



Universidad Nacional Autónoma de México



F E S ARAGON

**“FUNDAMENTOS PARA LA INSPECCION DE ACCESORIOS DE
RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO”**

Tesis para obtener el Título de:

Ingeniero Mecanico Electricista

Presenta:

Javier Tesillos Martínez

San Juan de Aragón, Edo. Mex. 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicada a mis padres; por sus consejos.

Dedicada a mis hermanos.

Dedicada a mi Universidad.

Dedicada a mi país.

Agradezco a mi asesor por su colaboración
para la realización de esta tesis.

Agradezco a todos los profesores que contribuyeron en mi
formación, por que gracias a ellos logre esta meta.

Agradezco a todos los que siempre han confiado
en mi.

Gracias a mis amigos.

CONTENIDO	página
INTRODUCCIÓN.	3
1.0 CLASIFICACIÓN DE LOS RECIPIENTES Y LOS ACCESORIOS.	5
1.1 GENERALIDADES.	6
1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RECIPIENTES.	6
1.3 ACCESORIOS PARA RECIPIENTES.	7
2.0 CÓDIGOS QUE REGLAMENTAN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES Y ACCESORIOS.	24
2.1 ANTECEDENTES.	25
2.2 CÓDIGO ASME.	25
2.3 CÓDIGO ASTM.	29
2.4 CÓDIGO API-2000.	31
3.0 PRINCIPALES MATERIALES Y ESPECIFICACIONES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE ACCESORIOS PARA RECIPIENTES.	32
3.1 CONSIDERACIONES GENERALES.	33
3.2 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES.	34
3.3 SELECCIÓN DE MATERIALES.	35
3.4 ALEACIONES FERROSAS.	35
3.5 ACEROS RESISTENTES A ALTAS TEMPERATURAS.	41
3.6 ALEACIONES NO FERROSAS.	42
3.7 ALEACIONES ESPECIALES.	44
3.8 MATERIALES AMPARADOS POR EL CÓDIGO ASME.	45

4.0 INSPECCIÓN DE MATERIALES.	49
4.1 GENERALIDADES.	50
4.2 INSPECCIÓN DE LOS MATERIALES.	51
4.3 ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES.	75
5.0 PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN PARA LOS ACCESORIOS DE RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO.	76
5.1 INTRODUCCIÓN.	77
5.2 PREPARACIONES PRELIMINARES.	77
5.3 PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN Y TOLERANCIAS.	78
5.4 SOLDADURA.	80
5.5 ULTRASONIDO.	81
5.6 BRIDAS.	81
5.7 RECHAZOS.	82
5.8 PRUEBA HIDROSTÁTICA	83
5.9 TERMINADO	85
5.10 LIMPIEZA.	85
5.11 PINTURA.	85
5.12 EMBARQUE.	87
5.13 CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN.	88
CONCLUSIÓN.	89
BIBLIOGRAFÍA.	93

INTRODUCCIÓN

En recientes años, muchos surtidores petroquímicos, surtidores intermedios y productores se surten y manejan tanques de almacenamiento atmosféricos y presurizados. Estos líquidos frecuentemente son de altas presiones de vapor suficiente para soportar una concentración significativa del producto en el espacio del tanque de vapor, en almacenamiento normal de temperatura, sin embargo la presión del vapor es menor que la atmosférica así que será admitida dentro del espacio de vapor evitando un vacío parcial en el tanque y crea una presión atmosférica total. 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.

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 accesorios para recipientes de almacenamiento, 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 de 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 sobretodo 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 simple de la clasificación de los principales tipos de recipientes y accesorios que son utilizados en la industria. Explicando sus condiciones y forma de operación.

El capítulo 2 comprende una breve reseña histórica, del origen y surgimiento de los códigos que reglamentan actualmente el diseño y construcción de recipientes y accesorios, específicamente del código ASME para calderas y recipientes a presión, sección VIII; Y el código API.

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 accesorios para recipientes de almacenamiento. A sí 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 de reunir los materiales utilizados en la fabricación de recipientes a presión.

Por último, en el capítulo 5 se establecen algunos criterios elementales que deben ser tomados en cuenta para efectuar la inspección de los accesorios para recipientes de almacenamiento. Estos comprenden desde la revisión de los principales parámetros de diseño del equipo, verificación de materiales, inspección durante la manufactura, visual, rechazos, prueba hidrostática, acabado, pintura etc., hasta el embarque del equipo.

CAPÍTULO 1

CLASIFICACIÓN DE LOS RECIPIENTES Y LOS ACCESORIOS.

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 podemos deducir que los accesorios para recipientes de almacenamiento son muy variados, tomando en cuenta que los recipientes tienen múltiples aplicaciones y que intervienen en toda clase de plantas industriales, independientemente de su capacidad de producción y/o proceso, los accesorios se hacen muy extensos.

Así por ejemplo: los recipientes para almacenar agua, productos alimenticios, o los recipientes para almacenar productos corrosivos, los recipientes sometidos a alta presión, los sometidos a baja presión o los atmosféricos etc.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RECIPIENTES.

Los recipientes pueden ser clasificados según el servicio que presten, de acuerdo a su presión y temperatura de operación o al tipo de material con que se construyen, incluso a su geometría o forma de instalación. De acuerdo a la presión de operación podemos clasificarlos en: Recipientes a presión y recipientes atmosféricos. Los recipientes que operan a una presión mayor o menor que la atmosférica se les denomina recipientes a presión, por ende deben de ser cerrados.

Los recipientes que operan a presión atmosférica se les denomina recipientes atmosféricos, y estos pueden ser cerrados o abiertos, dependiendo del tipo de fluido que se vaya a almacenar, por ejemplo para el almacenamiento de ácidos, fluidos tóxicos y gases, es necesario usar recipientes cerrados. Los recipientes abiertos se usan generalmente como tanques mezcladores, tanques de reposo, tanques de balance, etc.

1.3 ACCESORIOS PARA RECIPIENTES.

Entre los accesorios de medición y control mas importantes para un tanque de almacenamiento se encuentran:

1.3.1 La Válvula de Venteo.- Sirve para regular el aire que entra al tanque y el vapor que sale de él; La presión y el vacío que se generan según la calibración de apertura, se reducen por medio de discos de presión y vacío. Estos discos funcionan desplazándose en forma vertical y su peso específico determina la calibración. La válvula permanece cerrada cuando no hay movimientos de carga o descarga en el tanque.

El objetivo de las válvulas de venteo, es proporcionar la respiración a tanques de almacenamiento atmosféricos o Semi-presurizados. Tanto en presión, así como en vacío. La operación cotidiana de los tanques de almacenamiento, obligan a tener dispositivos de regulación de el venteo, pues en ausencia de ellos, permanentemente emitirían a la atmósfera vapores de producto, que además de perder dinero en evaporaciones, contaminan la atmósfera y representan un riesgo permanente de incendio. Así como también pueden ocasionar daños estructurales a los tanques de almacenamiento.

La Válvula de Venteo (fig. 1.3) mantiene cerrado el tanque, alivia la presión y el vacío cuando: Hay carga de producto o evaporación por radiación solar, este emite vapores y/o gases que se deben expulsar para evitar sobre presión. Hay descarga de producto o condensación por baja de temperatura del medio ambiente. Y

resulta que se debe compensar ese vacío existente, con aire de el medio ambiente. El diseño, la fabricación y las características de las válvulas se basan en los lineamientos emitidos por el American Petroleum Institute, en su sección 2000, Venteos estándar.

La protección típica a un tanque de almacenamiento es la combinación de esta válvula de venteo montada sobre un Arrestador de flama, a este conjunto se le llama Equipo de Venteo. En algunos casos, cuando el producto almacenado en el tanque no es flamable, no se requiere el Arrestador de flama. La calibración estándar es de 1" Columna de agua, tanto en presión, así como en vacío. Sin embargo puede subir hasta 15" H₂O

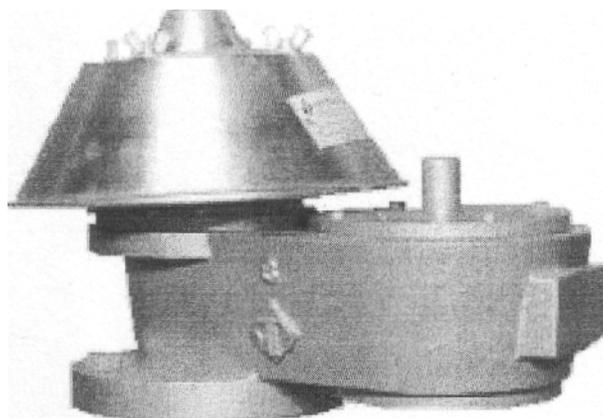
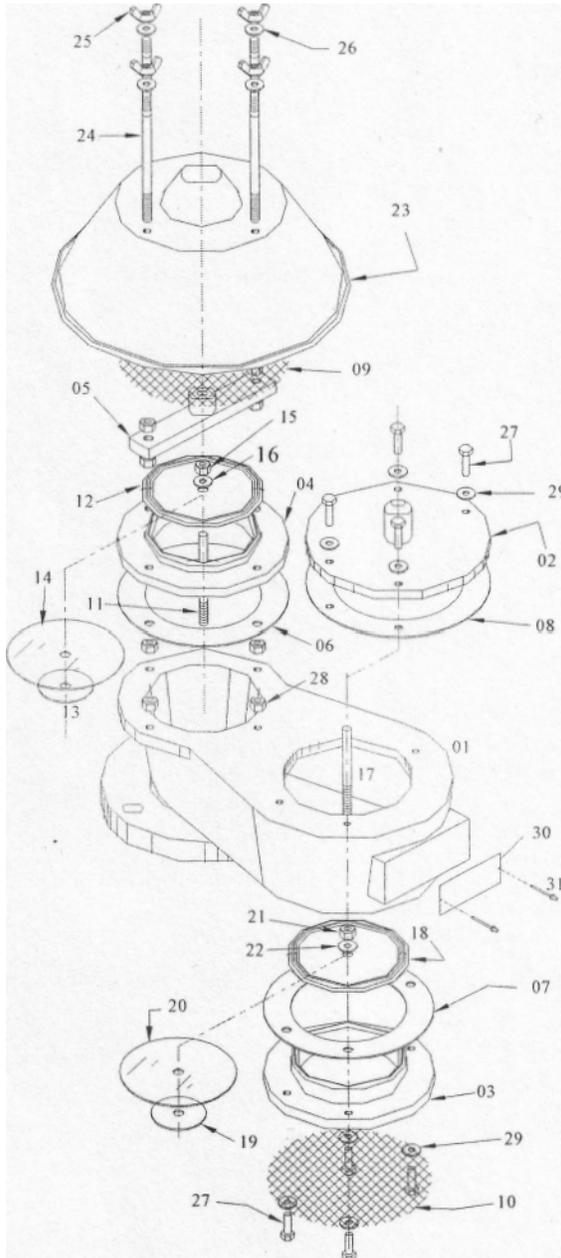


Fig. 1.3.1 Válvula de Venteo.



VÁLVULA DE VENTEO

- 01 CUERPO DE VÁLVULA
- _02 TAPA GUIA DE VACÍO
- 03 ARILLO PARA VACIO
- 04 ARILLO PARA PRESIÓN
- 05 GÍA DE PRESIÓN
- 06 EMPAQUE PARA ARILLO DE PRESIÓN
- 07 EMPAQUE PARA ARILLO DE VACÍO
- 08 EMPAQUE TAPA DE VACÍO
- 09 MALLA DE PRESIÓN
- 10 MALLA DE VACÍO
- 11 PERNO GUÍA DE PRESIÓN
- 12 PLATO DE PRESIÓN
- 13 SOPORTE PARA PLATO DE, PRESIÓN
- 14 DIAFRAGMA DE PRESIÓN
- 15 TUERCA HEXAGONAL P/ PLATO DE
- 16 RONDANA PARA PLATO DE PRESIÓN
- 17 PERNO GUIA DE VACÍO
- 18 PLATO DE VACÍO
- 19 SOPORTE PARA PLATO DE VACÍO
- 20 DIAFRAGMA DE VACÍO
- 21 TUERCA HEXAGONAL
- 22 RONDANA PARA PLATO DE VACÍO
- 23 CAMPANA PROTECTORA
- 24 PERNO SOPORTE PARA CAMPANA
- 25 TUERCA MARIPOSA
- 26 RONDANA PLANA PARA CAMPANA
- 27 TORNILLO CABEZA HEXAGONAL
- 28 TUERCA HEXAGONAL DF SOPORTES
- 29 RONDANA PARA ARILLO Y TAPA DE
- 30 PLACA DE IDENTIFICACIÓN
- 31 REMACHE

1.3.1.1 La Válvula de Venteo con Presión Dirigida (fig. 1.2).- Estas se utilizan donde se requiere un alivio de presión y vacío, además de una conducción de vapores a través de tuberías en lugar de que estos salgan a la atmósfera. Este tipo de válvulas funcionan y están constituidas de la misma manera que la anterior.

Cuando se requiere que se emita el vapor a un sitio específico, y no se envíe a la atmósfera, se ofrece esta válvula, que tiene una cámara en la descarga, en vez de campana, con conexión bridada (1" mayor a la conexión de proceso).

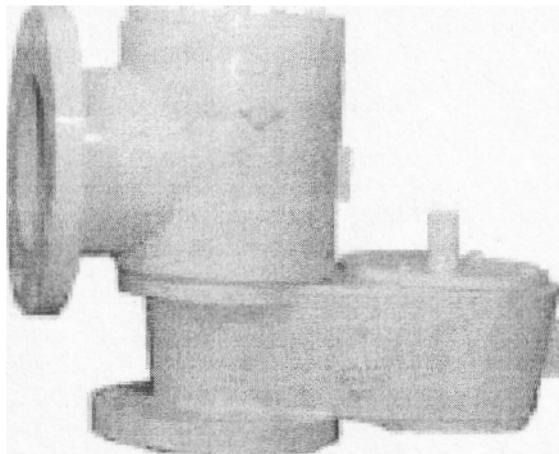
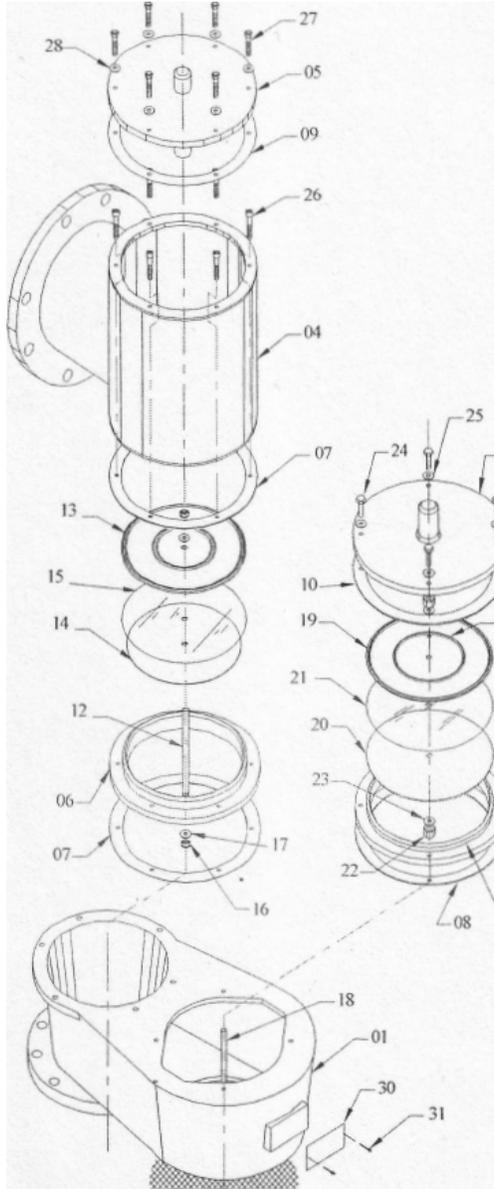


Fig. 1.3.1.1 Válvula de Venteo con Presión Dirigida.



VÁLVULA DE VENDEO CON PRESIÓN DIRIGIDA

- 01 CUERPO DE VÁLVULA
- 02 TAPA GUÍA DE VACÍO
- 03 ARILLO PARA VACÍO
- 04 CPO. DE CÁMARA DE PRESIÓN DIRIGIDA
- 05 TAPA DE PRESION DIRIGIDA
- 06 ARILLO PARA PRESIÓN
- 07 EMPAQUE PARA ARILLO DE PRESIÓN
- 08 EMPAQUE PARA ,ARILLO DE VACÍO
- 09 EMPAQUE PARA TAPA DE PRESIÓN
- 10 EMPAQUE PARA TAPA DE VACÍO
- 11 MALLA DE VACÍO
- 12 PERNO GULA DE PRESIÓN
- 13 PLATO PARA PRESIÓN
- 14 SOPORTE PARA PLATO DE PRESIÓN
- 15 DIAFRAGMA PARA PLATO DE PRESIÓN
- 16 TCA. HEXAGONAL PARA PLATO DE PRESIÓN
- 17 RONDANA PARA PLATO DF. PRESIÓN
- 18 PERNO GUÍA DE VACÍO
- 19 PLATO PARA VACÍO
- 20 SOPORTE PARA PLATO DE VACÍO
- 21 DIAFRAGMA PARA PLATO DE VACÍO
- 22 TCA. HEXAGONAL PARA PLATO DE VACÍO
- 23 RONDANA PARA PLATO DE VACÍO
- 24 TORNILLO CABEZA HEXAGONAL
- 25 RONDANA PARA TAPA DE ARILLO DE VACIO
- 26 TORNILLO ALLEN
- 27 TORNILLO CABEZA HEXAGONAL
- 28 RONDANA PARA TAPA DEPRESIÓN
- 29 CONTRAPESO
- 30 PLACA DE IDENTIFICACIÓN
- 31 REMACHE

1.3.2 Arrestador de Flama.- Proporciona control absoluto de las llamaradas que se presenten al ocurrir un incendio en el extintor del tanque, evita que el incendio se propague hacia el interior del tanque consecuentemente anula la posibilidad de una explosión que resulte en una multiplicación de los perjuicios fatales, para la planta y sus alrededores.

Detiene la propagación de la flama al disipar el calor y disminuir el oxígeno. Este efecto lo produce el panel del arrestador gracias a su construcción formada por una gran cantidad de venas dispuestas en posición paralela al flujo de los vapores. Los Arrestadores de flama se componen de 3 partes

- En los extremos pueden verse las Copas, estas proporcionan la sujeción al tanque y la válvula (o a las tuberías en el caso de sujeción) por medio de bridas norma ANSI para la conexión del equipo. Y proporcionan el sustento central: "el Banco Arrestador".

- En el centro esta el: "Banco Arrestador", mismo que es la unidad de extinción, se compone de la alternación de lámina corrugada y lisa, que forma un sin número de tubos capilares, donde sí permiten el paso de los gases y el aire, pero no de una posible flama.

La extinción se origina por dos efectos: tanto la atenuación de la temperatura, así como la poca existencia de oxígeno requerido para la combustión. Esta configuración de lámina, aunada a la geometría

de su construcción, tipo rombo; evita generar una caída de presión, esta es de tan solo 1" columna de agua. Cabe comentar que el área de extinción es 2 veces mayor al área de conexión.

Los materiales de construcción para las copas son de Aluminio 356, Acero al Carbón (WCB) y Aceros inoxidables (316). En el interior (Banco Arrestador) se dispone de aluminio 356 y aceros inoxidables.

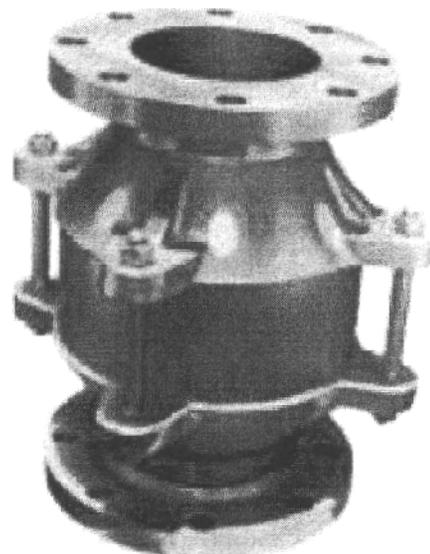
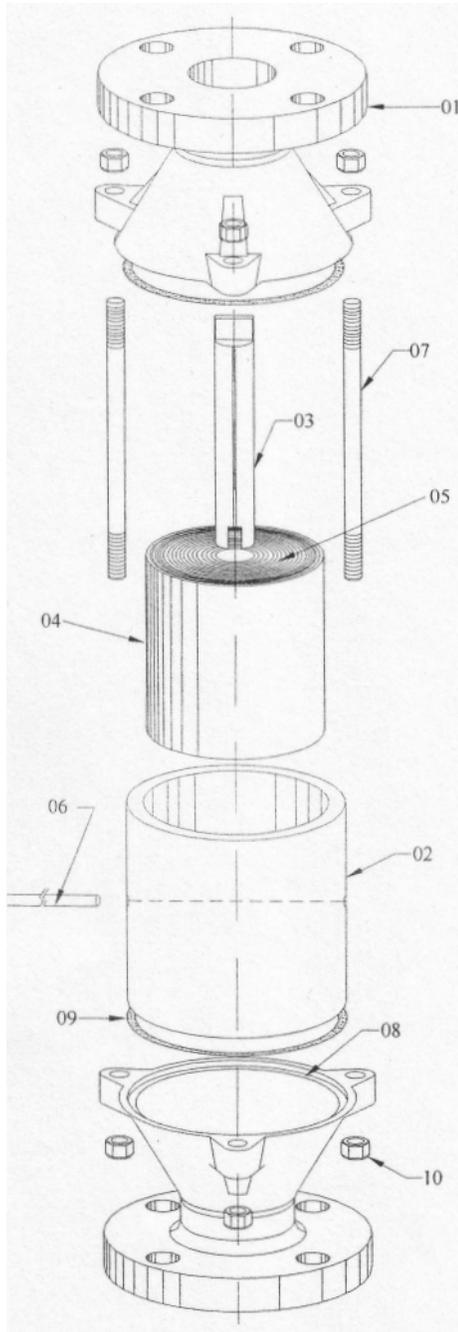


Fig. 1.3.2 Arrestador de Flama.



ARRESTADOR DE FLAMA	
01	COPA PARA ARRESTADOR
02	VASO PARA ARRESTADOS
03	CORAZÓN
04	LÁMINA LISA
05	LÁMINA CORRUGADA
06	PERNO
07	BIRLOS
08	SELLADOR
09	EMPAQUE
10	TUERCA HEXAGONAL

1.3.2.1 Arrestador de Detonación.- Este tipo de arrestador se especializa en las aplicaciones donde se centraliza el desfogue de una o varias fuentes de emisión de mezclas explosivas, a un solo desfogue o tratamiento central por medio de tuberías. Al centralizar estas mezclas en líneas cerradas crean un medio que en caso de incendiarse produce un frente de flama, que rápidamente se desplaza aumentando su presión. Esta fuerza incontrolable puede llegar a una detonación, implicando el desastre potencial a la planta.

Esta problemática se define como una explosión, donde la velocidad de la flama puede llegar a la velocidad del sonido; implicando, una súbita elevación de la presión. El arrestador de detonación debe convertirse en un punto que detenga el paso de flama cancelando la velocidad, temperatura del gas en combustión y la presión que esto genera.

Se encarga de inhibir la propagación de las llamas en sistema de tuberías de gas, tales como quemadores a cielo abierto o inyección de gas a plantas recuperadoras de vapores.

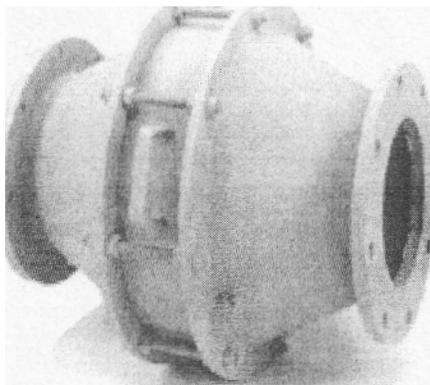
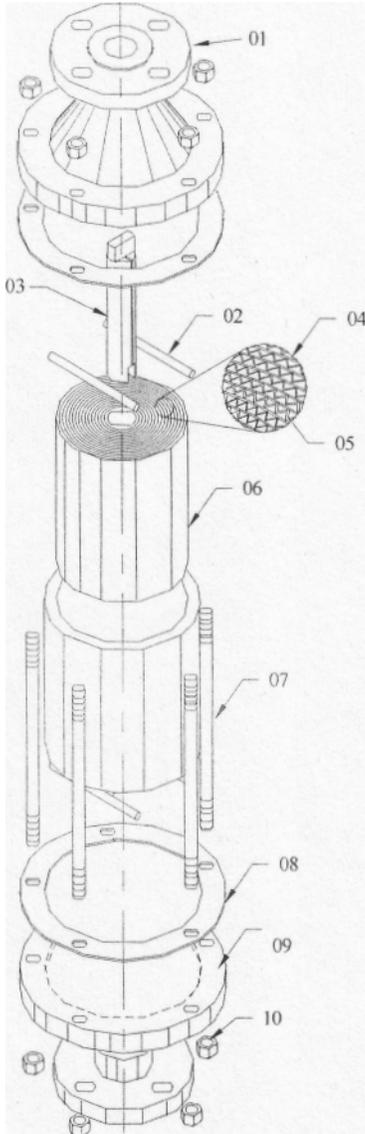


Fig. 1.3.2.1 Arrestador de Detonación.



ARRESTADOR DE DETONACIÓN

- 01 COPA PARA ARRESTADOR
- 02 SOPORTE
- 03 CORAZÓN
- 04 LÁMINA LISA
- 05 LÁMINA CORRUGADA
- 06 VASO PARA ARRESTADOR
- 07 BIRLOS
- 08 EMPAQUE
- 09 SELLADOR
- 10 TUERCA HEXAGONAL

1.3.3 Ventila de Emergencia.- En caso de incendio fuera de un tanque de almacenamiento, este equipo actúa como una válvula de seguridad aliviando el exceso de presión dentro del tanque y anula la posibilidad de explosión.

Funciona cuando se presenta un incendio en la parte interior o exterior del tanque. El fuego provoca una salida precipitada de vapores que normalmente llevaría a una explosión en el depósito, pero esto se evita gracias a que la ventila reduce la presión de los vapores a un nivel que se ha calculado con antelación.

Debido al gran riesgo que implica el almacenamiento de líquidos combustibles, se han implantado nuevas normas de seguridad que incluyen dispositivos para proteger la inversión, la vida y el medio ambiente.

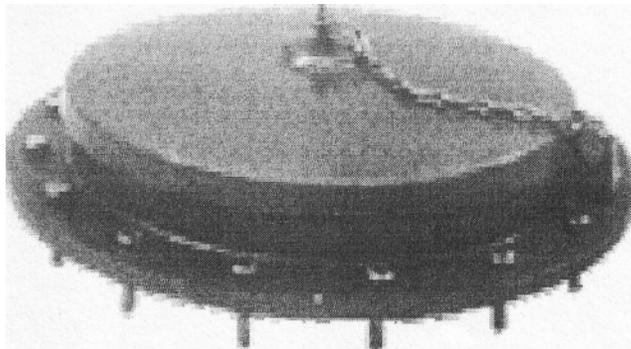
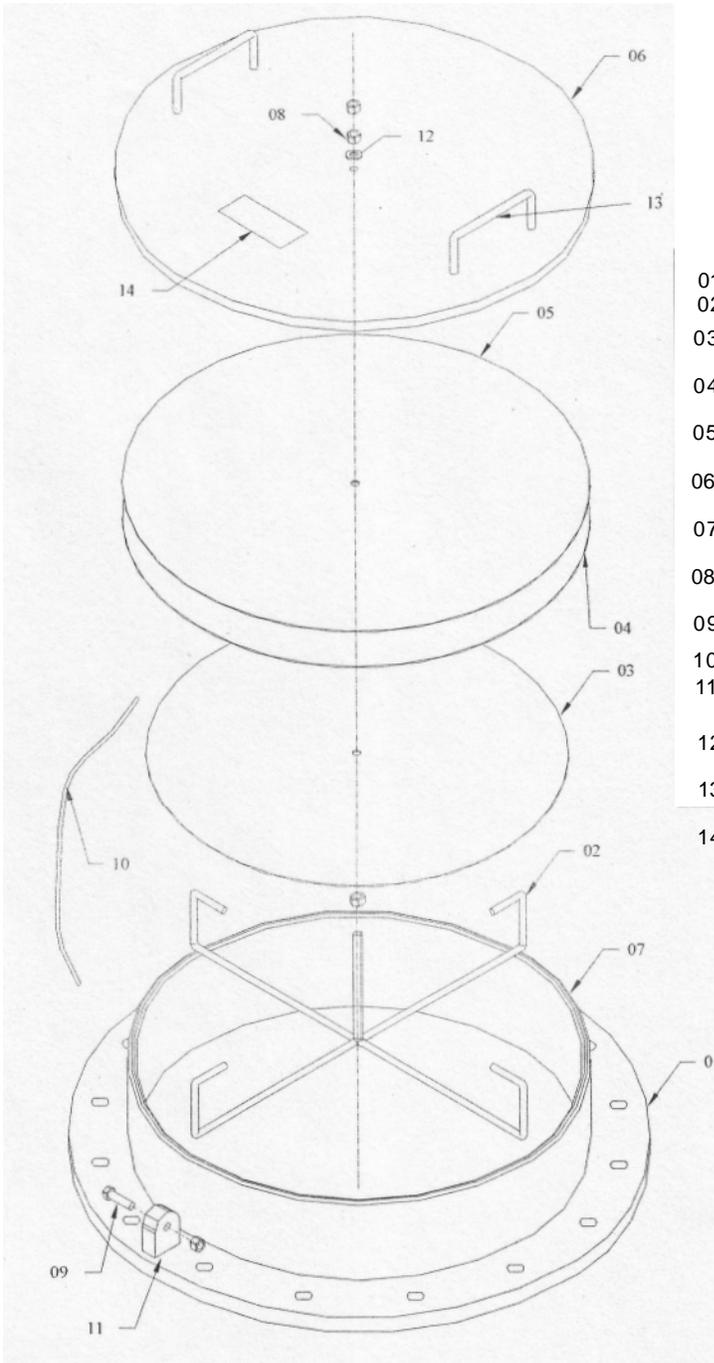


Fig. 1.3.3 Ventila de Emergencia.



- VENTILA DE EMERGENCIA
- 01 CUERPO DE VENTILA
- 02 SOPORTE (ARAÑA)
- 03 SOPORTE DE ACERO INOXIDABLE
- 04 DIAFRAGMA DE TEFLÓN
- 05 DIAFRAGMA DE NEOPRENO
- 06 TAPA DE VENTILA
- 07 CUERPO DEL CUELLO DE VENTILA
- 08 TUERCA HEXAGONAL
- 09 TORNILLO HEXAGONAL
- 10 CABLE DE ACERO INOXIDABLE
- 11 OREJA
- 12 RONDANA
- 13 AGARRADERA
- 14 PLACA DE IDENTIFICACIÓN

1.3.4 Cámara de Espuma.- Las cámaras de espuma están diseñadas para formar e inyectar espuma de baja expansión, directamente sobre la superficie líquida del interior del tanque de almacenamiento; y así, poder formar una capa capaz de extinguir el incendio por eliminación de oxígeno. Están fabricadas de acuerdo a normas dictadas por petróleos mexicanos (norma GPASI-SI-3600) y el Standard 11 de la National Fire Protection Association. (NFPA) Su construcción minimiza el rompimiento de la espuma e incrementa la eficacia en la formación de la capa de aislamiento entre líquido, combustible y oxígeno.

El deflector es auxiliar para obtener una inyección adecuada de espuma, mejorando las propiedades de extinción de esta. Este principio de operación representa el método más confiable de control y extinción de incendios, con cientos de aplicaciones exitosas. Generalmente se instalan en los laterales de tanques verticales de almacenamiento (techo fijo y flotante) atmosférico, arriba del nivel máximo del líquido. Conectada directamente a la línea de suministro de mezcla agua espuma., siendo el eslabón final del sistema de extinción por espuma.

Estas cámaras operan a través de introducir aire a la corriente de mezcla agua líquido concentrado. En conjunto con un apropiado generador de espuma, pueden

operar desde 30 PSI (2.1 bar) hasta 150 PSI (10 bar).
Forma de operación: al entrar el torrente de agua concentrado de espuma debidamente mezclado, baja su velocidad y toma el aire necesario para expandirse en forma de espuma. Cuenta con un sello de vapores que actúa como barrera para evitar escape de vapores a la atmósfera y al mismo tiempo, se localiza estratégicamente dentro de la cámara para evitar derrames en caso de llenado excesivo. La espuma choca contra el deflector el cual la escurre directamente a la pared del tanque, dispersando una capa que eficientemente va creando una cobertura de extinción.

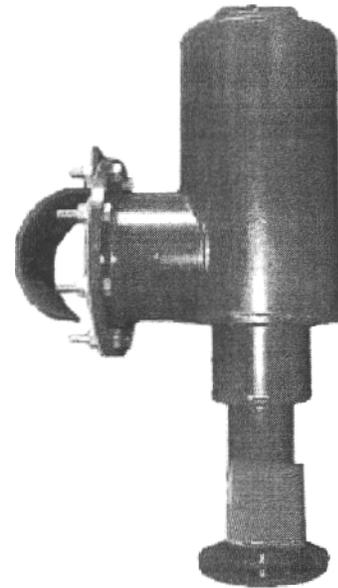
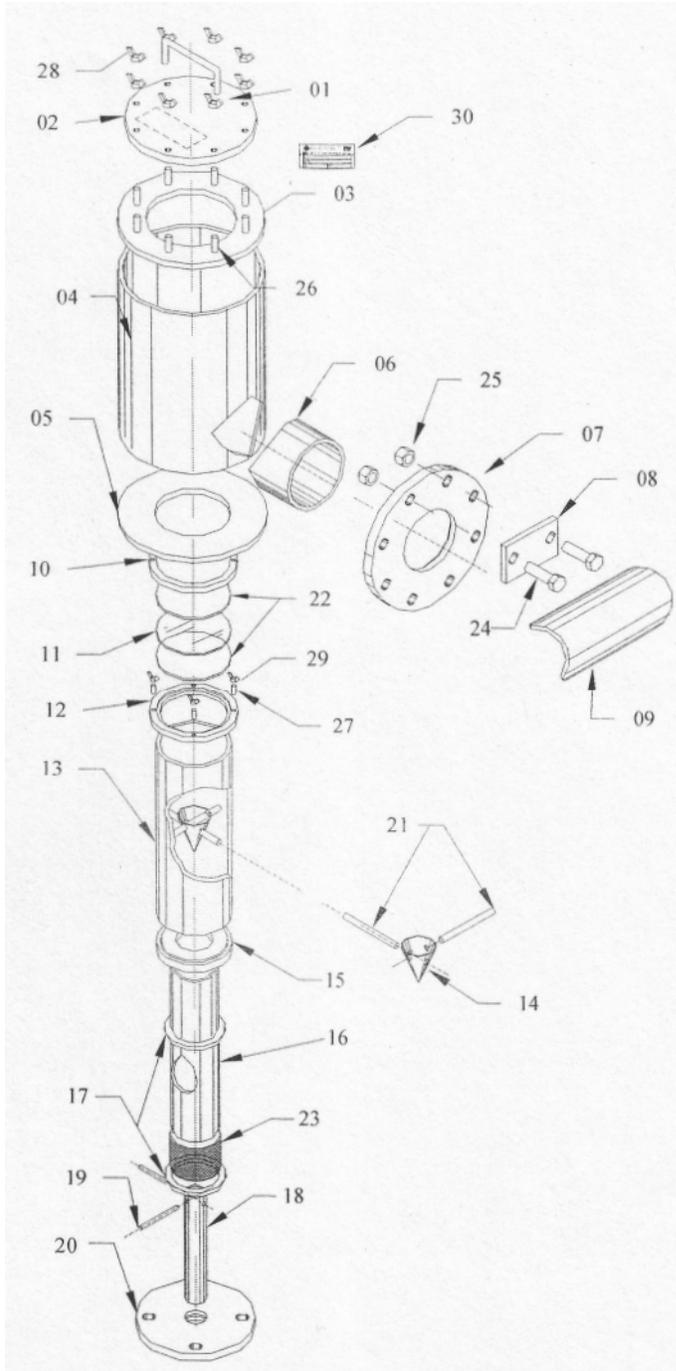


Fig. 1.3.4 Cámara de espuma.

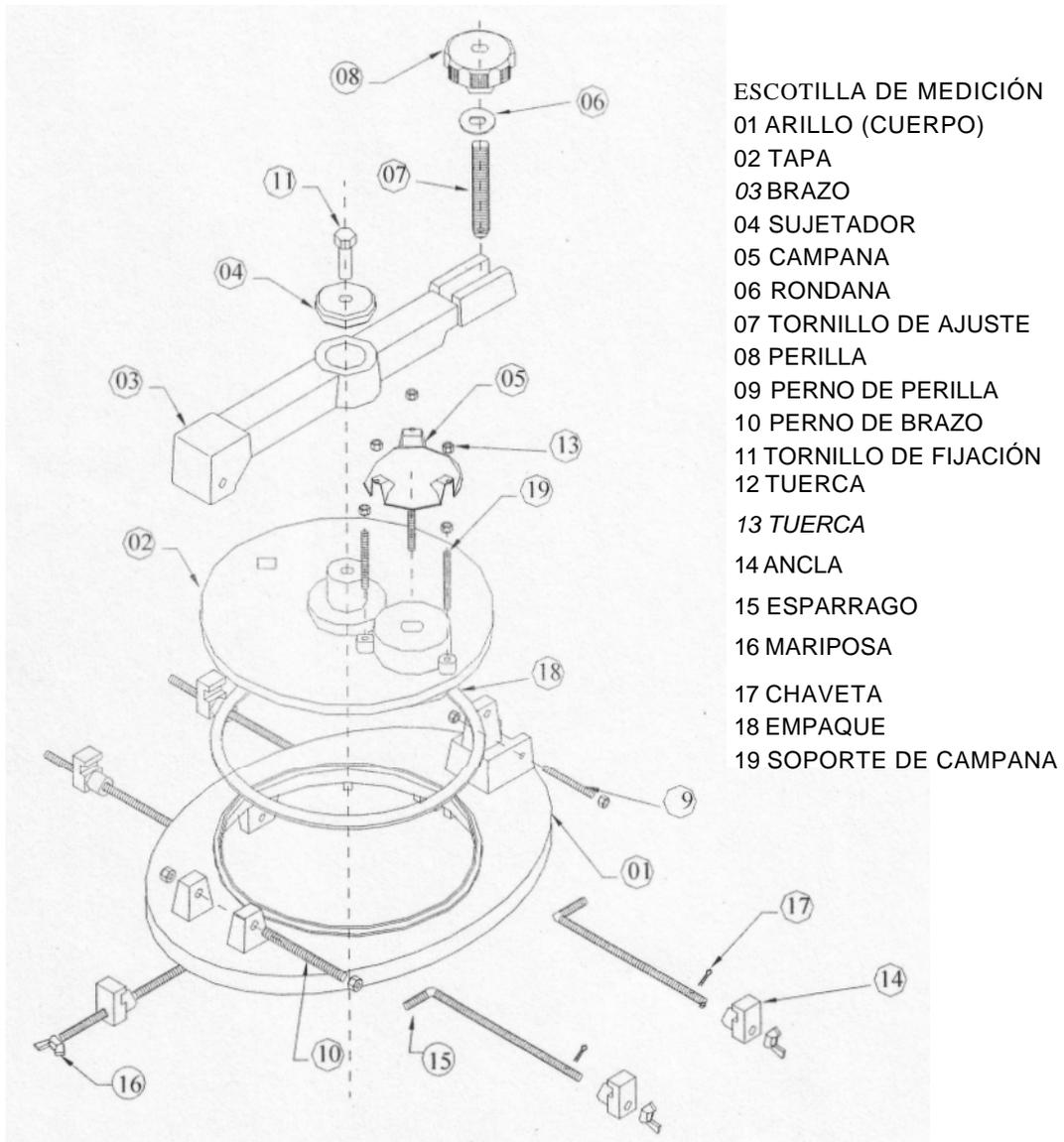


CÁMARA DE ESPUMA

- 01 ASA
- 02 TAPA
- 03 ARILLO SUPERIOR DEL CUELLO
- 05 ARILLO INTERIOR DEL CUELLO
- 06 CUELLO
- 07 BRIDA DE CUELLO
- 08 SOPORTE DEFLECTOR
- 09 DEFLECTOR
- 10 TAPA DE SELLO
- 11 CRISTAL
- 12 BASE DEL SELLO
- 13 CUERPO DE VENTURY
- 14 VENTURY
- 15 TAPA INTERIOR DE VENTURY
- 16 CUERPO DE PIERNA
- 17 SOPORTES DE MALLA
- 18 TUBO REDUCTOR
- 19 PERNOS MEZCLADORES
- 20 BRIDA DE ENTRADA
- 21 SOPORTES DE VENTURY
- 22 EMPAQUES
- 23 MALLA
- 24 TORNILLO HEXAGONAL
- 25 TUERCA HEXAGONAL
- 26 ESPÁRRAGO 0 3/8"
- 27 ESPÁRRAGO 0 1/4"
- 28 TUERCA MARIPOSA 3/8"
- 29 TUERCA MARIPOSA 1/4"
- 30 PLACA DE IDENTIFICACIÓN

1.3.5 Escotilla de medición Fig.1.7.- La escotilla de medición permite el acceso inmediato al interior del tanque y así evitamos el desmontaje de otros equipos o conexiones fijas que pudieran estar en operación.

La parte inferior proporciona la conexión al tanque y la parte superior tiene un pedal para operarlo con el pie.



1.3.6 Registro pasa Hombre.- Al igual que las escotillas de medición, están diseñadas para proveer un rápido y fácil acceso al interior del tanque de almacenamiento, con lo que se evita el tener que desmontar otros equipos o conexiones fijas en operación.

El registro de pasa hombre, está ideado para un acceso inmediato al interior del tanque. Con una simple liberación de la mariposa, se abre la tapa completamente, para un acceso para reparación o mantenimientos.

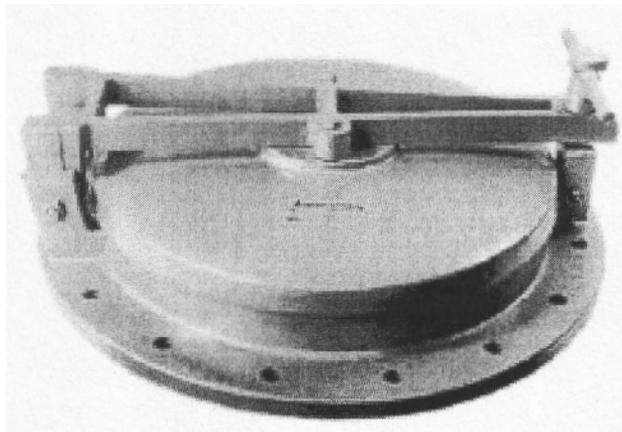
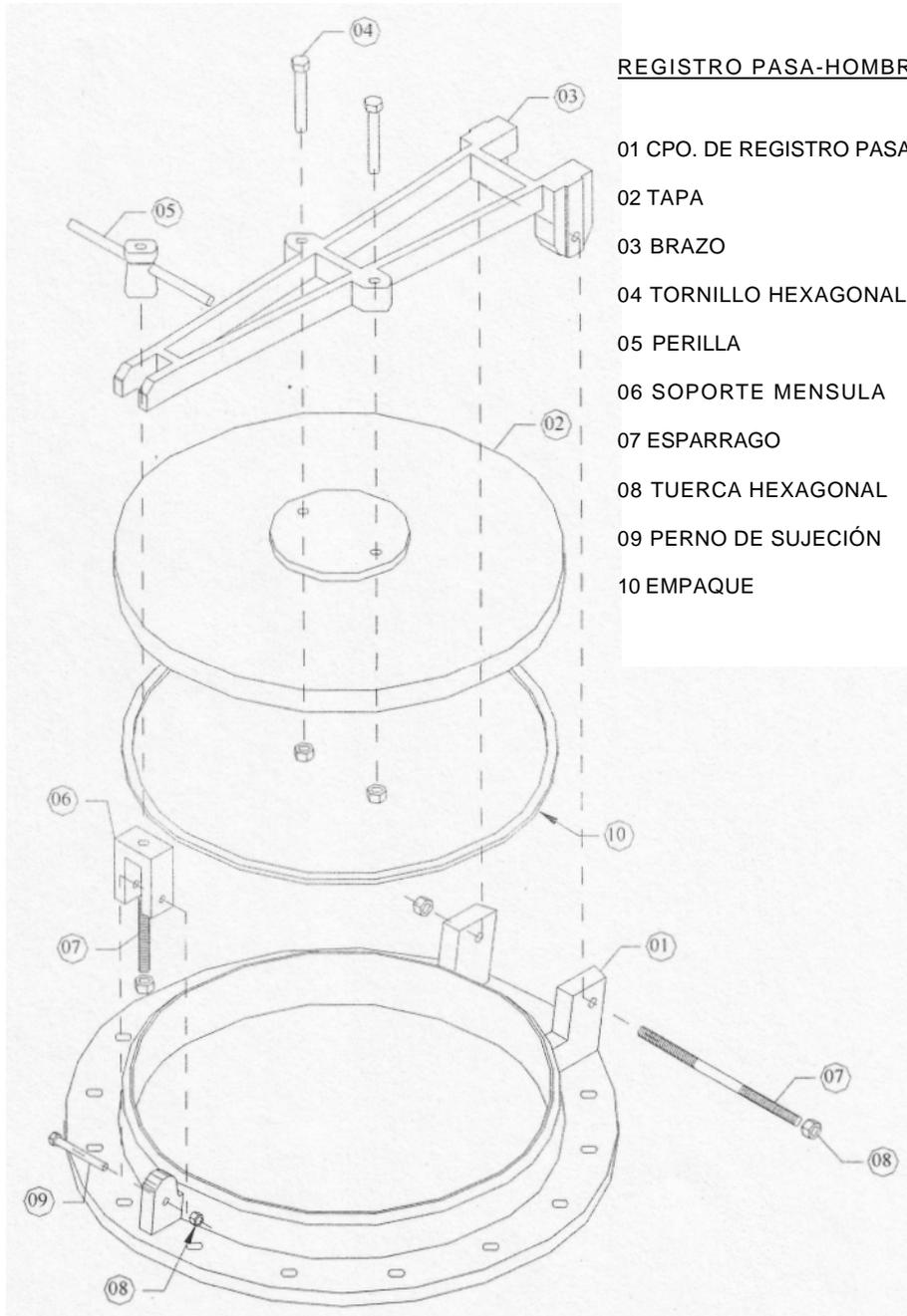


Fig. 1.3.6 Registro Pasa-Hombre.



REGISTRO PASA-HOMBRE

- 01 CPO. DE REGISTRO PASA-HOMBRES
- 02 TAPA
- 03 BRAZO
- 04 TORNILLO HEXAGONAL
- 05 PERILLA
- 06 SOPORTE MENSULA
- 07 ESPARRAGO
- 08 TUERCA HEXAGONAL
- 09 PERNO DE SUJECIÓN
- 10 EMPAQUE

1.3.7 Indicador de nivel tipo regleta.- Nos sirve para conocer el nivel de un producto dentro de un tanque de almacenamiento Fig. 1.9.1. Este accesorio tiene como fin demostrar de manera continua el nivel del líquido dentro del depósito.

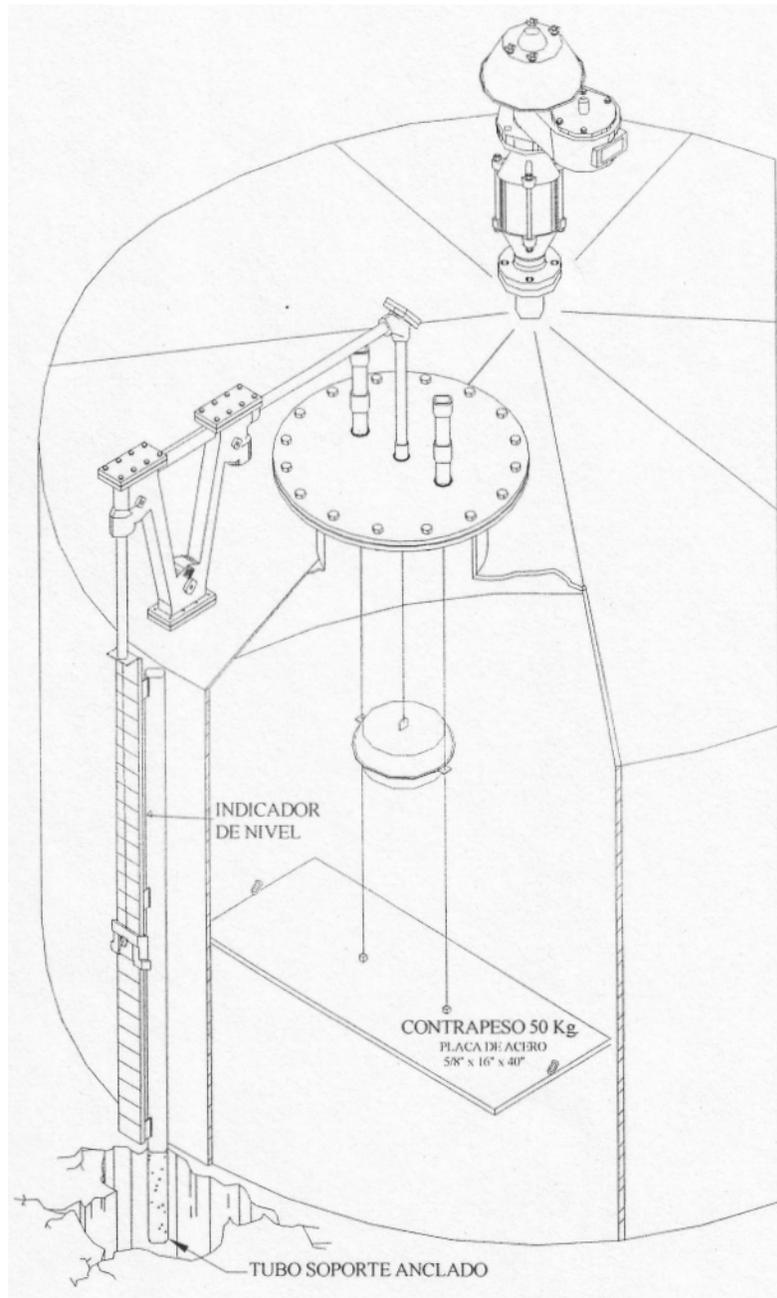


Fig. 1.3.7 Indicador de Nivel Tipo Regleta.

CAPÍTULO 2
CÓDIGOS QUE REGLAMENTAN EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES Y ACCESORIOS.

2.1 ANTECEDENTES.

Todos los diseños, fabricación, pruebas e inspección de accesorios para recipientes de almacenamiento 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, 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 ASTM (American Society Testing of Materials) El Código API (American Petroleum Institute)

2.2 CÓDIGO ASME.

A continuación y de forma breve se describirá 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 origino 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 exploto 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 logro 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 1889 en los Estados Unidos las personas dedicadas a la fabricación de calderas formaron una asociación, la misma que nombro un comité que se encargara de preparar las especificaciones para la fabricación de las calderas. El comité presento a la asociación un informe que cubría 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.

Sin embargo estos intentos por evitar las explosiones de calderas, no fueron suficientes; a principios del siglo pasado, 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 formulara 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 presento un informe preliminar en 1913y envió 2000 copias de el 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, 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 3 años de innumerables reuniones y audiencias públicas, fue adoptado en 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 mantener 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 está dividido en muchas secciones, cada sección cubre 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 1 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 - estructuras soporte del núcleo.

Sección III - División 2.

Código para vasijas del reactor.

Sección IV Calderas para calefacción.

Sección V Ensayos no destructivos.

Sección VI Reglas recomendadas para el cuidado y operación de las calderas

de 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, formulas 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 planeado.

2.3 CÓDIGO ASTM.

La revolución industrial abrió un nuevo capítulo en la historia de especificaciones de materiales. Los constructores de Locomotoras, los productores de acero ferroviario, y constructores de maquinas de vapor que usaron los nuevos materiales como acero de Bessemer ya no podrían confiar en las experiencias de destreza del pasado de los siglos.

Los nuevos materiales y técnicas inventadas durante este periodo requirieron la nueva especialización técnica. Es más, los fabricantes encontraron los numerosos problemas de calidad en los productos de acero porque los proveedores utilizaron materiales de menor calidad. Las barras americanas eran hechas tan pobremente. De hecho, las compañías ferrocarrileras prefirieron importaciones británicas que eran más caras pero fiables.

Para evitar tales problemas, algunos fabricantes emitieron descripciones detalladas de material para asegurar que sus suministros contaran con ciertas normas de calidad. Por ejemplo, cuando un arsenal federal pidió fundición de acero para fabricar armas, el contrato incluyó varias páginas de especificaciones que detallaban la composición química y las características físicas.

El gobierno federal también les pidió a los fabricantes de acero que tomaran una muestra de cada lote de acero y que se sujetaran a unas pruebas simples que determinan su fuerza de tensión y elasticidad. El progreso era lento. Los Proveedores de muchas industrias como la construcción y metalurgia objetaban a las especificaciones normales del material y los procedimientos.

Ellos tenían miedo a que los mandos estrictos de calidad harían que sus clientes rechazaran más artículos. Incluso en hierro y acero dónde las especificaciones de calidad y normas tuvieron un mayor avance con respecto a otras industrias, las características técnicas de materiales creaban polémica.

Charles Dudley de la Universidad de Yale en 1874, es quién después se volvió la fuerte tendencia detrás de ASTM. Dudley organizó la nueva sección de la química del ferrocarril dónde él investigó las propiedades técnicas de aceite, pintura, acero, y otros materiales para el Ferrocarril de Pennsylvania que compraba en grandes cantidades.

Basado en su investigación, Dudley emitió las especificaciones normales de materiales para los proveedores de la compañía. De ahí surgió el ASTM.

2.4 CÓDIGO API-2000.

Este estándar cubre los requisitos de venteo normal y de emergencia para los tanques de almacenamiento de petróleo líquido y tanques de almacenamiento refrigerados sobre y bajo tierra diseñados para operar a presiones de vacío de 15 PSIG.

En este estándar se discuten las causas de sobre presión o vacío, determinación de los requisitos de venteo; los medios de venteo; la selección, instalación, y mantenimiento de los dispositivos de venteo, probando y marcando los dispositivos de alivio.

Este estándar se ha desarrollado con la experiencia acumulada de ingenieros calificados en la industria del proceso del petróleo e industrias relacionadas. Los requisitos de venteo en este estándar se basan en estudios usando hexano.

Este estándar esta pensado para los productos derivados del petróleo, pero puede aplicarse a otros materiales; sin embargo, debe analizarse. El estudio de un tanque en particular pueden indicar que la capacidad de venteo apropiada para el tanque no es la capacidad de venteo estimada de acuerdo con este estándar.

CAPITULO 3

PRINCIPALES MATERIALES Y ESPECIFICACIONES

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES.

Son muchos los factores que contribuyen en la selección del tipo de accesorios para recipientes de almacenamiento, 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, peso del material, el lugar de fabricación, transporte al sitio, la posición de instalación del accesorio en sitio.

El criterio para la selección de los materiales aplicables en la industria , esta en función de las condiciones de operación, estas condiciones son fundamentalmente aquellas que están determinadas por ambientes corrosivos, por altas presiones y temperaturas de operación, estos factores son esenciales en cuanto a los aspectos del diseño y vida útil del equipo.

Con el incremento del uso de recipientes a presión especiales en la petroquímica y en otras industrias, la disponibilidad de materiales adecuados que sean ligeros, apropiados y de buena calidad es el mayor reto. La mayor parte de los materiales usados en la fabricación de accesorios para recipientes es el acero al carbón.

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 ingeniero de diseño debe de tener estrecha comunicación con el ingeniero de proceso, en este orden todos los materiales empleados deberán contribuir para asegurar completamente la integridad del accesorio.

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

3.2 ESPECIFICACIONES 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 permisibles 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 código de proceso en particular son limitados.

Los materiales usados para el diseño y fabricación de accesorios para recipientes de almacenamiento, también están regidos 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 el área de materiales y electrodos respectivamente.

Normalmente el código que reglamenta el diseño de recipientes a presión también reglamenta los materiales a usar en el diseño y fabricación de accesorios para los mismos, 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 de la ASTM y le antepone la "S" a la especificación del material,

Ejemplo:

Nominación ASTMA-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.

La mayoría de accesorios son construidos de aleaciones ferrosas. Se consideran aleaciones ferrosas: aceros al carbón, aceros inoxidable, hierro fundido, hierro forjado. Los materiales como el aluminio, cobre, níquel, titanio y zirconio se consideran como aleaciones no ferrosas.

La ASTM designa 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, utiliza los prefijos SA y SB respectivamente. De tal forma que e la mayoría de los casos las especificaciones de la ASME y la ASTM son idénticas.

Aun no existen reglas que determinen una adecuada selección de materiales, para un determinado proceso, es por eso que la selección de materiales es complicada ya que depende de muchos factores, como la corrosión, presión de operación, temperatura de operación y por supuesto los costos.

La prevención de fallas depende de una buena selección del material, la cual depende de elegir el material más económico pero que satisfaga todas las especificaciones de diseño conforme a los códigos que la rigen.

3.4 ALEACIONES FERROSAS.

Los aceros son aleaciones de hierro que contienen al menos un 2% de carbono; y cuando una aleación contiene más del 2% se conoce como hierro colado o fundición. Los aceros se dividen en: hipereutectoides y son aquellos que contienen mas del 0.8% de carbono; y los hipoeutectoides que son los que contienen menos del 0.8% de carbono.

Los aceros aleados pueden ser obtenidos con una extensa gamma de elementos de aleación. El código ASME en su sección VIII, división 1, clasifica los aceros aleados de la siguiente manera:

3.4.1 Aceros al Carbón. Estos son muy usados en la construcción de recipientes a presión, sus principales componentes de aleación son el manganeso y el silicio, su aplicación se limita a una temperatura de operación por debajo de 380°C.

La importancia de los aceros se debe a su resistencia, para soportar cargas dinámicas. Las propiedades mecánicas del acero dependen mucho de: su composición química, tratamiento térmico y maquinado.

- Aceros al Bajo Carbón. El acero con un contenido menor a 0.25% de carbono, es el material soldable mas utilizado. Es apropiado para líquidos orgánicos, con excepción de los clorinados de soluciones alcalinas y ácidos minerales diluidos. Su temperatura de operario máxima es de 550°C y la mínima es de -10°C.
- Aceros al Alto Carbón. Los aceros que contienen arriba de 0.3% de carbono son difíciles de soldar, por lo que son utilizados para procesos donde no se involucre la soldadura.

3.4.2 Aceros Aleados. Estos aceros contienen además de carbono, elementos de aleación que le ayudan a mejorar las propiedades mecánicas. El resultado en la modificación de las propiedades mecánicas del acero, depende de la cantidad de elemento de aleación agregada, ya que cada elemento proporciona diferentes propiedades.

3.4.2.1 Elementos de aleación y su efecto en los aceros

Aluminio (Al)

- El aluminio es fuerte desoxidante y se combina con el nitrógeno reduciendo el envejecimiento.
- En pequeñas cantidades limita el tamaño de grano.
- Junto con el nitruro forma nitruros de alta dureza.
- Mejora la resistencia a la descamación (oxidación)

Carbono (C)

- El carbono es un elemento que se encuentra presente en todos los aceros hasta en un 2%, pero generalmente de 0.004 a 0.50%, influyendo altamente en las propiedades de los aceros.
- El carbono puede existir en el acero en forma combinada como carburo de hierro.
- Conforme aumenta el contenido de carbono, mejoran las propiedades mecánicas de resistencia y dureza, pero pierde elasticidad, maleabilidad, soldabilidad.

Cromo (Cr)

- El cromo incrementa la dureza, y la resistencia.
- Los aceros con alto contenido de cromo son resistentes a la corrosión.
- Mejora la resistencia al calor y a la escamación.

Manganeso (Mn)

- El manganeso se encuentra presente en todos los aceros en cantidades que pueden llegar hasta el 2%.
- Contrarresta la fragilidad inducida por el azufre.
- Mejora las propiedades de resistencia del acero, reduciendo ligeramente su elasticidad favoreciendo la soldabilidad y deformación plástica.
- 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, y favorece la soldabilidad.
- Generalmente 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 descamación, así como con aceros tratados térmicamente para mejorar su tenacidad.
- Incrementa la resistencia del acero, pero menos que el silicio y el manganeso, con una reducción muy ligera de la 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 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 cadencia.

Titanio (Ti)

- El titanio es un elemento de aleación 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 cadencia; 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.
- Mejoran la resistencia y la dureza a temperaturas elevadas.

3.4.2.2 Aceros con Alta Aleación.-Estos son quizá el material de construcción mas usado en la fabricación de recipientes de proceso y sus accesorios; son los comúnmente llamados aceros inoxidables y contienen generalmente al menos 18% de níquel.

Estos aceros se pueden dividir en ferríticos, austeníticos y martensíticos. 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 de los códigos ASME Y ASTM.

1) Aceros Inoxidables Martensíticos.- Este grupo incluye los aceros del tipo 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 18% de cromo y

entre 1.25 y 2.5% de níquel. Los tipos 440 varían entre 0.6 y 0.12% 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 procesos de soldadura.

2) Aceros inoxidables Ferríticos.- 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% de 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 general mente 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) Aceros Inoxidables Austeníticos.- Son los más comúnmente usados y con propiedades mas 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 sílice, entre 16 y 19% de cromo, entre 3.5 y 6% de níquel y un máximo de 0.25 de nitrógeno; esta serie es mas 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) posee 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 sílice, 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 residuos 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 sílice, entre 18 y 20% de cromo y entre 8 y 12% de níquel una variante es el 304L que posee un máximo de 0.03% de carbono.

El tipo 316 tiene 0.08% máximo de carbono, 2% de manganeso, 1 máximo de sílice, 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 6.5mm 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 en sus propiedades mecánicas.

La resistencia de los aceros se ve afectada por las temperaturas elevadas a las que están expuestos, sobretodo a temperaturas mayores a los 400°C. Los aceros mas resistentes a altas temperaturas que pueden considerarse refractarios, son los aceros inoxidables austeníticos 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% de níquel y 18% de cromo, 22% de níquel y 15% de cromo y por último los que contienen 25% de níquel y 9% de cromo.

3.6 ALEACIONES NO FERROSAS.

Las cinco aleaciones no ferrosas de acuerdo con el código ASME Sección VIII, División 1; son: aluminio, cobre, níquel, titanio y zirconio.

Estas aleaciones son usadas normalmente en ambientes corrosivos, o bien, a elevadas temperaturas donde las aleaciones ferrosas son inadecuadas. Las aleaciones no ferrosas generalmente son no magnéticas a excepción del níquel puro que es ligeramente magnético.

- Aleaciones de aluminio.- Una de las características principales que distingue al aluminio es su resistencia a la corrosión, su facilidad de fabricación, facilidad de proceso y su costo. Tiene como ventajas su gran conductividad de calor, baja densidad y alta ductibilidad. Tiene desventajas como baja resistencia mecánica.

Las ventajas que ofrecen las aleaciones de aluminio son sus propiedades, son no magnéticas, son ligeras en peso comparadas con los aceros, tienen buena maleabilidad y tienen una excelente relación peso-esfuerzo. En la superficie del aluminio se forma una capa invisible de óxido que protege el metal de la corrosión y esta característica es la que las hace útiles en la aplicación de algunos equipos de proceso.

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

El Aluminio comercialmente puro: es utilizado en aplicaciones en las cuales su resistencia a la corrosión y alta conductividad térmica son necesarias.

Aleaciones sin tratamiento térmico; son las utilizadas en la mayoría de los casos, con incrementos en su resistencia mecánica y en su dureza. Utilizan dos elementos de aleación, el magnesio del 1.7 al 5.5% y el manganeso de 0.5 al 1.5% proporcionalmente.

Aleaciones con tratamiento térmico; se añaden pequeñas cantidades de cobre, magnesio y/o sílice, que pueden incrementar su dureza si se utiliza tratamiento térmico.

Aleaciones de forja: se utilizan como buen material resistente a la corrosión, agregando magnesio de 0.2 al 6%, sílice de 4.5 al 13% y manganeso de 0.3 al 0.7%.

- Aleaciones de cobre.- El cobre tiene excelente conductividad térmica y eléctrica, posee buena duración en ambientes intermedios de corrosión. Como es relativamente débil mecánicamente, se le usa en aleaciones con zinc formando latones, aleaciones con estaño formando bronce, y aleaciones de aluminio y níquel.

Las aleaciones de cobre se utilizan por su buena maquinabilidad y resistencia a la corrosión. Además, no son susceptibles a los tratamientos térmicos y su estructura es homogénea. Las aleaciones de cobre generalmente son quebradizas. Las aleaciones más comunes de cobre son:

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

Bronce: aleaciones de cobre y estaño.

Las aleaciones de cobre se pueden distinguir por su color, con excepción de las aleaciones de cobre-níquel, las cuales pierden su color característico según el incremento de níquel.

- **Aleaciones de titanio y zirconio.**- Las aleaciones de titanio y zirconio son muy utilizadas en equipos de proceso expuestos a un alto grado de corrosión. Según ASME SECCIÓN VIII, el titanio se puede dividir por grados 1, 2, 3,7 y 12. También se clasifica al zirconio en dos grados especificados en el código, el 702 y el 705.

Mecánicamente, los módulos de elasticidad del titanio y zirconio son la mitad del modulo de elasticidad del acero aproximadamente; al igual que el coeficiente de expansión térmica. La densidad del titanio es aproximadamente 0.58% veces la del acero; la densidad del zirconio es un poco menor que la del acero.

3.7 ALEACIONES ESPECIALES.

Dentro de las aleaciones especiales, tenemos: el monel, el inconel y el hastelloy. El monel es una aleación de níquel-cobre ,66% de níquel por 33% de cobre; y otros elementos que pueden ser aluminio, hierro, titanio, silicio, manganeso, carbono y azufre. El monel cuenta con excelentes propiedades físicas y mecánicas aun en condiciones drásticas de servicio, tiene alta resistencia a los ácidos, álcalis, salmueras, productos alimenticios, a la atmósfera y es altamente resistente a la corrosión originada por altas temperaturas.

El inconel y hastelloy son aleaciones de níquel con adición de otros elementos de aleación como el hierro, carbono, silicio, manganeso, cromo, molibdeno, tungsteno y fósforo.

El inconel es una aleación que esta compuesta en mayor parte de níquel 76%, cromo 16% y hierro 8%, combinando una buena resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y resistencia a la tensión propiedad que se debe al níquel y al cromo para soportar la oxidación a altas temperaturas. Esta aleación tiene capacidad para soportar calentamientos continuos en un intervalo de 0 a 870°C.

El hastelloy es una aleación de níquel, molibdeno, hierro, silicio, cobre y otros elementos, su composición depende del tipo de hastelloy. Las clasificaciones más comunes de hastelloy son: hastelloy A, B, C, y D.

El hastelloy A (57% níquel, 20% molibdeno y 20% hierro) y B (62% níquel, 28% molibdeno y 5% hierro) son aleaciones con una estructura cristalina austenítica y por medio del trabajo en frío puede incrementarse su resistencia mecánica y su alta resistencia a la corrosión.

El hastelloy C (54% níquel, 17% molibdeno, 15% cromo, 5% hierro y 4% tungsteno) se caracteriza por su alta resistencia a la corrosión y a los ácidos oxidantes, conserva buenas propiedades mecánicas a altas temperaturas.

El hastelloy tipo D (10% silicio y 3% cobre) es de los mas comunes y su principal característica es su alta resistencia a la corrosión por acido sulfúrico concentrado a alta temperatura.

3.8 MATERIALES AMPARADOS POR EL CÓDIGO ASME.

Las placas de acero al carbón 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.

El código ASME utiliza un criterio para recomendar de manera única solo los materiales que sean dúctiles a las condiciones de operación esperadas, es decir que al aproximarse a la resistencia ultima, presente un patrón de falla observable y predecible, para tomar las medidas de seguridad, mantenimiento, reparo o reemplazo.

Todas las piezas que no van a ser sometidas a presión pueden utilizarse materiales diversos como: aceros estructurales (SA-36 y/o SA-283) estas dos especificaciones tienen limitaciones por lo cual no se recomienda utilizarlas para

partes sujetas a presión, a menos que se cumpla con los requisitos especificados por el código ASME sección VIII. Estos aceros pueden ser utilizados cumpliendo con los siguientes requerimientos:

- Equipos que no vayan a ser usados en servicios con sustancias letales ya sean líquidos o gases.
- Que las temperaturas a las cuales el material vaya a ser usado esté entre 29°C (-20s.f.) y 343°C (650s.f.). no se deben emplear para generadores de vapor.

El SA-285 grado C Uno de los aceros mas empleados en la construcción de recipientes y accesorios esta compuesto de 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 más 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.

El SA-515 grado 70 se usa con ventaja en los casos de temperaturas mas altas y es un material muy bueno para reducir el espesor de la pared; ya que requiere un espesor de pared de solo el 78% del que se requeriría con el SA-285 grado C; este acero contiene 0.33% de carbono y de 0.13 a 0.33% de silicio. Se emplea en un rango de temperaturas de 18.33°C a 413°C.

El SA-387 cuya composición es de 1.25% cromo y 0.5% molibdeno, es utilizado en aplicaciones donde las temperaturas de operación son mas elevadas que las referencias anteriores; este acero puede ser usado hasta aproximadamente 566°C.

Existe una gran variedad de procesos en los cuales se utilizan temperaturas criogénicas; para estos casos se utilizan materiales como el SA-516 grado 70 (0.27% carbono, de 0.8 a 1.25% de manganeso y de 0.13 a 0.33% de silicio), el cual puede utilizarse en un rango de temperaturas de -45°C a 15°C, en caso de

tener temperaturas mas bajas, se puede utilizar aceros a base de níquel como el SA-203 (2.5% a 3.5% níquel).

En la tabla 3.1, se listan algunos de los materiales que son empleados en la construcción de accesorios para recipientes de almacenamiento, de acuerdo con la sustancia que se maneje.

SUSTANCIAS	Acero al Carbono	Acero al níquel	Inconel	Monel	Acero Inox. (18Cr-8Ni)	Acero Inox. (18Cr
ACETONA	A	A	A	A	A	A
ACETILENO	A	A		A	A	A
CERVEZA	A	A	A	A	A	A
BENZENO BENZAL	A	A	A	A	A	A
BENCINA NAFTA	A	A	A	A	A	A
ACIDO BÓRICO	X		---	P	A	A
CLORUROS EN GENERAL	X	R	R	R	X	X
BUTANO	A			A	A	A
ACIDO CÍTRICO	X	R	A	A	A	A
MERCURIO	A	A		A	A	A
GAS NATURAL	A	A	A	A	A	A
ACEITES PETRÓLEOS 500s.f. CRUDO	A	P	A	P	P	R
ACIDO FOSFÓRICO	P	P	P	P	P	P

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

Tabla 3.1 Materiales recomendables de acuerdo con sustancias que se manejan.

La tabla 3.2 Muestra los materiales recomendables que pueden ser usados según las temperaturas a que vayan a operar los accesorios.

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 3.2 Materiales recomendables de acuerdo a la temperatura de operación de los accesorios.

CAPÍTULO 4
INSPECCIÓN DE MATERIALES.

4.1 GENERALIDADES.

Tradicionalmente, en los procesos de comercialización de bienes y servicios, y con el objetivo de satisfacer al cliente, las empresas se han visto en la obligación de ofrecer garantías, es decir; de comprometerse con el cliente por un periodo determinado a reparar o sustituir de manera total o parcial los productos que presenten defectos operacionales o de construcción.

Aun cuando este compromiso representa tranquilidad para el consumidor, el hecho de no poder disponer del producto durante un periodo de reparación o reemplazo, o que este se dañe con mucha frecuencia; constituye un motivo de insatisfacción, el cual se traduce como una pérdida de prestigio para el proveedor.

De igual manera, en aquellos casos en que el producto o servicio es utilizado en lugares remotos o en condiciones muy críticas, la garantía pasa a segundo plano y el interés fundamental del cliente incurre en que el producto no falle.

Por lo que una producción satisfactoria está en manos de la inspección y control de la calidad de los productos manufacturados, lo que implica un control desde el recibo de materiales. Para la aceptación de los materiales se requiere, la preparación de las especificaciones apropiadas y de todos los métodos de prueba que involucren a los materiales o procesos. Los materiales deben de ser inspeccionados para comprobar si las propiedades de los materiales están dentro de los límites especificados, para su aceptación.

4.2 INSPECCIÓN DE LOS MATERIALES.

Dos términos muy relacionados dentro de la inspección de materiales es el ensayo y la inspección. El ensayo se relaciona con las propiedades mecánicas de los materiales y cuantifica estas. La inspección trata de la verificación de los procesos y productos de fabricación o construcción con el propósito de garantizar la presencia de las cualidades y propiedades 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 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 garantiza el control de la calidad por medio de la aplicación de los criterios establecidos e implica la idea de rechazar material anormal. 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.

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 componentes metálicos.

Algunos de los más normales son las costuras, las fallas superficiales, las grietas resultantes del templado, la fragilización y la fatiga.

Las fallas subsuperficiales constituyen una grande e importante clase de defectos incluyendo los de porosidad y las inclusiones. Las grietas por templado, normalmente 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 ocasionadas por la acción química y el esfuerzo mecánico, generalmente ocurren en recipientes y accesorios sometidos a presión.

Las grietas por fatiga son el resultado de la repetición continua de esfuerzos; y normalmente se debe a concentraciones de esfuerzos en los cambios de sección, ranuras de las operaciones de maquinado, costuras, grietas por templado y traslapes de forja.

4.2.1 Ensayos no destructivos. Debido a la necesidad de evaluar y optimizar la seguridad de los productos, selección de nuevos materiales, cambios en la filosofía del diseño, condiciones bajo las que operan piezas y componentes, se ha experimentado un apresurado crecimiento en el uso de los métodos y técnicas de los ensayos no destructivos (END), que se realizan para detectar y prevenir fallas, establecer características, estructura o propiedades, sin afectar con esto su utilidad futura y la continuidad de su utilización.

Los ensayos no destructivos no afectan, ni la conformación ni la constitución de un componente dado, es decir, antes y después del ensayo no destructivo la pieza conserva igual su estado, forma y constitución físico-química.

Los propósitos fundamentales de los Ensayos No Destructivos son los siguientes:

Proporcionan un control del proceso de fabricación de partes o materiales. Establecen su calidad con base en una norma, estándar o especificación que predice su comportamiento en operación.

Permiten observar la confiabilidad del servicio.

Son herramientas para diagnosticar y determinar condiciones adecuadas para las etapas de mantenimiento.

En la vida operacional de un equipo, los Ensayos No Destructivos detectan defectos en servicio, prevén fallas y establecen confianza en la operación para prevenir accidentes, ahorrándose pérdidas económicas, sin exponer la integridad física de los operarios.

Principio de los ensayos no destructivos.

Los análisis metalográficos y pruebas físicas, proporcionan procedimientos para la determinación de propiedades y calidad de los metales en la industria; sin embargo son pruebas destructivas y resulta impráctico probar estos métodos en cada pieza a evaluar. Es en este momento donde el valor e importancia de los

Ensayos No Destructivos es evidente, ya que la vida útil o el uso de una pieza de acero esta basada en la importancia de ser evaluada a través de un método de inspección con razonable seguridad de que los defectos dañinos pueden ser detectados y entonces pueda ser instalada la pieza para una vida de servicio completamente segura.

El campo de los Ensayos No Destructivos, cubre la examinación de los materiales componentes y ensambles por medio de técnicas que no ocasionan daño a los mismos pudiéndose llevar a cabo en talleres, fábricas y laboratorios de prueba etc.

Los Ensayos No Destructivos incluyen, la examinación para la verificación de la calidad de materiales y la examinación para determinar en las piezas su estado superficial y/o sub-superficial e interno que finalmente en conjunto con otras áreas técnicas de evaluación, determinan la identificación sistémica de las piezas.

CONCEPTOS

Defecto.- Es toda falla que esta fuera de los límites de las especificaciones, perjudicando con esto el funcionamiento de la pieza, determinándose los límites en base a la funcionalidad de la pieza.

Discontinuidad.- Es toda falla que esta dentro de los límites de especificación y que no afecta el funcionamiento de la pieza.

Varios métodos de ensayos no destructivos empleados para determinar ciertas propiedades o la manifestación de cualquier defecto que incluye el código ASME Sección VIII División 1, son: Inspección Visual, Líquidos Penetrantes, Inspección Radiográfica, Inspección por Partículas Magnéticas, Inspección Ultrasónica, Prueba Hidrostática y Prueba Neumática.

➤ **Inspección visual.**

Entre las técnicas más utilizadas para la inspección de materiales se encuentra la inspección visual por la facilidad de su aplicación y el mínimo de medios necesarios para su utilización. La Inspección visual del objeto nunca debe de excluirse cuando sea necesario y obligatorio el detectar la presencia de posibles defectos superficiales.

Los microscopios equipados con complementos fotográficos frecuentemente se utilizan para obtener registros permanentes de los defectos, zonas dudosas y variaciones estructurales.

En todas las especificaciones técnicas para la fabricación de cualquier producto, se incluye en primer término la inspección visual para detectar defectos de fabricación, fallas de origen, fisuras, grietas, acabado inadecuado, reparaciones no autorizadas que encubran el estado real es de las piezas, etc.

Para esta finalidad, deberá indicarse el procedimiento usado, los iluminadores, los instrumentos, los equipos y herramientas, de tal forma que sus equivalentes pueden ser utilizados en futuros exámenes o inspecciones, haciendo comparables los resultados conseguidos bajo condiciones similares de prueba.

La inspección visual es usada generalmente para determinar las condiciones de la superficie, alineamiento de superficies acopladas, formas o evidencias de fuga en piezas o componentes.

La inspección visual la podemos clasificar en:

a) Inspección Visual Directa ,

Esta puede efectuarse cuando el acceso es suficiente para colocar la vista del evaluador a poco menos de 610mm (24 pulg.) de la superficie, examinando a un ángulo no menor de 300 con la superficie a inspeccionar. Pueden utilizarse espejos para mejorar el ángulo de visión así como lentes de aumento para

auxiliarse. Se requiere alumbrado natural o artificial suficiente para iluminar el área por inspeccionar.

La iluminación en el área que se va a inspeccionar deberá tener un nivel mínimo de 350 luxes (32.5 pre-candelas). El personal que efectúe el examen visual, deberá someterse a un examen de la vista para asegurar que la agudeza visual a corta distancia, ya sea natural o corregida debe de ser tal, que le permita leer las letras J - 1 en las cartas de la prueba tipo JAEGER o métodos equivalentes para visión cercana.

b) Inspección Visual Remota.

En esta inspección pueden usarse ayudas visuales tales como espejos, telescopios, baroscopios, hilos ópticos, cámaras u otros instrumentos adecuados, tales sistemas podrían tener una capacidad de resolución de al menos el equivalente a la obtenida por observación directa.

c) Inspección Visual Translucida.

Este método utiliza la ayuda de iluminación artificial que puede estar contenida en un iluminador que produzca iluminación direccional. El iluminador deberá proporcionar luz de una intensidad que ilumine y difunda uniformemente la luz a través del área o lugar que se inspecciona.

Por otra parte, la iluminación ambiente del lugar en el que se lleve a cabo la inspección debe estar dispuesta de tal manera que no haya superficies deslumbrantes o reflexiones desde la superficie a inspeccionar y deberá ser menor que la luz aplicada a través del área a examinar.

La comprobación de las dimensiones por medio del uso de escalas, flexómetros o calibradores, también puede considerarse como un tipo de inspección visual.

➤ **Ensayos penetrantes.**

Todos los procesos de penetración líquida, son métodos de ensayo 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 aperturas, 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 regresara entonces a la superficie y el revelador coadyuvara a delinearlas. Esto indicara la ubicación, naturaleza general y magnitud de cualquier discontinuidad presente. Para apresurar esta acción la parte puede golpearse fuertemente para producir vibraciones y forzar el líquido fuera del defecto.

DESCRIPCIÓN DE EL PROCESO DE LÍQUIDOS PENETRANTES.

En la inspección por líquidos penetrantes, se requiere normalmente de seis pasos que son los siguientes:

a) Preparación de la superficie.

Es importante que la superficie de prueba se encuentre seca y libre de cualquier contaminante. Esto quiere decir que la superficie del material debe estar exenta de polvo, grasa, óxidos, escamas, ácidos, recubrimientos metálicos y pintura, los cuales pueden afectar directamente o bloquear la entrada del penetrante a las discontinuidades y alterar las indicaciones.

b) Aplicación del penetrante.

El penetrante se aplica sobre la superficie a inspeccionar, si existen discontinuidades una determinada cantidad de este se introduce en ellas, por medio de la acción capilar.

c) Remoción del exceso de penetrantes.

Después del tiempo de penetración necesario, se elimina el exceso de penetrante que es aquel que queda en la superficie de la pieza y que no ha entrado en la discontinuidad durante el tiempo de penetración. Es necesario que el exceso de penetrante este húmedo antes de removerlo, ya que por si cualquier razón se ha secado al estarlo removiendo, puede eliminarse al penetrante de las discontinuidades.

d) Aplicación del revelador.

La cantidad de penetrante que emerge de una pequeña discontinuidad superficial es muy reducida, por lo que es necesario ampliar su visibilidad al ojo humano.

e) Inspección.

Después de un tiempo determinado, en que se aplica al revelador, la muestra se prepara para la inspección, la cual se lleva a cabo observando el contraste de color entre el penetrante extraído de la discontinuidad y la superficie de fondo

f) Limpieza final.

Es necesario una limpieza posterior, ya que el penetrante y el revelador residual tienden a extraer humedad, por lo cual puede causar corrosión, o bien puede interferir en el uso o proceso posterior. En general, el método de limpieza recomendado es semejante para la pre-limpieza.

Es recomendable verificar que los materiales empleados en la inspección por líquidos penetrantes se encuentran avalados por normas, esto garantiza la calidad y la buena respuesta para la calificación de las discontinuidades que se detectan durante la inspección sobre los especímenes.

➤ **Inspección radiográfica.**

Para recordar brevemente el principio de la generación de los rayos X

Un filamento incandescente emite electrones que son acelerados hacia el ánodo, debido a la gran diferencia de potencial producida con una fuente de voltaje. Al chocar con el blanco de tungsteno del ánodo, los electrones sufren una desaceleración considerable, produciéndose dos tipos de espectros de emisión. El primero conocido como "Bremsstrahlung" surge debido a la desaceleración de electrones y el segundo espectro (espectro de líneas) depende del material montado sobre el ánodo.

Los rayos X o Roentgen tienen la capacidad de atravesar objetos opacos a la luz visible, gracias a su longitud de onda tan corta (1 \AA); esta radiación es dirigida hacia el elemento que se desea examinar, al atravesarlo interacciona con una placa fotográfica colocada detrás del objeto, produciendo una imagen que una vez revelada muestra zonas con densidad variable. Las secciones oscuras representaran las partes mas penetrables y las mas claras son las opacas a la radiación X; es decir, mas densas. De esta manera pueden detectarse, por ejemplo, fallas en soldaduras.

Los rayos X y aun 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 oscuras, 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 de mostrar el tamaño y la forma de cualquier defecto o heterogeneidad significativos. La práctica recomendada para el ensaye radiográfico esta cubierto por 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 la fabricación de recipientes a presión de todos los tipos y sus accesorios, tubería de presión en la mayoría de los proyectos de plantas industriales deben de recibir una inspección del 100%.

Los defectos comunes y su apariencia característica sobre los negativos de las fundiciones son las 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 distintos.

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 cualquier área oscura o clara, 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.

➤ **Inspección por partículas magnéticas.**

El método de partículas 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 polvo fino 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 mas completa de este procedimiento esta 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 deben 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 aceros austeníticos.

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 si 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 prerequisite si han de evitarse rechazos innecesarios y costosos.

➤ **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 sónico 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 mas 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 figura 4.2.1. 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.

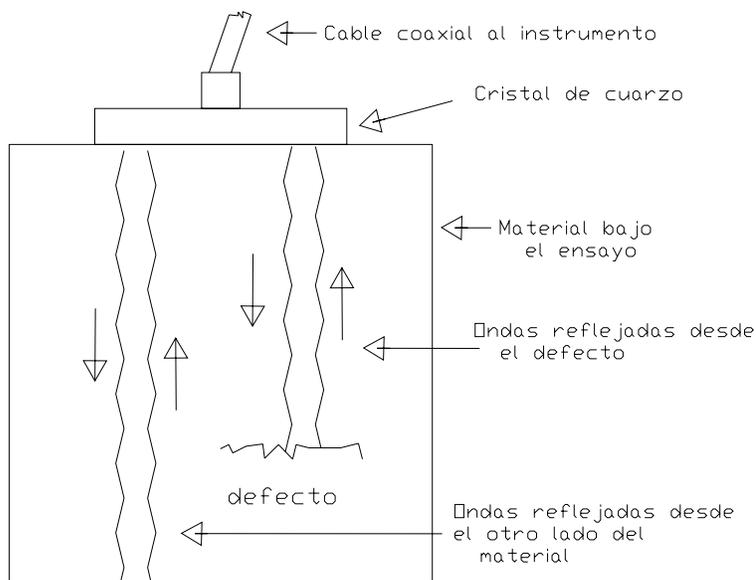


Fig. 4.2.1 Detección de defectos por medio de ondas supersónicas. La posición del defecto es localizar sobre el patrón osciloscopico, el cual depende del lapso de tiempo para que las ondas sean reflejadas.

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 película de aceite para lograr una mejor transmisión de las ondas de sonido.

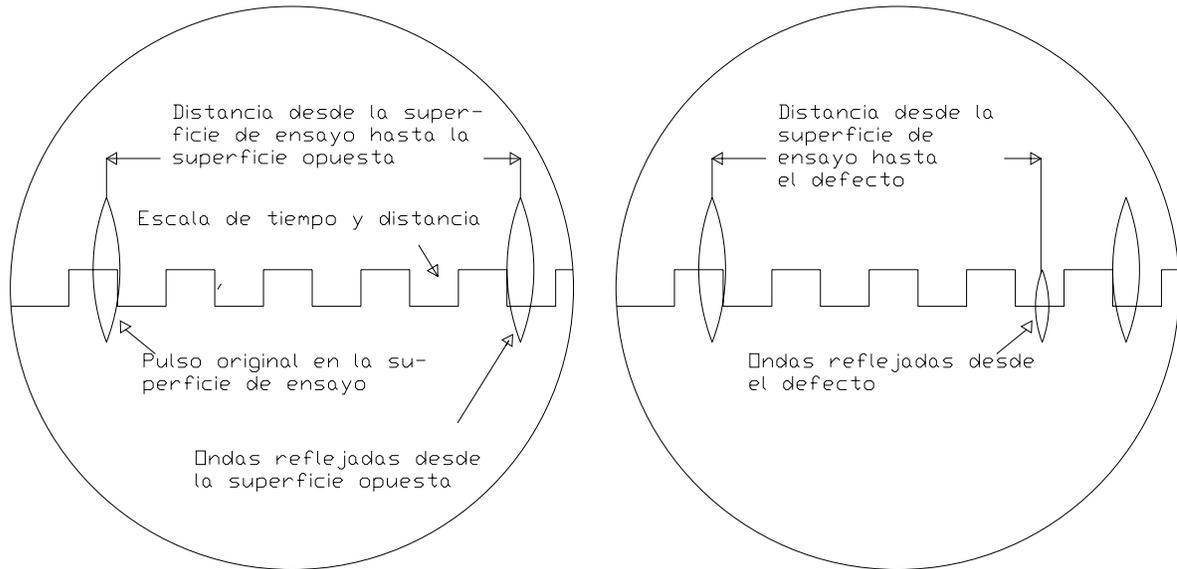
Un ciclo de la operación continua del equipo es aproximadamente como sigue: si se usa una frecuencia de 5 millones de ciclos, las oscilaciones eléctricas de esta frecuencia se aplicarían al cristal durante, digamos, un millonésimo de segundo de modo que cinco ondas de la frecuencia de 5 millones de ciclos serian enviadas dentro 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 agudo 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 2000p1g 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

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 figura.4.2.2



(a) no aparece ningun defecto

(b) defecto indicado a la distanciamostrada

Fig. 4.2.2 Pantalla osciloscopica del aparato 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. Aun mas, 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.

➤ **Prueba Hidrostática.**

Todos los accesorios/equipos terminados deberán someterse y pasar satisfactoriamente la prueba hidrostática o neumática según se especifique y/o aplique. En el código ASME, Sección VIII, División 1, se describe como se realizan las pruebas hidrostáticas, así como las precauciones que hay que tomar según el caso.

Todos los accesorios diseñados por presión interna deberán sujetarse a una prueba hidrostática, la cual se aplicara 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 equipo o accesorios y detectar la presencia de posibles fugas.

La MAWP, para un recipiente, equipo o accesorio sometido a presión deberá definirse como la máxima presión permisible en el elemento mas 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 debida al 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.

➤ **Prueba neumática.**

Esta prueba puede ser utilizada en lugar de la prueba hidrostática y se recomienda usarla en los siguientes casos: Para recipientes/accesorios que estén soportados de tal manera que no se tenga la seguridad de que puedan ser llenados con agua.

Para equipos/accesorios 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.

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.

El no controlar estos factores conduce a una posición de irresponsabilidad.

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

4.2.2 Ensayos destructivos. Las pruebas mecánicas mas 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 eligen las probetas adecuadas, las normas y códigos dan suficientes indicaciones al respecto.

Los ensayos destructivos se pueden clasificar en:

- Ensayos estáticos de tensión y de compresión.

- **Ensayos estáticos de tensión y compresión.**

Los términos ensayo de tensión y ensayo de compresión usualmente se usan para referirse a ensayos en los cuales una probeta es preparada y sometida a una carga monoaxial incrementada gradualmente (es decir estática) hasta que ocurra 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 mas comúnmente realizados y son de los mas simples de todos los ensayos mecánicos. Estos ensayos implican la normalización de las probetas con respecto al tamaño, forma y método de preparación y la de los procedimientos de ensaye.

a) Ensayo de tensión

En el ensayo comercial de tensión de los metales, las propiedades usualmente determinadas son la resistencia a la cadencia (el punto de cadencia 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 mas completos, como en una gran parte de la labor de investigación, las determinaciones de las relaciones entre esfuerzo y deformación, el modulo de elasticidad y otras propiedades mecánicas, se incluyen.

Realización del ensayo.

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. En las probetas cilíndricas, las mediciones deben hacerse sobre dos diámetros cuando menos, mutuamente perpendiculares.

Antes de poner una probeta en una maquina debe comprobarse que el dispositivo de carga de la maquina, dé la indicación cero y se deben de hacer los ajustes si es necesario.

Cuando se coloca una probeta en una máquina, el dispositivo de sujeción debe de revisarse para cerciorarse que funciona 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 cadencia 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 maquina 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.

Las pruebas en la dirección de tensión se usan en la calificación del procedimiento de soldadura para medir la resistencia de las uniones, por soldadura de ranura.

b) 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 del material, del tipo de mediciones a realizar y del aparato de ensaye disponible.

Los extremos a los cuales se le 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.

4.2.2 Ensayos de dureza. Es fácil comprender el concepto general de la dureza como una propiedad fundamental de los materiales y esta relacionada con la resistencia mecánica. La dureza puede definirse como la resistencia de un material a la penetración o formación de huellas localizadas en una superficie. como una característica 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 principal 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 mas usados en nuestro país son el ensayo de dureza Brinell y el ensayo de dureza Rockwell. Sin embargo, el amplio uso del acero endurecido ha hecho que se desarrollen otros tipos de ensayos de dureza como el ensayo Vickers.

➤ **Ensayos de dureza Brinell.**

El ensayo Brinell para poder determinar la dureza de los materiales metálicos consiste en aplicar una carga conocida sobre la superficie del material a ensayar por medio de una bola de acero templado de diámetro conocido.

Se mide el diámetro de la huella permanente que aparece en el metal y el numero de dureza Brinell (BHN) se calcula a partir de la formula siguiente en la que

D=diámetro de la bola, en mm; d=diámetro del borde de la huella, en mm; y P=carga aplicada, en kilogramos.

$$\text{BHN} = \frac{\text{carga sobre penetrador, en kg}}{\text{area superficial de la huella, mm}} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Si la bola de acero no se deformase bajo la carga aplicada y la huella fuese verdaderamente esférica, la formula anterior tendría validez general, y se podría usar cualquier combinación de carga aplicada y tamaño de bola. La huella, sin embargo, no es una superficie esférica, pues siempre habrá alguna deformación de la bola de acero y alguna recuperación de la forma del metal en la huella: por lo tanto en un ensayo Brinell, el tamaño y características de la bola y la magnitud de la carga aplicada deben estar normalizados.

En el ensayo Brinell normalizado se usan una bola de 10 mm de diámetro y cargas de 3000, 1500 o 500 kilogramos. Es deseable, aunque no necesario, que la carga aplicada sea de magnitud tal, que el diámetro de la huella resulte en el intervalo de 2.5 a 4.75 milímetros.

Las cargas y números Brinell aproximados en este intervalo de diámetro de la huella, son: 3000 kilogramos, de 160 a 600 BHN; 1500 kilogramos de 80 a 300 BHN; 500 kilogramos de 26 a 100 BHN. Al realizar un ensayo Brineli, la carga debe aplicarse uniformemente y sin oscilaciones durante un mínimo de 15 segundos en fundiciones férreas y aceros, y un mínimo de 30 segundos en otros metales. Se ha recomendado, por ejemplo, un periodo mínimo de dos minutos para el magnesio y sus aleaciones. (En los materiales más blandos se usan, a veces, cargas de 250 Kilogramos, 125 kilogramos, o 100 kilogramos).

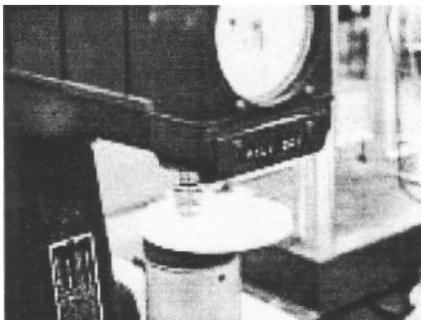
Según la norma E10-66 de la American Society for Testing and materials (ASTM) se puede usar: una bola de acero si la dureza del material a ensayar no supera los 450 BHN; una bola Hultgren si la dureza del material no supera los 500 BHN; una

bola de carburo, en los materiales que no superen los 630 BHN. El ensayo Brinell no es aconsejable en materiales con durezas mayores de 630 BHN.

En la practica los números Brinell correspondientes a un diámetro de huella observado se toman de las tablas contenidas en ASTM E-10.

➤ **Ensayos de dureza Rockwell.**

El ensayo se realiza en una máquina especialmente diseñada que aplica la carga a través de un sistema de pesas y palancas. El indentador o "penetrador" puede ser una bola de acero o un cono de diamante con una punta ligeramente redondeada. El valor de la dureza, según se lee en un indicador caratular especialmente graduado, es un número arbitrario que está inversamente relacionado con la profundidad de la huella.



En la operación de la máquina se aplica inicialmente una pequeña carga de 10 Kg. la cual causa una penetración inicial que pone el penetrador sobre el material y lo mantiene en posición. La carátula se pone en la marca de "encendido" en la escala, y se aplica la carga principal, la carga total es normalmente de 60 a 100 kilogramos cuando el penetrador es una bola de acero, pero se pueden usar otras cargas en casos necesarios.

El diámetro del penetrador de bola es normalmente de 1/16 de pulgada; pero penetradores de mayor diámetro, como 1/8 de pulgada se pueden utilizar en los

materiales blandos. Cuando el penetrador es el cono de diamante, la carga es normalmente de 150 kilogramos. La practica determina la mejor combinación de carga y penetrador en cada caso. Después que la carga final se ha aplicado y retirado, se realiza la lectura de la dureza manteniendo la carga inicial.

La superficie del ensayo debe ser plana y estar libre de escama, películas de óxido, fosas y materia extraña que pueda afectar a los resultados. Una superficie carcomida puede arrojar lecturas erráticas debido a la cercanía de algunas indentaciones al borde de una depresión; esto permite el libre flujo del metal alrededor de la herramienta penetradora y resulta en una lectura baja.

Las superficies aceitadas generalmente arrojan lecturas ligeramente más bajas que las secas debido a la fricción reducida en el penetrador. La superficie del fondo debe estar libre de escama, suciedad u otras materias extrañas que puedan aplastarse o fluir bajo la presión de ensayo afectando así los resultados. Todos los ensayos de dureza deben hacerse sobre un solo espesor del material; el número de dureza determinado por penetración en una superficie curva es erróneo debido a la forma de la superficie.

Las escalas Rockwell y sus aplicaciones se muestran en la siguiente tabla.

A	Para carburo de tungsteno y otros materiales extremadamente duros. También para chapas duras y delgadas.
B	Para materiales de dureza media, como aceros al carbono, de contenido bajo o medio recocidos.
C	Para materiales mas duros que Rockwell B-100
D	Cuando se desea una carga algo mas ligera que la escala C, como en las piezas con endurecimiento superficial.
E	Para muchos materiales blandos, como los de cojinete.
F	Lo mismo que la escala E, pero con bola de 1/16" (1.587mm)
G	Para metales mas duros que los ensayados por la escala B.
H y K	Para materiales blandos.
15-N; 30-N 45-N	Cuando se desea una impresión poco profunda. Para acero templado y aleaciones duras.
15-T; 30-T 45-T	Cuando se desea una impresión poco profunda o área pequeña. Para materiales mas blandos que el acero templado.

La siguiente tabla indica las escalas comparativas de dureza para el acero

Dureza Rockwell Escala C	Dureza Vickers pirámide de diamante	Dureza Brinell bola de 10 mm carga de 3000 Kg.			dureza Rockwell Escala A Escala D		Dureza superficial Rockwell penetrador de Brale			Dureza Shore
		Bola Normal	Bola hultgren	carburo de tungsteno	Penetrador Carga 100 Kg.	Penetrador Brale Escala D	N Carga 15 Kg.	N Carga 30Kg.	N Carga 45 Kg.	
68	940				85.6	76.9	93.2	84.4	75.4	97
67	900				85.0	76.1	92.9	83.6	74.2	95
66	865				84.5	75.4	92.5	82.8	73.3	92
65	832			739	83.9	74.5	92.2	81.9	72.0	91
64	800			722	83.4	73.8	91.8	81.1	71.0	88
63	772			705	82.8	73.0	91.4	80.1	69.9	87
62	746			688	82.3	72.2	91.1	79.3	68.8	85
61	720			670	81.8	71.5	90.7	78.4	67.7	83
60	697		613	654	81.2	70.7	90.2	77.5	66.6	81
59	674		599	634	80.7	69.9	89.8	76.6	65.5	80
58	653		587	615	80.1	69.2	89.3	75.7	64.3	78
57	633		575	595	79.6	68.5	88.9	74.8	63.2	76
56	613		561	577	79.0	67.7	88.3	73.9	62.0	75
55	595		546	560	78.5	66.9	87.9	73.0	60.9	74
54	577		534	543	78.0	66.1	87.4	72.0	59.8	72
53	560		519	525	77.4	65.4	86.9	71.2	58.6	71
52	544	500	508	512	76.8	64.6	86.4	70.2	57.4	69
51	528	487	494	496	76.3	63.8	85.9	69.4	56.1	68
50	513	475	481	481	75.9	63.1	85.5	68.5	55.0	67
49	498	464	469	469	75.2	62.1	85.0	67.6	53.8	66
48	484	451	455	455	74.7	61.4	84.5	66.7	52.5	64
47	471	442	443	443	74.1	60.8	83.9	65.8	51.4	63
46	458	432	432	432	73.6	60.0	83.5	64.8	50.3	62
45	446	421	421	421	73.1	59.2	83.0	64.0	49.0	60
44	434	409	409	409	72.5	58.5	82.5	63.1	47.8	58
43	423	400	400	400	72.0	57.7	82.0	62.2	46.7	57
42	412	390	390	390	71.5	56.9	81.5	61.3	45.5	56
41	402	381	381	381	70.9	56.2	80.9	60.4	44.3	55
40	392	371	371	371	70.4	55.4	80.4	59.5	43.1	54
39	382	362	362	362	69.9	54.6	79.9	58.6	41.9	52
38	372	353	353	353	69.4	53.8	79.4	57.7	40.8	51 ~
37	363	344	344	344	68.9	53.1	78.8	56.8	39.6	50 ~
36	354	336	336	336	68.4	52.3	78.3	55.9	38.4	49 ~
35	345	327	327	327	67.9	51.5	77.7	55.0	37.2	48 ~
34	336	319	319	319	67.4	50.8	77.2	54.2	36.1	47
33	327	311	311	311	66.8	50.0	76.6	53.3	34.9	46
32	318	301	301	301	66.3	49.2	76.1	52.1	33.7	44
31	310	294	294	294	65.8	48.4	75.6	51.3	32.5	43
30	302	286	286	236	65.3	47.7	75.0	50.4	31.3	42
29	294	279	279	279	64.7	47.0	74.5	49.5	30.1	41 1
28	286	271	271	271	64.3	46.1	73.9	48.6	28.9	41
27	279	264	264	264	63.8	45.2	73.3	47.7	27.8	40

➤ **Ensayos de dureza Vickers.**

Este método es similar, en principio, a la prueba Brinell. El penetrador Vickers normal es una pirámide de diamante de base cuadrada, con un ángulo en la punta de 136°. El valor de la dureza se expresa por el cociente de la carga aplicada, en kilogramos, dividida por el área de la impresión. La superficie de determinación será plana y pulida, y estará bien sujeta. La carga, que se aplica, de ordinario, durante 5, 10, 20, 30, 50 o 120 Kg. La más generalmente utilizada es la de 50 Kg. El número de dureza se basa en la longitud de las diagonales de la impresión. El ensayo Vickers se considera muy exacto y tiene la ventaja de ser aplicado, mediante una adecuada selección de carga, tanto en piezas gruesas como extremadamente finas.

➤ **Electroscopio de Shore.**

Este instrumento mide la dureza por medio de la elasticidad. Una punta de diamante engastada en un martillo cae de una determinada altura sobre el material que se ha de ensayar. Se produce rebote, que será tanto mayor cuanto mas duro el material.

La altura máxima de rebote puede leerse en una escala vertical, y el promedio de varias pruebas dará una indicación de la dureza del material. El pulimento superficial de la pieza probada, modifica las lecturas del instrumento, como también el contorno y masa de aquella por la profundidad de la superficie endurecida en caso de que haya sido cementada o nitrurada pues el núcleo blando de la pieza absorbe cierta porción de la fuerza del impacto del martillo, y disminuye, en consecuencia, el rebote.

El martillo pesa, por lo común, 26 gramos aproximadamente, y la altura de rebote en aceros endurecidos esta alrededor de 100 en la escala, lo que corresponde a 6 1/4 " (158.75mm) con poca diferencia, siendo la altura total de caída de unas 10" (254mm).

4.3 ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES.

Una especificación es el intento de parte del consumidor para exponerle al productor lo que desea. Indiscutiblemente, 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 de los materiales definen los requerimientos para la aceptación del material de alguna de las siguientes maneras:

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

CAPITULO 5

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN PARA LOS ACCESORIOS DE RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO.

5.1 INTRODUCCIÓN.

La inspección a los accesorios para los tanques de almacenamiento 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 talvez con esto accidentes muy graves tanto a las instalaciones como al ser humano.

La inspección a los accesorios para tanques de almacenamiento tiene como base los códigos ASME, API, ASTM Y AWS; los cuales no cubren todos los detalles de construcción, muchos de estos detalles quedan bajo la responsabilidad del fabricante y su aceptabilidad por parte del inspector, los códigos pretenden dar los lineamientos generales, establecer los procedimientos en los que la practica ha demostrado su efectividad, como una forma de actuar para garantizar la seguridad de vidas y propiedades.

5.2 PREPARACIONES PRELIMINARES.

Antes de proceder a la inspección de los accesorios para tanques de almacenamiento, 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 este, conocer a fondo las especificaciones con las cuales va a inspeccionar, conocer los procedimientos de 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 revisión, verificación o 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 última revisión y anexos, no hay que descuidar que los códigos no son estáticos y que constantemente se están modificando, por lo tanto hay que estar al día en cuanto a modificaciones se refiere.

5.3 PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN Y TOLERANCIAS.

En primer término es necesario conocer la especificación de los materiales y solicitar los análisis químicos y físicos al proveedor del accesorio(s) para posteriormente cotejarlos con el código correspondiente.

Para el caso de placa, lámina o barras de acero, es necesario apuntar el número de colada y verificar la especificación del acero, misma que debe venir marcado en la placa de procedencia del fundidor.

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

Se efectuara una pre-inspección visual por todos los cantos de la placa para verificar que coexistan hojeaduras, laminaciones, falta de material, etc.

La placa o lámina deberá estar lo suficientemente derecho tanto para el trazo como para el rolado.

El corte puede efectuarse por medios mecánicos tales como maquinado, cizallamiento, esmerilado o a base de oxígeno, después de este toda escoria debe ser movida por medios mecánicos.

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

En todas las placas o tramos empleados en la construcción de los accesorios se deberá estampar con marcas de golpe no muy profundas, el número 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 estén marcados con los datos anteriores, este material no podrá ser utilizado para partes sujetas a presión, a menos que sean analizados tanto físicamente como químicamente y por supuesto que corresponda a la especificada para la fabricación del accesorio.

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
10x5.0 mm.	10.0	7.0
10 x 2.5 mm.	5.0	3.5

Los 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 efectuara un chequeo visual para observar si existen laminaciones o defectos que anteriormente no se habían podido observar.

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 los diámetros interiores puede ser incrementada por el 2% del diámetro del agujero.

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

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 accesorio	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"

5.4 SOLDADURA.

Se debe de realizar una inspección visual, esta debe de ser de 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 estos 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 la 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 mas de 3" a lo largo de las soldaduras, esta marca deberá ser estampada a golpe y no profunda para las 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 estéciles u otros medios apropiados en lugar del estampado a golpe.

5.5 ULTRASONIDO.

Aunque no es obligatorio de acuerdo con el código ASME la inspección ultrasónica en espesores menores de 4", es recomendable esta inspección se pueden localizar hojeaduras, grietas, laminaciones u otra clase de discontinuidades interiores en el material y no visibles en el canto de los mismos.

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

5.6 BRIDAS.

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

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

La tolerancia permitida no deberá excederse de $\pm 1/4"$ o $1/2"$ en registros pasa-hombre.

Las variaciones en su orientación angular con respecto a su verdadera línea de centros deberá ser mayor de $1/2^\circ$ o 1° en registros pasa-hombre.

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

La distancia de la línea de centro el recipiente a la cara de la brida no deberá ser mayor no menor de $3/8"$ o $1/2"$ en registros pasa-hombre.

5.7 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 radiografías durante un periodo no menor de 5 años.

5.8 PRUEBA HIDROSTÁTICA.

Una prueba hidrostática o hidropueba, es aquella a la que es sometido un accesorio para tanques de almacenamiento o recipientes para comprobar su resistencia en las condiciones estáticas para las que fue diseñado. Esta prueba consiste en bombear agua a una presión más alta a la que opera actualmente el accesorio y mantenerla a esa presión de ocho a diez horas.

Las pruebas hidrostáticas se realizan simplemente para confirmar que el accesorio funciona en forma segura y verificar que no tiene defectos. Las pruebas hidrostáticas forman parte de un programa completo de control de la integridad de los accesorios.

Las pruebas hidrostáticas son un método seguro y comprobado de encontrar posibles defectos antes de que se transformen en problemas reales. Si bien las pruebas hidrostáticas no garantizan que nunca se producirá una ruptura, creemos que las pruebas hidrostáticas, junto con las numerosas medidas de seguridad que hemos establecido, reducen significativamente dicha probabilidad.

Ya que las pruebas hidrostáticas se realizan a una presión más alta que la presión de operación normal del accesorio, si se produce una fuga o ruptura, habrá agua en el accesorio en vez de productos explosivos, corrosivos o de otro tipo.

Debido a que las pruebas hidrostáticas involucran alta presión, si hay una ruptura, el chorro de agua producido puede lesionar a las personas en el área inmediata, este es uno de los riesgos asociados con las pruebas hidrostáticas.

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 realizar la prueba hidrostática el inspector debe asegurarse que todas las conexiones sean las correctas para que no surja ningún accidente, deberá asegurarse que los manómetros sean los adecuados y que estén correctamente calibrados, el accesorio debe estar completamente seco exteriormente y se deberá cuidar que todas las partes soldadas estén visibles.

A la hora de la prueba se verificara también que el recipiente no sufra ninguna deformación visible exteriormente. Después de realizar la prueba, se verificara que no hayan sufrido ningún daño las partes internas.

Como un complemento a la prueba hidrostática y solo si así lo indican las especificaciones particulares, se debe efectuar la prueba de martillado, el cual se realizara de la siguiente manera: 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 accesorio, 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 debe exceder de 5 kg. El martillo debe ser de un material mas 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 norma.

5.9 TERMINADO.

Antes de realizar una limpieza final, se debe de asegurarse que todos los puntos de soldadura que hayan servido para el montaje o para alguna operación, deberán de eliminarse por medio de un esmerilado o con lima, observando que no se llegue al metal base, en caso de que existan áreas con faltas de material (material negativo), 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.

5.10 LIMPIEZA.

La limpieza debe de realizarse preferentemente por un proceso llamado "samblasteadado" el cual consiste en un chorro de arena a alta presión lo que ayuda a obtener una superficie perfectamente limpia, el samblasteadado de debe de aplicar tanto en el exterior como en el interior para eliminar todas las impurezas y obtener una superficie de anclaje adecuada para realizar el proceso de pintura sin problemas.

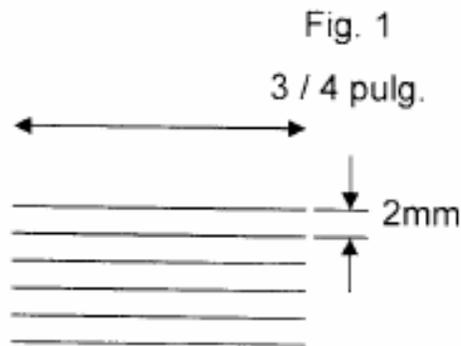
5.11 PINTURA.

La pintura es un material fluido, apto para ser aplicado sobre una gran variedad de superficies, que al curar formara una película continua, plástica, coloreada, adherente, con distintos grados de brillantez, cuyas funciones principales serán de brindar protección, decoración, iluminación, higiene, seguridad etc.

El inspector (auditor) debe de verificar que la pintura este de acuerdo con la especificación solicitada por el cliente.

En algunos casos se solicitara un certificado de adherencia de pintura, el cual debe de realizarse de la siguiente manera:

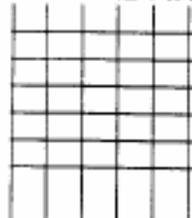
1. Utilizar una herramienta de corte bien afilada y una regla metálica que sirva como guía para realizar los cortes, auxiliándose con una lámpara de mesa. La herramienta de corte puede ser hoja de afeitador, cutter o escalpelo.
2. Seleccionar un área libre de manchas e imperfecciones en la superficie de la pieza, colocar en una base firme, y bajo iluminación realizar los cortes como sigue:
3. Hacer seis cortes paralelos (fig.1) de 3/4 de pulg. de largo, espaciándolos 2 mm., cortando la pintura con un movimiento firme aplicando la presión suficiente para hacer contacto con el material de la pieza (base o estrato). Limpie con un cepillo suave la superficie cortada y el cortador usado.



4. Hacer el número adicional de cortes a 90º con respecto a los cortes originales para formar una cuadrícula (tipo reja) Fig. 2. Fig.2

Fig.2

REJA O CUADRICULA:



5. Cepillar el área e inspeccionar los cortes utilizando la lámpara, si la marca en el metal no esta correcta realice otra reja en un lugar diferente.
6. Cortar dos vueltas completas de cinta adhesiva (diurex) de 1 plg de ancho semitransparente y desecharlas, después cortar un tramo de aproximadamente 3 in (75 mm).
7. Colocar el centro de la cinta sobre la reja alisando con el dedo, para asegurar un buen contacto restregar la goma de un lápiz sobre la cinta
8. Después de 90 segundos de aplicación quita la cinta de un jalón (sin dar varios tirones).
9. Inspecciona el área removida de la reja usando la lámpara.
10. Evaluar la adherencia de acuerdo a Norma ASTM D 3359-97 Standard test Methods for Measuring Adhesion.

Registrar resultados en reporte de inspección proceso y/o en certificado de Adherencia cuando fue requerido por el cliente.

5.12 EMBARQUE.

Aunque generalmente la responsabilidad de todos los preparativos necesarios para el embarque es del fabricante, los inspectores deben de verificar que los equipos estén bien empacados, protegidos y sujetos para que los accesorios no sufran ningún deterioro durante el trayecto del transporte.

5.13 CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN.

El inspector debe de elaborar un certificado de aceptación en el cual aparecerán todos los datos relacionados con el pedido, especificaciones e inspecciones realizadas.

Se debe de adjuntar la siguiente documentación como mínimo:

- 1.1. Remisión del embarque.
- 1.2. Dibujos del fabricante.
- 1.3. Certificados de los materiales y pruebas físicas
- 1.4. Certificados de prueba hidrostáticas.
- 1.5. Gráficas o gráfica de relevado de esfuerzos (en caso de ser requeridos).
- 1.6. Gráfica de normalizado (en caso de ser requerido).
- 1.7. Resultados de radiografías junto con reportes de reparaciones, si es que las hubo (en caso de que se requieran).
- 1.8. Certificado de garantía.
- 1.9. Otros (certificado de adherencia de pintura, certificado de calibración de instrumentos utilizados, certificado de sistema de calidad, reportes fotográficos, reportes de: inspección de materiales, inspección en proceso, inspección final etc.)

Finalmente se adjuntan los dibujos tanto de la fabricación como dimensionales y en los que se indican las tolerancias en los accesorios así como los párrafos de las especificaciones o normas utilizadas, a los cuales se tendrá que recurrir en caso de alguna duda.

CONCLUSIÓN.

Los accesorios para recipientes de almacenamiento son equipos muy importantes ya sea en una refinería, una planta petroquímica o la industria privada, ya que forman y constituyen una parte muy importante y básica de la mayor parte de los equipos de proceso, almacenamiento y distribución de productos, tanto del petróleo y sus derivados como de otro tipo de productos.

Por esta razón se debe de poner una atención especial a la importancia que tiene el proceso de inspección durante la fabricación y/o instalación de accesorios de los recipientes de almacenamiento, con el objeto de asegurar y certificar que estos equipos cumplan con todas y cada una de las especificaciones de diseño e ingeniería que reglamentan y rigen su fabricación, garantizando que sean enviados a campo listos para su instalación y operación en las plantas de proceso que tengan como destino.

Así mismo, evitar gastos elevados de reparación en campo, rechazo de los equipos al fabricante; en caso de no poder realizar la reparación en el lugar de operación, atraso 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, ASTM, ANSI, API, AWS, y cada una de 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 los accesorios para recipientes de almacenamiento.

Mismos que deberán ser evaluados y certificados en el momento oportuno con el propósito de que todos los eventos siguientes (etapas de 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 o ensamble.

Si utilizamos un sistema de calidad ISO 9000, entonces empezamos asegurándonos de recibir todas las especificaciones o detalles para la fabricación, siguiendo con el recibo de materiales donde estos deben de cumplir y/o satisfacer ciertos requisitos o especificaciones que deben de controlarse por medio de un plan de control, los materiales son elegidos de acuerdo con la función que va a desarrollar el accesorio, por lo que deben reunir una determinada composición química y las características físicas apropiadas para tal servicio.

La importancia de controlar los materiales 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 entre otros procesos.

Una de las condiciones mas importantes que se deberá de cumplir es con la conformidad y homogeneidad de las características del material que se recibe, pues si parte de estos materiales fueron de mejor o menor calidad que la especificada (hablemos de resistencia, composición química, etc., etc.,) esto representaría una desventaja, por lo que deberá modificar sus procedimientos y enfrentarse a estos problemas no previstos, que implica realizar gastos adicionales.

Por otra parte los coeficientes de seguridad son previstos tomando en cuenta cierto número y tamaño de defectos normales por lo que tienen que 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 características, una de las más importantes es considerar la certificación de los soldadores; en virtud de que: "el mejor de los procedimientos 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 presentan, 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 número 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 costo en la fabricación de un accesorio, 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 de que una falla suspenda la operación y consecuentemente ocasione pérdidas 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 en sus ventas.

BIBLIOGRAFÍA.

Código ASME (the American society of mechanical)
Sección II, Sección VIII, Sección IX

Código API (American Petroleum Institute)

Código ASTM (American Society Testing of Materials)

Sistema de Gestión de la Calidad I.S.O 9001-2000.