

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

INSPECCION DE RECIPIENTES A PRESION NO SUJETOS A FUEGO DIRECTO

EN LA INDUSTRIA PETROQUIMICA

ENRIQUE CASTILLO RODRIGUEZ DEL CAMPO

INGENIERO QUIMICO

1 9 7 8



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

TESIS 1978  
LAB \_\_\_\_\_  
ABS M. 88 83 85  
FECHA \_\_\_\_\_  
PROC \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



PRESIDENTE: Guillermo Barraza Ortega.  
V O C A L: Héctor Sierra Elizondo.  
SECRETARIO: Arturo López Torres.  
1er. SUPLENTE: Silvia Bello de Villarreal.  
2do, SUPLENTE: Ma. Enriqueta Juárez Hernández.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:  
Bufete Industrial.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE:  
Enrique Castillo Rodríguez del Campo.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA:  
Arturo López Torres.

A MIS PADRES:

DR. ENRIQUE CASTILLO PALACIOS  
Q. F. B. EMMA RODRIGUEZ DEL CAMPO DE CASTILLO

A MIS HERMANOS, MARCELA JORGE Y CARLOS

A MI NOVIA, MARCELA A. MENDEZ ROMERO

**A LA FACULTAD DE QUIMICA**

**A MIS MAESTROS**

**A TODOS MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS**

# INDICE

## INTRODUCCION.

### CAPITULO I GENERALIDADES:

#### ALCANCE. 2

- a) *Códigos y Normas.*
- b) *Soldadura.*
- c) *Pruebas.*

#### RECIPIENTES A PRESION. 3

- a) *Aceros al Carbón.*
- b) *Aceros aleados al Cromo y Cromo Niquel.*
- c) *Materiales no Ferrosos.*

#### Tipos de diseño. 4

*Empleo de los Recipientes a Presión en la Industria Petroquímica.* 5

*Accesorios.* 5

#### INSPECCION. 6

*Breve Historia de la Inspección en Plantas Petroquímicas.* 6

### CAPITULO II CODIGOS Y NORMAS: 10

#### ANTECEDENTES DEL CODIGO ASME. 11

*Códigos que rigen en la República Mexicana.* 12

*Código ASME.* 12

*Código ASTM.* 12

*Código API.* 13

<b>CAPITULO III MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICA-</b>	
<b>CIÓN DE RECIPIENTES A PRESION:</b>	<b>15</b>
<i>Elaboración del Hierro y del Acero.</i>	<i>16</i>
<i>Transformación del Acero.</i>	<i>17</i>
<i>Nomenclatura de los Aceros.</i>	<i>17</i>
<i>Aceros Grado Maquinaria.</i>	<i>18</i>
<i>Aceros Grado Herramienta.</i>	<i>19</i>
<i>Aceros Inoxidables.</i>	<i>20</i>
<i>Metalurgia del Hierro y el Acero.</i>	<i>21</i>
a) <i>Hierro Alfa.</i>	
b) <i>Hierro Gamma.</i>	
c) <i>Hierro Delta.</i>	
~ <i>Soluciones Sólidas Parcialmente Solubles.</i>	
~ <i>Diagrama Hierro-Carbono.</i>	
<i>Aceros Inoxidables.</i>	<i>27</i>
a) <i>Aceros Inoxidables Austeníticos.</i>	
b) <i>Aceros Inoxidables Ferríticos.</i>	
c) <i>Aceros Inoxidables Martensíticos.</i>	
<i>Efectos de los Elementos de Aleación.</i>	<i>35</i>
<i>Carbono.</i>	<i>35</i>
<i>Manganeso.</i>	<i>35</i>
<i>Silicio.</i>	<i>36</i>
<i>Fósforo.</i>	<i>37</i>
<i>Azufre.</i>	<i>37</i>
<i>Cromo.</i>	<i>37</i>
<i>Niquel.</i>	<i>38</i>
<i>Molibdeno.</i>	<i>39</i>
<i>Cobalto.</i>	<i>40</i>
<i>Tungsteno.</i>	<i>40</i>
<i>Vanadio.</i>	<i>41</i>
<i>Titanio.</i>	<i>41</i>
<i>Aluminio.</i>	<i>41</i>

Zirconio.	42
Cobre.	42
Plomo.	42
Boro.	43
Tantalo y Colombio. (Niobio).	43
CAPITULO IV SOLDADURA:	44
Dificultades y Defectos en la Soldadura.	46
1) Discrepancias Dimensionales.	46
a) Distorciones o Torceduras.	
b) Desalineamiento de las Juntas.	
c) Perfil de la Soldadura.	
d) Solapación.	
2) Discontinuidades Estructurales.	48
a) Porocidad.	
b) Inclusiones de Escoria.	
c) Inclusiones de Tungsteno.	
d) Fusión incompleta.	
e) Fracturas.	
3) Propiedades Deficientes.	50
Calificación del Procedimiento de Soldadura.	54
1) Metal Base.	
2) Material de Aporte.	
3) Fundente.	
4) Posición.	
5) Tipo de Corriente y Polaridad.	
a) Polaridad Directa o Positiva.	
b) Polaridad Invertida o Negativa.	
1) Proceso.	
2) Metal Base.	
3) Metal de Relleno.	
4) Posición.	

5) Lámina de refuerzo.	
6) Espesor del Metal Base.	
7) Preparación de los Materiales Base.	
8) Características Eléctricas.	
9) Procedimiento para Soldar las Juntas.	
10) Limpieza.	
11) Defectos.	
12) Tratamiento de la parte interna de la Ranura.	
13) Precalentamiento y Control de la Temperatura.	
14) Tratamiento Térmico.	
DIAGRAMA Y TABLA SUGERIDOS PARA SER ANEXADOS A UN - PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.	61
REQUERIMIENTOS GENERALES PARA INSPECCION Y PRUEBAS. Del Fabricante.	62
Del Inspector.	63
a) Certificados de Moldeo.	
b) Certificados de Radiografiado.	
c) Calificación.	
d) Certificado de Relevado de Esfuerzos.	
e) Certificados de Prueba Hidrostática y/o Neumá tica.	
f) Certificado de Datos de Fabricación.	
De las Pruebas.	64
1) Prueba Hidrostática.	
2) Prueba Neumática.	
3) Examinación por Partículas Magnéticas y Acei- tes Penetrantes.	
4) Relevado de Esfuerzos.	
5) Radiografiado.	
La Prueba Hidrostática.	67
La Prueba Neumática.	70
Líquidos y Aceites Penetrantes.	72
Líquidos Penetrantes.	72
Aceites Penetrantes.	72

~ Penetrantes Fluorescentes.  
~ Técnica Rost-Emulsificación.  
Partículas Magnéticas.  
Ultrasonido.

77

81

- ~ Reflexión ó Pulso-eco.
- Transmisión continua.
- ~ Acoplamiento por Inmersión.
- ~ Acoplamiento por Contacto.
- ~ Ventajas y Limitaciones.

Radiografiado.

87

- Absorción.
- Chasís.
- Contraste de la radiografía.
- Definición de la radiografía.
- Densidad de la radiografía.
- ~ Filtros ó pantallas.
- Fuente de radiación.
- Isótopos radioactivos.
- Kilovoltaje equivalente.
- Miliamperaje.
- ~ Película radiográfica.
- ~ Penetración de la radiación.
- ~ Penetrómetro.
- ~ Proceso de revelado.
- ~ Punto Focal efectivo.
- ~ Radiación.
- ~ Radiación secundaria.
- ~ Radiografía.
- Radiógrafo.
- Rayos Gamma.
- Rayos X.
- ~ Sensitividad radiográfica.
- ~ Tamaño de la Fuente.

- Tiempo de exposición.	
- Tubo de Rayos X.	
- Vida media.	
Rayos X.	90
a) Intensidad de los Rayos X y tiempo de exposición.	
b) Espesor y densidad del material.	
c) Tamaño de la Fuente.	
d) Tipo de película y pantalla ó filtro.	
Rayos Gamma.	94
- Aplicaciones	
Limitaciones de la Inspección Radiográfica.	98
Interpretación de Radiografías.	99
1) Normas de aceptabilidad.	
2) Prácticas de interpretación.	
3) Reporte.	
Resumen comparativo entre la Inspección con Rayos-X y con Rayos Gamma.	103
Rayos-X.	103
- Aplicaciones.	
- Ventajas.	
Rayos Gamma.	104
- Aplicaciones.	
- Ventajas.	
- Advertencias.	
Aspectos Principales de la Sección IX.	106
Tratamientos Térmicos.	109
Principales Tratamientos Empleados en la Industria Nacional.	109
a) Recocido.	
b) Normalizado.	
c) Relevado de Esfuerzos.	
d) Temple.	
e) Revenido.	
Condiciones que requieren relevado de esfuerzos.	115

<i>Chequeo dimensional,</i>	116
<i>Seis pasos condensados para realizar una inspección.</i>	117
<i>Conclusiones.</i>	118
<i>Bibliografía.</i>	120

## INTRODUCCION

El objetivo de la presente tesis es el dar a conocer la importancia que tiene, en el desarrollo de la Industria Petroquímica, la inspección de los recipientes a presión no sujetos a fuego directo y que en lo sucesivo únicamente se designarán como recipientes a presión.

En la Industria Petroquímica el 80% en promedio, de los equipos que se utilizan son recipientes a presión. De ahí que todo Ingeniero Químico debe de estar al tanto, no solo del diseño termodinámico de un recipiente a presión, sino también del diseño mecánico, de los métodos empleados en su fabricación, de los métodos de inspección y del mantenimiento de los mismos.

La inspección es una actividad que al desarrollarse de una manera óptima, brinda un máximo de seguridad en la operación de los recipientes a presión que integran una planta petroquímica; además, proporciona un ahorro considerable tanto de tiempo como económico, ya que de esta manera se logra reducir al mínimo la posibilidad de retrasos en el arranque de una planta, o de fallas inesperadas debidas a defectos de fabricación o por los materiales empleados, o bien por pobre obra de mano utilizada.

CAPITULO I

## I GENERALIDADES

### ALCANCE

Esta tesis cubre el estudio de los temas que a continuación se describen brevemente, ya que, cada uno de ellos se estudiará ampliamente en capítulos por separado.

a) Códigos y Normas.- El objetivo de este capítulo es el dar a conocer los códigos y normas que son aplicables tanto a la selección de materiales como a la fabricación en sí de los recipientes a presión. Los principales códigos que agrupan a las normas que rigen dicha selección y fabricación son los siguientes:

- American Society of Testing Materials. (ASTM)
- American Petroleum Institute. (API)
- American National Standard Institute. (ANSI)
- American Society of Mechanical Engineers. (ASME)
- American Welding Society. (AWS)

b) Soldadura.- Dentro de la fabricación de los recipientes a presión, la soldadura representa un punto de vital importancia, debido a que la buena operación de un recipiente depende en su mayoría de la calidad de la soldadura.

En este capítulo se estudiará lo que son los procedimientos de soldadura, la calificación de los procedimientos y calificación de la habilidad del soldador u operador, así como los distintos tipos de soldadura que existen y emplean en los recipientes a presión.

c) Pruebas.- En este capítulo se estudian todas aquellas pruebas que, según los códigos y normas se deben de aplicar a los recipientes a presión. Dichas pruebas se aplican a la recepción de los materiales, durante el proceso de fabricación y al realizar la inspección final.

## RECIPIENTES A PRESIÓN

Con lo expuesto anteriormente queda aclarado el alcance de esta tesis, por lo que a continuación se definirá lo que es un recipiente a presión.

Un recipiente, común y corriente, es un artefacto que sea capaz de contener en su interior a un sólido, líquido ó gas.

Ahora bien, un recipiente a presión es aquel que deberá tener una presión interna ó externa mayor de  $1.046 \text{ Kg/Cm.}^2$  (15 PSI) para que pueda ser considerado como tal.

De acuerdo a esta definición, los compresores, bombas, turbinas y generadores deberían ser considerados como recipientes a presión, y de hecho lo son, pero debido a que contienen componentes integrales rotativos y/o dispositivos mecánicos recíprocos, en donde las consideraciones de diseño primarias se derivan, precisamente, de los requerimientos de funcionalidad de dichos componentes y/o dispositivos, esta clase de equipo a presión no son considerados dentro del alcance de la inspección de los recipientes a presión.

Quedando definido lo que es un recipiente a presión, a continuación se darán a conocer los tipos de materiales con los cuales se pueden fabricar. Desde luego, el tipo de material utilizado está en función de la temperatura, la presión y la corrosibilidad, tanto del fluido que vayan a contener como del lugar en el cual sean instalados.

En la República Mexicana se fabrican muy pocos tipos de aceros, de ahí que los materiales utilizados en la fabricación de los recipientes a presión se centren a los siguientes:

a) Aceros al Carbón.- Denominados, por el código ASME Secc. II-

parte A como SA-283 y SA-285, con cuatro y tres diferentes grados respectivamente.

- b) Aceros aleados al cromo y cromo-niquel.- Denominados, por el código ASME Secc. II parte A como SA-240 con su tipo 304. Es de hacer notar que también se fabrican con aceros inoxidables de los tipos 304-L, 316, 316-L, 319 y 410 pero, estas clases de aceros no se fabrican en la República Mexicana y por consiguiente son considerados como de importación.
- c) Materiales no ferrosos.- Estos materiales son generalmente empleados como recubrimientos de los recipientes fabricados con los aceros de los incisos anteriores, aunque también, se utilizan directamente en el recipiente como lo es en el caso del Aluminio y del Titanio.

Desde luego, todos los materiales que se mencionan en los incisos anteriores deben de cumplir con los códigos y normas que les sean aplicables, los cuales se verán en el capítulo siguiente.

### TIPOS DE DISEÑO

En la Industria Petroquímica tenemos una gran variedad de diseños empleados en la fabricación de los recipientes a presión. Los hay de cuerpos cilíndricos ya sea horizontales o verticales con cabezas planas, cónicas, toricónicas, tori esféricas, semielipsoidales, o hemiesféricas; de cuerpos esferoidales o esféricos. Todos estos tipos de recipientes pueden estar soportados de muy distintas formas, como por ejemplo con soportes de silla de concreto, soportes con salientes en una columna de concreto, soportes en los faldones, etc. en el caso de los recipientes esferoidales, ellos están soportados parcial o completamente por reposo en la cimentación. Los recipientes esféricos están soportados generalmente sobre columnas de acero sujetas al cuerpo. Existe otro tipo de recipientes, llamados enchaquetados y están contruidos -

con una cubierta exterior que forma un espacio anular entre dicha cubierta y el recipiente en si.

### EMPLEO DE LOS RECIPIENTES A PRESION EN LA INDUSTRIA PETROQUIMICA.

Los recipientes a presión son empleados en todos los procesos petroquímicos que se llevan a cabo en la República Mexicana. Se emplean como reactores térmicos y catalíticos, para causar el cambio químico requerido por el proceso; como fraccionadores, para separar los diversos constituyentes que se producen en las reacciones químicas; como separadores para realizar separaciones de gases o líquidos; como tanques donde se lleva a cabo la agitación de líquidos; como unidades donde se realizan determinados tratamientos químicos; como tanques de asentamiento los cuales permiten separar los residuos de un producto ya tratado; como regeneradores, en los que se llevan a cabo las renovaciones de catalizadores o productos químicos utilizados como materias primas. Los recipientes a presión también son empleados como cambiadores de calor, condensadores, cajas de enfriamiento, etc.

### ACCESORIOS

Sería incorrecto afirmar que la inspección de un recipiente a presión únicamente se deberá centrar al cuerpo del recipiente, ya que, existen un gran número de accesorios, tanto internos como externos, que se deben de considerar dentro de la inspección.

Como ejemplos de accesorios internos están las mamparas, platos, rejillas para soporte de camas catalíticas o de materiales cerámicos, ciclones, serpentines, aspersores, etc. De igual manera, dentro de los accesorios externos están las mirillas, boquillas, bridas y soportes.

## INSPECCION

La inspección, como ya se ha mencionado anteriormente, tiene como misión esencial el determinar en cada fase de la fabricación, si ésta se está llevando a cabo correctamente y comprobando que se cumplan todas las condiciones exigidas por especificaciones y dibujos, condición indispensable, para que el recipiente a presión una vez terminado posea las características y calidad requeridas por el proyecto.

La inspección interviene en la recepción de todas las materias primas y elementos manufacturados y semimanufacturados que han de emplearse en la fabricación, comprobando que se ajustan a las medidas y condiciones del recipiente a presión en el cual van a utilizarse. Interviene también en cada una de las operaciones de mecanizado de las piezas, para determinar si la operación se ha efectuado de acuerdo con las especificaciones, dibujos y normas requeridas. Interviene igualmente, en las diversas fases de armado y montaje siendo esencial que antes de su embarque a la obra, el recipiente a presión sea sometido a todas las pruebas requeridas en los códigos y normas.

La inspección afecta por lo tanto a todas las fases y problemas de la fabricación, siendo un elemento imprescindible en la consecución de la calidad del recipiente a presión y es además el Departamento responsable de que el producto terminado se entregue en la obra bajo todas las normas y especificaciones requeridas.

## BREVE HISTORIA DE LA INSPECCION EN PLANTAS PETROQUIMICAS

Anteriormente a la primera Guerra Mundial, las presiones y temperaturas relativamente bajas fueron usadas en la Industria Petrolera. Poco tiempo después de terminada la primera Gran Guerra y debido al rápido incremento en el uso del automóvil, así como al desarrollo de las Máquinas Diesel, la producción de Gasolina, Kerosina y Diesel se vio en la necesidad de incrementarse grandemente,

estos combustibles se obtienen de las llamadas fracciones ligeras y para obtener el incremento de estas fracciones sin llevar a cabo un indebido aumento en las fracciones pesadas, se recurrió al "CRACKING" de una parte de las moléculas pesadas en unas mas ligeras. Para realizar este proceso, la Industria se vió obligada a recurrir al uso de presiones y temperaturas altas, que nunca antes habían sido utilizadas.

Con la introducción en los años 20's de los procesos de "CRACKING" por Dubbs, Cross y otros del tipo alta presión-temperatura, se hizo obvio que para obtener la seguridad deseada y la continuidad en las operaciones, se debía hacer uso de una minuciosa inspección en los equipos empleados. Si bien, las inspecciones se habían realizado en los recipientes con remaches de las antiguas unidades destiladoras, estas inspecciones habían sido ejecutadas con el intento de realizar reparaciones logrando así un aumento en la vida de dichas unidades y no para averiguar el servicio que aún podían prestar o para resolver el problema fundamental, que es la causa por la cual se deterioraron. Con las altas presiones y temperaturas, y con las operaciones continuas se hizo necesario la expansión e improvisación de métodos de inspección. Tuberías, cámaras de reacción y torres fraccionadoras requirieron de un grado de habilidad técnica muy por arriba del que se había requerido anteriormente.

Al mismo tiempo, nuevos campos Petroleros fueron incorporados dentro de la producción y se descubrió que el Petroleo proveniente de dichos campos contenía, relativamente, grandes cantidades de compuestos del Azufre. A este tipo de crudo se le llamó "Crudo Acido", debido a que bajo ciertas condiciones durante el procesamiento se volvían extremadamente corrosivos.

El incremento continuo en la demanda de los productos Petroquímicos, también produjo como resultado el diseño y fabricación-

de grandes unidades de alta capacidad y costo, las cuales eran operadas continuamente durante largos períodos de tiempo. Las Refinerías iniciaron la organización de fuerzas de inspección bajo la supervisión de Ingenieros calificados, para asegurar la continuidad en las operaciones, anticipar y diseñar planes de reparación previendo de esta manera paros en las operaciones.

Debido a los avances logrados en los Motores Diesel y de Gasolina, la Industria Petroquímica se vió en la necesidad de lograr mejores combustibles y lubricantes. Para ello el desarrollo de nuevos procesos se realizó rápidamente y se vió durante dicho desarrollo que en la mayoría de los procesos intervenían Agentes Químicos extremadamente corrosivos.

El gran y rápido desarrollo que estaba alcanzando la Industria Petroquímica, motivo que se hicieran mejoras en los campos de la Metalurgia y de la Soldadura, así como en los métodos de fabricación. Por lo que los inspectores tuvieron que realizar investigaciones para obtener mejores métodos de inspección y así lograr una mayor eficiencia al inspeccionar los nuevos equipos. Debido a estas investigaciones, fenómenos físicos que eran poco conocidos como la fatiga, expansión y rupturas por la tensión, tomaron gran importancia. Para lograr soluciones al problema que representaban dichos fenómenos, los inspectores se vieron en la necesidad de depender, aún mas de los Ingenieros en Metalurgia y Corrosión.

Los progresos en la tecnología, tales como los Rayos "X", Gamma y las Partículas Magnéticas, encontraron un amplio campo de aplicación en la inspección de los recipientes a presión.

La Segunda Guerra Mundial, provocó que los avances tecnológicos se aceleraran y así en pocos años la tecnología alcanzó un alto grado de avance y al concluir la Segunda Gran Guerra las aplicaciones no militares, se multiplicaron y nuevos instrumentos que

comenzaron a usar Isotopos Radioactivos y Principios Ultrasónicos fueron incorporados a la Industria en general.

La inspección hoy en día en la Industria, y en especial en la Petroquímica cuenta con los últimos avances técnicos a su disposición, siendo así una herramienta eficaz para obtener el máximo de seguridad y funcionamiento en la operación de una planta Petroquímica.

## II C O D I G O S Y N O R M A S

Existen diferentes códigos que son gobernantes de los procedimientos para el diseño, fabricación, inspección, pruebas y operación de los recipientes a presión. Dichos códigos han sido desarrollados como una medida de seguridad.

Como se mencionó en el capítulo anterior, las normas elaboradas en dichos códigos se basaron originalmente en las especificaciones desarrolladas para calderas de vapor, que de hecho son recipientes a presión pero sujetos a fuego directo. Se puede afirmar que el código, cuyo uso se ha generalizado y que más aceptación tiene, es el elaborado por la "American Society of Mechanical Engineers", conocido como código ASME para calderas y recipientes a presión. Es este código el que legalmente cumple los rigurosos requisitos de seguridad dictados por las leyes estatales de la mayoría de los Estados de la Unión Americana, en los Estados que no tienen requisitos tan rigurosos es suficiente con que los recipientes a presión sean diseñados de acuerdo a un código específico y reconocido para obtener una cierta seguridad; independientemente de los métodos y diseños-empleados, los recipientes a presión son generalmente checados contra las especificaciones del código ASME.

CAPITULO II

## ANTECEDENTES DEL CODIGO ASME

En el año de 1911, la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos estableció un comité que formulará y normalizará especificaciones para la construcción de calderas de vapor y recipientes a presión. Dicho comité inició sus trabajos con la revisión de las reglas de Massachusetts y Ohio, que eran las que estaban vigentes desde el año de 1907, y que presentaban notables diferencias entre sí. El comité realizó una exhaustiva investigación entre los superintendentes de los Departamentos de Inspección, Ingenieros, fabricantes y operadores de calderas, emitiendo un gran número de reportes preeliminares, y después de revisarlos preparó en 1914 el informe final, siendo aceptado dicho informe como código y editado en 1915. Se estableció al introducir el código, que cada dos años deberían sostenerse audiencias públicas sobre los resultados obtenidos al aplicarlo. La primera de estas audiencias se sostuvo en diciembre de 1916, con la asistencia de aproximadamente 1,500 personas entre fabricantes, constructores, diseñadores y usuarios. La mayoría de las discusiones fueron consensuales a los requerimientos del código para la construcción de calderas.

En 1918 una edición revisada del código fue editada, conteniendo nuevas secciones y por lo que en realidad constituía una expansión. Una nueva revisión en 1924 motivó que se le agregara al código la Sección VIII y esta nueva Sección representaba en sí, un código para recipientes a presión no sujetos a fuego directo.

Durante los años 20's se desarrollaron considerablemente las técnicas de soldadura y los comités del código intentaron elaborar reglas de seguridad para los recipientes soldados pero, no pudieron coincidir sobre las reglas requeridas para producir una estructura confiable. La aprobación final de la soldadura de fusión de los cuerpos y partes de los recipientes a presión, ocurrió durante el período de 1928 a 1931.

Una asamblea mixta integrada por miembros del "American Petroleum Institute" y de la "American Society of Mechanical Engineers", fué nombrada en 1931 para preparar un código de seguridad en la práctica del diseño, construcción, inspección y reparación de recipientes a presión no sujetos a fuego directo para líquidos y gases del Petróleo. El código API-ASME se publicó por vez primera en Septiembre de 1934, siendo revisado en los años de 1936, 1938, 1943 y 1951. Debido a que este código API-ASME era mucho más benigno que el entonces existente código ASME, se decidió oficialmente, el 31 de Diciembre de 1956, discontinuarlo y reemplazarlo por la edición de 1956 de la sección VIII del código ASME.

#### CODIGOS QUE RIGEN EN LA REPUBLICA MEXICANA

En la República Mexicana los códigos utilizados en el diseño, fabricación, inspección y pruebas de recipientes a presión, son códigos Norteamericanos y esto es debido a dos factores principales:

a) A que la mayoría de los fabricantes son representantes o al menos, utilizan tecnología de firmas Norteamericanas.

b) A el gran intercambio comercial que mantenemos con los Estados Unidos.

Dichos códigos son, en orden de importancia los siguientes:

CODIGO ASME. - Editado por la "American Society of Mechanical Engineers" y específicamente en sus secciones II, VIII y IX que son respectivamente especificaciones de materiales, recipientes a presión no sujetos a fuego directo y calificación de la soldadura.

CODIGO ASTM. - Editado por la "American Society of Testings Materials" y este código nos clasifica, determina y recomienda las pruebas necesarias para materiales Ferrosos y no Ferrosos utilizados en la Ingeniería.

CODIGO API. - Editado por el "American Petroleum Institute", este código es en realidad una guía para efectuar, en obra, la inspección y reparación de todos los equipos que componen una Refinería.

CAPITULO III

### III MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN

Como ya se ha mencionado en los capítulos anteriores, existen una gran variedad de materiales con los cuales se pueden fabricar los recipientes a presión, sin embargo, en la República Mexicana únicamente se fabrican los Aceros tipo SA-283, SA-285 y SA-240 según clasificación del código ASME. Es de hacer notar que el tipo SA-283 para el código ASME es un Acero al Carbón de tipo estructural pero, debido a la gran necesidad de materiales que existen en México, lo utilizamos en la fabricación de recipientes a presión con óptimos resultados. A continuación se hará una breve historia de los procedimientos utilizados en la fabricación del Hierro y el Acero, también se dará la nomenclatura que se emplea así como los efectos que tienen los elementos de aleación en las Propiedades Físicas y Químicas de los Aceros.

## ELABORACION DEL HIERRO Y DEL ACERO.

Con la llegada de la máquina de vapor se inició la fabricación de grandes tonelajes de Acero mediante la inyección de aire a presión, construyéndose hornos cada vez mayores hasta llegar a los Altos Hornos.

El Alto Horno utiliza Carbón Coque para la reducción del Mineral de Hierro, obteniendo altas temperaturas por inyección de grandes cantidades de aire. También utiliza piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) que produce una escoria que recoge las impurezas contenidas en el Mineral, como Silice y Oxidos de otros metales. El producto del Alto Horno es un Hierro sucio denominado "Arrabio" o Hierro de primera fusión (Pig-iron) y requiere una refinación posterior de los elementos que lo hacen frágil, como el exceso de Carbono, Silicio, Fósforo y Azufre; mediante el Convertidor Bessemer (inventado en 1850) se logró eliminar estas impurezas excepto el Azufre, al hacer pasar una corriente de aire inyectada a presión a través del Arrabio líquido. Desde 1910 el proceso Bessemer fue desplazado por el Horno de Hogar Abierto, el cual utiliza Mineral de Hierro para la refinación del Arrabio en lugar de aire inyectado, haciendo posible la eliminación de los elementos más perniciosos, Fósforo y Azufre, además de eliminar el Carbono y el Silicio. Al producto obtenido después de la refinación del Arrabio se le conoce como "Acero". A últimas fechas el proceso de Hogar Abierto ha sido desplazado por los Convertidores LD y BOF, los cuales utilizan una inyección de oxígeno para la refinación. En la actualidad los Aceros de más alta calidad se fabrican en los Hornos Eléctricos, los Aceros de aleaciones muy especializadas y de gran responsabilidad como los de calidad de aviación y Acero Espacial son obtenidos del Horno de Inducción de Alta Frecuencia que funde al vacío.

En la República Mexicana se ha desarrollado un proceso nuevo para la obtención del Acero, que se ha denominado proceso

"HYLSA", esto es, Hojalata u Lámina, S.A., el cual consiste en reducir el Mineral de Hierro con gas natural reformado. El producto obtenido de la reducción directa con gas es el llamado "Pellet", u es utilizado como carga del Horno de Arco Eléctrico hasta un 85% u el resto de chatarra sólida.

#### TRANSFORMACION DEL ACERO:

Cuando el Acero está listo en el horno, obtenido por cualquiera de los procesos anteriores, pasa a un proceso de transformación el cual lo convertirá en producto terminado, como láminas, placas, rieles, canales, etc.. Los procesos de transformación son: Forja, Laminación, Moldeo u Cerámica Metalúrgica, aunque este último no es un proceso en el que se utilice Acero, sino polvos sujetos a presión.

Los productos obtenidos por Forja, Laminación u Moldeo, requerirán de un último tratamiento térmico el cual homogenizará, aún más, la estructura cristalina del producto terminado. Este último tratamiento térmico se efectúa mediante alguno de los siguientes procesos: Recocido, normalizado, temple u revenido.

#### NOMENCLATURA DE LOS ACEROS:

Existe una gran variedad de nomenclaturas para los aceros, sin embargo, todas ellas tienen en común que relacionan el nombre del acero con su composición química. Las nomenclaturas usuales tanto en los países europeos, como en los americanos corresponden a las siguientes normas:

- A.I.S.I. u S.A.E. en los Estados Unidos de América.
- D.I.N. u S.E.L. en la República Federal Alemana.
- A.F.N.O.R. en Francia.
- E.N. en el Reino Unido.

U.N.I. en Italia.

I.H.A. en España.

En México la nomenclatura está dada por la Dirección General de Normas (D.G.N.), que equivale exactamente a la dada por el American Iron and Steel Institute (A.I.S.I.) y que a su vez tiene una gran similitud con los nombres proporcionados por The Society of Automotive Engineers (S.A.E.). Por ser esta nomenclatura la adoptada en México, a continuación se explicará como se elabora, pero tomando en cuenta que la A.I.S.I. no especifica propiedades físicas, sino exclusivamente químicas.

La denominación de los aceros A.I.S.I. está dividida en 3-nomenclaturas, de acuerdo a los tipos de acero que existen: aceros grado maquinaria, grado herramienta e inoxidables.

#### ACEROS GRADO MAQUINARIA:

Está formada por cuatro dígitos. Los dos primeros fijan los elementos de aleación y la proporción de los mismos. Los dos últimos dígitos limitan el contenido promedio de carbón, en centésimas de %.

Ejemplo: Acero AISI-1010. Quiere decir un acero al carbón sin elementos de aleación, conteniendo 0.10% C. Un acero 1020, es sin aleaciones y con 0.20% C. Un acero 4140 es al romo-molibdeno, con 0.40% C. Un acero 8630 es al romo-níquel-molibdeno, con 0.30% C., etc.

En algunos casos se encuentran aceros con letras al principio de la denominación, por ejemplo, E52100 que quiere decir acero eléctrico al cromo con 1.0% C. Otro ejemplo sería el B-1113, que quiere decir acero hecho en Convertidor Bessemer, refosforado y resulfurado para conferirle excelente maquinabilidad, conteniendo .13% C. promedio. Otras veces se encuentran -

letras intermedias como 12L13 que quiere decir acero al plomo, del inglés "Lead", además de ser refosforado y resulfurizado. - El acero 51B60 es el cromo, con adición de boro y 0.60 % C. Finalmente se encuentran los aceros "H" que están condicionados a requisitos metalúrgicos específicos, de templabilidad.

#### ACEROS GRADO HERRAMIENTA:

La denominación A.I.S.I. de estos aceros especiales, aceros finos, está apuntada hacia alguna característica relevante de una herramienta, al uso a que está sujeta, ó bien al tipo de tratamiento térmico que debe aplicársele. De esta manera se han clasificado los aceros en varios grados ó clases de tal forma que, a una misma clase se le puede ir adicionando un número progresivo, a medida que se vayan desarrollando nuevos productos.

Ejemplo: Un acero M7 es un acero de alta velocidad al molibdeno y fué el séptimo en desarrollarse; un M33 es de las mismas características pero ocupa el lugar número 33 en su clase, etc. Los grandes grupos generalmente aceptados son los siguientes:

##### Aceros de Alta Velocidad (High Speed)

M-Tipo molibdeno.

T-Tipo tungsteno.

##### Aceros de Trabajo en Caliente (Hot Work)

H1 al H19 Tipo cromo.

H20 al H39 Tipo Tungsteno.

H40 al H59 Tipo Molibdeno.

##### Aceros de Trabajo en Frío (Cold Work)

D-Tipo alto carbón-alto cromo.

A-Tipo Temple al aire-media aleación.

O-Tipo temple al aceite

Aceros Resistentes al Impacto (Shock Resisting).

S Tipo silicio.

Aceros para Moldes (Mold Steels)

P-Clidad plástico.

Aceros para Propósitos Especiales (Special Purpose)

L-Tipo baja aleación.

F-Tipo carbón- tungsteno.

Aceros de Temple al Agua (Water Hardening).

W-Tipo alto carbono-bajo manganeso.

#### ACEROS INOXIDABLES:

Para terminar con la nomenclatura de los aceros A.I.S.I., - los aceros inoxidable y resistentes al calor son designados por 3 dígitos de los cuales el primero significa la serie ó el grupo y los dos últimos indican el tipo. Esta designación es muy sencilla y es como sigue:

- 2XX      Aceros al Cr - Ni - Mn. No endurecibles por temple, - austeníticos y no magnéticos.
- 3XX      Aceros al Cr - Ni. No endurecibles por temple, auste níticos y no magnéticos.
- 4XX      Aceros al Cr. Endurecibles por temple, martensíticos y magnéticos.
- 4XX      Aceros al Cr. No endurecible por temple, ferríticos y magnéticos.
- 5XX      Aceros al Cr. Bajo cromo-resistentes al calor.

## METALURGIA DEL HIERRO Y EL ACERO.

### ESTADOS ALOTROPICOS DEL HIERRO (Fe).

El Hierro tiene tres estados alotrópicos:

- a) Hierro Alfa. Este estado alotrópico es el normal, la red cristalina es del tipo cúbica y centrada en el cuerpo. El Hierro Alfa es magnético, manteniéndose estable desde la temperatura ambiente hasta los  $723^{\circ}\text{C}$ , que es la temperatura en la cual se efectúa el revenido o relevado de esfuerzos. La red Alfa se caracteriza por tener espacios interatómicos muy pequeños, lo cual da lugar a que únicamente admiten una cantidad máxima de carbono de 0.008%, ó sea que la solubilidad del carbono en este estado es prácticamente nula. A la solución sólida que forma el Hierro Alfa con el carbono se le da el nombre de Ferrita y prácticamente podemos considerar que es Hierro puro.
- b) Hierro Gamma.- Al continuar el calentamiento del Hierro Alfa por arriba de  $723^{\circ}\text{C}$ , sin que se llegue al punto de fusión, obtenemos el segundo estado alotrópico del Hierro, el Hierro Gamma donde la red cristalina es cúbica también, pero con las caras centradas. En este estado los espacios interatómicos son mayores que en el anterior, de ahí que el porcentaje de carbono admitido sea mayor: 1.93% y la solución sólida que se obtiene es conocida como Austenita, la cual no es magnética, y no existe a temperatura ambiente. A las aleaciones Hierro-Carbono que contienen hasta 1.93% de C, se le llaman Aceros.
- c) Hierro Delta. Si se continua calentando la Austenita por arriba de su punto de fusión ( $1130^{\circ}\text{C}$ ), se forma el tercer estado alotrópico del Hierro: El Hierro Delta, que vuelve a ser magnético y disuelve fácilmente al Carbono. Sin embargo, al enfriarse cualquier cantidad de Carbono mayor del 1.93%,

se precipita por que la Austenita solo admite en solución el 1.93% de C. Al precipitado de exceso de carbono se le conoce como Hierro Colado.

Para poder comprender los fenómenos que ocurren durante el calentamiento del Hierro en sus estados alotrópicos es necesario el entendimiento del Diagrama Hierro-Carbono, que no es otro más que un Diagrama de Soluciones Sólidas Parcialmente Solubles:

a) Soluciones Sólidas Parcialmente Solubles:

Supónganse dos metales A y B que se mezclan en todas las proporciones posibles. Cada proporción tendrá un punto de fusión diferente. El metal A puro funde a  $330^{\circ}\text{C}$  y el metal B puro funde a  $235^{\circ}\text{C}$ . Los dos metales en estado líquido se disuelven mutuamente y los puntos de fusión de cada proporción va disminuyendo, a medida que aumenta la proporción de ellos. Si estos puntos de fusión resultantes son unidos por una línea se obtiene lo que se llama "Liquidus", representado por la línea  $A_1-E-B_1$  de la Fig. 1, y significa la temperatura en que cualquier aleación A-B se licua totalmente.

Existe un punto E en el Liquidus que corresponde a la temperatura de fusión más baja, en este caso cuando se contiene 61.9% del metal A. Esta temperatura mínima de fusión se llama Punto "Eutéctico". El punto Eutéctico significa que no existe ninguna proporción de los metales A-B que solidifique a menor temperatura. Además, es una temperatura constante para cualquier proporción de los elementos A-B, excepto las zonas X y Y, en la cual durante el enfriamiento hay lugar a la formación de una parte eutéctica. Esta línea X-Y se llama "Solidus", y entre la zona contenida entre el solidus y el liquidus existirá siempre una mezcla de metal A ó B sólido, embebidos en una solución líquida de los dos metales A-B. Abajo del sólido, formados por la línea X-E-Y, los

elementos A y B cristalizan separadamente sin disolverse, es decir una mezcla mecánica de dos metales. Sin embargo, las zonas  $A-X-A_1$  y  $B-Y-B_1$ , no afectadas por la línea eutéctica  $X-E-Y$ , significan que una pequeña cantidad de ambos elementos se disuelven uno al otro en estado sólido. En efecto el elemento A retiene en solución sólida 19.2% del metal B, y a su vez el metal B retiene 2.5% del metal A.

El punto "a" es una solución líquida de 60% A y 40% B a la temperatura señalada. Al descender la temperatura y alcanzar el Líquidus  $A_1-E$  se comienzan a separar cristales ricos en metal A y continúan haciéndolo al continuar bajando la temperatura hasta alcanzar el Solidus ó línea eutéctica  $X-Y$ , donde el líquido remanente tiene en ese momento la composición eutéctica. Esta solución eutéctica siempre solidifica a una temperatura constante de  $180^\circ C$ .

El punto "b" es una composición de 80% A y 20% B, y al descender la temperatura se comienzan a separar cristales ricos en metal B al tocar el líquido  $E-B_1$ , y a medida que la temperatura desciende, el líquido remanente se va enriqueciendo de metal A hasta alcanzar la composición eutéctica, en la misma forma en que se describió en el párrafo anterior.

En el estado sólido los constituyentes de los metales A y B están presentes como soluciones sólidas y eutécticas, dependiendo la naturaleza y combinaciones de la composición total. El eutéctico consiste de una mezcla mecánica de ambos metales A y B, conteniendo cada uno de ellos solamente un pequeño porcentaje disuelto del otro en solución sólida. Esta mezcla eutéctica, que es la última en solidificar, sirva como matriz en la cual se encuentran embebidos los cristales primarios que inicialmente solidificaron.

Las composiciones de los puntos "c" y "d" que están localizados en los extremos del diagrama, solidifican como solución -

nes sólidas, pues las proporciones indicadas están dentro de las zonas de solubilidad en el estado sólido de ambos metales y en consecuencia, no se forma el eutéctico.

La composición del punto eutéctico E que contiene 61.9% del metal A, al enfriamiento desde el estado líquido, no forma cristales primarios, y cuando la temperatura pasa por debajo de la línea X-Y el baño entero solidifica a esa temperatura formándose un eutéctico 100% compuesto de una mezcla mecánica de los dos metales en la proporción antes citada.

b) Diagrama Hierro-Carbono:

El diagrama Hierro-Carbono, es una gráfica de la solubilidad del carbono en el hierro contra la temperatura. En las abscisas se tienen el % de C, y en las ordenadas la temperatura en centígrados. Hablando desde el punto de vista de la solubilidad, el carbono se disuelve muy poco en el hierro, en el orden de .008% C. Sin embargo, con la elevación de la temperatura la solubilidad del carbono va aumentando hasta un máximo de 1.73% C, después de lo cual para disolver mayores contenidos de carbono es necesario pasar al estado líquido.

Analizando el diagrama de la Fig. II, se observa la presencia de constituyentes tales como, la Ferrita y la Austenita, que son los dos estados alotrópicos que interesan. También están presentes otros constituyentes tales como la "Cementita", de composición química  $Fe_3C$ , que es parcialmente soluble en el hierro y forma un eutéctico denominado "Ledeburita", cuando el contenido de carbono es de 4.3%. Al pasar a solución sólida la cementita se disocia en sus elementos constitutivos Fe y C formándose una solución compuesta por hierro y carbono, en lugar de hierro y cementita.

Como el límite de solubilidad del carbono en el hierro, bajo la forma de Austenita, es de 1.93% C a 1130°C, éste es el lí-

mite que caracteriza el contenido máximo de carbono en los aceros. Después de esta proporción de carbono se forman las llamadas "Fundiciones", las cuales pueden ser grises o blancas. Las fundiciones grises contienen el exceso de carbono como grafito, y las fundiciones blancas lo contienen como cementita. Las aleaciones de otros metales, como Mn, Si, Cr, Ni, Mo, etc. son las que determinan si la fundición es gris o blanca. A las fundiciones se les conoce también como "Hie rros Colados".

Existe un punto muy importante en el diagrama llamado "Eutectoide" representado por la letra "S" ( $723^{\circ}\text{C}$ ) y es el momento en el que durante el enfriamiento de la austenita se forma un constituyente llamado "Perlita". La perlita no es propiamente un eutéctico por que no proviene de una solución líquida sino de una solución sólida como lo es la austenita, pero es una mezcla mecánica de ferrita y cementita que contiene 0.88% C. Los aceros con menos de 0.88% C se llaman hipoeutectoides, y los de más de 0.88% C se llaman hipereutectoides.

La línea A-C es el Líquidus, temperatura a la cual inician la solidificación de los aceros y los hie rros cuando provienen del estado líquido. La línea J-E es el Solidus indicando las temperaturas a las cuales terminan de solidificar. La línea G-S es la temperatura a la que se disuelve todo el carbono en los aceros de menos de 0.88% C. La línea S-E es la temperatura a la cual se disuelve todo el carbono de los aceros que contienen desde 0.88 hasta 1.93% C. La línea E-C es una temperatura constante de  $1130^{\circ}\text{C}$  a la cual se disuelve parcialmente el carbono de las fundiciones, pero se inicia el estado líquido.

Finalmente la línea "A<sub>1</sub>" es la temperatura constante a la que cualquier acero o hierro inicia la solución del carbono-

durante un calentamiento. Básicamente esta línea  $A_1$ , que corresponde a una temperatura de  $723^{\circ}\text{C}$ , significa el límite de temperatura en los relevados de esfuerzos ó revenidos.

Arriba de la línea  $A_1$  ó sea  $723^{\circ}\text{C}$ , se inician ya los tratamientos térmicos propiamente dichos, como el recocido, normalizado y temple, donde la condición esencial para estos tratamientos es la disolución total del carbono, y solamente la velocidad de enfriamiento es determinante en el tipo de constituyente cristalino que se forme y consecuentemente de la dureza resultante.

Los esfuerzos ocasionados por la contracción de una soldadura durante la solidificación, así como los esfuerzos mecánicos producidos por el trabajo en frío, son eliminados casi totalmente calentando un poco abajo de la temperatura  $A_1$ , - también llamada de recristalización. Normalmente a  $675^{\circ}\text{C}$  - es suficiente. Si solamente se desean eliminar los esfuerzos mayores se calienta a  $400^{\circ}\text{C}$ .

Una característica de relevada importancia en los aceros es el fenómeno de refinamiento de grano a que hay lugar cuando un acero es calentado arriba de la temperatura crítica y - después enfriarlos a temperatura ambiente. En la práctica de la soldadura este principio ó fenómeno metalúrgico posee una gran ventaja y se le puede sacar mucho provecho. Por ejemplo aceros que contengan menos de 0.88% C pueden refinar sus granos perlíticos calentando arriba de  $A_1$ , y refinar sus granos ferríticos calentando arriba de G-S. Sin embargo, un calentamiento muy arriba de G-S podría causar un crecimiento excesivo del grano con las consecuentes desventajas en las propiedades mecánicas resultantes. Los aceros de más de 0.88% C refinarán su grano calentando un poco arriba de  $A_1$ .

De lo anterior se deduce que el procedimiento de soldadura-

con pasos múltiples, donde cada paso enfría abajo de  $A_1$  antes de depositar el siguiente, promoverá el refinamiento de los granos de la soldadura debido al repetido recalentamiento y enfriamiento. Tal refinamiento de grano da como resultado insuperables propiedades mecánicas.

## ACEROS INOXIDABLES

Los aceros inoxidable se caracterizan por que contienen fundamentalmente dos elementos en grandes proporciones que son el cromo dando la serie 400. Estos aceros al cromo forman dos grupos diferentes de aceros inoxidable que son los Aceros Ferríticos y los Aceros Martensíticos. El otro tipo de aceros inoxidable son los Aceros Austeníticos, pero se caracterizan por que contienen además del cromo, níquel en elevadas proporciones.

Lo que sucede con la adición de estos elementos es un abatimiento del campo austenítico, del diagrama Hierro-Carbono, en la siguiente forma: El cromo va cerrando el campo austenítico a medida que va aumentando la proporción y así de esta manera si se aumenta en el orden de 14% la proporción de cromo, desaparece totalmente el campo austenítico y entonces solamente quedará el estado alotrópico del hierro como hierro alfa. En estas condiciones, los aceros son magnéticos pero como no tienen temperatura de transformación no pueden endurecer al temple. El cromo es pues, un alfégeno  $\delta$  sea un convertidor de ferrita.

Por el contrario, el níquel es un elemento gammágeno y tiene de a deprimir o abatir la temperatura crítica de  $723^\circ\text{C}$  hasta temperaturas muy abajo de 0 y en esta forma, la línea de transformación se tiene a temperaturas sub-0, con lo que se puede obtener austenita a temperatura ambiente. Los aceros al cromo-níquel en el orden de 18 C - 8 Ni son pues austeníticos, y por consiguiente no son magnéticos, es decir no los atrae el imán. También, en consecuencia, como la temperatura de transformación está muy-

abajo de 0, los aceros inoxidables austeníticos tampoco endurecen el temple, estos aceros austeníticos son los que forman el grupo de la serie 300. Así, se tienen los aceros más comunes como el 302, 303 que puede contener selenio ó azufre para tener mejor maquinabilidad, el 304, 316 que tiene molibdeno, etc.

Los aceros inoxidables martensíticos se caracterizan porque el campo austenítico no desaparece totalmente, sino que se controla a voluntad mediante la adición de carbono, y en consecuencia se logra dejar un pequeño campo austenítico pero suficiente para que el acero pueda austenitizarse y con ello endurecer al temple.

#### a) Aceros Inoxidables Austeníticos:

Los aceros inoxidables austeníticos se caracterizan por que tienen un coeficiente de expansión térmica 50% más grande que la de los aceros al carbono, así como que su conductividad térmica es solamente un tercio de la de los aceros al carbono. En la soldadura de estos aceros, estas diferencias en propiedades físicas afectan las condiciones de operación en que tiene que aplicarse y existe una tendencia más grande de distorsión en este tipo de aceros.

Otra de las características de los aceros inoxidables austeníticos es que si se calientan entre la zona de 400 a 870°C, se produce una precipitación de carburos de cromo en los contornos de los granos austeníticos, dando como resultado una marcada disminución en la resistencia a la corrosión disminuyendo el contenido de cromo del propio cristal. La temperatura más sensible a esta precipitación de carburos es 650°C. Para eliminar la tendencia a la precipitación de carburos se recurre a una de las tres siguientes soluciones: 1) Un tratamiento térmico de solución. 2) Utilizar aceros inoxidables extra-bajo-carbono. 3) El uso de ace

ros estabilizados.

En el primer caso, el tratamiento para redissolver los carburos precipitados de cromo consiste en un calentamiento hasta  $1075^{\circ}\text{C}$  seguido de un enfriamiento rápido en agua. Sin embargo, esta posible solución no es del todo conveniente por que es cara, se requiere un horno de tratamiento térmico y es difícil evitar que la pieza se distorsione y además se oxide. En el caso de utilizar aceros de extra-bajo-carbono, esto es más factible porque se tienen contenidos de  $.03\% \text{ C}$  y aunque se trabaje en la zona de los  $400-800^{\circ}\text{C}$ , las cantidades de carburos que se precipitan son tan pequeñas que no afectan la corrosión intergranular de los aceros. Si se utilizan aceros estabilizados con colombio y tántalo ó también con titanio, éstos elementos tienen mayor avidez por el carbono que el cromo, y en consecuencia se forman carburos de estos elementos que precipitan en los interiores de los granos austeníticos y no tienen ninguna preferencia de hacerlo en los contornos de los granos. En esta forma, el efecto detrimente del carbono es neutralizado por la visión de estos elementos que sólomente son un poco más caros y sin embargo tienen esa gran cualidad y gran ventaja.

Otra de las características que tienen los aceros austeníticos inoxidables, es la tendencia a formar micro-fisuras en los contornos de los granos cristalinos que se conoce con el nombre de "fracturas calientes" ó bien micro-fisurado. El micro-fisurado está relacionado con varias cosas, pero las más relacionadas con este fenómeno son las siguientes: 1) Las condiciones de la micro-estructura del metal cuando solidifica de la soldadura. 2) La composición química del metal-soldado, especialmente en cuanto a elementos residuales ó atrapados. 3) La cantidad de esfuerzos de solidificación desarrollados en la soldadura cuando se está enfriando. 4) La ductilidad del metal de la soldadura a altas temperaturas. Debido a que se forma el micro-fisurado a muy altas temperatu

ras cuando está solidificando el metal nada puede hacerse por evitarlo, ni siquiera el martillado puede ser de utilidad. Lo único y es quien lo puede hacer, son los fabricantes de soldadura, es tener en el depósito del metal de la soldadura una estructura que no sea totalmente 100% austenítica, sino que sea una estructura duplex compuesta por austenita principalmente, pero conteniendo de 3 a 4% de delta-ferrita. Esta delta-ferrita en la proporción que ha quedado dicho, disminuye o evita el microfisurado y aunque disminuye algo la inoxidableidad de los aceros austeníticos, es más benéfico su efecto que dañino. Esta delta-ferrita también se podría transformar a la temida fase sigma con sus desastrosas consecuencias, pero los fabricantes lo tienen calculado de tal manera que no llegue a suceder esto. Algunas soldaduras son 100% austeníticas como la de los tipos 310, 310 (Co), 310 (Mo) y 330.

b) Aceros Inoxidables Ferríticos.

En general, puede decirse que los aceros inoxidables ferríticos son menos soldables que los austeníticos, pues aunque no existe el campo gamma sino exclusivamente ferrita y en consecuencia tampoco pueden endurecer al temple, los aceros ferríticos tienen la desventaja de que su grano cristalino no puede ser refinado por que no existe la temperatura de transformación y en consecuencia el crecimiento excesivo y sin control del grano los hace sensibles a fracturarse cuando son soldados. Para asegurar una estructura completamente ferrítica las soldaduras contienen frecuentemente elementos como el aluminio, el titanio, o el molibdeno, etc., todos ellos elementos que son fuertes formadores de ferrita. Existe un acero comercial, el 430 (Ti), que contiene .12% C más y 17% Cr con un contenido de Ti igual a seis veces la cantidad de carbono. El efecto metalúrgico del Ti en este acero es formar carburos de titanio estables y promover la formación de ferrita.

Aunque no lo necesitan, los aceros ferríticos en ocasiones -

son calentados en el orden de 150 - 250°C, pre-calentamiento que en algunas ocasiones evita la formación de grietas. También en general no se requiere un tratamiento térmico de recocido después de la soldadura, pero en algunos casos es necesario con objeto de eliminar esfuerzos y homogenizar la estructura. Aunque este tratamiento es del orden de 750 - 850 °C, no refina el grano por ser esto imposible en este tipo de aceros ferríticos. Sin embargo, el recocido tiene la desventaja del tiempo y el costo del tratamiento y la necesidad de preveer que no se forme óxido a estas temperaturas. También tiene la desventaja de que esta temperatura produce alto de austenita libre y que al enfriamiento, después del recocido ó después de la soldadura, puede formar martensitadura y frágil.

c) Aceros Inoxidables Martensíticos:

Los aceros martensíticos más comerciales inoxidables son los tipos 403, 410, 414, 416, (Se), 420, 431, 440A, 440B y 440C, estos aceros desarrollan su resistencia a la corrosión exclusiva al cromo, y su composición química varía en el orden desde 11.5 hasta 18% Cr. Si el contenido de Cr es elevado más allá de estas cantidades, se requiere generalmente elevar también el contenido de Cr para que no desaparezcan la zona austenítica del todo y por consecuencia, puedan endurecer al temple.

En general, el grado de dificultad de los aceros inoxidables martensíticos es realmente alto pues como se ha dicho, son incapaces de endurecer al temple, tienen una muy alta penetración de dureza ó templabilidad, y entre mayor es el contenido de carbono mayores son las precauciones que deben tomarse al soldar. Por ejemplo: el 410 que tiene .10% C y 13% Cr necesita una temperatura de precalentamiento del orden de 200-300C y después un enfriamiento lento. Definitivamente -

es conveniente que los aceros de este tipo martensíticos deban recocerse después de haber sido soldados por la gran cantidad de martensita que se forma en la zona afectada por el calor.

Los electrodos más comerciales de aceros inoxidable martensíticos son el 410 y el 420. Composiciones especiales tienen que ser enviadas a hacer directamente a los fabricantes. Una situación que tiene que ser tomada en cuenta en los aceros inoxidable martensíticos, es que cuando son precalentados en el orden de 400-550°C se fragilizan y además pierden su inoxidableidad.

Estos aceros normalmente se usan en estado fuertemente endurecido y la temperatura usual de revenido para desarrollar su máxima resistencia a la corrosión es de 200°C. Se les suele utilizar en durezas más bajas pero a sabiendas de que es en detrimento, es decir, sacrificando inoxidableidad, y dichas temperaturas suelen ser entre 600 - 650°C después de haber sido templadas, pero de ningún modo revenirlas en la mencionada zona de fragilidad.

Fig. 1

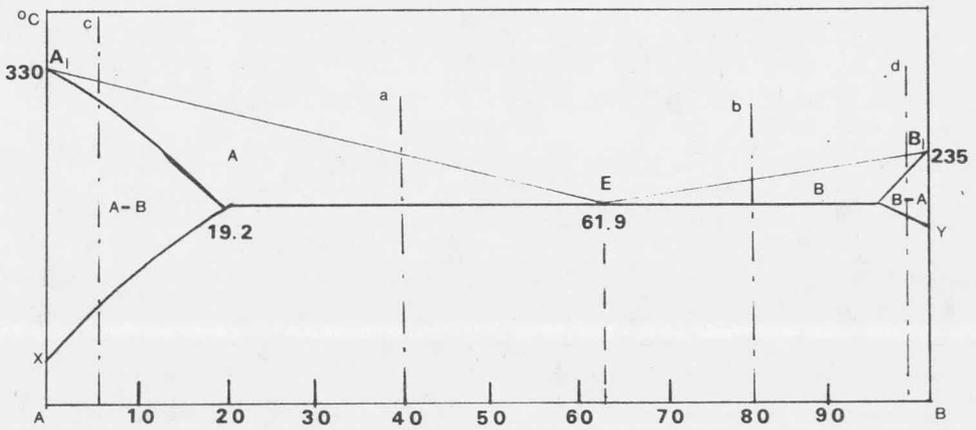
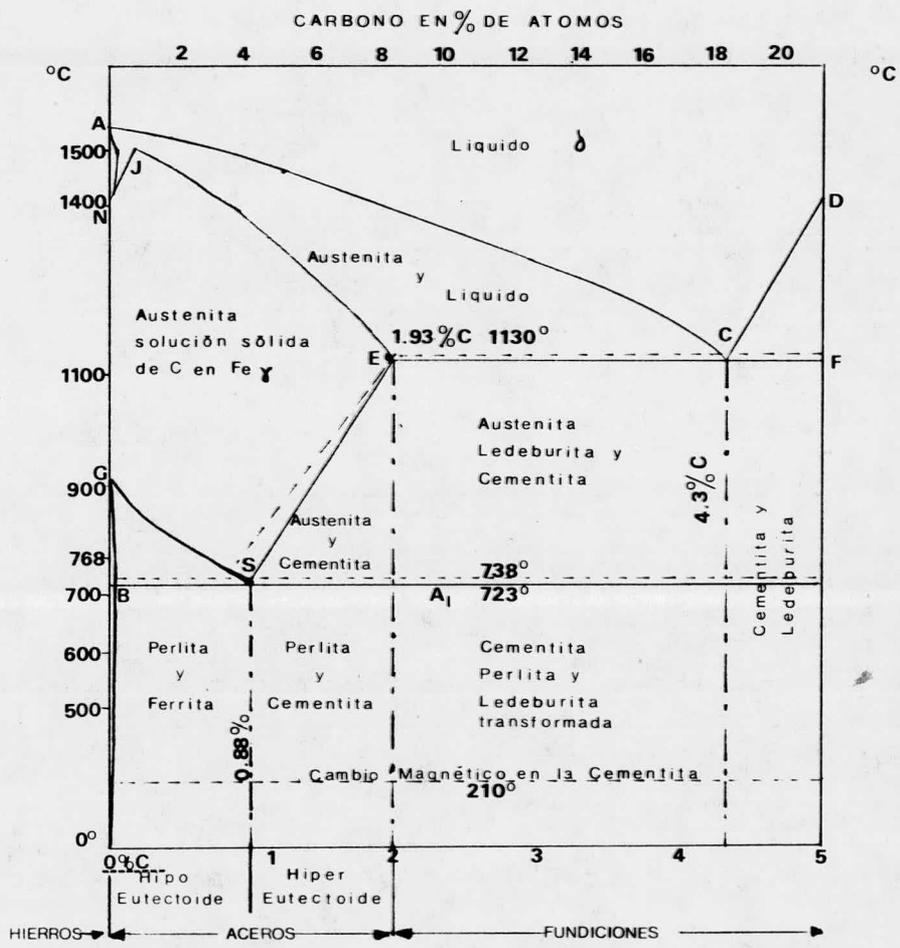


Fig. 11



## EFFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION:

La aleación Fe-C por sí sola es únicamente capaz de conferirle al acero la propiedad de endurecer mediante el temple. Pero otras propiedades como la profundidad de dicha dureza, el control del crecimiento del grano, la resistencia al impacto, evitar las deformaciones y fracturas durante el temple y muchas otras más, no pueden ser conferidas por la adición sola del carbono. Es necesaria en consecuencia, la adición de elementos tales como Mn, Si, Cr, Mo, Co, W, Ti, V, etc., cada uno de los cuales tiene efectos específicos.

A continuación se describirán brevemente algunos de los efectos específicos más sobresalientes de los elementos de aleación más comunes. Debe señalarse además, que en general las grandes ventajas de estos elementos es que permite velocidades de temple inferiores a las del agua, como aire a presión, aceite e incluso aire tranquilo, con lo que el proceso de temple se facilita grandemente y se disminuye el riesgo de deformaciones o fracturas que se producen al templar en agua. Desafortunadamente, desde el punto de vista soldabilidad, en forma general puede decirse que ésta va disminuyendo a medida que aumentan los elementos de aleación. No obstante existen algunos elementos como el níquel que favorecen la soldabilidad.

### CARBONO:

Es el responsable directo de la dureza de los aceros. Entre mayor contenido de carbono mayor dureza al temple, hasta un máximo de 0.70% C. Arriba de este contenido la dureza ya no aumenta, pero es mayor la resistencia al desgaste. Aumenta la resistencia de los aceros, pero disminuye la ductilidad. Entre mayor contenido de carbono, mayores son los riesgos de fracturas y distorsiones en el temple. Disminuye la soldabilidad entre mayor es el contenido de carbono.

### MANGANESO:

Aumenta notablemente la templabilidad o profundidad de du-

reza, así como la resistencia del acero, haciendo más propensos a los aceros a fracturarse en el temple. Aumenta la velocidad de penetración del carbono en la cementación, por lo que un exceso de manganeso puede ablandar la superficie. Se añade al acero en el proceso de fabricación para neutralizar el efecto pernicioso del azufre y del oxígeno, en el orden de .60 a .90% Mn. Los aceros aleados al manganeso únicamente, de .90 a 1.60% Mn, suelen ser propensos a fracturarse en el temple.

Existen aceros que contienen de 1 a 3 % de Mn con 1% de C y se les llama aceros indeformables por que pueden ser templados por enfriamiento al aire sin que las piezas sufran deformación alguna. Existen otros aceros con 14% Mn y 1% C que son los llamados aceros Hadfield, austeníticos, es decir, no endurecen por temple en agua pero endurecen por trabajo mecánico como el impacto y maquinado, aún que no endurecen si solamente existe fricción.

Los aceros que contienen arriba de .60% Mn y alto contenido de C no son fácilmente soldables, pero si el carbono es abajo de .30% C es factible soldar.

#### SILICIO:

Este elemento normalmente se añade al acero para desoxidarlo durante el proceso de fabricación. En cantidades mayores de 1.50%, si aumenta la resistencia, el límite elástico, la resistencia a la fatiga y ligeramente la templabilidad. Combinado con Cr y Mo aumenta notablemente la resistencia al impacto.

El silicio se caracteriza, cuando se encuentra en porcentajes elevados, por que disminuye las pérdidas por histéresis en los núcleos de los transformadores. Pero tiene la desventaja de hacer a los aceros muy sensibles a la decarburación. En los aceros de alto carbono facilita la grafitización de éste. Arriba de 3% Si, los aceros se vuelven ferríticos. En general, no fec

ta la soldabilidad de los aceros.

#### FOSFORO:

Es un elemento indeseable por que aumenta la fragilidad de la ferrita y provoca la segregación del carbono. Aumenta ligeramente la templabilidad, así como la resistencia y dureza de la ferrita por no formar carburos. Intencionalmente se añade a los aceros, únicamente cuando se desea mejorar la maquinabilidad, haciendo quebradiza la rebaba, pero disminuye las propiedades mecánicas. Como normalmente los aceros estructurales, grado herramienta e inoxidable, se limitan a .04% P más, el fósforo no perjudica la soldabilidad.

#### AZUFRE:

También es otro elemento pernicioso por que produce fracturas en caliente durante la solidificación de las piezas fundidas de acero, así como durante la forja o laminación. Disminuye las propiedades mecánicas. Sólomente se añade intencionalmente para mejorar la maquinabilidad, junto con el fósforo, pero requiere la presencia de mayores cantidades de manganeso para controlar su efecto negativo formando inclusiones no metálicas de sulfuro de manganeso. Disminuye la soldabilidad por la generación de gases de  $SO_2$ .

#### CROMO:

Aumenta la dureza, la resistencia y la templabilidad o profundidad de dureza. Impide la deformación y eleva la resistencia al desgaste y la inoxidable. El cromo se disuelve en la ferrita y tiene una fuerte tendencia a formar carburos. Se le utiliza en aceros de construcción, de herramientas, inoxidables y resistentes al calor. Los aceros de mayor uso son los siguientes.

Aceros de construcción general con .50/1.50% Cr y .30/.50% c, aleados con Ni y Mo. Los aceros de cementación con .50/1.50%

Cr con .15/.25% C, también aleados con Ni y Mo. Aceros de nitración Cr-Al-Mo. Aceros para muelles Cr-V y Cr-Si. Aceros de herramienta desde .50/5.0% Cr y .30 a 1.50% C. Aceros indeformables con 5/13% Cr. Aceros de alta velocidad usualmente contienen 4% Cr. Aceros inoxidables del tipo martensítico con 13/17% Cr. Aceros ferríticos no templables con 27% Cr. Y aceros inoxidables austeníticos no endurecibles por temple, con 14 a 25% Cr y 8 a 25% Ni.

De la misma forma que el manganeso, pero de menor efecto, el romo disminuye la soldabilidad a medida que aumenta el contenido.

#### NIQUEL:

Este elemento fué uno de los primeros metales que se utilizó para alearlo con el acero. En proporciones de 2 a 5% Ni au- menta notablemente la resistencia y el límite elástico sin dismi- nuir la tenacidad, por el contrario aumentándola. Es el metal que mayor efecto benéfico tiene sobre la resistencia al impacto, especialmente a bajas temperaturas (subcero). Su efecto es mejo- rado cuando está presente el Cr y el Mo.

La forma en que el níquel beneficia las propiedades del ace- ro no es muy clara, pués no aumenta la templabilidad pero en cam- bio evita el crecimiento del grano durante los tratamientos tér- micos mejorando así la tenacidad. También aumenta la resisten- cia a la fatiga en un 30% la de los aceros comunes. Se le utili- za en los aceros para piezas de alta calidad y gran responsabili- dad. También mejora la resistencia de los aceros recocidos y e- leva la resistencia a la corrosión, tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas.

Los aceros más comunes contienen de 2 a 5% Ni y .10 a .25 C para cementación; y si el carbono es de .30/.40%, se les utiliza para piezas de gran resistencia. Aceros con 1 a 3% Ni, aleados- con 1% Cr y .25% Mo, se usan para cementación si contienen .10 a

.25% C; si el C es de .30 a .45% se les utiliza en piezas de gran responsabilidad. Los aceros inoxidable austeníticos que no admiten temple, contienen de 8 a 25% Ni. Y también se utilizan aceros al Cr-Ni para herramientas de estampado en caliente, etc. El níquel definitivamente mejora las propiedades de soldabilidad de los aceros, siempre y cuando no se trate de aceros altamente aleados con otros elementos y contenga elevados porcentajes de carbono.

#### MOLIBDENO:

Es un metal de uso relativamente nuevo. Mejora notablemente la resistencia a la tensión, la templabilidad y la resistencia a la fluencia (creep) a altas temperaturas. Eleva la dureza y, en pequeñas cantidades, del orden de .20% Mo, elimina la fragilidad-Krupp en los aceros Cr-Ni que son revenidos entre 450-550C. Mejora la resistencia en caliente, de modo que sustituye al tungsteno en los aceros de alta velocidad en proporción ventajosa de 1 de Mo por 2 de W.

El Mo se disuelve en la ferrita pero es un potente estabilizador de carburos y por ello tiende a retardar el ablandamiento durante el revenido de los aceros templados. Por esta razón se requieren temperaturas de revenido más altas que las normales, y además produce una dureza secundaria con la precipitación de carburos de molibdeno de alta dureza.

Las composiciones más usuales típicas son al Mn-Mo, Cr-Mo, Cr-Mo y Cr-Ni-Mo con .15 a .25% C son utilizados para cementación. Conteniendo de .25 a .40% C, se les usa muy ampliamente en la fabricación de piezas de gran resistencia. En estos aceros mejora también la resistencia a la corrosión. Los aceros de alta velocidad, con 6 a 10% Mo sustituyen a los aceros rápidos al W. Finalmente los aceros con .50 a 6% Mo que se utilizan en las tuberías, refinerías, calderas, etc. que llegan a elevar su temperatura entre 100-300°C, su resistencia a la oxidación es magnífica.

### COBALTO:

Aumenta la dureza a alta temperatura en los aceros de alta velocidad finos, por que se disuelve en la ferrita y aumenta su resistencia. Es uno de los pocos elementos que reduce la templeabilidad de los aceros. El Cobalto se utiliza en los aceros de alta velocidad al tungsteno en proporciones del 3 al 10%. También se añade en los aceros para imanes que contienen Cr y W.

### TUNGSTENO:

El tungsteno es el metal que fué utilizado primeramente para la fabricación de aceros de alta velocidad, así como en otras herramientas de trabajo en caliente, por mantener su dureza inalterada a altas temperaturas de trabajo conservando su fi-lo, aún a 500-600°C. Aumenta considerablemente la dureza y la resistencia a temperatura ambiente y altas temperaturas. Aumenta la templeabilidad y se disuelve en la ferrita, aunque es un potente formador de carburos. De la misma forma que el molibdeno, es un gran estabilizador de carburos y requiere en el revenido temperaturas más altas que las normales para suavizarlo, con lo que al precipitar éstos, aumenta la dureza, ó dureza secundaria. Estos carburos de tungsteno son muy resistentes al desgaste.

El tungsteno se utiliza en aceros para imanes con 6% W. Aceros para trabajo en caliente, con 1 a 5% W. Estos mismos también se les utiliza con 9 a 15% W y .30 a .40% C. Aceros para algunas herramientas de corte contienen desde 1 a 14% W y otros elementos como Cr, Mo y V. Aceros de alta velocidad contienen 18% Cr, .70% C y otros elementos como Cr, V y Mo. Existen aceros inoxidables al Cr-Ni con W que poseen gran resistencia mecánica a altas temperaturas. Es obvio, que estos aceros no pueden ser soldables.

### VANADIO:

Este elemento tiene su acción principal sobre el tamaño de grano de los aceros. Por su gran tendencia a formar carburos - refina el grano, pero disminuye algo la templeabilidad. El refinamiento de grano existe tanto en la solidificación como en los tratamientos térmicos. Algo del vanadio se disuelve en la ferrita aumentando su dureza sin disminuir la tenacidad. Con excepción del Cb y el Ti, el vanadio es el más fuerte formador de carburos, y bastan pequeñas cantidades como .02% de V para ejercer su efecto.

En los aceros de herramientas las proporciones usadas son mayores, de .10 a .30% V. En los aceros de alta velocidad se utiliza de .50 a 1% V por su gran resistencia al reblandecimiento en el revenido. También aumenta la resistencia a la fatiga, por lo que se utiliza con bastante éxito en muelles al Cr-V.

### TITANIO:

Al igual que el vanadio, el titanio es un elemento desoxidante y refinador de grano. Además de su fuerte tendencia a formar carburos, se combina con el nitrógeno. En los aceros inoxidables estabiliza el carbono haciéndolos insensitivos a la corrosión intergranular y reduce el efecto endurecedor de los aceros al cromo. La proporción en que se le utiliza es cinco veces el contenido de carbono en los aceros inoxidables.

### ALUMINIO:

Es un elemento muy utilizado en la fabricación de todos los aceros de calidad. Se le utiliza como un enérgico desoxidante en el orden de .10% Al y sus partículas de óxido formadas en la desoxidación ( $Al_2O_3$ ) son submicroscópicas, las cuales actúan como núcleos refinadores del grano. Esto, por otro lado,-

trae como consecuencia una ligera disminución de la templabilidad.

En los aceros de cementación el Al dificulta la difusión del carbono, así como en los aceros de nitruración. Pero este fenómeno aumenta la concentración superficial del carbono y en consecuencia se eleva la dureza. En los aceros de cementación el Al suele producir puntos blandos, pero se corrige aumentando la temperatura de temple. En los aceros de nitruración se utiliza aluminio arriba de 1%, conteniendo Cr-Mo.

#### ZIRCONIO:

Es otro elemento desoxidante, pero su mayor aplicación radica en la fijación del nitrógeno en los aceros, bajo la forma de nitruros de zirconio, neutralizando el temido nitruro de aluminio que ocasiona la fractura "rock candy" como consecuencia de la absorción del nitrógeno en el acero durante su proceso de fabricación.

#### COBRE:

El cobre es un elemento que no afecta sensiblemente la dureza ni la templabilidad. Se disuelve en la ferrita y aumenta su resistencia a la corrosión atmosférica y la humedad. Se le utiliza en aceros para construcciones metálicas como puentes, en proporciones del orden de .50% Cu. Al cobre se le atribuyen ciertos efectos benéficos en la soldabilidad de los aceros estructurales.

#### PLOMO:

El plomo no se disuelve en el acero, sino más bien forma finos globulos metálicos homogéneamente dispersos en la matriz del acero, los cuales mejoran notablemente la maquinabilidad.

por su efecto untuoso ó de autolubricación a que hay lugar en el desprendimiento de las rebabas durante el maquinado que las hace discontinuas. Su adición requiere un difícil control y equipo - especializado para la absorción de sus óxidos tóxicos que se desprenden al introducirlo al acero,

#### BORO:

Es un elemento de aleación relativamente reciente y es el elemento más potente conocido que aumenta extraordinariamente la templabilidad de aceros. Su efecto es más intenso cuanto más bajo es el contenido de carbono, dejándose sentir su influencia en el centro de secciones de hasta 15 cm. de espesor. Su efecto es equivalente a 50 veces el del Mo, 75 veces el del Cr, 150 veces mayor que el Mn y 400 veces el del Ni. Desafortunadamente su control requiere técnicas muy depuradas y arriba de .003% B produce fragilidad. Los aceros que contienen boro, como generalmente contienen Cr y significantes cantidades de C, son difíciles de soldar.

#### TANTALO Y COLOMBIO. (NIOBIO)

Estos dos elementos se comportan similarmente y evitan la corrosión intergranular de los aceros inoxidables, estabilizando el carbono, con lo que impiden su precipitación a altas temperaturas como carburo de cromo. Es muy útil en electrodos de soldaduras para aceros inoxidables austeníticos. Eleva la resistencia en caliente de los aceros inoxidables, requiriendo por lo menos 10 veces el contenido carbono.

CAPITULO IV

#### IV SOLDADURA

Una de las actividades más importantes del inspector es el examinar los procedimientos de soldadura y la calificación, tanto de los mismos procedimientos como de los soldadores.

El inspector debe estar familiarizado con las propiedades Físicas y Químicas de los Materiales y Electrodo, así como tener experiencia en la evaluación de los procedimientos escritos y en las pruebas a las que deberán ser sometidas las placas soldadas, además, el inspector debe saber como encontrar la causa por la cual dichas placas soldadas pudieran resultar defectuosas.

Un procedimiento calificado es el factor más importante en la obtención de una buena soldadura; si este procedimiento ha sido propiamente establecido, el soldador únicamente tendrá que demostrar su habilidad haciendo una soldadura que deberá pasar las pruebas de raíz y de dobléz guiado, en este orden, para obtener su calificación. El inspector siempre debe tener presente que la excelencia de una soldadura no únicamente depende de la calidad de los Electrodo sino también en la manera en que ellos son utilizados, asimismo, no basta con que los procedimientos sean aceptables, y los soldadores calificados, sino que el inspector deberá verificar que dichos procedimientos y soldadores sean los que intervienen en la fabricación del recipiente.

El inspector tiene las siguientes obligaciones que cumplir:

- a) Saber interpretar los dibujos y especificaciones.
- b) Verificación de los procedimientos y calificación de los soldadores.
- c) Verificar que los procedimientos aprobados sean los utilizados.
- d) Seleccionar las muestras para examen.
- e) Saber interpretar los resultados de las pruebas.

f) Elaborar reportes y records.

El Código A.S.M.E. en su Sección IX sigue la formulación original de la American Welding Society para el Procedimiento Estándar de Calificación.

Antes de dar a conocer las dificultades y defectos en la soldadura, así como las pruebas que se deben efectuar y la calificación de los procedimientos tanto de la soldadura como del soldador, se mencionan a continuación los diferentes tipos de soldadura que existen.

La American Welding Society ha elaborado una Carta Maestra de Procesos de Soldadura, la cual se reproduce a continuación:

- Soldadura blanda.
- Soldadura de flujo.
- Soldadura de resistencia.
- Soldadura a gas.
- Soldadura por inducción.
- Soldadura de arco
- Soldadura térmica.
- Soldadura por forja.

## DIFICULTADES Y DEFECTOS EN LA SOLDADURA.

Las juntas soldadas en la actualidad pueden ser hechas con firmeza y con diferentes propiedades por cualquier tipo de proceso, sin embargo, es bien sabido por todos aquellos empeñados en hacer soldaduras que el obtener una soldadura con un alto grado de seguridad no es cosa fácil. De hecho, los defectos que existen pueden ocurrir en cualquier tipo de junta soldada; es por esto, que se dice que la soldadura perfecta no puede ser realizada. Algunas imperfecciones tal vez sean únicamente una pequeña incrustación de escoria, los especialistas en pruebas no-destructivas se refieren, a menudo, a este tipo de imperfecciones como "discontinuidades" y definen una discontinuidad como cualquier variación que exista en el promedio normal de las propiedades de un material. Cuando una discontinuidad es juzgada como perjudicial a las propiedades específicas de una soldadura ó de algún material, dicha discontinuidad es considerada como un defecto. Por esto, el objetivo primario en la realización de cualquier soldadura es limitar las imperfecciones a discontinuidades inofensivas y así asegurarnos que la soldadura se ejecutó satisfactoriamente y por lo tanto cumplirá con el servicio previsto.

Los defectos pueden ser clasificados en tres grupos generales:

- 1.-Discrepancias Dimensionales.
- 2.-Discontinuidades Estructurales.
- 3.-Propiedades Deficientes.

### 1.- DISCREPANCIAS DIMENSIONALES:

Uno de los factores que intervienen en la elaboración de soldaduras aceptables es el mantener las dimensiones dentro de los límites indicados en los dibujos y especificaciones.

Las principales discrepancias dimensionales son:

- a) Distorsiones ó Torceduras. - Estas discrepancias, generalmente se pueden controlar mediante el uso de procedimientos adecuados, y desde luego el método que se deberá emplear, para evitar estos defectos, estará en función del tamaño y forma de las partes a unirse, así como de su espesor.
- b) Desalineamiento de las Juntas. - Este tipo de discrepancias se presenta cuando las juntas no se encuentran alineadas, (Figs. a y b) y la fórmula mediante la cual podemos computar el desalineamiento es:

$$D = X - 1/2 (T_1 - T_2)$$

Donde:

D = Desalineamiento.

X = Distancia perpendicular entre superficies.

T<sub>1</sub> = Espesor de la parte más grande.

T<sub>2</sub> = Espesor de la parte más pequeña.

El porcentaje de Desalineamiento será:

$$\% D = \frac{100 (D)}{T_2}$$

- c) Perfil de la Soldadura. - El perfil de una soldadura terminada puede tener un efecto considerable sobre la eficiencia de la misma cuando se encuentra sometida a cargas y/o esfuerzos; aún más, un perfil de soldadura irregular cuando sirve de base a cordones posteriores, puede provocar defectos tales como fusión incompleta ó inclusiones de escoria.

d) Solapación.- Este término describe una condición en donde de una interposición de la soldadura metálica existe más allá de la unión en la base de la soldadura. Esta condición tiende a producir aberturas que son obviamente peligrosas, debido a la concentración resultante de esfuerzos bajo una presión ó carga. La solapación es causadageneralmente por el uso de técnicas incorrectas de soldadura ó bién por mala aplicación de la corriente eléctrica.

## 2.- DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES:

Cuando se utiliza la soldadura del tipo Arco-Metálico, losdefectos que se presentan son discontinuidades dentro de la soldadura, tales como poros, grietas, penetración inadecuada en las juntas, escoria, inclusiones, etc.

El término discontinuidad estructural no implica que se efectúe un cambio en la estructura metalúrgica del punto en que ocurre, sino que únicamente significa que existe una interrupción (Discontinuidad) en la firmeza de la soldadura.

a) Porocidad.- Cuando se encuentranen la soldadura cavidades provocadas por el gas, ó sea huecos libres de cualquier material sólido, entonces se dice que la soldadura es porosa (Fig. c), la porosidad se presenta debido a que los gases formados de la reacción Química en la soldadura son atrapados en el seno de la misma cuando ocurre un enfriamiento súbito. La porosidad se puede encontrar esparcida uniformemente a través de todo el cordón de la soldadura, apartada en pequeñas áreas ó bién concentrada en la raíz.

b) Inclusiones de Escoria. Este término describe a los óxidos que se encuentran atrapados entre la soldadura ó entre la soldadura y el metal base. (Fig. d).

- c) *Inclusiones de Tungsteno.*- En el proceso de soldadura por Arco-Gas Tungsteno, puede ocurrir que ocasionalmente el electrodo toque al metal fundido y por tal motivo, transfiera partículas de Tungsteno dentro de la soldadura depositada. Estas inclusiones son indeseables y para recipientes que ven a trabajar a condiciones críticas, el tamaño y número de estas inclusiones deben ser especificadas.

Al llevar a cabo la inspección de un cordón de soldadura, algunas veces las inclusiones de Tungsteno son visibles a simple vista, aunque generalmente son detectadas durante la inspección radiográfica, ya que el Tungsteno tiene como característica una alta absorción que hace aparecer a las inclusiones como unas manchas blancas en la película, contrastando con la imagen que provocan las inclusiones de escoria y porosidades, las cuales aparecen como manchas más oscuras.

- d) *Fusión incompleta.*- Mediante este término se describe la falla que ocurre al fundir capas adyacentes de soldadura, ó bien al fundir la soldadura y el metal base. La escasez de fusión puede ocurrir en cualquier punto. (Figs. e, f y g).
- e) *Fracturas.*- Este tipo de fallas son rompimientos lineales del metal sometido a un esfuerzo, por lo general son separaciones angostas en la soldadura ó adyacentes al metal base. Las fracturas se pueden dividir en tres grupos: Por calentamiento, por enfriamiento y Micro-fisuras. Todos los tipos de fracturas pueden ocurrir tanto en la soldadura como en el metal base.

Las fracturas son unos de los más dañinos defectos en la soldadura y son prohibidas por la mayoría de las especificaciones, sin embargo, las pequeñas fracturas llamadas fisuras ó Micro-fisuras pueden no reducir la vida

util de la soldadura que no es empleada en recipientes a presión.

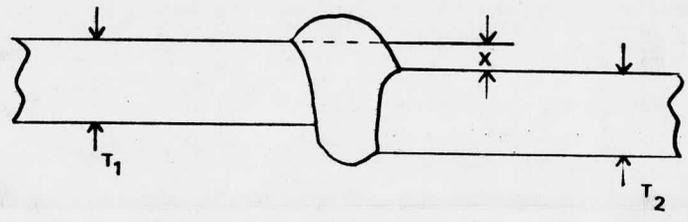
### 3.- PROPIEDADES DEFICIENTES:

Propiedades Mecánicas y Químicas específicas son requeridas en todas las uniones efectuadas con cualquier tipo de soldadura. Los requerimientos dependen de los códigos o especificaciones involucrados y la desviación de los requerimientos especificados - deberá ser considerada como un defecto. Si bien esas propiedades son generalmente determinadas mediante placas de prueba preparadas especialmente, en algunos casos las pruebas pueden ser realizadas sobre muestras de la soldadura tomadas de la producción. Cuando las placas de prueba son usadas, el inspector deberá cuidar que los procedimientos específicos sean los seguidos, - de otra manera los resultados obtenidos no indicarían necesariamente las propiedades reales de la soldadura.

Debe hacerse notar que no todos los defectos son debidos a condiciones impropias de la soldadura, es decir que muchos defectos pueden ser atribuidos al metal base, de aquí que la inspección del metal base con el cual va a ser fabricado el recipiente, sea de gran importancia, ya que aún teniendo una soldadura "Perfecta", las propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la tensión, elongación, ductibilidad y propiedades Químicas, pueden ser deficientes, debido a que el metal base se encuentra en malas condiciones.

Si:  $T_1 = T_2$

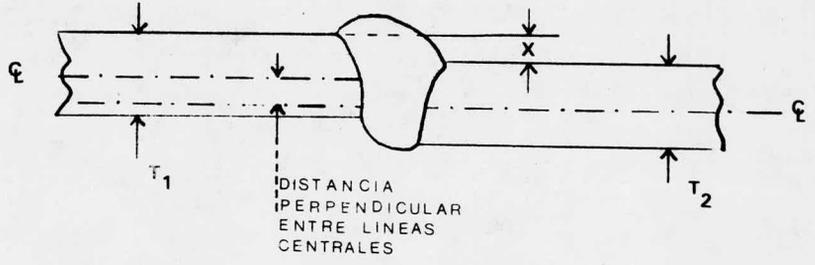
Fig. a



DESALINEAMIENTO = x

Si:  $T_1 \neq T_2$

Fig. b



DISTANCIA PERPENDICULAR ENTRE LINEAS CENTRALES

Fig. bb

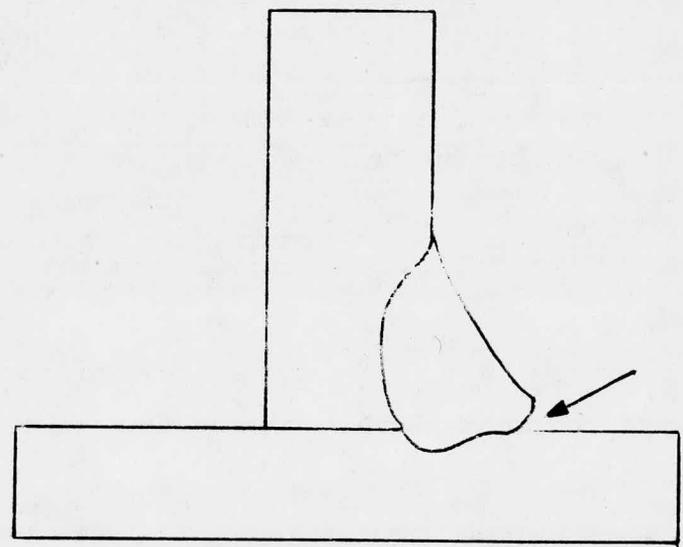
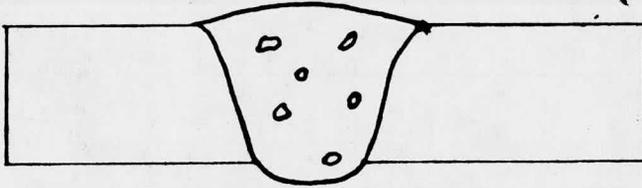
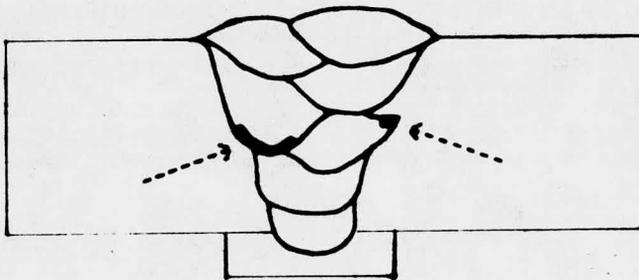


Fig. c



POROCIDAD

Fig. d



INCLUSIONES

Fig. e

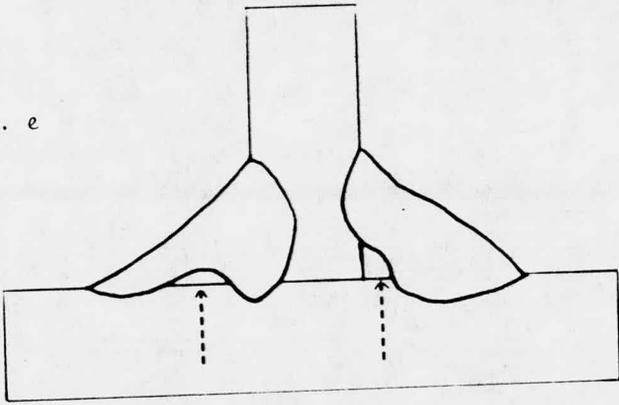


Fig. 4

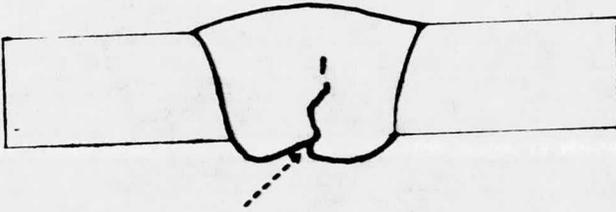
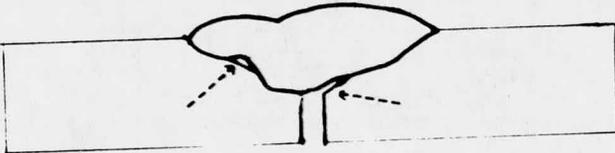


Fig. 9.



## CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA:

La calificación de un procedimiento de soldadura, se hace en todos los talleres de calidad reconocida, en base a la Sección IX del Código A.S.M.E., dicha Sección IX está dividida en tres partes: La parte A que cubre los requerimientos para materiales ferrosos, la parte B para materiales no ferrosos y la parte C para bronce. Debido al gran porcentaje de recipientes fabricados con materiales ferrosos, únicamente se tratará la calificación del procedimiento que se emplea para dichos materiales. Los procedimientos que se emplean para las partes B y C de la Sección IX, son los mismos que para la parte A, - salvo ciertas excepciones, como por ejemplo: "El mínimo espesor de material ferroso calificado por una placa de prueba de 1.588 mm ( $\frac{1}{16}$  Pulg.) a 9.525 mm ( $\frac{3}{8}$  Pulg.) de espesor es 1.588 ( $\frac{1}{16}$  Pulg.)", ahora bien, para materiales no ferrosos el espesor mínimo es 1.5 del espesor de la placa de prueba.

La calificación deberá ir de acuerdo a las siguientes premisas:

- a) El fabricante deberá asignar un número de identificación, letra o símbolo, para identificar rápidamente si la soldadura se efectuó manual o automáticamente.
- b) El fabricante deberá mantener un Record de Soldadores - mostrando fechas, resultados de la prueba y las marcas de identificación que se le asignan a cada soldador.
- c) Los Records deberán ser certificados por el fabricante y ser accesibles al inspector.
- d) El soldador estampará el símbolo sobre la placa a intervalos de 91.5 Cm. (3 pies) o menos, sobre un trabajo que haga en placas de 6.35 mm ( $\frac{1}{4}$  Pulg.) de espesor o más; para placas de Acero menores de 6.35 mm ( $\frac{1}{4}$  Pulg.) de espesor o placas de materiales no ferro

Los menores que 12.7 mm (1/2 Pulg.) de espesor, una apropiada marca u otro tipo de marca de superficie deberá ser utilizada.

- e) El Record deberá ser conservado por el fabricante, incluyendo todos los soldadores que trabajaron en un recipiente y cual soldadura hizo cada uno de ellos, de tal manera que estos datos también sean accesibles al inspector.
- f) Ningún trabajo de producción de soldadura podrá ser hecho, a menos que estén calificados, tanto el procedimiento de soldadura como el soldador u operador.

Para una calificación de procedimiento de soldadura, se deben tomar en consideración las siguientes variables:

- 1.- Metal Base, que es el material que se va a unir por un proceso de soldadura.
- 2.- Material de Aporte, que se considera como que es el metal que se agrega al estarse efectuando un proceso de soldadura, debiendo tener las siguientes características:
  - a) Capacidad para caldear los materiales empleados y hacer una soldadura resistente.
  - b) Temperatura de fusión apropiada y fluidez.
  - c) Composición homogénea y estable.
  - d) Que produzca una unión que llene los requisitos de ser vicio, tales como resistencia mecánica o a la corrosión.
- 3.- Fundente, que es el material utilizado para prevenir, disolver o facilitar la remoción de Oxido y de otras sustancias -

indeseables en un proceso de soldadura.

4.- *Posición, Tipo de la Junta Soldable, en los procesos de soldadura empleados en un recipiente a presión no sujeto a fuego directo, se tienen posiciones establecidas por la Sección IX:*

- a) Plana (Fig. a).
- b) Horizontal (Fig. b).
- c) Vertical (Fig. c).
- d) Sobre cabeza (Fig. d).

En cuanto a los tipos de juntas soldables, se pueden considerar tres tipos, en los cuales se requiere que la penetración sea perfecta.

5.- *Tipo de Corriente y Polaridad, al establecer el arco eléctrico se pueden tener dos tipos de polaridad, tratándose de corriente directa ó continua:*

- a) *Polaridad Directa ó Positiva, que es cuando los electrones fluyen del electrodo hacia la pieza (ver Fig. 1), lo cual se logra conectando el electrodo al polo negativo de la máquina y la pieza al polo positivo. Esta polaridad directa tiene como característica fundamental un arco bastante extendido que produce una pequeña capa de material fundido del metal base, lo que redundo en una baja penetración. La máxima aplicación de esta polaridad, se tiene en soldadura de materiales delgados y en revestimientos duros en donde ordinariamente lo que necesita es una capa superficial de un material de adorte más duro que el material base.*
- b) *Polaridad Invertida ó Negativa, en este caso se conecta el electrodo al polo positivo de la máquina y la pieza al polo negativo. Esta polaridad tiene como característica-*

Fig. a

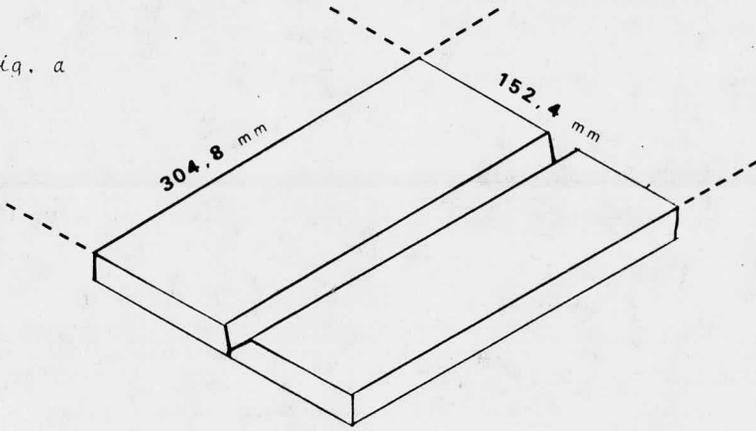


Fig. b

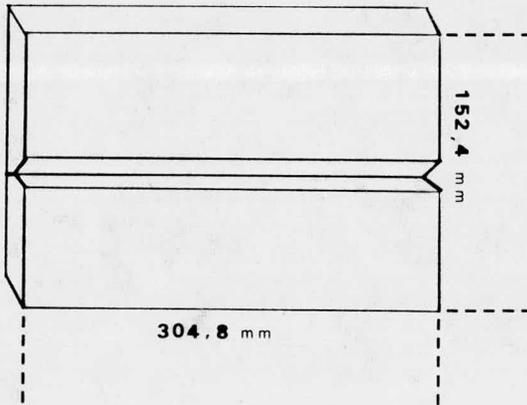


Fig. c

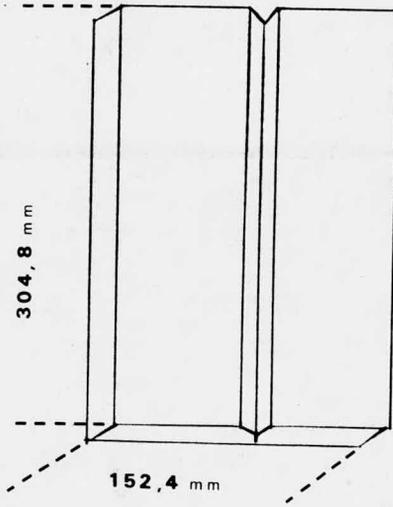
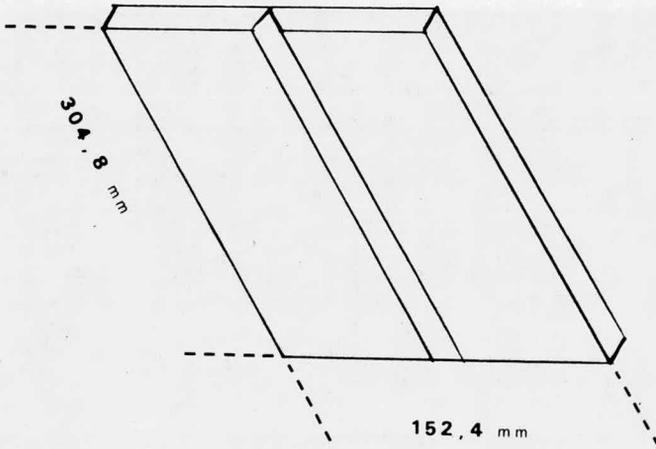
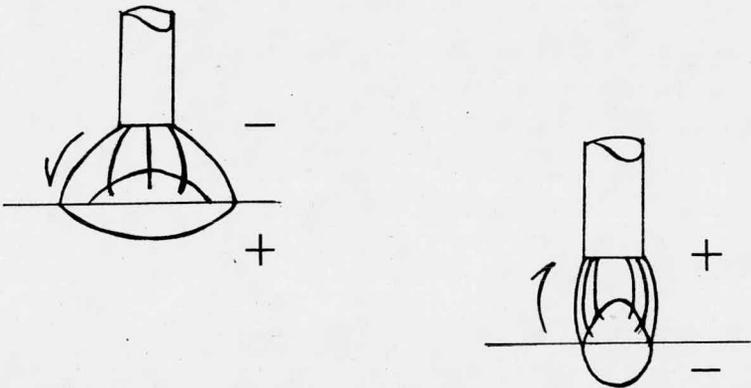


Fig. d



especial una concentración de calor en su punto de aplicación que produce una fusión considerable de metal base, lo que redunda en una gran penetración y una concentración del metal de aporte produciendo cordones abultados (ver Fig. 2). La aplicación de este tipo de polaridad la encontramos en soldadura de piezas gruesas.



Las pruebas para calificación de un procedimiento de soldadura deberán hacerse usando dos tipos de probetas:

- 1) Probeta de tensión de sección reducida.
- 2) Probeta para dobléz guiado.

Si el procedimiento escrito es claro y las placas de prueba son aprobadas, el fabricante estará calificado para soldar recipientes a presión de el mismo tipo de material usado en las placas de prueba.

La calificación del procedimiento es afectada directamente por el tipo de electrodo usado. Por ejemplo, si en una planta han sido soldados recipientes de acero SA-285 grado C, usando electrodos E-6020, clasificados como tipo F-1 (de acuerdo a la Sección IX), pero se quiere cambiar a un electrodo E-6015 ó

E-6016 clasificados como tipo F-4, el fabricante tendrá que calificar nuevamente el procedimiento.

Ejemplo de una Especificación para calificar un Procedimiento de Soldadura.

1) Proceso:

La soldadura deberá ser hecha por el proceso de soldadura - por arco metálico.

2) Metal Base:

El metal base deberá ser SA-285 grado C, del grupo de materiales número P-1 (Secc. IX).

3) Metal de Relleno

El metal de relleno deberá estar de acuerdo a la especificación de metales de relleno No. SA-233, electrodo E 6015 para metales de relleno ferrosos, F-número 4. La composición química de la soldadura depositada deberá estar dentro de los límites del análisis de soldadura No. A-1.

4) Posición:

La soldadura deberá llevarse a cabo en posición plana.

5) Lámina de refuerzo:

En las juntas soldables no deberá usarse lámina de refuerzo.

6) Espesor del Metal Base:

Este procedimiento propone un espesor entre 1.587 mm (1/16 - Pulg.) y 19.05 mm (3/4 Pulg.).

7) Preparación de los Materiales Base:

Las orillas ó superficies que van a ser unidas por soldadura deberán ser preparadas por maquinado ó cortadas con gas y las orillas de las juntas deberán ser limpiadas de todo tipo de aceites ó grasas y de escamas ó rababas excesivas antes de ser soldadas (ver tabla adjunta).

8) Características Electricas:

La corriente para soldar deberá ser c.d.. El metal base deberá estar en el lado negativo de la línea.

9) Procedimiento para Soldar las Juntas:

La técnica de soldadura, incluyendo el tamaño de los electrodos y rango de los voltajes y corrientes para cada electrodo, deberá ser de acuerdo a como se muestra en la tabla adjunta.

10) Limpieza:

Toda escoria ó remanentes de flujo sobre cualquier cordón de soldadura deberán ser removidos antes de depositar el siguiente cordón.

11) Defectos:

Cualquier grieta ó burbuja que aparezca en la superficie de cualquier cordón de soldadura deberá ser removida con cincel, gubia ó esmeril antes de depositar el siguiente cordón.

12) Tratamiento de la parte interna de la Ranura:

Antes de soldar la parte interna de la ranura, ésta deberá ser limpiada de todo tipo de óxido que contenga, mediante el uso-

del cincel, gubia ó esmeril y entonces el cordón de soldadura se aplicará como se muestra en la tabla adjunta.

13) Precalentamiento y Control de la Temperatura:

Ninguna soldadura deberá hacerse cuando las orillas que van a ser soldadas estén abajo de  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ).

14) Tratamiento Térmico:

Ningún tratamiento térmico deberá hacerse con la excepción - del relevado de esfuerzos de soldaduras completas, cuando éstas lo requieran.

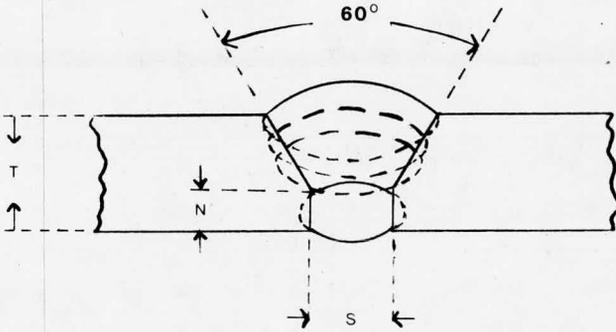
Fecha \_\_\_\_\_

Formuló \_\_\_\_\_

Aprobó \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Firma del fabricante

DIAGRAMA Y TABLA SUGERIDOS PARA SER ANEXADOS  
A UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.



ESPESOR DE LA PLACA (mm)	NUMERO DE PASOS	DIAMETRO DEL ELECTRODO (mm)	PORCIENTO DE VOLTAJE	PORCIENTO DE AMPERAJE	ANGULO DE LA RANURA (GRADOS)	NARIZ DE LA RAZ N (mm)	CLARO DE LA PLACA 5 (mm)
4.76	3	3.18	22	120	60	1.59	0
6.35	3	3.18	22	120	60	1.59	0
9.53	4	3.97	24	170	60	1.59	1.59
11.11	2	3.97	24	170	60	3.18	3.18
	3	4.76	26	210			
12.7	2	3.97	24	170	60	3.18	3.18
	4	4.76	26	210			

## REQUERIMIENTOS GENERALES PARA INSPECCION Y PRUEBAS

Como ya se ha mencionado en México no existe un código mandatorio sobre el procedimiento y obligaciones, tanto del fabricante como del inspector, para llevar a cabo la inspección y pruebas en los recipientes a presión.

Por lo anterior expuesto, los requerimientos generales que a continuación se enlistan, están basados en el Código ASME y en las Normas establecidas por los Departamentos de Inspección de Bufete Industrial Diseños y Proyectos, S. A. y de Petroleos Mexicanos.

Es de hacerse notar que estos requerimientos al no ser de carácter legal obligatorio, están sujetos a posibles negociaciones entre el fabricante y el cliente.

### DEL FABRICANTE

El fabricante deberá suministrar al inspector la siguiente información, cuando las características del recipiente así lo requieran:

- a) Dibujos y cálculos del diseño del recipiente.
- b) El Certificado de Molino de todos aquellos materiales que intervendrán en la fabricación del recipiente.
- c) Toda la documentación que ampare las pruebas de impacto, a la Tensión, Hidrostática y Neumática de la tubería que se utilizará.
- d) Calificación de la soldadura y procedimientos antes de que la soldadura sea empleada en la fabricación.

- e) Calificación de todos los soldadores y operadores antes de que inicien sus trabajos.
- f) Toda la documentación concerniente a los tratamientos térmicos llevados a cabo en el recipiente ó partes del recipiente.
- g) Los records y certificados de todas las pruebas no destructivas efectuadas al recipiente ó partes del recipiente. Se deberán incluir en este punto las películas radiográficas - que se hayan tomado.
- h) Los certificados de las pruebas Hidrostáticas ó Neumáticas, debiendo ser atestiguadas dichas pruebas por el inspector.
- i) El certificado de datos de fabricación, firmado por el inspector.

#### DEL INSPECTOR

El inspector deberá requerir y verificar, pero no limitar se a lo siguiente:

- a) Que los cálculos de diseño estén disponibles.
- b) Que los materiales usados en la construcción del recipiente cumplan con sus requerimientos específicos.
- c) Que todos los procedimientos de soldadura, así como los soladores y operadores hayan sido calificados.
- d) Que el tratamiento térmico se haya llevado a cabo.
- e) Que las pruebas no destructivas hayan sido realizadas y los resultados obtenidos sean favorables.

- f) Atestiguar las Pruebas Hidrostáticas y/o Neumáticas.
- g) Verificar que el sello y la placa de identificación sean los apropiados y que estén debidamente fijados al recipiente.

El Inspector deberá firmar los siguientes reportes:

- a) Certificados de Molino.- Estos certificados contienen el análisis Químico y Físico del ó de los materiales empleados en la fabricación del recipiente.
- b) Certificados de Radiografiado.- Estos certificados deben incluir cuando menos, el número de contrato, Sección del Código que se tomó como base para el radiografiado y el porcentaje de radiografiado.
- c) Calificación de la Soldadura y Procedimientos.- Mediante este documento podemos estar seguros que todos los elementos que intervienen en la soldadura son los adecuados.
- d) Certificado de Relevado de Esfuerzos.- El material se somete a distintos esfuerzos durante el proceso de fabricación y por lo tanto este certificado nos asegura que mediante un tratamiento térmico alineamos ó reducimos al mínimo dichos esfuerzos.
- e) Certificados de Prueba Hidrostática y/o Neumática.- Estos certificados nos confirman que el material ha sido probado en su resistencia y que el recipiente no presenta fugas.
- f) Certificado de Datos de Fabricación.- Este certificado es en realidad una historia resumida de la Fabricación del Recipiente.

#### DE LAS PRUEBAS

Los recipientes deberán ser sometidos a diversas pruebas.

antes de ser embarcados al lugar de su instalación. Las pruebas deberán realizarse en el Taller del Fabricante, siendo atestiguadas por el Inspector.

Las pruebas que a continuación se indican, son las que exige el Código ASME en su Sección VIII:

1) Prueba Hidrostática:

Todos los recipientes, excepto los que se prueben neumáticamente, deberán pasar satisfactoriamente esta prueba.

2) Prueba Neumática:

Esta prueba podrá ser usada en lugar de la Hidrostática en los siguientes casos:

a) Para recipientes que por su diseño de soportes no puedan ser llenados con agua.

b) Para recipientes que no puedan ser fácilmente secados y que el servicio para el cual vayan a ser usados no permita trazas de líquido.

3) Examinación por Partículas Magnéticas y Aceites Penetrantes:

Cuando el recipiente es probado neumáticamente, las soldaduras alrededor de las aberturas y de las adhesiones soldadas con espesor en el cuello más grande de 0.635 Cm. (1/4 Pulg.), deberán ser probadas con partículas magnéticas o con aceites penetrantes coloreados o fluorescentes.

4) Relevado de Esfuerzos:

Todos los Aceros al Carbón con costura deben ser relevados -

de esfuerzos, si su espesor excede 3.175 Cm. (1 1/4 Pulg.) ó  $\frac{D + 50}{120}$  en donde "D" es igual al diámetro interior ó a - -  
50.8 Cm. (20 Pulg.), cualquiera que sea el más grande.

Todos los recipientes que contengan gases letales deben ser relevados de esfuerzos.

#### 5) Radiografiado:

El radiografiado sirve para mostrar la presencia y naturaleza de los defectos internos de la soldadura.

Todas las juntas arriba de 3.81 Cm. (1 1/2 Pulg.) deberán ser 100% radiografiadas, así como los recipientes que contengan gases letales.

El radiografiado podrá ser total (100 %) ó parcial, la longitud mínima en el radiografiado parcial debe ser de 15.24 Cm. (6 Pulg.). Si el recubrimiento está incluido en el espesor calculado el radiografiado parcial es mandatorio. Los recipientes que tienen 1.54 m. (50 Pies) ó menos de costura principal, requieren de una prueba parcial: recipientes más grandes requieren de una prueba parcial cada 1.54 m. (50 Pies) de soldadura.

## LA PRUEBA HIDROSTATICA.

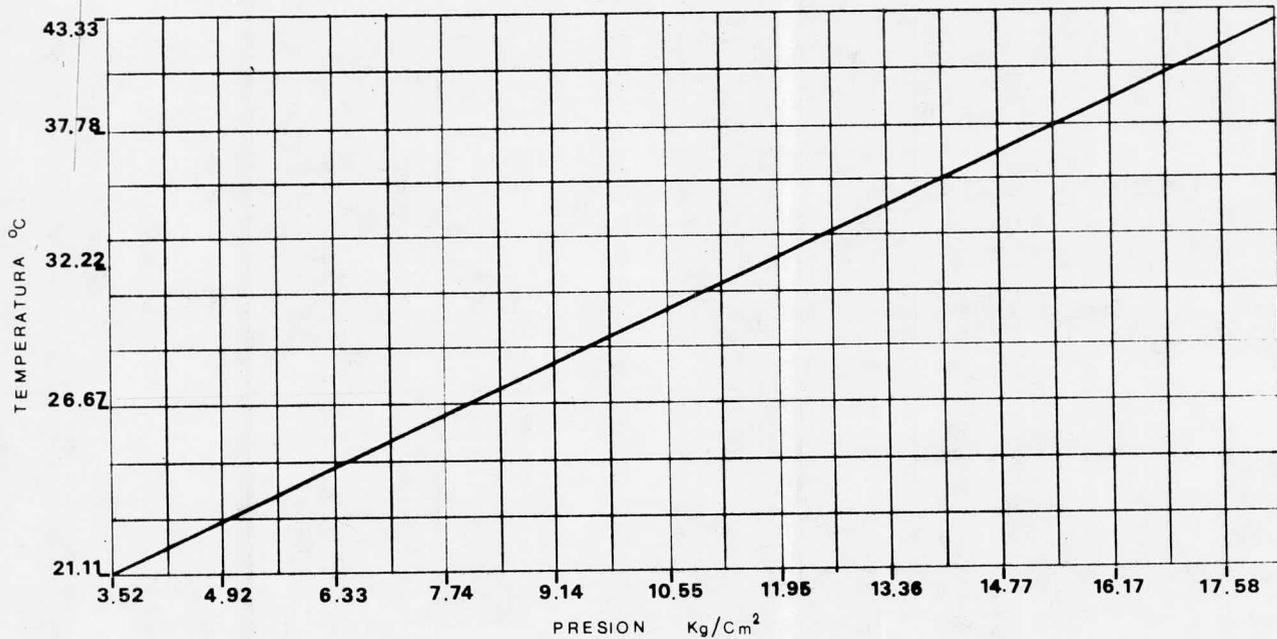
La Sección VIII del Código ASME en el párrafo UG-99 da los lineamientos para efectuar este tipo de prueba, y como ya se mencionó en los Requerimientos Generales para Inspección y Pruebas: "Todos los recipientes, excepto los que se prueban neumáticamente, deberán pasar satisfactoriamente esta prueba", lo cual da una idea de la importancia que tiene; a continuación se transcribirá un caso presentado en el Código ASME y que ejemplifica lo que puede ocurrir en cualquier taller que fabrique recipientes a presión, si no se toman las precauciones debidas:

"Un recipiente de cuerpo delgado, fue hidrostáticamente probado a  $2.11 \text{ Kg/Cm}^2$  (30 psi). Fue llenado avanzada la tarde y dejado toda la noche con la presión y todas las válvulas cerradas. Durante la noche el agua en el recipiente se calentó, expandió y provocó un abombamiento hacia afuera en una sección lateral".

Este accidente ocurrió a pesar de que en el párrafo UG-99 existe una nota que dice:

"Una pequeña válvula de seguridad para líquidos deberá calibrarse a  $1 \frac{1}{3}$  veces de la presión de prueba del sistema y colocarse en él, en caso de un recipiente que se lleve tiempo en la prueba, es probable el calentamiento del material, por lo que el personal deberá estar ausente".

### GRAFICA DE LA PRESION VS TEMPERATURA DEL AGUA



Del ejemplo anterior se deduce que es indispensable el haber leído y entendido el párrafo UG-99 de la Sección VIII antes de llevar a cabo cualquier prueba hidrostática, a continuación se darán algunos de los puntos, considerados como básicos para llevar a cabo una prueba hidrostática:

- a) Los recipientes diseñados para presiones internas, deberán ser sometidos a una prueba hidrostática la cual, en cualquier punto del recipiente deberá ser cuando menos igual a  $1 \frac{1}{2}$  veces la presión máxima permisible de trabajo marcada sobre el recipiente y multiplicada por la relación más baja existente entre el valor del esfuerzo  $S$  para la temperatura de prueba del recipiente y el valor del esfuerzo  $S$  para la temperatura de diseño. Todas las cargas que pudiesen existir durante la prueba deberán ser tomadas en cuenta.
- b) Una prueba hidrostática basada sobre una presión calculada puede ser utilizada por acuerdo entre el comprador y el fabricante. La presión de esta prueba hidrostática se obtiene al multiplicar por  $1 \frac{1}{2}$  cada uno de los elementos utilizados en el diseño y reduciendo este valor por la cabeza hidrostática. Cuando esta presión es empleada, el Inspector se reservará el derecho de exigirle al fabricante o diseñador el suministro de los cálculos utilizados para la determinación de la presión de prueba hidrostática para cualquier parte del recipiente.

Los requerimientos dados en el inciso "a", representan los estándares mínimos requeridos por la presión de prueba hidrostática según el código ASME. Los requerimientos del inciso "b" representan una prueba especial basada sobre cálculos. Cualquier valor intermedio de la presión, puede ser usado. El mismo código ASME indica lo siguiente:

"Esta División no especifica un límite superior para la presión de prueba hidrostática. Sin embargo, si la presión de prueba hidrostática se excedió, ya sea intencional y/o accidentalmente, del valor dado u obtenido del inciso "b" en grado tal que el recipiente es sujeto de una distorsión permanente y visible, el Inspector deberá reservarse el derecho de rechazar el recipiente".

- c) Cualquier líquido no peligroso a cualquier temperatura puede ser usado para la prueba hidrostática siempre y cuando esté abajo de su punto de ebullición. Se recomienda que la temperatura del líquido sea no menor de 15.56°C (60°F).- La prueba de presión no deberá ser aplicada hasta que el recipiente y sus componentes estén todos a la misma temperatura.
- d) Venteos deberán ser colocados en todos los puntos altos del recipiente con el objeto de evitar posibles bolsas de aire cuando el recipiente está siendo llenado.

#### LA PRUEBA NEUMÁTICA.

La Prueba Neumática debe ser usada en lugar de la Prueba-Hidrostática cuando se presenten los siguientes casos:

- 1) Para recipientes que por diseño ó que por sus tipos de soportes no ofrezcan seguridad al ser llenados con agua.
- 2) Para recipientes que no puedan ser fácilmente secados, y que debido a que van a ser usados en servicios ó procesos donde ninguna traza de líquido de prueba es tolerada dentro del recipiente.

La Prueba Neumática deberá tener una presión de prueba cuando menos igual a 1.25 veces la presión máxima permisible de tra

bajo.

*Al iniciar la prueba la presión en el recipiente deberá ser gradualmente incrementada hasta no más de  $1/2$  de la presión de prueba. Después de ésta la presión de prueba deberá ser incrementada por pasos de aproximadamente un décimo de la presión de prueba hasta que la presión de prueba requerida ha sido alcanzada. En seguida la presión deberá ser reducida a un valor igual a  $4/5$  de la presión de prueba y sostenida por el tiempo suficiente para permitir la inspección del recipiente.*

## LIQUIDOS Y ACEITES PENETRANTES:

### LIQUIDOS PENETRANTES.

Los métodos de inspección con penetrantes se emplean generalmente para encontrar defectos abiertos a la superficie en materiales no ferrosos, sin embargo, para estos últimos se ha empleado un nuevo sistema conocido como "Partículas Filtradas".

El principio del método se basa en que casi cualquier líquido puede penetrar los defectos y de que cualquier substancia absorbente puede servir como revelador. Para que esto sea rigurosamente cierto y para que se logre una mayor sensibilidad se requiere cumplir con ciertas condiciones como son obtener una gran habilidad de penetración y proporcionar un buen contraste.

Los penetrantes para satisfacer estas dos condiciones se preparan con aceite y blanco de España a los que se adicionan tinturas o materiales fluorescentes para poder observarse, ya sea bajo luz natural o negra.

Los pasos que deben seguirse durante la inspección son:

- Lavado de la superficie por examinar.
- Aplicación del penetrante.
- Remoción del exceso de penetrante.
- Aplicación del removedor.
- Inspección.

Objetivamente estos pasos quedan representados o mejor dicho, pueden efectuarse utilizando una brocha o mediante procedimientos de aspersión e inmersión.

### ACEITES PENETRANTES.

Este método es particularmente utilizado por su gran porta

bilidad, puede surtirse en recipientes presurizados para aplicar se por aspersión y se usan ampliamente para la comprobación periódica de equipos de vida crítica, tales como ganchos de grúas o en partes de maquinaria en revisión.

La tintura depositada en el defecto es llevada a la superficie por la capilaridad del mismo y por la acción del revelador, quedando claramente delineado por el contraste del color blanco del revelador.

En la práctica se usa comúnmente los productos CV-CHECK y MET- L CHECK que se aplican bajo procedimientos similares, solo que para el primero el penetrante no es soluble en agua y en el segundo si lo es.

La inspección con tinturas penetrantes prácticamente es inútil si con anterioridad la pieza se ha examinado mediante partículas magnéticas o algún método similar, debido a que pequeñas partículas quedan embebidas en los defectos, imposibilitando la entrada del penetrante.

Las ventajas que ofrecen las tinturas penetrantes son:

- Proporcionar seguridad por la inspección efectuada en los periodos de revisión y de paro.
- El costo de la prueba es relativamente bajo.
- Se aplica en materiales magnéticos y no magnéticos.

Las desventajas son:

- No es práctico en superficies rugosas.
- El contraste de colores es limitado para algunas superficies.
- Detecta solamente defectos abiertos a la superficie.

Penetrantes Fluorescentes:

Este procedimiento utiliza un penetrante elaborado a base -

de aceite y un material fluorescente a los que se adiciona un emulsificador para que sea posible removerlo con agua.

Su principio es similar al de las tinturas excepto que la indicación se hace visible bajo luz negra, nombre con el que se conocen las radiaciones de longitud de onda cercanas al ultravioleta.

La luz negra cuyo conocimiento no es reciente, cada vez tiene una aplicación más amplia, por su característica principal de causar fluorescencia en ciertos materiales en un rango de luz visible.

En la industria los penetrantes fluorescentes tienen sus principales aplicaciones en materiales no magnéticos como el aluminio, magnesio, austeníticos, etc., aprovechando su excelente habilidad de penetración y su gran brillantez de color amarillo-verdoso.

Cuando se aplican penetrantes fluorescentes lavables con agua, los tiempos de penetración generalmente empleados, si son prolongados, pueden incrementar la brillantez de la indicación, pero se corre el riesgo de que para temperaturas ambientales elevadas se evapore el penetrante lo que dificultaría la operación de lavado.

Puede usarse un revelador húmedo inmediatamente después del lavado con agua, aplicándolo cuando las piezas son pequeñas, por el procedimiento de inmersión, colocándolas en el tanque con revelador húmedo, de la misma manera que en el tanque del penetrante.

Finalmente la pieza se somete a una operación de secado mediante aire caliente y seco a temperaturas que pueden variar entre 93.33°C y 107°C. Un tiempo excesivo puede provocar la evaporación de algunos de los ingredientes más volátiles del penetrante depositado en los defectos, reduciendo la sensibilidad del

proceso. Por la misma razón la temperatura de secado no debe ser mayor de 121.11°C.

Además de remover el agua de la superficie, el secado calienta el penetrante, reduciendo su viscosidad y tensión superficial lo que permite al revelador llevarlo a la superficie más eficientemente y en consecuencia hacer más visible el defecto.

#### Técnica Rost-Emulsificación.

Este método tiene ciertas ventajas sobre los penetrantes fluorescentes, que se resumen como sigue:

- Mayor sensibilidad en la detección de defectos muy finos.
- Operación más satisfactoria sobre superficies contaminadas.
- Posibilidad de obtener mejores resultados en reinspecciones de partes que fueron anteriormente examinadas con otros penetrantes.
- Detección de fallas poco profundas en superficies irregulares donde otros métodos se consideran inapropiados.
- Recomendado exclusivamente para titanio.

El penetrante usado para este procedimiento está hecho a base de aceite al que se adiciona un fluorescente brillante, diferente del penetrante lavable con agua en que no puede removerse sin agua que contenga un emulsificador.

Puesto que el penetrante no es lavable con agua es necesario aplicar un emulsificador que se combina con el exceso de penetrantes de la superficie formando una mezcla que si puede removerse con un chorro de agua. El penetrante atrapado en el defecto no se emulsifica.

Los tiempos de emulsificación depende de diversos factores por lo que no pueden tabularse y es necesario determinarlos experimentalmente para cada condición especial.

Pueden darse algunos datos como referencia acerca del período de emulsificación que puede variar desde 10 segundos hasta 5 minutos dependiendo de las condiciones de la superficie, del material y tipo de efecto. El tiempo promedio es de 3 minutos.

Después de este período la película formada por la mezcla del penetrante y el emulsificador se remueve con un chorro de agua, de preferencia bajo luz negra para asegurar un buen lavado.

Se puede usar como último paso reveladores húmedos ó secos. El cambio de sus propiedades y la manera como se usan están sujetas a las mismas consideraciones previamente descritas para los penetrantes fluorescentes lavables con agua. El secado es tam-bién similar al empleado por esta técnica.

## PARTICULAS MAGNETICAS:

La inspección con este método se utiliza para localizar discontinuidades en placas, forjados y colados de materiales ferromagnéticos. El procedimiento consta de tres operaciones básicas.

- Establecer un campo magnético apropiado.
- Aplicar las partículas magnéticas.
- Examinar y evaluar las acumulaciones de partículas.

Por este medio se pueden detectar todas las fallas superficiales y bajo ciertas condiciones aquellas que se encuentran en el interior de los materiales. Cuando éstos no son ferrosos como el aluminio, plomo, titanio y aceros austeníticos, no pueden inspeccionarse por este procedimiento.

La efectividad del método proporciona indicaciones que dependen de la habilidad de las partículas para moverse bajo la influencia de la dispersión de los campos magnéticos, que se manifiestan sobre la superficie del material si existen discontinuidades.

Para la magnetización puede usarse corriente directa, alterna o rectificada a bajos voltajes y altos amperajes.

Se conoce en general que con un suministro de corriente alterna solo se magnetiza la superficie del material por lo que su uso es apropiado para localizar en esta discontinuidades tales como fisuras en partes maquinadas que requieren un acabado sumamente fino y en roturas por fatiga o servicio. Las fuentes de corriente alterna son de bajo costo y tienen la ventaja de no indicar defectos internos que pueden introducir confusiones.

La corriente directa produce un campo que penetra a través del material y por lo tanto es más sensitiva que la alterna para

los defectos superficiales. Se usan especialmente en colados ó soldaduras en donde la superficie exterior es rugosa.

Mediante la corriente rectificada a onda completa los resultados son comparables a los obtenidos con corriente directa proporcionada con batería. Solamente se logra la máxima sensibilidad cuando la corriente de una sola fase se rectifica a media onda. Esto se debe a que el campo pulsante incrementa la movilidad de las partículas y las capacita para alinearse más-rápida y legiblemente en los campos concentrados sobre el defecto. El pico del pulso produce también una fuerza magnética de mayor intensidad.

Es conveniente en algunos procesos que las piezas se magnetizen de tal manera que durante la inspección se puede mostrar defectos en las direcciones transversal y longitudinal.

Los equipos disponibles comercialmente son portátiles ó estacionarios y están diseñados para aplicar las técnicas visuales o fluorescentes. Las técnicas visuales emplean el método seco y el método húmedo.

Las partículas usadas con estas técnicas se elabora con materiales magnéticos seleccionados cuidadosamente en base a su permeabilidad magnética, forma, tamaño, retentividad, etc. Y cuando es necesario los polvos ó pastas se colorean para dar un buen contraste.

El método con polvo seco es fácil de usar en superficies rugosas y tiene la ventaja de que el equipo con que se aplica es completamente portátil.

Las partículas indicatoras para el método húmedo son más pequeñas que las del método seco y se encuentran suspendidas en un baño líquido de petróleo destilado ligero ó agua. El tamaño reducido de las partículas hace a éste método más sensible a los defectos superficiales finos, pero se encuentra en desventa

ja con el método seco que es más sensible para localizar discontinuidades bajo la superficie.

Cuando se dispone de luz negra pueden utilizarse pastas hechas a base de partículas magnéticas fluorescentes, valiosas particularmente para detectar fallas en ranuras, esquinas y zonas similares. Las posibilidades de inspección con este sistema son muy amplias aunque actualmente se aplica específicamente a lingotes, forjados, planchas, soldaduras, herramientas, resortes y piezas de automóviles.

Las principales limitaciones de las técnicas visuales y fluorescentes son: que se aplican exclusivamente a materiales magnéticos y no son adecuados para localizar pequeños defectos profundos. Mientras más profundo esté el defecto, mayor debe ser para que pueda ser mostrado.

Algunos materiales ferromagnéticos retienen cierta cantidad de magnetismo después de estar sometidos a campos magnéticos. La magnitud del magnetismo remanente depende de:

- Características de cada material en particular.
- Potencia de la fuerza magnetizante.
- Dirección de la magnetización (longitud o circular).
- Geometría de la parte magnetizada.



La desmagnetización en la industria está limitada a reducir a un nivel aceptable puesto que si se quiere lograr totalmente resulta impráctico.

La desmagnetización se logra mediante la introducción de la pieza en el campo provocado por una bobina a través de la cual circula corriente alterna, lentamente se irá borrando la magnetización residual.

No siempre se requiere la desmagnetización, a menos que co-

mo en el caso de ciertas soldaduras, interfiera con operaciones subsecuentes tales como maquinado.

ULTRASONIDO:

La utilización de los sonidos de alta frecuencia tuvo su -- primer aplicación práctica de importancia en los equipos de sonar perfeccionados poco antes de la Segunda Guerra Mundial para la lo calización de submarinos; posteriormente se construyeron aparatos ultrasónicos para la detección de fallas en piezas de fundición y de forja, así como otros productos industriales.

El límite divisorio de las ondas ultrasonoras que se encuentra aproximadamente a una frecuencia de 20,000 ciclos por segundo se basa en la audibilidad del oído humano y no en un cambio esencial de la naturaleza de la onda. Fundamentalmente son deformaciones de un medio elástico donde su velocidad de propagación depende en gran parte de las propiedades físicas de dicho medio.

La inspección con ultrasonido se lleva a cabo mediante uno - de los siguientes métodos básicos:

- Reflexión ó pulso-eco.
- Transmisión continua.

Debido a que estas técnicas ultrasónicas son básicamente fenómenos físicos, se adaptan particularmente para determinar la integridad estructural de los materiales y consecuentemente sus principales aplicaciones son:

- Detección de fallas.
- Medición de espesores.
- Determinación del módulo clásico.
- Evaluación de la influencia de los procesos variables sobre los materiales.

Los equipos que comercialmente utilizan los sistemas de reflexión y transmisión aplicados a la detección de fallas, operan en frecuencias comprendidas entre 1 y 25 megaciclos por segundo, -

sin embargo, existen aplicaciones a frecuencias muy bajas de 25 - kilociclos ó muy altas de 200 megaciclos.

El método de resonancia que opera a muy baja frecuencia y - en donde el cuerpo sujeto a prueba vibra totalmente no debe confundirse con los métodos ultrasónicos que provocan un haz restringido usualmente a pequeñas áreas.

Para la inspección el sistema completo está constituido por:

- Generador de señal eléctrica.
- Transductor ó transmisor.
- Acoplamiento para transferencia del ultrasonido al material.
- Transductor receptor.
- Medio de indicación.

De estos componentes el transductor se utiliza como fuente ultrasónica para generar vibraciones mecánicas utilizadas para medición, aprovechando la propiedad que tienen de transformar una señal eléctrica en energía mecánica ó viceversa.

Para la inspección ultrasónica con frecuencias superiores a 200 kilociclos se usan transductores piezoeléctricos, que se expanden cuando la corriente fluye en un sentido y se contraen cuando la polaridad es invertida causando con ello que vibren como un tambor al aplicárseles corriente alterna.

Los transductores para trabajos de inspección se les conocen como cristales y se fabrican de Bario, Litio y Cuarzo, siendo éste último el más utilizado.

Reflexión ó Pulso-eco:

En este sistema la falta se detecta por la energía reflejada al receptor cuando un haz ultrasónico se aplica sobre la superficie del material.

Este haz por generarse a altas frecuencias no tiene capacidad para transportarse a través del aire y es necesario conducir lo al material mediante una película de aceite o un baño de agua.

Al incidir en la superficie el haz ultrasónico proveniente del transmisor, una gran porción de él se refleja hacia el cristal receptor o captador, la onda que regresa al chocar con el cristal se convierte en pequeños impulsos eléctricos mostrados como una línea vertical en un osciloscopio.

La porción del haz original que incide en el objeto pero que no es reflejado por la superficie anterior penetra y se refleja parcialmente en la superficie posterior. Este eco al regresar al cristal provoca una segunda señal en la pantalla del osciloscopio que aparece un poco a la derecha de la anterior.

Dicha proyección de señales de izquierda a derecha, representa la secuencia de tiempo de viaje de las ondas sonoras; y como la velocidad del sonido es constante, esta secuencia de tiempo se convierte en el espesor del objeto de tal manera que el espacio entre las dos señales represente su espesor total.

Si hay una falla en el interior del objeto, deberá aparecer otra señal en el osciloscopio entre las dos que representan la superficie anterior y posterior, esta última señal es debida a la reflexión del sonido de la nueva intersuperficie.

La altura de las señales tiene gran importancia porque es indicativa del tamaño de la falla, su evaluación se hace por comparación de la señal indicadora de la misma, con la señal de un agujero (falla artificial) situado en el asiento de un block de prueba a casi la misma profundidad de la falla bajo la superficie del objeto.

Los blocks de prueba vienen con variaciones de diámetro en los agujeros, de .12 mm a 3.18 mm, con incrementos de .396 mm.

El conjunto consiste de series de blocks del mismo material " -  
diámetros de los agujeros cuyas profundidades bajo la superficie  
varían de block a block.

#### Transmisión continua:

La transmisión puede ser interminante como en el sistema -  
pulso-eco o continua. Este sistema utiliza dos cristales acopla-  
dos al objeto por inversión o contacto, uno de ellos transmite y  
el otro recibe la señal ultrasónica.

Las fallas se detectan por la disminución de la energía -  
transmitida al receptor y la información que se recibe es simi-  
lar a la que se obtiene cuando se coloca una fuente luminosa a -  
un lado de una pecera y un fotómetro en el lado opuesto.

La lectura obtenida para agua cristalina en la transmisión-  
sería casi 100%, pero un poco turbia comparable a la porosidad -  
en el metal y para un pez una gran falla la transmisión se redu-  
ce proporcionalmente.

Este método no da la posición relativa de la falla solamen-  
te su presencia y magnitud, sin embargo, esta información es su-  
ficiente cuando su localización no es de importancia.

Entre otras ventajas este sistema tiene mayor capacidad de-  
penetración, un solo camino del sonido contra dos del sistema -  
pulso-eco, además trabaja con materiales que son demasiado delga-  
dos para emplear esta última técnica.

#### Acoplamiento por Inmersión:

En este tipo de acoplamiento el montaje de los cristales es  
similar en principio a los de contacto, se diferencia en que tie-  
ne medios para conexión con un cable coaxial hermético al agua y  
en que está diseñado para insertarse en un tubo o encastre gira-

torio para ajustarlo a un ángulo definido.

Con esto se logra una versatilidad en el ángulo de incidencia del haz ultrasónico, lo que permite inspeccionar el interior de secciones irregulares con el ángulo óptimo y sin cambio de cristal.

Además este ángulo de incidencia flexible permite alinear el haz dentro del objeto, de tal manera que llegue al defecto en ángulo recto por lo que se logra un regreso máximo de la señal en el cristal, obteniéndose una mayor exactitud en la evaluación de los defectos cuando se comparan con los blocks de prueba.

La técnica de inmersión es menos crítica en los casos donde están presentes pequeñas protuberancias y huecos de radios variables pues el material con tales contornos puede inspeccionarse sin la dificultad que implica el uso de cristales de contacto.

El sistema de inmersión pulso-eco es un medio apropiado para detectar fallas internas que aparecen en materiales sometidos a procesos de forja, extrusión y rolado cuando éstas son difíciles de localizar por la forma de disco aplanado en que se representan.

Mediante este método los defectos se usan como espejos o superficies de reflexión y son fácilmente detectados.

Acoplamiento por Contacto:

Para la inspección mediante un acoplamiento por contacto, el cristal se coloca contra la superficie de trabajo ya sea directamente en superficies planas o usando una zapata contorneada de plástico o metal cuando la superficie tiene un radio considerable, con ello se logra un buen contacto a través de una mayor porción de cristal.

Los cristales de contacto consisten de una oblea piezoeléctrica y una caja portadora rectangular o cilíndrica con un conector integral para acoplar un cable coaxial, el cual a su vez lo conecta a un transmisor receptor ultrasónico. El tamaño de los cristales es variable, se encuentran disponibles en diámetros de 4 mm. ó mayores, en forma rectangular para los dos sistemas.

#### *Ventajas y Limitaciones:*

Entre las ventajas que ofrecen las pruebas ultrasónicas se incluyen:

- Alta sensibilidad, permitiendo la detección de defectos pequeños.
- Gran poder de penetración, lo que permite la inspección de espesores gruesos.
- Exactitud en la localización y medición de la falla.
- Rápida respuesta para la inspección automática.
- Necesita como acceso solamente la superficie del material por inspeccionar.

Las condiciones de prueba que pueden limitar a los métodos ultrasónicos están relacionados con uno de los siguientes factores.

- Geometría desfavorable del material; dimensiones, contornos, - complejidad y orientación del defecto.
- Estructura interna inconveniente: tamaño de grano, porosidad, - contenido de inclusiones, etc.

## RADIOGRAFIADO:

La inspección radiográfica tiene como objetivo el detectar la presencia y naturaleza de los defectos microscópicos internos de las soldaduras o materiales.

La aplicación de este tipo de inspección nos permite tomar las medidas correctivas necesarias para eliminar las fallas en que estén incurriendo los soldadores y por ende lograremos reducir a un mínimo los defectos en la soldadura provocados por dichas fallas.

Al llevar a cabo una constante inspección radiográfica durante los procesos de fundición y de fabricación de recipientes, podremos establecer las medidas necesarias para que las producciones futuras tengan el mínimo de piezas rechazadas por defectos.

A continuación se darán las definiciones de la terminología empleada en la inspección radiográfica:

Absorción.- Dificultad que presenta el material a ser atravesado por la radiación.

Chasis.- Funda de cartón o cualquier otro material opaco. Protege la película de la luz al sacarla del laboratorio.

Contraste de la radiografía.- Diferencia marcada de densidad de un área a otra en la radiografía.

Definición de la radiografía.- Delineación en la radiografía de los perfiles radiográficos.

Densidad de la radiografía.- Grado de ennegrecimiento u oscurecimiento en la radiografía, ocasionado por la radiación recibida.

da y que es visible después de ser revelada.

Filtros ó pantallas.- Láminas delgadas de diversos tipos de materiales, con propiedades intensificadoras de la acción fotográfica de la película radiográfica.

Fuente de radiación.- Generador de energía radiante.

Isótopos radioactivos.- Elementos anímicos inestables que emiten energía radiante debido a la desintegración de sus átomos.

Kilovoltaje equivalente.- Es el potencial que se requiere en un aparato de Rayos-X para producir una radiación de la misma longitud de onda que la producida por un isótopo radioactivo determinado.

Miliamperaje.- La cantidad de corriente directa ocasionada en el filamento del cátodo por la aplicación de un alto potencial (kilovoltaje), en un tubo de Rayos-X, que provoca el flujo de electrones del cátodo al ánodo.

Película radiográfica.- Placa sensible a la radiación, compuesta por una emulsión sensible distribuida sobre una base transparente de celulosa ó poliéster.

Penetración de la radiación.- Es la mayor ó menor capacidad que tiene la radiación de atravesar un material esta capacidad depende de la longitud de onda de la radiación y de la naturaleza del material radiado.

Penetrómetro.- Pieza estandar de prueba, de material similar al inspeccionado y de espesor conocido. Mide la sensibilidad de la radiografía. Generalmente representa del 2 al 4% del espesor radiografiado.

Proceso de revelado.- Proceso por el cual la imagen latente, in

sible en la película expuesta a radiación, es hecha visible y permanente.

Punto focal efectivo.- Área proyectada del tamaño de la fuente de radiación en el sentido utilizado, o sea el área proyectada hacia donde se encuentra el material bajo inspección y la película radiográfica.

Radiación.- Forma de energía radiante de naturaleza similar a la luz visible. Diferenciándose de ésta por su longitud de onda extremadamente corta, que le permite atravesar los cuerpos a la luz.

Radiación secundaria.- Radiación generada por el choque de rayos-X o gamma sobre una superficie.

Radiografía.- Película radiográfica sensibilizada por la acción de rayos-X o gamma y sometida al proceso de revelado.

Radiógrafo.- Persona calificada para manejar equipos radiográficos e interpretar radiografías.

Rayos Gamma.- Energía radiante generada por la desintegración de los núcleos inestables de átomos de sustancias radioactivas, naturales o producidas artificialmente.

Rayos-X.- Es la energía radiante emitida por el ánodo de un tubo al vacío al recibir el impacto de los electrones que parten del cátodo (filamento incandescente), impulsados a gran velocidad por la aplicación de un alto potencial eléctrico (kilovolts) entre el cátodo y el ánodo.

Sensitividad radiográfica.- Es el porcentaje mínimo de diferencia de espesores que puede ser detectado visualmente en una radiografía de un material.

Tamaño de la fuente.- Dimensiones reales de la fuente de radiación, unidades de área en el caso de aparatos de Rayos-X y de volumen y área para el caso de radioisótopos.

Tiempo de exposición.- Lapsó durante el cual la película radiográfica está expuesta a la acción de la radiación.

Tubo de Rayos-X.- Equipo electrónico diseñado de tal manera que los electrones desprendidos desde un filamento (cátodo (-)) al circular por él una corriente, son acelerados y dirigidos al ánodo (+) mediante la aplicación de una alta diferencia de potencial (kilovoltaje).

Vida media.- Tiempo requerido para que la actividad ó potencia de una partícula radioactiva pierda la mitad de su valor inicial.

#### RAYOS-X:

La energía radiante cuya longitud de onda es muy corta, tiene la propiedad de penetrar en materiales opacos a la luz visible. Las energías radiantes que emplearemos en la inspección radiográfica son los rayos-X y los rayos gamma.

Al aplicar una corriente, en un bulbo al vacío que consta de un filamento (cátodo) y de un "blanco de tungsteno" (ánodo), el filamento se tornará incandescente y emitirá electrones. Si aplicamos simultáneamente una diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo, los electrones producidos viajarán a gran velocidad chocando contra el ánodo, generando de esta manera una energía radiante que se conoce como rayos-X.

Al variar el potencial aplicado, variará la longitud de onda y por ende la penetración de los rayos-X, y al variar la corriente en el filamento, variará la intensidad de los rayos-X,-

de tal manera que podemos controlar la radiación producida.

Este sistema de inspección es del tipo no destructivo, ya que el material sujeto a inspeccionarse no es dañado, es decir, que el material no sufre ninguna modificación.

Al incidir los rayos-X sobre un material, algunos son absorbidos por el mismo material y otros lo atraviesan, por lo que podemos registrar en una película sensible los rayos-X que atravesaron el material. El registro en si es la proyección de una sombra de la imagen del material de una densidad o ennegrecimiento determinado, que es proporcional a los rayos-X que lograron atravesar el material.

Al encontrarse en el material una discontinuidad de menor densidad que el material mismo, reducirá el espesor en el área que se localice y por ende en dicha área pasará una mayor cantidad de radiación, lo cual provocará que en el negativo aparezca una zona de mayor densidad o ennegrecimiento, exactamente de la forma del contorno de la discontinuidad, vista perpendicularmente a la incidencia de la radiación.

La imagen de los defectos registrados será más exacta a medida que la distancia entre la fuente de radiación y la película aumente, y también a que la película se encuentre lo más cerca posible del material.

La selección del potencial en el bulbo es otro importante factor en la obtención de una buena radiografía, bien contrastada y con gran sensibilidad. La norma API-1104, indica los potenciales máximos recomendables para inspeccionar los espesores de metal base, siguientes:

Espesor total del metal base en mm.

Potencial máximo de rayos-X en Kilovoltios.

Hasta 6.35	110
7.144 a 9.525	130
10.319 a 15.875	160
16.669 a 22.225	200
23.019 a 38.1	300

La longitud de onda determina que los rayos-X penetren con más ó menos dificultad el material, es decir que la penetración es inversamente proporcional a la longitud de onda.

Además de los factores que ya se mencionaron, la inspección radiográfica está gobernada por los siguientes factores:

- a) Intensidad de los rayos-X y tiempo de exposición.
- b) Espesor y densidad del material.
- c) Tamaño de la fuente.
- d) Tipo de película y pantalla ó filtro.

a) Intensidad de los rayos-X y tiempo de exposición:

La intensidad de los rayos-X es directamente proporcional a la cantidad de corriente en el cátodo, y para una condición dada, el tiempo de exposición variará en proporción inversa a la variación de la corriente en el cátodo del bulbo.

b) Espesor y densidad del material:

De estas características dependerá la selección del kilovoltaje ( potencial) en el bulbo, para determinar la longitud de onda, y por consiguiente la penetración adecuada para el espesor y tipo de material que se esté inspeccionando. Para el caso general de inspeccionar uniones soldadas de acero, los valores reco-

mendados por la norma API, antes indicados, servirán como una buena guía para seleccionar el kilovoltaje adecuado para obtener radiografías de máxima sensibilidad, contraste y registro.

c) Tamaño de la fuente:

La imagen de los defectos será menos distorsionada a medida que el tamaño de la fuente emisora de rayos-X (punto focal) sea más pequeño.

El tamaño efectivo de la fuente según norma API deberá ser el siguiente:

Distancia mínima de la película a la fuente de radiación. (centímetros)	Tamaño efectivo de la fuente de radiación. (milímetros)
15.24	2.5
25.40	3.5
45.7 y mayores	6.0

Los aparatos de rayos-X tienen un punto focal aproximado de 0.3 mm. a 4 mm., dependiendo de su potencia. Generalmente los equipos para radiografiar soldadura hasta de 38.1 mm. de espesor tienen un punto focal de 1.5 mm.

Más adelante, al tratar ventajas y desventajas de los sistemas de rayos-X y rayos gamma, se mostrará gráficamente como afecta el punto focal la proyección de la imagen de las discontinuidades, al incrementarse el tamaño de la fuente emisora de energía radiante.

d) Tipo de película y pantalla o filtro:

La película deberá ser de grano fino y de alto contraste, -

adecuada para ser expuesta a los rayos-X y adecuada para el tipo de pantalla o filtro que se empleará. Las pantallas o filtros pueden ser de plomo o del tipo fluorescente y las superficies de las mismas que estarán en contacto con la película deberán estar perfectamente limpias, o sea libres de cualquier elemento extraño. Emplear una película inadecuada o no considerar uno o varios de los factores antes expuestos, traerá como consecuencia que la radiografía obtenida no posea las características deseables en una buena radiografía.

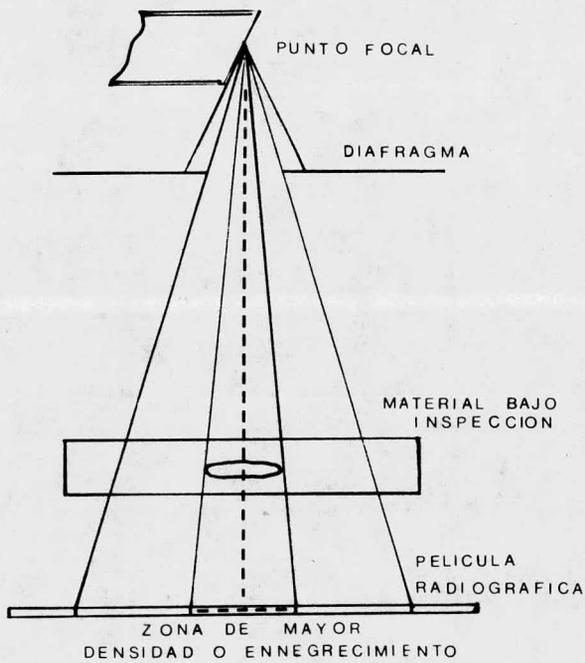
#### RAYOS GAMMA:

Al desintegrarse los núcleos de átomos inestables de sustancias radioactivas, se produce una emisión de energía en todas direcciones y es precisamente esta energía la que se conoce como rayos gamma o radiación gamma. La longitud de onda de esta energía es constante y no puede ser controlada.

Los rayos gamma pueden ser producidos por isótopos radioactivos naturales como el Radium, o por radioisótopos producidos artificialmente como el Cobalto 60, Cesio 137, etc.

El sistema de inspección radiográfica con rayos gamma es semejante al sistema de rayos-X ya que los rayos gamma son similares a los rayos-X de pequeña longitud de onda, como los producidos por aparatos de rayos-X de 600 a 2,200 kilovoltios, y su diferencia básica consiste en que mientras los rayos-X requieren de una fuente de alimentación de energía eléctrica para ser producidos, los rayos gamma se producen constantemente, sin la aportación de ninguna otra energía.

De los varios cientos de radioisótopos conocidos que existen, sólo unos pocos son usados ampliamente en la radiografía industrial, los demás son poco apropiados debido a varias razones, entre las cuales las más importantes son: su corta vida me



RAYOS  
-  
X  
-

dia, los grandes volúmenes necesarios para tener la potencia requerida para inspección radiográfica, y/o su alto costo.

Los radioisótopos más comúnmente usados en la industria en nuestro país son: Cobalto 60 y el Cesio-137, cuyas características principales se enuncian a continuación:

El Cobalto 60 es un metal duro, de color gris, con propiedades físicas muy parecidas a las del hierro, con una vida me - dia de 5.3 años, cuya radiación es de una longitud de onda equi - valente a la producida por un aparato de rayos-X de 1,200 kilo - voltios.

El Cesio-137 se presenta generalmente en forma de Cloruro - de Cesio, es un polvo soluble, con vida media de aproximadamen - te 30 años y cuya radiación es de una longitud de onda equiva - lente a la producida por un aparato de rayos-X de 660 kilovol - tios.

Las fuentes de rayos gamma, o bombas radioactivas constan - de un elemento radioactivo debidamente encapsulado, generalmen - te en recipientes de acero inoxidable para protegerlos y evitar que se desgasten por el roce producido sobre las superficies de trabajo ó la de su blindaje.

Como los isótopos radioactivos emiten constantemente radiación, la cual es nociva a los organismos vivos, es necesario - aislarlos, para lo cual son almacenados y transportados en sus - contenedores de plomo y acero que actúa como blindaje no permiti - endo el escape de cantidades de radiación mayores que las permitidas por los organismos oficiales respectivos, para protec - ción de todo ser viviente.

La potencia de las bombas radioactivas utilizadas para tra - bajos de inspección en el campo, es limitada por los siguientes factores: tamaño efectivo de la fuente de radiación y blindaje -

necesario para su segura manipulación.

-96-

No es conveniente usar radioisótopos de gran potencia, debido a que el tamaño de la fuente radioactiva es muy grande y al aumentar sus dimensiones producirá imágenes más difusas debido al gran tamaño del punto focal efectivo de la misma, asimismo el blindaje excesivo necesario para su manejo en el campo, las vuelven imprácticas.

Debido a que las fuentes de rayos gamma emiten radiación en forma constante y en todas direcciones, su manejo debe efectuarse mediante el procedimiento a distancia, que protege de la radiación al personal que las manipule. Este procedimiento puede dividirse en las siguientes dos categorías:

- a) El que permite mover la fuente del centro a la superficie del contenedor blindado.
- b) El que permite llevar la fuente desde el contenedor a un punto prefijado, situado a cierta distancia.

El del primer tipo generalmente produce un haz de radiación más o menos dirigido en una dirección, mientras que el segundo tipo produce una fuente de radiación libre en todos sentidos.

Ambos sistemas tienen utilidad radiográfica, siendo más apropiado el segundo sistema para usarse en el campo y con fuentes de potencia media o baja.

El equipo empleado para los trabajos de inspección con rayos gamma es similar al que se emplea en inspección con rayos-X, con la salvedad de que la fuente de radiación empleada no necesita de energía eléctrica, ya que su actividad es natural y constante, siendo necesario, en cambio, contar con el contenedor blindado, de acuerdo con la potencia y tipo de isótopo radioactivo empleado.

La manipulación de la bomba radioactiva generalmente se efectúa mediante una barra o caña de la mayor longitud posible, lo cual permite al radiógrafo permanecer a una distancia tal que la radiación que reciba no alcance límites que le perjudiquen.

Este procedimiento es recomendable para inspeccionar piezas fundidas de secciones variables y gruesas tales como válvulas, bridas, y uniones soldadas de recipientes y tuberías de acero con espesor de pared de más de 38.1 mm.

El método para inspeccionar tuberías consiste en colocar la bomba radioactiva sobre la superficie exterior del tubo, opuesta al tercio de la unión en que se coloca la película radiográfica dentro de su chasis, y calculando el tiempo de exposición de acuerdo con el diámetro de la tubería, su espesor, material y potencia de la fuente, etc., para obtener radiografías de la densidad deseada. El proceso de revelado, secado e interpretación de las radiografías generalmente se lleva a cabo en el campo, en los laboratorios móviles especialmente equipados.

Para poder utilizar prácticamente el sistema de inspección con rayos gamma es necesario conocer la penetración de la radiación en distintos materiales. Cuando ésta se ha medido bajo condiciones controladas, el radiógrafo podrá calcular los tiempos de exposición necesarios para cada variable de espesor y clase de material, dependiendo de la rapidez de la película usada, de la potencia de la fuente y de la distancia entre ésta y la película y dependiendo además de la densidad que quiera obtener en la radiografía.

#### Aplicaciones:

Debido a la gran penetración de los rayos gamma y al gran tamaño del punto focal efectivo de la fuente de radiación, debe utilizarse preferiblemente para la inspección radiográfica de piezas con espesores de más de 38.1 mm. de acero, ó su equivalente en otros materiales.

Bajo esta condición será posible esperar una sensibilidad del 2% tal y como es exigido por las normas internacionalmente reconocidas.

Su empleo es recomendable para inspeccionar tuberías, tanques o válvulas cuyas paredes sumen un espesor de más de 38.1 mm de acero, destinándose también para aquellos trabajos en que las limitaciones de espacio puedan impedir el uso de aparatos de rayos-X, o emplearse cuando se trate de inspeccionar materiales cuyos espesores sean considerables, para este caso el Cobalto 60, el cual puede usarse para inspeccionar hasta 20.32 Cm. de acero o su equivalente en otro material, es el más recomendable.

Debe limitarse a un mínimo el uso de los rayos gamma en espesores menores de 15.875 mm por su excesiva penetración, bajo contraste y sensibilidad, que les impide registrar todos los defectos que contenga la soldadura, independientemente del tipo de película que se use, de la técnica de exposición y/o del proceso de revelado empleado.

#### LIMITACIONES DE LA INSPECCIÓN RADIOGRAFICA:

Se cree muchas veces que por el hecho de que se haya radiografiado una soldadura, no hay ningún defecto en la misma que no haya sido detectado. Por otro lado se puede dar el caso que el radiógrafo o el supervisor de soldadura asuman una actitud de excepticismo acerca de la radiografía y dejando correr su imaginación soliciten que cualquier marca visible en la radiografía sea removida de la soldadura.

En cualquiera de los dos casos la radiografía ha sido sujeta a una interpretación deficiente, ya que, por las razones que se exponen más adelante, no en todos los casos la radiografía registra el 100% de los defectos y, por otra parte, la radiografía puede tener algunos defectos del manejo y proceso de revelado que nada tienen que ver con la soldadura.

La interpretación de las radiografías se facilita, cuando se conocen debidamente los factores que pueden afectar su calidad, como son marcas o defectos del manejo y proceso de revelado, el grado posible de contraste o detalle, la película, la sensibilidad de la película y la técnica y equipo adecuado para tomarlas.

Las discontinuidades que no puede registrar una radiografía son:

Aquellas cuyas dimensiones sean menores que las de la sensibilidad de la radiografía medida por el penetrómetro.

Las que se localicen en un plano perpendicular al haz de radiación y que no reduzcan el espesor del material en un grado mayor que la sensibilidad de la radiografía, como las hojeaduras o laminaciones y algunas roturas debajo del cordón depositado.

Las que por sus características angostas, aunque tengan profundidad, no estén paralelas al haz de radiación, con una tolerancia de desviación de  $5^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ , como en el caso de la falta de fusión en la cara de la ranura o entre cordones, y algunas roturas.

Para localizar este tipo de defectos, cuando se sospecha su existencia en soldaduras muy importantes, es necesario tomar tres radiografías cuando menos, una perpendicular al plano de la soldadura y dos paralelas al plano de la cara de cada bisel.

#### INTERPRETACION DE RADIOGRAFIAS:

##### 1.- Normas de aceptabilidad:

Interpretar una radiografía consiste en deducir, en base a los cambios de densidad registrados, las discontinuidades o defectos internos o externos del material radiografiado.

Al referirnos a radiografías de soldaduras, su interpreta =

ción consiste en determinar cualitativa y cuantitativamente los defectos registrados, para saber si dichas soldaduras son o no a aceptables, de acuerdo con la norma de aceptación establecida - para cada caso, la cual debe seleccionarse en relación al trabajo a que vaya a estar destinado el equipo o instalación de que forme parte la soldadura inspeccionada.

Entre las normas de aceptabilidad de soldaduras comunmente usadas en nuestro país, tenemos las especificadas por las siguientes organizaciones, internacionalmente reconocidas.

Sociedad Americana de Soldadura (A.W.S.), para soldaduras - de estructuras metálicas para edificios y puentes, en sus normas D1.0 y D2.0.

Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (A.S.M.E.) para soldaduras de recipientes y tuberías sujetos a presión y a fuego directo, como en el caso de calderas, sobrecalentadores, etc., - en la sección 1 de su Código, y para soldaduras de recipientes - sujetos únicamente a presión, que son el motivo de la presente - tesis, en la sección VIII de su Código.

Instituto Americano del Petróleo (A.P.I.) para soldaduras - de campo de líneas de tubería e instalaciones conexas, para conducción de gas o hidrocarburos, en su norma No. 1104; para construcción de tanques de almacenamiento de combustible, en su norma No. 650.

No se van a indicar aquí las cantidades y dimensiones máximas de cada tipo de defecto aceptadas por cada norma, debido primordialmente a que dichas normas están variando periódicamente, - notándose una tendencia a reducir en cada nueva edición la cantidad y las dimensiones de los defectos tolerados, ya que el criterio a seguir no consiste en permitir ciertas cantidades de defectos en todas las soldaduras, sino que se aspira a que éstas sean lo más sanas posibles, y sólo en caso de realizarse el trabajo -

en condiciones adversas o cuando existan factores que afecten - desfavorablemente la soldadura, podrán aceptarse las cantidades máximas de defectos permitidos por la norma aplicable pero sin - olvidarse de buscar y corregir las causas que los originan.

Las distintas normas coinciden en sus criterios al no permi - tir los defectos que más puedan afectar a las soldaduras, como - son las roturas, y sólo algunas de ellas toleran pequeñas canti - dades de defectos tales como falta de penetración y falta de fu - sión.

En general todas las normas rechazan aquellos defectos que - por sus características puedan ocasionar la falla de la soldadu - ra, debido a la disminución de la resistencia de la unión solda - da, por el desarrollo que puedan sufrir los defectos al recibir - los esfuerzos que se presenten durante el tiempo que trabaje la - soldadura.

## 2.- Prácticas de interpretación:

Para interpretar las radiografías se deberán tener las con - diciones de luminosidad adecuadas. Estas condiciones implican - que del lado opuesto al observador que haga la interpretación - exista una fuente luminosa que haga pasar la luz a través de la radiografía, haciendo transparentes las zonas de la radiografía - que tengan baja densidad. El técnico que las interpreta deberá - estar del lado de menor intensidad luminosa que incluso se reco - mienda sea casi oscuridad.

La fuente luminosa es un aparato que se denomina negatosco - pio y es una lámpara de luz blanca dentro de una caja y del lado de la salida de la luz tiene una lámina de material plástico - blanco translúcido sobre la cual se colocarán las radiografías - para su interpretación. Esta placa deberá estar limpia y sin ra - yaduras para estar en condiciones de usarse,

El observador deberá colocarse lo más cerca posible y de -

frente a las radiografías, de tal manera que pueda observar todos los detalles que muestren las radiografías que se están interpretando, ya que la imagen de algunos defectos angostos como las roturas y la fusión incompleta son líneas muy delgadas en ocasiones muy tenues, que pueden pasarse por alto si la observación es lateral, alejada o muy somera.

Para una mejor identificación de los defectos de soldadura es conveniente observar la forma como se presentan dentro de la soldadura, por lo cual se recomienda, siempre que sea posible, cortar con soplete la parte que contenga soldadura defectuosa y en la muestra así obtenida cortar con segueta las zonas de la unión defectuosa a través de los defectos, pulir hasta eliminar las rugosidades de la superficie cortada y darle un ataque a la muestra, sumergiéndola en una solución caliente de ácido clorhídrico con agua al 50% durante 15 a 30 minutos, enjuagar perfectamente con agua las muestras atacadas, y así se podrá observar la forma de los defectos en sección transversal. La proyección en planta de estos defectos será de forma similar a la mostrada por la radiografía.

La imagen de los defectos superficiales, tales como el socavado y las quemadas, tendrá un contorno muy similar al contorno de estos defectos.

### 3.- Reporte:

El reporte de cualquier trabajo de inspección radiográfica deberá contener todos los datos necesarios para determinar las condiciones que tengan los materiales que se inspeccionan y de acuerdo con los resultados obtenidos, tomar las medidas pertinentes para corregir las anomalías y seguir adelante con los trabajos, por lo que como mínimo deberá contener los siguientes datos:

- a) Identificación de cada radiografía.
- b) Resultado del estado de la soldadura o material inspeccionado

(si es aceptable o no de acuerdo con las especificaciones aplicables).

- c) Defectos de la soldadura o del material observados en cada radiografía.
- d) Localización de los defectos.
- e) Norma de aceptabilidad empleada, para juzgar si la soldadura o el material bajo inspección es o no aceptable.

Es conveniente reportar todos los defectos observados en las radiografías independientemente de sus dimensiones, ya que teniendo conocimiento de su existencia es posible tomar las medidas necesarias para tratar de eliminarlos en el trabajo que se desarrolle posteriormente.

La localización de los defectos considerados como inaceptables dentro de la soldadura o los materiales inspeccionados, debe realizarse con la mayor exactitud posible, para que cuando sea procedente efectuar una reparación local de la parte defectuosa, no haya riesgos de pasarlos por alto y dejarlos sin reparar.

#### RESUMEN COMPARATIVO ENTRE LA INSPECCION CON RAYOS-X Y CON RAYOS GAMMA.

##### RAYOS-X:

##### Aplicaciones:

Para la examinación de la firmeza interna en soldaduras, fundiciones, forjas y placas.

##### Ventajas:

- 1.- Da una definición clara y de gran contraste para espesores de 7.62 Cms. (3 Pulg.).
- 2.- Da un record gráfico y permanente, indicando el tamaño y naturaleza de los defectos.

3.- Ofrece estandares establecidos de interpretación como guías.

*Advertencias:*

- 1.- Se necesitan tomar precauciones para proteger al personal en los alrededores del área en que van a ser empleados.
- 2.- Técnicas de adiestramiento son requeridas para tomar e interpretar las películas

*RAYOS GAMMA:*

*Aplicaciones:*

Para la examinación de la firmeza interna en soldaduras, fundiciones, forja y placas.

*Ventajas:*

- 1.- Mas apropiadas para usar en espesores gruesos.
- 2.- Se cuenta con equipo fácilmente transportable.
- 3.- El contenedor de la fuente permite el uso de los rayos a través de pequeñas aberturas.
- 4.- Bajo costo inicial.
- 5.- No requiere mecanismos de enfriamiento.
- 6.- Da un record gráfico y permanente.
- 7.- No se renova el tubo.

*Advertencias:*

- 1.- Es necesario un permiso del gobierno para la posesión y manejo de isótopos.
- 2.- Son necesarias precauciones protectoras.

3.- Se necesita personal debidamente entrenado para poder interpretar las películas.

ASPECTOS PRINCIPALES DE LA SECCION IX:

1) Las soldaduras que requieren inspección radiográfica 100% deberán ser examinadas en su totalidad por el método radiográfico de Rayos-X ó Rayos Gamma.

2) Para uniones soldadas a tope, las irregularidades en la superficie de la soldadura por dentro y por fuera, deberán ser removidas por cualquier medio mecánico para que no se confundan con los defectos y obtener un buen contraste radiográfico.

3) Las soldaduras se deberán radiografiar con una técnica que indique el tamaño de los defectos, teniendo un espesor igual y mayor que el 2% del espesor del metal.

4) Durante la exposición, la película deberá colocarse lo más cerca posible de la superficie de la soldadura, esta distancia no deberá ser mayor de 2.54 cm. (1"). Si "S" es la distancia del lado de la radiación de la soldadura a la fuente y si "F" es la distancia del lado de la radiación de la soldadura a la película, entonces la relación S/F deberá ser 7 y 1 ó mayor. Si la relación es menor de 7 a 1 el fabricante deberá dar satisfacción al inspector sobre lo adecuado de la técnica. Cuando la relación S/F es menor de 7 a 1, la relación deberá ser indicada claramente en cada película.

5) Los penetrámetros usualmente se colocan en el lado de la unión hacia la fuente. Pueden ser colocados también en el lado de la película si el fabricante satisface al inspector sobre lo apropiado de la técnica.

6) Cuando una circunferencia es radiografiada al 100% y en una sola exposición, se deberán usar cuatro penetrámetros uniformemente espaciados.

7) Las radiografías deberán estar libres de defectos mecánicos excesivos, porque estos interfieren una identificación apropiada

da.

8) Las marcas de identificación cuyas imágenes aparecen en la película deberán ser colocadas junto a la soldadura y su localización deberá ser exacta y permanentemente marcada en la su superficie exterior de la soldadura; esto sirve para la localización de defectos que aparezcan en una radiografía.

9) El número de la orden de trabajo, el del recipiente y el de la unión, así como el nombre o siglas del fabricante, deberán ser indicados en cada película.

10) Las radiografías deberán ser remitidas al inspector con información sobre la técnica que él haya solicitado.

11) Secciones de soldadura mostradas por radiografías que tengan cualquiera de los siguientes tipos de defectos, deberán ser reprobadas y reparadas como se prevee en el código:

a) Cualquier tipo de grieta, o zona de fusión o penetración incompleta.

b) Cualquier inclusión de escoria alargada que tenga una longitud mayor de:

6.4 mm. para T, hasta 19 mm.

$\frac{1}{3}$  de T para T, de 19 mm. hasta 57.2 mm.

19 mm. para T, mayor que 57.2 mm.

Siendo T en todos los casos igual al espesor de la soldadura.

c) Cualquier grupo de inclusiones de escoria que estén en línea y que tengan una longitud tal que sumados sea mayor que T en una longitud de  $12T$ , excepto donde la distancia entre cada una de las imperfecciones sucesivas excede  $6L$ . donde L. es la longitud de la imperfección-

más larga en el grupo.

d) Porosidad en exceso de la especificada de acuerdo con las normas dadas en el apéndice IV de la Sección IX.

12) Una serie completa de radiografías deberá ser guardada por el fabricante para cada trabajo.

El código ASME también incluye reglas para exámenes por puntos de uniones soldadas. Los exámenes por puntos pueden ser usados como medida de control de calidad. Tales radiografías deberán ser tomadas inmediatamente después de que un soldador u operador complete o termine una soldadura, la cual mostrará si el procedimiento usado fue satisfactorio. En caso contrario, se harán las correcciones necesarias para eliminar los defectos.

El código ASME señala una serie de reglas para exámenes por puntos, los cuales no se indicaron en esta tesis.

Los tratamientos térmicos de los aceros siempre tienen una finalidad, por que de acuerdo al tratamiento elegido se obtendrán determinadas propiedades mecánicas y características físicas. Existen tratamientos para refinar el grano, para suavizarlo y hacerlo maquinable, para hacerlo dúctil, para hacerlo duro, para aumentar la resistencia a la tensión, a la fatiga, al desgaste, al impacto, para eliminar tensiones internas, etc.

Naturalmente el tratamiento térmico debe siempre ir de acuerdo con la composición química del acero y su aplicación, pues sería obvio templar, por ejemplo, un acero cuya composición sabemos de antemano que no va a templar, así como también no tendría sentido recocer un acero altamente aleado e incluso de media aleación, para utilizarlo en estado suavizado.

#### PRINCIPALES TRATAMIENTOS EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL:

##### a) Recocido:

El recocido es un tratamiento de los más económicos y más utilizados para el refinamiento del grano de las piezas fundidas, forjadas y de soldaduras. En efecto, cuando el acero solidifica se forman granos primarios sumamente bastos y burdos dando como consecuencia una gran fragilidad, baja ductilidad, baja tenacidad, etc. Todas las características benéficas que puedan existir en un acero son tanto peores cuanto mayor sea el tamaño de este grano primario ó de solidificación. Algo muy similar sucede cuando el acero es calentado a muy altas temperaturas y cuando es expuesto a temperaturas normales de tratamientos térmicos por prolongados tiempos de permanencia. El crecimiento de grano será más grande, entre mayor sea el tiempo y la temperatura.

Para mejorar las propiedades físicas de las piezas de acero fundido, aceros forjados y soldadura, es necesario ejecutar un re

cocido. Este tratamiento consiste en elevar la temperatura seguida de un enfriamiento lento dentro del mismo horno. El tiempo de permanencia a la temperatura adecuada suele ser de 1 hora/pulg. de espesor, y la velocidad de enfriamiento generalmente es mayor-entre menor sea el contenido de carbono. A continuación se tiene una table donde puede tenerse una idea de las características y recomendaciones para el recocido de aceros al carbono.

<u>% C</u>	<u>TEMP. DE RECOCIDO</u>	<u>VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO</u>
.10/.20	875/925°C	Aire tranquilo.
.20/.30	850/900°C	Horno - puertas abiertas.
.30/.40	850/875°C	Horno - puertas abiertas.
.40/.50	825/855°C	Horno - puertas cerradas.
.50/.60	800/830°C	Horno - puertas cerradas.
.60/.70	760/800°C	Horno - enf. lento.
Más de 0.70	750°C	Horno - enf. muy lento.

En general, si el acero contiene elementos de aleación en proporciones considerables, el enfriamiento debe ser lento y dentro del horno.

Puesto que el enfriamiento del recocido es lento, las durezas resultantes son bajas y la resistencia del acero baja. En consecuencia el tratamiento es muy utilizado para proporcionar gran maquinabilidad y posee propiedades físicas aptas para deformación en frío. Pero es necesario realzar que las propiedades obtenidas son las más bajas en cuanto a resistencia. En los aceros aleados el único objeto del recocido es proporcionar maquinabilidad, pero después de efectuado el maquinado es ejecutado otro tratamiento, generalmente normalizado, temple o carburizado para obtener el beneficio de las aleaciones añadidas.

b) Normalizado:

Este tratamiento se diferencia del recocido en que las temperaturas utilizadas son un poco mayores, alrededor de unos 30°C -

más alta, y en que el enfriamiento se efectúa siempre al aire ó con ventiladores. El resultado es que se obtiene mayor dureza y resistencia, sin ser muy elevada. El normalizado proporciona características mecánicas un poco superiores a las del recocido.

Por otra parte, la estructura del grano de un acero normalizado es más fino que la de un acero recocido. Por esta razón también el normalizado se suele aplicar como estado preparatorio al temple, por que un acero templado sin un normalizado previo resulta defectuoso.

El normalizado es más económico y práctico que el recocido, -pués aunque los tiempos de permanencia suelen ser los mismos, el enfriamiento al aire en lugar de en el horno dá mayor flexibilidad en la utilización del horno tan pronto como es desocupado.

Los aceros a los que les es aplicado el normalizado son generalmente al carbono y con moderadas cantidades de elementos de aleación, y normalmente es efectuado un revenido después del normalizado para mejorar la ductilidad.

### c) Relevado de Esfuerzos.

Este tratamiento consiste de elevar la temperatura alrededor de 650°C normalmente, pero puede también efectuarse a 200°C, si el propósito es eliminar los esfuerzos internos mayores. Los esfuerzos mecánicos pueden ser introducidos a un acero cuando éste ha sido deformado en frío ó cuando se ha efectuado una aplicación considerable de soldadura. En realidad el relevado de esfuerzos es lo mismo que un revenido, pero la diferencia existe en que el revenido se busca un cambio en la estructura cristalina y en consecuencia ciertas propiedades mecánicas, en tanto que el relevado de esfuerzos es aplicado únicamente con la intención de eliminarlos, pero de ninguna manera con propósitos metalográficos. El enfriamiento después del relevado de esfuerzos puede ser efectuado dentro del horno, al aire ó enfriado en agua. Ello dependerá de las características de la pieza ó estructura en cuestión y de las especificaciones de ingeniería que existan en particular.

La estructura óptima que puede obtenerse en un acero es la que se obtiene en el temple, que consiste en un enfriamiento rápido desde una temperatura un poco más baja que la del normalizado. El medio templante puede ser agua, aceite, ó aire a presión, según el grado de aleación del acero. En general, entre más aleado sea el acero menor es la velocidad requerida para templar. Existen aceros altamente aleados que pueden ser templados al simple enfriamiento al aire, como los aceros de herramienta ó de alta velocidad.

Al templar un acero se obtiene el máximo beneficio de las aleaciones, mejorando notablemente las propiedades mecánicas. No obstante, el temple es una operación peligrosa por los riesgos de ruptura que implica, particularmente cuando el medio templante es agua. Los riesgos disminuyen al templar en aceite, pero aún así existe el riesgo de fracturas si el revenido no es aplicado prontamente.

Con el temple se aumenta el límite elástico, la resistencia a la tensión, la ductilidad, la resistencia a la fatiga, al impacto, la dureza, resistencia al desgaste, etc. Por otra parte debe tomarse en cuenta que no todas las propiedades mencionadas son mejoradas simultáneamente, sino que al mejorar unas son sacrificadas otras. Por ejemplo, un acero templado a su máxima dureza tiene la mayor resistencia a la tensión y la mejor resistencia al desgaste, pero se encuentra en el estado más frágil, con una resistencia a la fatiga y al impacto muy bajas.

En forma general se puede decir que hasta 0.35% C se puede templar en agua sin peligro de fracturas. Arriba de este contenido de C se debe templar en aceite, si el acero es de baja aleación, ó bien con chorro de aire. Si el acero es altamente aleado se puede templar en sales ó al aire.

La estructura con que queda un acero templado sin revenir es sumamente frágil. La solución de fierro saturada con carbono es inestable y esta solución forzada está provocando enormes tensiones internas que pueden terminar en una fractura, o bien romperse al menor impacto. Para destruir estas tensiones de la martensita tetragonal es necesario recalentar el acero - lo más pronto posible después de templado, cuando menos a una temperatura que la haga estable y convierta a la martensita tetragonal en cúbica. Reviniendo entre 150 a 250°C el acero es liberado de esas tensiones y conserva la máxima dureza. Si el revenido es efectuado a mayor temperatura, debe ser entre 600- y 650°C para obtener la máxima tenacidad y ductilidad, aún cuando se sacrifica la dureza y resistencia del material. Temperaturas mayores a 650°C no suelen ser utilizadas por que se comienza a destruir el temple.

En aceros grado maquinaria o de mediana aleación, entre más alta sea la temperatura de revenido mayor cantidad de carburos son precipitados bajando la dureza. Pero en algunos aceros como los de alta velocidad y otros de grado herramienta fuertemente aleados con Cr, Mo, V y W sucede lo contrario al revenir entre 550 y 600°C, por que los carburos precipitados son tan duros que en lugar de bajar la dureza, se eleva. Esta es la razón por la cual los aceros de este tipo conservan su filo y dureza aún cuando se calienten al rojo durante el trabajo.

Existe una zona de temperaturas donde el revenido lejos de aumentar la tenacidad hacen frágil al acero, y es en la zona de 450 a 550°C, muy conocida como "fragilidad Krupp" y que se presenta principalmente en los aceros al Mn o al Cr-Ni. Esta fragilidad únicamente se manifiesta en la resistencia al impacto, pero no afecta a ninguna de las otras propiedades como-

límite elástico, resistencia a la tensión, alargamiento y reducción de área. Cuando existe  $M_n$  la fragilidad Krupp es casi totalmente eliminada por que dicho elemento fija los nitruros de Fe que son los que ocasionan dicha fragilidad. En general no es recomendable, de todas maneras, elegir la zona de 450 a 550° C para revenido. Las temperaturas usuales de revenido son: - 200°C, 400°C, 600°C y 650°C.

En el caso de los aceros de grado herramienta y alta velocidad siempre es recomendable efectuar doble revenido por que siempre quedan algunas trazas de austenita retenida en el temple. Los aceros austeníticos, como los tipo Hadfield y los inoxidables al Cr-Ni, al templearlos no endurecen sino que el único propósito que se persigue es mantener en solución los carburos, por lo que jamás debe aplicarseles un revenido o calentamiento similar, ya que pierden tenacidad los primeros o inoxidabilidad los segundos debido a la precipitación de carburos que los hace muy sensibles a la corrosión intergranular.

CONDICIONES QUE REQUIEREN RELEVADO DE ESFUERZOS:

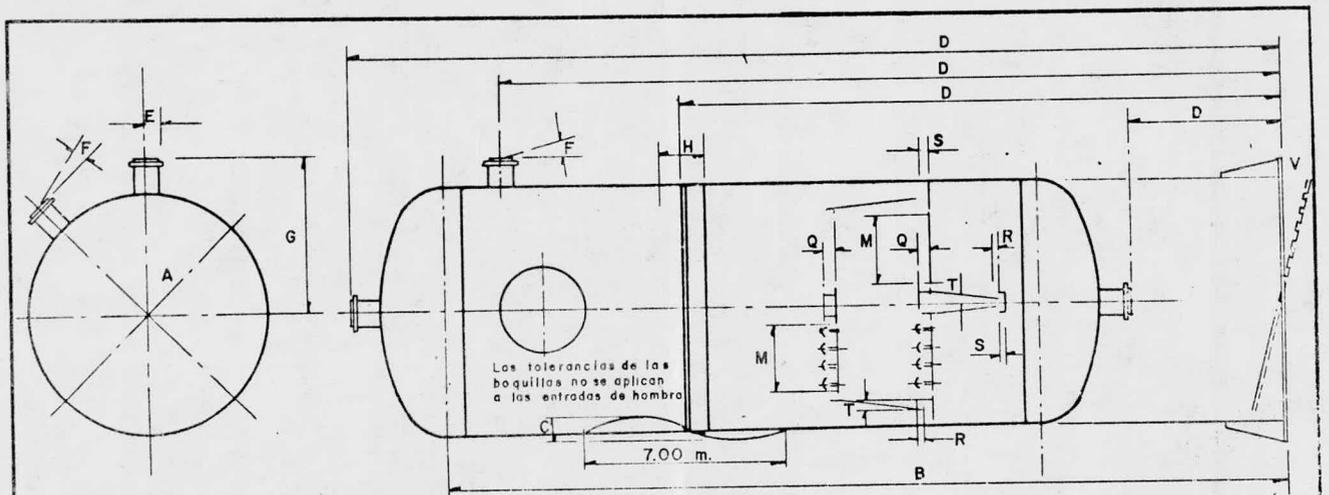
De acuerdo al Código ASME los recipientes a presión fabricados bajo ciertos diseños y condiciones de servicio, requieren del relevado de esfuerzos, a continuación se dan las principales condiciones:

- 1.- Todas las juntas de Acero al Carbón soldadas deben ser relevadas de esfuerzos si su espesor excede de 3.175 Cms. (1.25 Pulg.) ó  $(D + 50)/120$ , en donde D es igual al diámetro interior ó 50.8 Cms. (20 Pulg.), cualquiera que sea más grande.
- 2.- Todos los recipientes que contengan substancias letales deben ser relevados de esfuerzos.
- 3.- Recipientes hechos de Aceros al Carbón y de baja aleación para servicios a temperaturas abajo de  $-66^{\circ}\text{C}$  ( $20^{\circ}\text{F}$ ), a menos que sean eximidos de las pruebas de impacto deben ser relevados de esfuerzos.
- 4.- Bridas de Aceros Ferríticos deben de tener un normalizado ó completamente templados por tratamiento térmico si el espesor de la sección de la brida excede de 7.62 Cms. (3 Pulg.).

CHEQUEO DIMENSIONAL:

El chequeo dimensional deberá realizarse una vez que esté terminado el recipiente y precisamente se checará que esté de acuerdo a los dibujos aprobados para fabricación, de existir discrepancias entre el recipiente terminado y los dibujos, entonces el inspector y el fabricante deberán recurrir al Código ASME en su Sección IX, el cual da las tolerancias dimensionales permisibles en los recipientes a presión.

A continuación se da un dibujo representativo para cualquier tipo de recipientes a presión, no sujeto a fuego directo, el cual tiene indicadas las tolerancias permitidas por la Sección IX.



### TOLERANCIAS EN DIMENSIONES EN RECIPIENTES A PRESION

A.-Diámetro máximo y mínimo requerido por código.

B.-Por cada 3.5 m de longitud 5mm de tolerancia.

C.-Alineamiento de la superficie exterior del cilindro no más de 9mm en una longitud de 7m.

D.-Elevación de boquillas, charolas o rejillas estructural con respecto a la base  $\pm 6.4$  mm

E.-Variación angular de la línea de centros de las boquillas  $\pm 1/2$

F.-Deflexión horizontal o vertical de la cara de la brida de la boquilla  $\pm 3$ mm ( $1/8$ )

G.-La distancia entre la línea de centro del recipiente a la cara de boquilla  $\pm 3.1$ mm ( $1/2$ ).

H.-La diferencia entre los puntos altos y bajos de las barras de soporte de las charolas será 5mm, para recipientes con diámetros 1.5m. o' menos y para diámetros mayores el 0.3% del diámetro.

M.-Dimensiones de charolas.  $\pm 1.5$ mm.

P.-De centro a centro de cachuchas  $\pm 3$ mm

Q.-Altura del cuello de la cachucha  $\pm 1.5$ mm

R.-Sellado del conducto descendente.  $\pm 6.5$ mm

S.-Distancia vertical entre el fondo del conducto descendente a la parte superior de las charolas 1.5mm

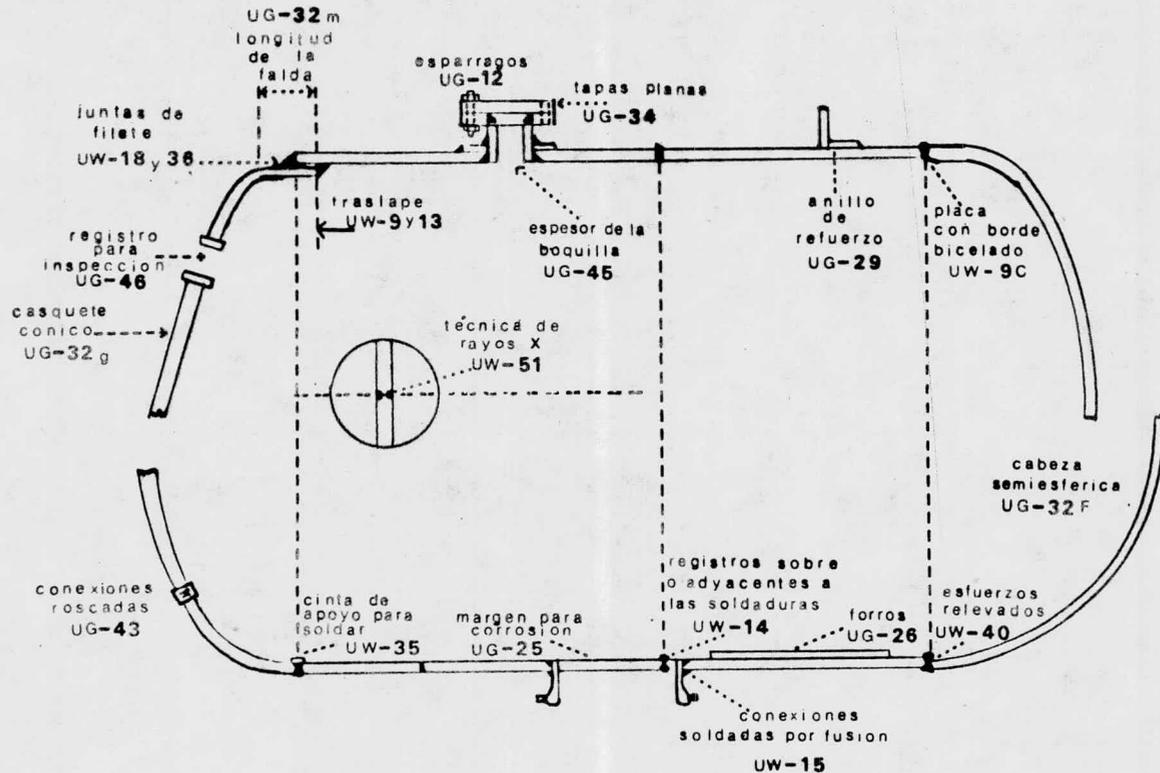
T.-Distancia horizontal  $\pm 6.5$ mm.

V.-Base o soportes fuera de nivel sobre cualquier diámetro

$\phi=2$ m y menos — 3 mm

$\phi=2$ m a 3.5m — 4.5 mm.

$\phi$ -mayores de 3.5m — 6.4 mm



SEIS PASOS CONDENSADOS PARA REALIZAR UNA INSPECCION:

- 1) Los Inspectores deberán ser provistos con dibujos que enseñen claramente detalles de soldadura y dimensiones, tipos de materiales, tolerancias de corrosión y las temperaturas y presiones de diseño. Es muy importante que esté claramente indicado cuando el recipiente lleve relevado de esfuerzos y radiografiado parcial o totalmente, ya que el Código permite diferentes eficiencias cuando es total, parcial o sin radiografiado.
- 2) Los Inspectores de Código deberán checar todos los cálculos, si dichos cálculos están completamente en orden e incluyen toda la información de diseño pertinente, el chequeo será mucho más fácil.
- 3) Si el recipiente está hecho 100% de acuerdo al Código, las hojas de datos deberán ser revisadas, y todas las correcciones que se hagan deberán ser incluidas antes de la edición final.
- 4) Los reportes de análisis de los materiales empleados deberán ser anexados a las copias de los dibujos del Inspector.
- 5) Una copia del procedimiento de soldadura y de los resultados de las pruebas deberán ser pedidas, y posteriormente deberán ser archivadas junto con toda la información.
- 6) Es muy importante que el Inspector cuente con un escritorio dentro de la fábrica en la cual va a llevar a cabo la inspección, con el objeto de que tenga a la mano toda la información concerniente al recipiente o recipientes que va a inspeccionar.

## CONCLUSIONES:

### CAPITULO I GENERALIDADES:

Lo importante en este capítulo es el panorama que se da en cuanto a lo que son los recipientes a presión y su importancia en la Ingeniería Química; ya que todo Ingeniero Químico, independientemente de las Areas en las cuales vaya a trabajar, es necesario que tenga nociones sobre la aplicación de los recipientes a presión en la Industria Petroquímica.

### CAPITULO II CODIGOS Y NORMAS:

Generalmente el control de calidad en la República Mexicana está basado en los Códigos y Normas que rigen en el extranjero, de ahí la importancia de conocer cuales son esos Códigos y Normas y la aplicación que puedan tener en la Industria Petroquímica Mexicana.

### CAPITULO III MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACION DE RECIPIENTES A PRESION:

Es de vital importancia que todo Ingeniero Químico tenga conocimientos sobre los diferentes materiales que se utilizan en los recipientes a presión, así como de las propiedades físicas y químicas que pueden aportar a los Aceros los diferentes elementos de aleación y poder así, mediante dichos conocimientos obtener el suficiente criterio para poder diseñar, fabricar, inspeccionar de una manera óptima los diversos equipos que intervienen en la Industria Petroquímica.

#### CAPITULO IV SOLDADURA:

Generalmente se cree que los conocimientos sobre Soldadura son exclusivos de la carrera de Ingeniería Mecánica, sin embargo y debido a la importancia de la soldadura en la Industria Petroquímica, es necesario que los Ingenieros Químicos adquieran los fundamentos y bases de la soldadura; que en realidad no son otros que los obtenidos en la Fisicoquímica y en la Química Inorgánica.

#### CAPITULO V PRUEBAS:

Al poder conocer las diferentes pruebas que son aplicadas dentro de la inspección, se puede normar un criterio en cuanto a la selección de la prueba o pruebas que debemos de aplicar a los recipientes según hayan sido diseñados o bien de acuerdo al servicio o servicios en los cuales vayan a ser empleados.

#### GENERALES:

El criterio es una pieza fundamental en el gran engranaje que logra hacer funcionar de una manera óptima a un Ingeniero Químico, ya que su campo de acción dentro de la Industria Nacional es uno de los más amplios a nivel profesional, de ahí que esta tesis esté encaminada precisamente a obtener un criterio y no únicamente una serie de leyes mecanizadas que no dejen una libertad de acción mental.

BIBLIOGRAFIA

Perry, J. H.: "Chemical Engineers Handbook" 5a. Edición, Capítulo 6, McGraw-Hill Book Company, Nueva York.

George E. Linnert: "Welding Metallurgy" 3a. Edición, Volumen 1 Capítulo 2, Volumen 2 Capítulo 13, 16, American Welding Society.

Phillips, "Welding Handbook" 6a. Edición, Capítulo 6, American Welding Society.

CODIGOS EDITADOS POR:

American Society of Testing Materials.  
American Petroleum Institute.  
American National Standard Institute.  
American Society of Mechanical Engineers.  
American Welding Society.