen grandes variaciones de expansión térmica entre el metal de aportación (fundente) y el metal base. En la solidificación frecuentemente esto produce esfuerzos de tensión , bajo esta circunstancia las áreas de mayor concentración de esfuerzos estarán sujetas a corroerse bajo tensión en un medio propicio.

Sin embargo las tensiones residuales no se presentan para los aceros solo durante el proceso de soldadura, sino también como resultados de la fabricación, durante el estirado, rolado de tubos, desajustes en el remachado, etc.

El enfriamiento desde las temperaturas de recocido puede también inducir esfuerzos residuales, debido al enfriamiento no uniforme de las piezas; así mismo en las piezas vaciadas puede haber suficientes esfuerzos residuales.

CAPITULO 7

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN PARA RECIPIENTES A PRESIÓN EN LA INDUSTRIA PETROLERA.

7.1 INTRODUCCIÓN

La inspección a recipientes a presión es indispensable, en virtud de que se evitan gastos elevados de reparación en campo, regreso de los equipos al fabricante en el caso de no poderse efectuar la reparación o reparaciones en el lugar de su instalación, retraso en la entrega, interrupción en el proceso en caso de falla en operación y tal vez con ésto accidentes muy graves tanto a las instalaciones como al ser humano.

La inspección de los recipientes aquí en México tiene como base el Código ASME el cual no cubre todos los detalles de construcción, muchos de los cuales quedan bajo la responsabilidad del fabricante y su aceptabilidad por parte del inspector, el Código pretende dar los lineamientos generales, establecer los procedimientos en los que la práctica ha demostrado su efectividad, como una forma de actuar para garantizar la seguridad de vidas y propiedades.

7.2. PREPARACIONES PRELIMINARES

Antes de proceder a la inspección del recipiente o recipientes a presión, es necesario que el ingeniero inspector este familiarizado con el material que va a inspeccionar, en cuanto a lo que se refiere a su aplicación o uso al que va a ser destinado, leer cuidadosamente las especificaciones del pedido, para ver si existe algún error u omisión en éste, conocer a fondo las especificaciones con las cuales va a inspeccionar, conocer los procedimientos de fabricación, ya que sin esto no podrá garantizar una correcta recepción del material.

El inspector deberá solicitar al fabricante, la memoria de los cálculos de diseño, para su rectificación.

Frecuentemente, tanto en la elaboración del pedido, dibujos de diseño y de fabricación únicamente se indica que deberá ser fabricado de acuerdo a tales especificaciones y/o de acuerdo con el Código ASME y se olvidan de indicar de conformidad con la ultima revisión y addendas, ya que no hay que descuidar que los Códigos no son estáticos y que constantemente se están modificando, por lo tanto hay que estar al dia en cuanto a modificaciones se refiere.

7.3. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN Y TOLERANCIAS

PLACA. En primer termino es necesario conocer la especificación de la placa y solicitar los análisis químicos y físicos al proveedor del recipiente, para posteriormente cotejarlos con el Código ASME en su Sección II parte A y B.

Es necesario apuntar el numero de colada y verificar la especificación del acero, misma que debe venir marcada en la placa de procedencia del fundidor.

Revisar el espesor nominal, el cual no deberá ser menor en 0.25 mm. (0.01") ó el 6% del espesor ordenado, y nunca menor del espesor de diseño.

Se efectuará una pre-inspección visual por todos los cantos de la placa para verificar que no existan hojeaduras, laminaciones, falta de material, etc.

El material deberá estar lo suficientemente derecho tanto para el trazo como para el rolado.

TRAZO. Este deberá estar perfectamente escuadrado y no se deberán utilizar nunca las llamadas orillas de molino.

CORTE. Este puede efectuarse por medios mecánicos tales como maquinado, cizallamiento, esmerilado o a base de oxigeno, después de éste toda escoria deber ser removida por medios mecánicos.

LIMPIEZA. Las superficies por soldar deberán estar limpias y libres de materias extrañas, tales como grasa, aceite, pintura, etc.

MARCADO. En todas las placas o tramos empleados en la construcción de los recipientes se deberá estampar con marcas de golpe no muy profundas, el numero de colada a la que pertenecen y la especificación del acero correspondiente, los sobrantes también deberán ser marcados con estos datos.

En el caso de que la placa o sobrantes no este marcada con los datos anteriores, éste material no podrá ser utilizado para partes sujetas a presión, a menos que sean analizados tanto fisicamente como químicamente y por supuesto que corresponda a la especificada para la fabricación del recipiente.

En caso de que la especificación de la placa requiera prueba de impacto, esta deberá presenciarse para testificar el procedimiento y resultados, los cuales no deberán ser menores que:

Tamaño de la probeta.	Mínimo valor requerido de impacto, del promedio de cada juego de 3 probetas en ft-lb.	Mínimo valor permitido de impacto, de una probeta dependiente de un juego en ft-lb.
10 x 10 mm	15.0	10.0
10 x 7.5 mm	12.5	8.5
10 x 5.0 mm	10.0	7.0
10 x 2.5 mm	5.0	3.5

BISELES. Deberán ser revisados tanto dimensionalmente como visualmente, con el objeto de ver que el corte sea uniforme, que las placas estén escuadradas y además se efectuará un chequeo visual para observar si existen laminaciones o defectos que anteriormente no se habían podido observar.

FUERA DE REDONDEZ. La diferencia entre los diámetros interiores máximo y mínimo, en cualquier sección transversal no deberá exceder del 1% del diámetro nominal en la sección transversal considerada. El diámetro puede ser medido interiormente o exteriormente, en este último caso, deberá ser corregido por el espesor de la placa.

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

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

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

Diámetro nominal del recipiente.	Tolerancia en promedio medida en diámetro interior.
Hasta 4 '	± 1/8 "
De 4 a 7'	± 3/16"
De 7 a 16'	± 1/4"
Arriba de 16'	± 5/16"

O recurrir al párrafo UG-80 del Código ASME División 1, junto con la gráfica UG-80.1 correspondiente.

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

Las cabezas de los recipientes podrán ser de forma elipsoidal, torisférica, semiesférica o cónica con las proporciones señaladas en el Código ASME, mismas que deberán ser revisadas por el inspector para la verificación de las mismas.

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

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

En caso de maquinarse la cabeza, la transición del espesor maquinado no deberá ser repentino, debiéndole dar la forma cónica en no menos de 4 veces la diferencia del espesor mínimo.

ALINEAMIENTO LONGITUDINAL Y CIRCUNFERENCIAL. Las tolerancias para estos alineamientos están dadas en la siguiente tabla, en donde t es el espesor nominal en la junta considerada.

Sección considerada en pulgadas de espesor.	Dirección de juntas en cuerpos cilíndricos.	
	Longitudinal	Circunferencial
Hasta 1/2 inclusive	1/4 t	1/4 t
de 1/4 hasta 3/4 inclusive	1/8"	1/4 t
de 3/4 hasta 1-1/2 inclusive	1/8"	3/16"
de 1-1/2 hasta 2 inclusive	1/8"	1/8"
Arriba de 2	menor de 1/16 t ó 3/8"	menor de 1/8 t ó 3/4"

MÁXIMO ESPESOR DE REFUERZOS PARA TERMINADOS EN JUNTAS CIRCUNFERENCIALES Y LONGITUDINALES. Estas tolerancias están dadas en la tabla siguiente:

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

7.4. SOLDADURA

INSPECCIÓN VISUAL. Esta deberá tener buena apariencia, no deberá tener socavados, poros, roturas, etc., visibles.

Todos los soldadores que intervengan en la fabricación de los recipientes deberán estar calificados de acuerdo con la Sección IX del Código ASME

Todos los procedimientos deberán ser revisados por el Ingeniero Inspector para que éstos sean los correctos, tanto en el procedimiento escrito como al efectuar las soldaduras.

En caso de que sea solicitada la inspección ultrasónica, el inspector deberá conocer por lo menos la teoría y técnica a seguir para estar presente al efectuarse esta prueba.

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

7.5. ULTRASONIDO

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

7.6. RECTITUD

La superficie del cuerpo podrá estar fuera de alineamiento en no más de 3/8" sobre cualquier punto de un segmento de 20' a lo largo de sus secciones.

7.7. SOPORTES PARA INTERNOS

Los soportes para internos deberán especificarse por la firma de ingeniería que realizo el diseño, de acuerdo con las especificaciones particulares de cada proyecto. Sin embargo se puede tomar como referencia el dibujo de tolerancias para recipientes a presión que aparece en la fig. 7.1 (Ver dibujo final adjunto).

7.8. LONGITUD

Esta será de ± 3/16" por cada 10' de largo.

7.9. BOQUILLAS

Los agujeros de las bridas no deberán coincidir con la línea de centros natural horizontal y vertical del recipiente, deberán estar equidistantes a éstas.

Deberá de revisarse el tipo de brida, libraje, cédula, especificación del material y dimensiones en general.

La tolerancia permitida en los niveles de las boquillas no deberá exceder de ± 1/4" o 1/2" en registros de hombre.

Las variaciones en su orientación angular con respecto a su verdadera línea de centros no deberá ser mayor de 1/2° ó 1° en registros de hombre.

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

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

7.10. RADIOGRAFIADO

El Inspector deberá examinar todas las radiografías para estar de acuerdo con el dictamen de las compañías de radiografías y verificar que se hayan utilizado los penetrómetros adecuados.

En el caso de que existan reparaciones, estas deberán ser revisadas nuevamente.

Cuando el radiografiado es por puntos el Inspector señalará al fabricante las zonas en que estas deban ser tomadas, tomándose normalmente los cruces de longitudinal con circunferencial o soldaduras que denoten mala apariencia.

La técnica de radiografiado esta especificada en el párrafo UW-51 del Código ASME Sección VIII, División 1.

7.11. RECHAZOS

Serán motivo de rechazo todos los defectos que se encuentren comprendidos dentro de los siguientes puntos que se listan a continuación:

1. Cualquier tipo de ruptura.
2. Zonas de fusión incompleta, o total.
3. Zonas con falta de penetración.
4. Incrustaciones de escoria que tengan una longitud mayor que:
   a) 1/4" para t hasta 3/4".
   b) 1/3" para t de 3/4" a 2 1/4".
   c) 3/4" para t arriba de 2 1/4"
   En donde t es el espesor del material considerado.
5. Cualquier grupo de inclusiones de escoria en línea, que tengan un total de una longitud mayor que t; en una longitud de 12 t, excepto cuando la distancia de las imperfecciones sucesivas excedan a 6L, en donde L es la longitud de la imperfección mas larga en el grupo.
6. Poros en exceso de los que vienen especificados en los patrones dados en el apéndice IV del Código ASME Sección VIII División 1.

El fabricante deberá conservar todos los juegos de rádiografías durante un periodo no menor de 5 años.

7.12. SOPORTES Y CLIPS

La tolerancia en niveles de soportes (faldón o patas) y clips será de ± 1/4" medida desde la línea de referencia.

La orientación será de ± 1/4" de la orientación correcta.

7.13. RELEVADO DE ESFUERZOS

En el caso de que sea necesario el relevado de esfuerzos el Inspector deberá revisar el procedimiento como a continuación se describe:

Revisar que la temperatura de relevado sea la especificada en la siguiente tabla:

MATERIAL	NOTAS	Mínima temperatura de calentamiento en °F.	Mínimo tiempo de tratamiento en Hr. x pulg. de espesor.
P-1	(1) (3)	1100	1
P-2	(1) (4)	1100	1
P-3	(1)(5)	1100	1
P-4	(6)	1100	1
P-5	(7)	1250	1
P-9A	(6)	1100	1
P-9B	(8)	1150	1
P-9C	(1)(5)	1100	1
P-10A	(1)(5)	1100	1
P-10B	(6)	1100	1
P-12B	Sub. 11,5,9	1100	1

Las notas (1) a (8) vienen dadas en el Código ASME Sección VIII División 1 correspondientes a la tabla anterior UCS-56 del mismo párrafo las cuales son indispensables para poner en práctica el relevado de esfuerzos.

En el caso de que fuera impractico sostener estas temperaturas, se podrá aceptar un decremento en estas dando un mayor tiempo de duración en el relevado como se indica a continuación:

Decremento de temp. en °F.	Mínimo tiempo de calentamiento en Hr. por pulg. de espesor
50	2
100	3
150	5
200	10

El Inspector deberá revisar que la temperatura del horno no exceda de 315°C° (600°F) en el momento de colocar el recipiente dentro del horno.

Arriba de 315°C (600°F) la rapidez de calentamiento deberá ser menor de 205°C (400°F) por hora, con excepción de recipientes mayores de 1" de espesor, en tal caso, la rapidez máxima deberá ser de 205°C (400°F) por hora, dividida entre el espesor de la placa en pulgadas.

La variación de la temperatura a lo largo del recipiente deberá ser mínima de tal manera que en dos puntos del recipiente que disten entre sí 4.5 m (15 pies) no tengan una diferencia mayor de 120°C (250°F) entre ellos.

Durante el período de calentamiento no deberá haber una diferencia mayor de 65°C° (150°F) entre la temperatura mayor y la menor de la porción considerada.

Durante el calentamiento la temperatura del horno deberá ser bien controlada para evitar oxidación excesiva en la superficie del recipiente.

El horno deberá estar diseñado para evitar el choque directo de las flamas contra el recipiente.

El enfriamiento se hará con el horno cerrado, de un grado tal que la rapidez de enfriamiento no sea mayor de 260°C (500°F) por hora, dividido entre el máximo espesor en pulgadas, pero en ningún caso mayor de 260°C (500°F).

7.14. PRUEBA HIDROSTÁTICA

La prueba hidrostática deberá efectuarse cuando menos a 1.5 veces la presión de trabajo corregida por temperatura en caso de que se requiera y el tiempo de duración será el suficiente para efectuar una inspección minuciosa.

Antes de proceder a la prueba hidrostática el Inspector deberá asegurarse que todas las conexiones sean las correctas para que no surja ningún accidente, deberá ver que el manómetro sea el adecuado y que este correctamente calibrado, todos los tapones de las placas de refuerzo deberán estar quitados, el recipiente deberá estar completamente seco exteriormente y se deberá cuidar que todas las partes soldadas estén visibles.

A la hora de la prueba se verificará también que el recipiente no sufra ninguna deformación visible exteriormente.

Posteriormente a la prueba, verificará que no hayan sufrido ningún daño las partes internas.

Como parte complementaria a la prueba hidrostática y únicamente cuando se indique en las especificaciones particulares, se efectuará la prueba de martillado, la cual se llevará a cabo como sigue: Se reducirá la presión de prueba del recipiente a 1.25 veces el valor de la presión de trabajo máxima permisible, en este momento se golpeará con un mazo o martillo por la parte exterior del recipiente, todas y cada una de las juntas soldadas, a ambos lados de ellas y en toda su longitud, los golpes se darán a una distancia de 15 cm. aproximadamente distante uno de otro.

El peso del martillo en kilogramos deberá ser aproximadamente igual al espesor de la placa en milímetros, dividido entre 5, pero nunca deberá exceder de 5 kg. El martillo deberá ser de un material más suave que la placa que va a ser golpeada y estar ligeramente redondo en sus extremos. Los golpes deberán ser dados por una persona con una fuerza normal.

7.15. LIMPIEZA

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

7.16. ACABADO

Todos los puntos de soldadura exteriores e interiores que hayan servido para el montaje o para alguna otra operación, deberán eliminarse por esmerilado sin que se llegue al metal base, en caso de faltas de material, este será preparado en forma adecuada para rellenarse con soldadura y finalmente se esmerilara el sobrante de esta soldadura, sin llegar a la superficie de la placa.

Se efectuará una inspección visual tanto interior como exterior.

7.17. PINTURA

Esta deberá estar de acuerdo con la especificación solicitada por el cliente.

7.18. EMBARQUE

A pesar de que la responsabilidad de efectuar los preparativos necesarios para el embarque es del fabricante, el Inspector revisará que todo este bien sujeto para que el material no sufra ningún daño durante el trayecto de transporte.

7.19. CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN

El Inspector elaborará un certificado de aceptación en el cual aparezcan todos los datos relacionados con el pedido, especificaciones e inspecciones realizadas.

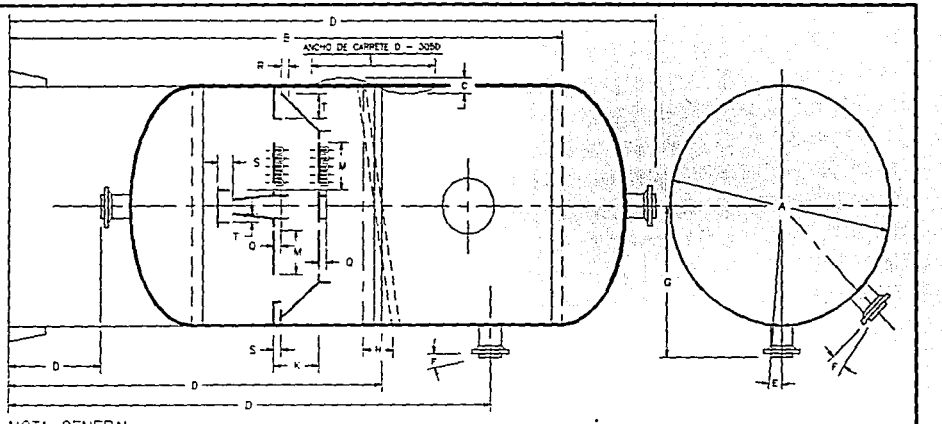
Adjuntará la siguiente documentación como mínimo:

1. Remisiones de embarque.
2. Dibujos de fabricación.
3. Certificados de materiales y pruebas físicas.
4. Certificado o gráfica de prueba hidrostática.
5. Gráfica o gráficas de relevado de esfuerzos (en caso de requerirlo el material).
6. Gráfica de normalizado (en caso de requerirlo el material).
7. Resultados de radiografías junto con reportes de reparaciones, si es que las hubo (en caso de que se requieran).
8. Otros

Finalmente se adjuntan dos dibujos, uno de los cuales indica las tolerancias en los recipientes y el otro indica los párrafos del Código ASME a los cuales hay que recurrir en el caso de duda, ver dibujo final adjunto (fig. No. 7.2).

FALLA DE ORIGEN

FIG. 7.1 TOLERANCIAS EN RECIPIENTES A PRESION



NOTA GENERAL.– CONSIDERANDO LA IMPORTANCIA QUE REVISTE EL CUMPLIMIENTO POR PARTE DEL FABRICANTE, DE TODAS LAS INDICACIONES QUE SE HACEN EN EL DIBUJO DE DISEÑO DEL RECIPIENTE, LAS TOLERANCIAS QUE EN ESTE ESTANDAR SE INDICAN, DEBEN ENTENDERSE APLICABLES EN CASOS DONDE RESULTE PRACTICAMENTE DIFICIL DE LOGRAR UNA EXACTITUD Y NO COMO PRACTICA COMUN EN LA FABRICACION, QUEDA A JUICIO DEL INSPECTOR AUTORIZADO LA APLICACION DE ESTE ESTANDAR.

TOLERANCIAS PERMISIBLES EN LAS DIMENSIONES FIJADAS

A.– LA DIFERENCIA ENTRE DIAMETROS MAXIMOS Y MINIMOS DE UNA SECCION CONSIDERADA EN EL CILINDRO, QUEDA REGIDA POR LO DESCRITO EN EL PARRAFO UG-80 DEL CODIGO ASME SECCION VIII DIV. 1 ULTIMA EDICION Y ADENDAS, PARA LAS TAPAS REGIRA LO DESCRITO EN EL PARRAFO UG-81 DEL CODIGO ASME SECCION VIII DIV. 1 ULTIMA EDICION Y ADENDAS

EL ALINEAMIENTO DE LAS UNIONES SOLDADAS ESTARA REGIDO POR LO DESCRITO EN EL PARRAFO UW-33 DEL CODIGO ASME SECCION VIII DIV. 1 ULTIMA EDICION Y ADENDAS ESTE ALINEAMIENTO DEBERA SER CONTROLADO EN CADA TRAMO DEL CILINDRO.

B.– EN LA LONGITUD DEL RECIPIENTE, SE PERMITIRA CUANDO MAS, 5mm (3/16") POR CADA 305D mm (± 10') DE LARGO.

C.– EN EL ALINEAMIENTO LONGITUDINAL, SE PERMITIRA UNA DESVIACION DE 3mm (1/8") DE LA SUPERFICIE EXTERIOR DEL CILINDRO CON RESPECTO A LA RECTA EN CADA CARRETE O CADA 305D mm (± 10') EL QUE RESULTE MENOR, ADEMAS DE LA DISTORSION CAUSADA POR LA SOLDADURA EN JUNTAS CIRCUNFERENCIALES O LONGITUDINALES, NO REBASARA DE DE 6mm (1/4" EN UNA LONGITUD DE 915mm (± 3 PIES), TOMADO AL CENTRO DE LA SOLDADURA ESTAS TOLERANCIAS SON INDEPENDIENTES A LAS ESPECIFICADAS EN EL INCISO "A".

D.– EN LOS NIVELES DE BOQUILLAS, PLATAFORMAS, ESCALERAS, GRAPAS ESTRUCTURALES PARA TUBERIA ETC. 6mm (1/4") REFERIDO A LA LINEA BASE.

E.– EN LAS VARIACIONES ANGULARES DE LAS BOQUILLAS CON RESPECTO A SU VERDADERA LINEA DE CENTRO 1/2°.

F.– EN LA DESVIACION HORIZONTAL O VERTICAL DE LA CARA DE LA BRIDA EN BOQUILLAS 1°

G.– EN LA DISTANCIA DE LA LINEA CENTRO DEL RECIPIENTE A LA CARA DE LA BRIDA DE LA BOQUILLA 10 mm (3/8")

N.– EN LA DISTANCIA ENTRE LOS PLATOS MAS BAJO Y MAS ALTO DE LAS SOLERAS DE SOPORTE DE PLATOS, SE PERMITIRA 3mm (1/8") PARA RECIPIENTES CON DIAMETROS DE 1830mm (6') Y MENORES, Y 0.156 DEL 1% DEL DIAMETRO PARA RECIPIENTES CON DIAMETROS MAYORES A 1830mm (6')

J.– PARA TODOS LOS ACCESORIOS INTERIORES A LOS CUALES SE ATORNILLARAN LOS PLATOS TENDRAN UNA TOLERANCIA ±2mm (1/16") ENTRE CENTROS DE DOS AGUJEROS DE UNA SERIE.

K.– LA DISTANCIA ENTRE SOPORTES DE PLATOS ADYACENTES, PLATOS SOLDADOS O DEFLECTORES, TENDRAN UNA TOLERANCIA DE ±3mm (1/8").

PLATOS TIPO BURBUJEANTES Y DEFLECTORES DE ACERO AL CARBON Y ALEACION

M.– EN TODAS LAS DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS DEL PLATO ±2mm (1/16")

N.– ENTRE CENTROS DE LA DISTANCIA ENTRE DOS AGROS DE UNA SERIE ±2mm (1/16")

P.– EN LA DISTANCIA ENTRE CENTROS DE LOS RESPIRADEROS DE LAS CACHUCHAS DE BURBUJEO ±3mm (1/8")

Q.– EN LA ALTURA DE LOS RESPIRADEROS SOBRE LA PLACA DE LOS PLATOS ±2mm (1/16")

R.– EN EL SELLO DE LA BALANTE 4.8mm (3/16") (DISTANCIA VERTICAL ENTRE EL FONDO DE LA BALANTE Y LA PARTE SUPERIOR DEL VERTEDOR DE ENTRADA)

S.– EN LA DISTANCIA VERTICAL ENTRE EL FONDO DE LA BALANTE Y LA PARTE SUPERIOR DEL PLATO O CHAROLA ±6mm (1/4").

T.– EN LA PROYECCION HORIZONTAL DE LA BALANTE ±6mm (1/4")

NOTA: EN EL CASO DE DISCREPANCIA ENTRE ESTE DIBUJO Y LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO, PREVALECERAN LAS ESPECIFICACIONES

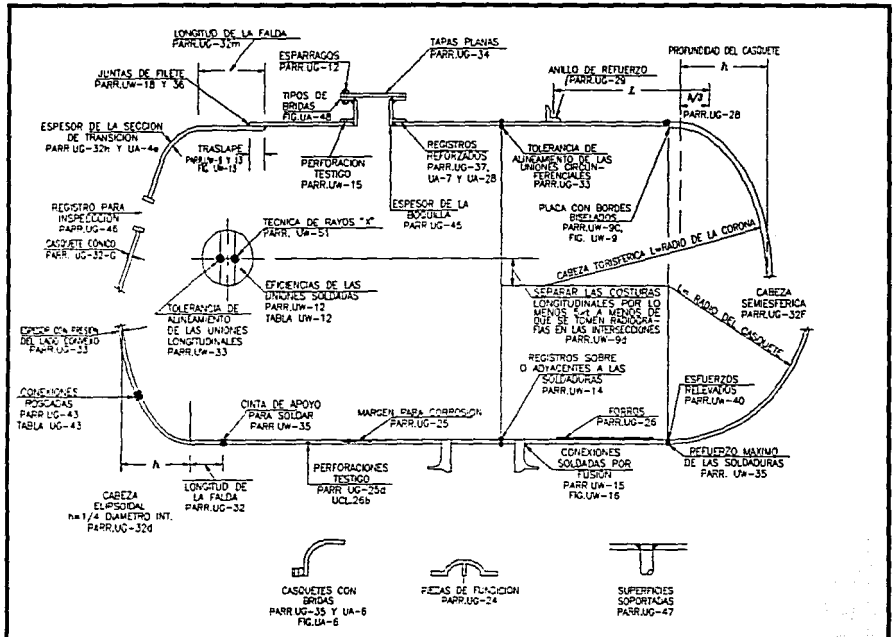


Fig. 7.2 REFERENCIAS DE LOS PARRAFOS O FIGURAS DEL CODIGO ASME PARA LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DE RECIPIENTES A PRESION.

FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

Los recipientes son equipos muy importantes en una refinería o planta petroquímica, ya que constituyen una sección básica de la mayor parte de los equipos de proceso, almacenamiento y distribución de productos del petróleo y sus derivados.

Es por esta razón que se deberá poner especial énfasis en la importancia que reviste el proceso de inspección durante la fabricación de recipientes a presión, con el objeto de certificar que estos equipos cumplan con todas las especificaciones de diseño e ingeniería que reglamentan y rigen su construcción garantizando que sean enviados a campo listos para su instalación y operación en las plantas de proceso que tengan como destino. Asimismo, evitar gastos elevados de reparación en campo, rechazo de los equipos al fabricante; en caso de no poder efectuar la reparación o reparaciones en el lugar de su instalación, retraso en los tiempos de entrega establecidos de origen, interrupción en el proceso en caso de falla durante su instalación y operación, y sobre todo garantizar la seguridad e integridad de los operarios y el resto de las instalaciones que les rodean.

Para lograr este objetivo, en los Códigos ASME, AWS y las correspondientes especificaciones generales de diseño se considera implícitamente un control de calidad progresivo, en el que se especifica claramente todos los pasos que deberán efectuarse para realizar la construcción de Recipientes a Presión. Mismos que deberán ser evaluados y certificados en el momento oportuno, con el propósito de que todos los eventos siguientes (etapas del proceso de fabricación), se efectúen una vez que todos los procesos y procedimientos anteriores se hayan culminado de conformidad con los Códigos y especificaciones que apliquen para cada caso en particular.

Las especificaciones y los Códigos constituyen en si mismos una guía que comprende varios aspectos sobre como organizar el Control de Calidad de la construcción; previendo, detectando y corrigiendo los problemas que podrían presentarse en el transcurso del armado.

Empezando por el material base, mismo que debe satisfacer ciertos requisitos que deberán de controlarse. Al elegir un material específico de acuerdo con la función que va a desarrollar el recipiente, este deberá reunir la composición química y las características físicas apropiadas para tal servicio.

La importancia de controlar estos datos radica en que el diseño se fundamenta en ellos para determinar la corrosión , espesores, presión y temperatura de trabajo, vida media estimada y la determinación del procedimiento de soldadura correspondiente.

Una de las condiciones mas importantes que se deberá de cumplir es con la uniformidad y homogeneidad de las caracteristicas del material que se recibe. Pues si parte de estos materiales fueran de mejor calidad que la especificada (mejor resistencia, mejor composición química, etc.) esto representaría para el fabricante una desventaja, quién deberá modificar sus procedimientos y enfrentarse a problemas no previstos, que le implicara realizar gastos adicionales.

Por otra parte, los coeficientes de seguridad son previstos tomando en cuenta cierto numero y tamaño de defectos normales (ningún material es perfecto). Por lo que deberá controlarse que no existan defectos mayores a estos, para cumplir con las consideraciones aplicadas en el diseño.

Los procedimientos de soldadura deberán reunir un mínimo de caracteristicas, una de las mas importantes a tomar en consideración es la calificación del procedimiento y la calificación de los soldadores, en virtud de que el mejor procedimiento no sirve si este es aplicado por personas sin habilidad. Debiéndose cuidar que se realicen soldaduras sanas durante la aplicación del procedimiento seleccionado.

Durante la construcción los Códigos prevén la realización de inspecciones con el fin de detectar los problemas desde el momento en que se presenten, ya sea por causa de cambios de condiciones de operación o durante la reparación de fallas originadas durante su construcción. Debiendo exigir al fabricante el cumplimiento de todos los requisitos antes citados con el fin de reducir riesgos que pudieran llegar a generar accidentes.

Partiendo de la consideración de que el numero de defectos de un material es superior a los detectados; porque no todos se detectan, en particular los defectos metalúrgicos. Resulta conveniente la aplicación oportuna de pruebas no destructivas y destructivas, como una forma de control que deberá realizarse oportunamente durante el proceso de construcción, ya que esto equivaldría a tomar un seguro contra accidentes.

En cuanto al aspecto económico, la aplicación de un procedimiento de inspección adecuado implica un aparente incremento de costos en la fabricación de un recipiente, sin embargo los beneficios que se obtienen y cuyo valor es muy superior al incremento de su costo son:

1. Reducción del riesgo de que una falla provoque un siniestro, en el cual se puedan perder vidas humanas y/o la destrucción del equipo e instalaciones circundantes.

2. Reducción del riesgo que una falla suspenda la operación y consecuentemente ocasione perdidas económicas por no haber producción, por reparaciones, instalaciones y mano de obra ociosa.

3. Para el fabricante representa evitar la ejecución de reparaciones que le implicarían realizar dos veces el trabajo.

4. La fabricación realizada bajo un procedimiento adecuado de inspección otorgara prestigio al fabricante, lo cual redundara en un considerable incremento de sus ventas.

BIBLIOGRAFÍA

1. CURSO DE INGENIERÍA DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN
   XIII CONVENCIÓN INTERNACIONAL SOBRE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN, VERACRUZ, VER. 1990
   M. EN C. FERNANDO AGUIRRE SÁNCHEZ, DR. ING. MIGUEL TOLEDO VELÁZQUEZ

2. CÓDIGO ASME (THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
   SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 1, EDICIÓN 1992
   SECCIÓN IX, EDICIÓN 1992

3. STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN OF PROCESS EQUIPMENT
   MAAN H. JAWAD, JAMES R. FARR
   SEGUNDA EDICIÓN, 1989

4. MAS ALLÁ DE LA HERRUMBRE
   JAVIER ÁVILA, JOAN GENESCÁ
   FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, 1986

5. ENSAYE E INSPECCIÓN DE LOS MATERIALES EN INGENIERÍA
   HARMER E. DAVIS, GEORGE EARL TROXELL, CLEMENT T. WISKOCIL
   ED. CECSA, NOVENA IMPRESIÓN, 1982

6. CURSO DE METALURGIA APLICADA
   INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO
   DIVISIÓN DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES, 1986

7. I SEMINARIO DE INGENIERÍA MECÁNICA PETROLERA
   SEGUNDA MESA REDONDA DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO
   RECIPIENTES A PRESION, 1971