



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ A R A G O N ”

“ CRITERIOS DE SELECCION DE LOS MATERIALES PARA  
LA FABRICACION DE RECIPIENTES A PRESION ”

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta:

LIBRADO GASGA HERNANDEZ

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F. 1988

13  
2ci



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## I N D I C E

	PAGINAS
INTRODUCCION .....	1
 CAPITULO I. MARCO TEORICO	
I.1. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS .....	5
a) INSPECCION VISUAL .....	5
b) INSPECCION POR PARTICULAS MAGNETICAS .....	6
c) INSPECCION ULTRASONICA .....	8
d) INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES .....	11
e) INSPECCION RADIOGRAFICA .....	13
f) PRUEBA HIDROSTATICA Y NEUMATICA .....	15
 I.2. PRUEBAS DESTRUCTIVAS .....	 20
a) PRUEBAS ESTATICAS .....	20
b) PRUEBA DE FATIGA .....	24
c) PRUEBAS DE IMPACTO .....	25
d) PRUEBA DE DUREZA .....	26
 I.3. TRATAMIENTOS TERMICOS .....	 31
a) CONSTITUYENTES MAS IMPORTANTES PARA EL ESTUDIO DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS .....	31
b) FACTORES QUE AFECTAN LOS TRATAMIENTOS TERMICOS .....	33
c) TRATAMIENTOS COMUNES .....	36

PAGINAS

I.4.	CORROSION .....	53
	a) DEFINICION Y CARACTERISTICAS .....	53
	b) FORMAS DE LA CORROSION .....	54
	c) TIPOS DE CORROSION .....	55
	d) FACTORES QUE AFECTAN LA CORROSION .....	61
	e) CONTROL DE LA CORROSION .....	63
I.5.	DEFECTOS .....	68
	a) DEFINICIONES .....	68
	b) CARBURACION Y DESCARBURACION DE LA SUPER FICIE .....	84

CAPITULO II. INVESTIGACION DE CAMPO

II.1.	CONTROL DE CALIDAD EN PROVEEDORES .....	87
	a) ELABORACION DE PRUEBAS Y ANALISIS QUIMI- COS .....	92
	b) MATERIALES SUJETOS A PRUEBAS Y FRECUEN- CIA DE EFECTUARLOS .....	92
II.2.	PROCEDIMIENTO DE FABRICACION .....	94
	a) FORMACION DEL CILINDRO .....	95
	b) FORMACION DE LAS CABEZAS .....	98
	c) PRUEBA HIDROSTATICA .....	103
	d) VISITAS A PLANTAS DE PROVEEDORES .....	105

CAPITULO III. ANALISIS DE RESULTADOS

III.1. CONSIDERACIONES Y ESPECIFICACIONES .....	107
a) ACEROS AL CARBONO .....	109
b) ACEROS ALEADOS .....	110
b.1) ACEROS AL NIQUEL .....	112
b.2) ACEROS AL CROMO .....	113
b.3) ACEROS AL NIQUEL-CROMO .....	113
b.4) ACEROS AL MOLIBDENO .....	114
b.5) ACEROS AL VANADIO .....	114
b.6) ACEROS AL TUGSTENO .....	115
b.7) ACEROS INOXIDABLES .....	115
b.8) ACEROS RESISTENTES A ALTAS TEMPERATURAS .....	118
b.9) ALEACIONES ESPECIALES .....	119

CAPITULO IV. CONCLUSIONES .....	129
---------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA .....	134
--------------------	-----

## INTRODUCCION

Actualmente, en la manufactura de placa, tubería y material turbular se utiliza una gran variedad de materiales ferrosos, conteniendo diversos elementos de aleación. Así pues, la selección de materiales no es una labor sencilla.

En las especificaciones y códigos de las asociaciones de ingeniería e industria están reconocidos numerosos materiales ferrosos. Las especificaciones y códigos que se utilizan con mayor frecuencia son los preparados por la American Society For Testing Materials ( ASTM ), el American Petroleum Institute ( API ) y la American Society of Mechanical Engineers ( ASME ) Estos códigos determinan los requerimientos mínimos de diseño.

La ingeniería de recipientes debe hacer un análisis completo sobre el diseño de equipo tomando en cuenta que tienen múltiples aplicaciones en la industria, en los cuales diversos procesos requieren de los recipientes sometidos a presión, a temperatura diferente a la del medio y que manejan fluidos corrosivos, debemos resaltar la importancia que tienen la inspección y control de calidad en un recipiente a presión para reducir a un mínimo los riesgos y fallas en operación.

Los tipos de recipientes más comúnmente usados se pueden considerar como recipientes abiertos y recipientes cerrados.

Los recipientes abiertos se usan normalmente como tanques de almacenamiento. Los recipientes cerrados manejan fluidos tóxicos y gases, estos tipos de recipientes son los utilizados en la industria petrolera.

Los recipientes cerrados podemos dividirlos en recipientes cilíndricos verticales de fondo plano y cubierta cónica, los que generalmente trabajan a presión atmosférica y recipientes cilíndricos con cabezas abombadas en sus extremos, en donde la presión exige un diseño más riguroso, finalmente se tienen los recipientes esféricos, los cuales almacenan grandes volúmenes de fluidos bajo presiones moderadas.

Los recipientes a presión pueden ser clasificados conforme a su servicio, de acuerdo a su presión y temperatura de operación, al tipo de materiales con que se fabrican, de acuerdo a su posición y de acuerdo a su forma.

De acuerdo a su posición se clasifican en recipientes horizontales y verticales, de acuerdo a su forma, incluso los de forma esférica, los recipientes horizontales son aquellos que descansan sobre dos soportes ( Silletas ), los verticales están soportados por medio de patas de ángulos o patas de tubo y fallones los cuales pueden ser rectos o cónicos. Estos recipientes tienen variantes como son el tener uno o más diámetros, así como el tener una o varias secciones ( Torres ).

El tipo de cabezas más utilizado es el de tipo abombadas. Actualmente se cuenta con varias clases de cabezas abombadas ó tapas prefabricadas las cuales en su mayoría elaboradas a partir de una placa circular plana. Las cabezas utilizadas por el

código ASME son las cabezas torisféricas, semielípticas (2:1), hemisféricas y cónicas, el tipo de cabezas cónicas casi no es utilizado en nuestros diseños.

Cabezas torisféricas.- Son empleadas cuando tenemos bajas presiones de diseño y espesores hasta de 25 mm ( 1" ).

Cabezas Semi-elípticas ( 2.1 ).- Son utilizadas en recipientes que van a funcionar con presiones relativamente altas y espesores mayores de 25 mm ( 1" ), teniendo una relación de ejes igual a 1/4 del diámetro interior.

Cabezas Hemisféricas.- Son una variación del tipo de cabezas semi-elípticas, teniendo una relación de ejes igual a uno, debido a que están abombadas pueden resistir aproximadamente dos veces la presión de una cabeza semi-elíptica. Son utilizadas para altas temperaturas y espesores mayores de 51 mm ( 2" ).

De acuerdo al código ASME todas las cabezas deberán tener un radiografiado del 100% en la junta longitudinal con el cuerpo y en el diseño se utilizaran dimensiones exteriores o interiores, dependiendo del tipo de cabeza seleccionado.

Existen diferentes factores que pueden provocar fallas en un recipiente a presión y sus accesorios, éstos los clasifico de la siguiente forma:

Diseño.- Por la introducción involuntaria de zonas débiles, configuraciones de poca flexibilidad, de concentración de esfuerzos.

Materiales.- Por la selección y recepción equivocada ó mal manejo de ellos.

Defectos que se producen en los materiales al procesarlos. -  
Principalmente en placas, tuberías y piezas forjadas, así como los procesos de fabricación utilizados, como son el formado, la soldadura, los tratamientos térmicos y limpieza del equipo, por corrosión y erosión, condiciones de servicio no previstas en el diseño, por montaje, manejo y transformación inadecuados.

Debido a los defectos que pudieran presentarse en el material se ha requerido la necesidad de realizar algunas pruebas, tanto destructivas como no destructivas, para poder tener un mejor control e inspección más rigurosos en las condiciones en las cual se encuentra el material.

## CAPITULO I

### MARCO TEORICO

#### I.1 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Una prueba no destructiva es el examen de un objeto - - efectuado en cualquier forma que no impida su utilización futura.

Las pruebas no destructivas se utilizan para hacer productos más confiables, seguros y económicos, los fabricantes recurren a estas pruebas para mejorar y controlar los procesos de fabricación.

Durante la vida útil de los tanques y accesorios, es necesario hacer pruebas no destructivas para prevenir las fallas en operación. Para ello se recurrirá a un código ó - norma para decidir la aceptabilidad de los defectos y para controlar la calidad de las soldaduras realizadas.

Los métodos de prueba o inspección no destructivas más - comunes que incluye el Código ASME Sección VIII, División I son: Inspección Visual, Inspección por partículas magnéticas, Inspección Ultrasónica, Líquidos Penetrantes, Inspección Radiográfica, Prueba Hidrostática y Neumática.

##### a) Inspección Visual.

La inspección visual del objeto nunca debe omitirse, - se emplea desde el control de superficies hasta la de

tección de grietas y hendiduras. El inspector debe controlar la forma externa de la soldadura midiendo los esfuerzos y profundidad de socavados, dimensiones de las soldaduras de esquina, antes de efectuarse la soldadura debe verificarse visualmente la ausencia de laminaciones e inclusiones o adherencias en las caras de las ranuras que pueden provocar defectos en la soldadura y la ausencia de hendiduras o grietas en la superficie de la placa. Esta inspección con ayuda o sin ayuda óptica, puede evitar numerosos problemas.

#### Ventajas y limitaciones.

Este método es poco costoso, detecta defectos, importantes superficiales y es ampliamente utilizado, sin embargo, no se detectan defectos finos ni internos.

#### b) Inspección por partículas magnéticas.

Es un procedimiento utilizado para determinar la presencia de fisuras, recubrimientos, rasgones, inclusiones y discontinuidades, semejantes en materiales ferromagnéticos. El método detectará discontinuidades de la superficie o ligeramente por debajo de ella.

Se basa en el principio de que si un objeto es magnetizado, los defectos del material son localizados advirtiéndose las irregularidades del flujo magnético mediante las partículas magnéticas ( polvo coloreado o líquido fluorescente ), sobre la superficie.

El apéndice VI mandatorio del Código ASME, regula su aplicación, se utiliza para detectar grietas y hendiduras en las placas y soldaduras, los biseles son - inspeccionados rápidamente por este método.

En condiciones favorables, una grieta es indicada - por una línea de las partículas que siguen el contorno de la grieta y un defecto sub-superficial por una acumulación de las partículas sobre la superficie - cercana al defecto. Los defectos superficiales solo pueden localizarse cuando están relativamente cercanos a la superficie, si está muy lejos por debajo de la superficie no habrá ninguna fuga del campo magnético y en consecuencia no se obtendrá ninguna indicación.

La magnetización de la pieza se puede llevar a cabo por medio de un flujo magnético que puede ser originado, por el paso de corriente directa, corriente alterna o corriente alterna rectificada a través de un material, usado una bobina o envolviendo la pieza - por un arrollamiento. La corriente directa es mas sensible que la alterna y cuando la corriente alterna esta rectificada, proporciona un campo magnético mas penetrante.

El método residual, consiste en magnetizar la pieza y luego cubrirla con finas partículas magnéticas - - ( polvo de hierro ).

El método continuo, consiste en la magnetización y - aplicación de las partículas simultáneamente.

El método humedo, las partículas magnéticas se mantienen en suspensión de un líquido que se vierte sobre la pieza, o la pieza puede sumergirse en la suspensión.

#### Ventajas y limitaciones.

Este método mejora la inspección visual detecta los defectos superficiales aún cuando sean muy finos. La superficie por inspeccionar debe estar libre de grasas u otros materiales que puedan detener las partículas e impedir su desplazamiento.

Este método no es aplicable a materiales no magnéticos y se ve afectado por muchos factores como la concentración de la suspensión indicadora, el tiempo de contacto de la suspensión con la pieza, el tiempo permitido para que se formen las indicaciones, el tiempo que se mantiene actua la corriente de magnetización y la intensidad de la corriente de magnetización.

#### c) Inspección ultrasónica.

Este método se basa en el movimiento libre de un haz de ondas sonoras para alta frecuencia para localizar diminutos defectos internos en objetos, metálicos, - consiste en utilizar ondas de sonido fuera del intervalo auditivo, con una frecuencia de 1 a 5 millones de Hz ( ciclos por segundo ), estas ondas son producidas electronicamente. Las ondas ultrasónicas para pruebas no destructivas las producen materiales piezoelectrónicos, los cuales no sufren un cambio en su dimensión física cuando se someten a un campo eléctrico. La conversión de energía eléctrica a ener

gía mecánica se conoce como efecto piezoeléctrico.

Si se aplica a un campo eléctrico alterno a un cristal piezoeléctrico, el cristal se expandirá durante la primera mitad del ciclo y se contraerá cuando el campo eléctrico se invierta. El cuarzo es un transductor ultrasónico. El transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

El método de transmisión continua utiliza un transductor como emisor y otro receptor independiente en el objeto que va a revisar. Si el cristal emisor se le aplica un pulso eléctrico de la frecuencia deseada, las ondas ultrasónicas producidas se desplazarán a través de la muestra hasta el otro lado. El transductor de recepción situado en el lado opuesto recibe las vibraciones y las convierte en una señal eléctrica que se puede amplificar y observar en un osciloscopio.

Si la onda ultrasónica viaja a través de la muestra sin encontrar ninguna imperfección, la señal recibida será relativamente grande. Si hay imperfección en la trayectoria de la onda, parte de la energía se reflejará y la señal que recibirá el transductor de recepción se reducirá.

El método de eco-pulso utiliza sólo un transductor que sirve como transmisor y receptor. Si hay imperfección entre las superficies frontal y posterior del material, se detectará sobre la pantalla como una tercera señal entre las dos indicaciones correspondientes a la superficie frontal y posterior.

Como las indicaciones en la pantalla del osciloscopio miden el tiempo transcurrido entre la reflexión del pulso desde las superficies frontal y posterior, la distancia entre indicaciones es una medida del espesor del material por lo tanto la localización de un defecto puede determinarse con exactitud por la indicación que aparece sobre la pantalla.

Este tipo de prueba para la inspección de soldadura es regulado por el apéndice U del Código ASME y se utiliza en la localización y medición de defectos y para calibración de espesores.

#### Aceptabilidad o rechazo.

Se define en cada una de las partes de las normas que regulan el método. El Código ASME, en su apéndice no mandatorio U para inspección de soldadura, da los patrones de calibración y corrección a efectuar durante la prueba así como los niveles de rechazo del pulso del defecto. Los defectos interpretados como falta de fusión y de penetración y grietas, no se aceptan en ningún caso.

#### Ventajas y limitaciones.

Este método es rápido, confiable, de fácil operación, se conoce de inmediato el resultado de las pruebas de gran precisión, y alta sensibilidad. También se pueden inspeccionar las soldaduras de esquina, por lo que la utilización de este método permite aumentar la eficiencia de la unión de estas soldaduras

que es muy baja.

Para partes de mayor tamaño, una película de aceite asegura un contacto apropiado entre la unidad del - cristal de búsqueda y la unidad de prueba. Las partes mas pequeñas pueden colocarse en un tanque con agua, aceite o glicerina. La unidad de cristal de - búsqueda transmite ondas sonoras a través del medio y penetraran en el material que se examina.

Para este método se requiere un excelente contacto del transductor con la pieza a probar, la interpretación requiere de un inspector de gran experiencia y conocimiento de la técnica de preferencia tener - un nivel II calificado según la American Society - For Testing Materials ( ASTM ).

d) Inspección por líquidos penetrantes

Este método se emplea para poner de manifiesto las discontinuidades abiertas a la superficie aplicando un líquido que tiene la propiedad de penetrar fácil mente en grietas aún cuando sean muy estrechas.

La pieza a probar se trata primero con un trazador o colorante ( Substancia que penetra en las fisuras), generalmente son líquidos ligeros de apariencia - - aceitosa. El colorante es absorbido y los residuos restantes se limpian o se lava la pieza con un chorro de agua y después se seca con aire caliente, -

posteriormente se aplica un líquido revelador que va a absorber el colorante que penetra dentro del defecto y es detectado por la mancha que aparece al ser absorbido por el revelador, a fin de que el proceso de inspección sea eficaz el colorante generalmente es rojo y el revelador blanco.

El líquido penetrante puede ser fluorescente y para observarlo se aplica una luz negra que va a hacer que el penetrante se vea fluorescente en lo oscuro.

Los poros aparecen como puntos relucientes y las grietas como líneas fluorescentes.

El apéndice VIII mandatorio del Código ASME regula su aplicación, la evaluación de las indicaciones y las normas de aceptabilidad.

Se emplea este método en lugar del de partículas magnéticas en caso de metales no ferromagnéticos y no ferrosos.

#### Ventajas y limitaciones

Es un método fácil de aplicar si se toma la precaución de que el líquido penetre efectivamente, la superficie del material debe limpiarse de toda materia que pueda obstruir la entrada del líquido al defecto.

Detecta solamente defectos abiertos a la superficie bajo inspección, tiene el inconveniente de su falta de sensibilidad y utilizando la luz negra -

requiere de aparatos muy costosos y la ejecución es más larga y delicada.

e) Inspección Radiográfica.

La radiografía de metales se puede realizar mediante rayos X o rayos gama. La radiación atraviesa los metales y parte de ella se absorbe, la cantidad absorbida depende del material y espesor atravesado.

Los rayos X se producen cuando la pieza es bombardeada por un haz de electrones que se mueven rápidamente, parte de su energía cinética se convierte en - - energía de radiación o rayos X. Las condiciones esenciales son:

Un filamento ( Cátodo ) que proporciona la fuente - de electrones que se dirige hacia la pieza.

Un objetivo ( ánodo ) localizado en la trayectoria - de los electrones.

Una diferencia de voltaje entre el cátodo y el ánodo y un medio para regular la corriente del tubo y controlar el número de electrones que chocan contra el ánodo.

Las inclusiones de materiales diferentes o la falta de material ( cavidades ), se detectan debido a las diferencias de absorción. El método más utilizado - para medir esas diferencias es registrándolas en una película fotográfica.

El Código ASME, Sección VIII, regula la aplicación del método radiográfico para la inspección de soldadura, piezas fundidas, etc.

Las uniones a tope de los recipientes a presión que contengan gases o líquidos letales, deben ser radiografiadas 100%. En general, para otros casos el diseñador tiene la opción de radiografiar 100%, muestrear o no radiografiar ninguna union, sin embargo, la eficiencia de la unión es función de porcentaje radiografiado, siendo respectivamente 100, 85 y 75%.

A menor eficiencia resultará al diseñar un espesor mayor lo que indica que la utilización de la inspección radiografica proporciona un beneficio económico, utilizada como una herramienta efectiva, para controlar la calidad de la soldadura, ya que aplicada en su oportunidad permite corregir las causas que provocan soldaduras defectuosas lo cual reduce la posibilidad de efectuar dos o más veces la soldadura y las correspondientes reinspecciones.

Aceptabilidad o rechazo.

El Código ASME, no admite en la soldadura ninguna grieta, falta de fusión o falta de penetración, en el apéndice IV se indican cartas de porosidad máxima, también se indican las normas para juzgar la aceptabilidad o rechazo de las soldaduras, indicando las dimensiones, máximas permisibles .

### Ventajas y limitaciones.

Su aplicación es sencilla aunque la interpretación requiere de personal adiestrado y calificado. Se puede guardar un registro permanente ( radiografía ), que requiere de precauciones para evitar la exposición del personal a las radiaciones y tiene limitaciones en cuanto al espesor por inspeccionar; espesores de mas de 51 mm, se necesita utilizar aparatos pesados y poco manuales lo cual en general dificulta realizar la inspección radiográfica en campo.

Ventajas y limitaciones de los rayos gamma sobre los rayos X.

La ventaja que tienen sobre los rayos X es que pueden inspeccionar piezas de mayores espesores y tienen la facilidad de que el equipo puede llevarse al campo.

El inconveniente es que para espesores pequeños la sensibilidad no es muy buena, así como el tiempo de exposición que es muy prolongado ( 15 horas ), pero dado que no requiere ningún cuidado especial, la exposición puede hacerse durante toda la noche.

### f) Prueba hidrostática y neumática.

Todos los recipientes terminados deberán someterse y pasar satisfactoriamente la prueba hidrostática o neumática según se especifique, en el Código ASME, Sección VIII, División 1, se describe como lleva a cabo las pruebas así como las precauciones que hav -

que tomar según el caso.

#### Prueba hidrostática.

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

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

La M.A.W.P., para un recipiente deberá definirse como:

La máxima presión permisible en el elemento mas débil del recipiente en condiciones corroidas, bajo el efecto de una temperatura de diseño en condiciones normales de operación y bajo los efectos de otras cargas ( carga de viento, carga de sismo, presión exterior, etc ). Las cuales se agregan a la presión interna.

En todos los casos el valor de la MAWP, para el cálculo de la presión de prueba hidrostática será cuando el recipiente este nuevo y frío.

#### Prueba neumática.

Esta prueba puede ser utilizada en lugar de la prueba hidrostática y se recomienda usarla en los siguientes casos:

Para recipientes que estén soportados de tal manera que no se tenga la seguridad de que puedan ser llenados con agua.

Para recipientes que no puedan secarse fácilmente y que vayan a usarse en servicio en donde las huellas de la prueba con agua no puedan permitirse.

La presión de la prueba neumática será al menos -- igual a 1.25 veces la M.A.W.P.

#### Consideración.

Se tiene la opinión de que la prueba hidrostática o neumática reemplazan todas las demás pruebas no destructivas, tanto del material como de la soldadura, por lo que es conveniente establecer la siguiente consideración:

Un recipiente puede pasar la prueba pero puede fallar en servicio a causa del desarrollo de grietas, que es lento y depende de muchos factores.

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

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

En la tabla I.1. se muestra un resumen de cuando y donde utilizar este tipo de pruebas no destructivas así como sus ventajas y limitaciones.

TABLA I.1.

## RESUMEN DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

METODO DE INSPECCION	CUANDO USARLO	DONDE USARLO	VENTAJAS	LIMITACIONES
Por partículas magnéticas	Para detectar imperfecciones superficiales, porosidad, falsas uniones, imperfecciones subsuperficiales, defectos de soldadura.	Sólo en materiales ferromagnéticos.	Fácil de usar, portátil, para pruebas en campo.	El material debe ser magnético, se requiere desmagnetización después de la prueba, fuente de potencia necesaria.
Ultrasónico	Para encontrar defectos en tornos, inclusiones, porosidad, para determinar espesores.	Todos los metales y materiales no metálicos duros, pruebas de campo, pruebas de partes en servicio.	Rápido, confiable, fácil de operar, muy exacto, sensible los resultados de la prueba - se conocen de inmediato.	Requiere contacto o inmersión de la parte y la interpretación de lecturas, necesita entrenamiento.
Por líquidos penetrantes.	Para localizar fisuras superficiales, porosidad.	Inspección de campo.	Sencillo, de aplicar, portátil, resultados fáciles de interpretar.	Limitado a defectos superficiales, las superficies deben estar limpias.
Radiográfico: por Rayos X.	Para detectar imperfecciones y defectos internos; para encontrar fallas en soldadura, fisuras, porosidad, inclusiones, falta de fusión, para medir variaciones en espesores.	Piezas coladas, recipientes soldados, prueba de campo de soldaduras, inspecciones de corrosión.	Proporciona un registro permanente en la película, funciona bien en secciones delgadas.	Alto costo inicial, es necesario una fuente de poder, riesgo por radiación, necesitan técnicos entrenados.
Por Rayos GAMMA	Para detectar imperfecciones internas, fisuras, inclusiones, defectos en soldadura, para medir variaciones de espesor.	Furja, fundiciones, tuberías recipientes soldados, prueba en campo de tuberías soldadas, inspección de corrosión.	Portátil, bajo costo inicial, para espesores mayores.	Riesgo por radiación, se necesitan técnicos entrenados, la fuente pierde potencia constantemente.
Prueba Hidrostática.	Para comprobar la resistencia del recipiente y sus accesorios.	En recipientes sometidos a presión interna.	Detecta la presencia de posibles fugas.	No puede utilizarse en recipientes - que no puedan secarse fácilmente, en donde las huellas de la prueba con agua no puedan permitirse. No sustituye a las demás pruebas.
Prueba Neumática.	En recipientes que estén soportados de tal manera - que no se tenga la seguridad de que puedan ser llenados con agua, en recipientes que no puedan secarse fácilmente.	En recipientes sometidos a presión interna.	Detecta la presencia de posibles fugas.	No sustituye a las demás pruebas.

## I.2 PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Las pruebas mecánicas más usadas son las estáticas, de fatiga, de impacto y de dureza.

Todas las pruebas se realizan sobre muestras de formas y dimensiones determinadas que se han reconocido como patrones, pues ligeros cambios en ellas afectan grandemente los resultados. Según el material y la prueba a realizar se escoge la probeta, las normas y Códigos dan suficientes indicaciones al respecto.

### a) Pruebas estáticas.

Se emplean para conocer el comportamiento de los metales sometidos a tensiones múltiples que actúan en una sola dirección ó a tensiones en varias direcciones. Los tipos principales de pruebas estáticas son: de tracción, compresión y flexión.

#### Prueba de tracción.

Este tipo de ensayo estudia el comportamiento de un material sometido a un esfuerzo de tracción progresivamente creciente, ejercido por una máquina apropiada hasta conseguir la ruptura.

Es la prueba mas común y de mayor aplicación por los resultados que se obtienen de ella sobre la resistencia mecánica de los materiales.

Se realiza en las máquinas universales. En ella, la muestra se somete a un esfuerzo axial hasta lograr su ruptura en un tiempo corto y a velocidad constante.

Se debe cuidar que el esfuerzo sea simple, lo cual se consigue, con una coincidencia del eje de esfuerzos con el de la probeta, de otra forma surgirán esfuerzos compuestos (par de torsión o flexión) que afectará en una mala lectura de los resultados.

Cuando un metal se somete a un esfuerzo se notan dos zonas principales, la zona elástica, en la cual si retiramos la carga aplicada de la pieza, esta no cambia sus dimensiones originales y la otra que es la zona plástica, la cual podemos definir como el esfuerzo mínimo al que ocurre la primera deformación permanente.

Dentro de la zona elástica los materiales se rigen por la ley de Hooke, su expresión matemática es la siguiente:

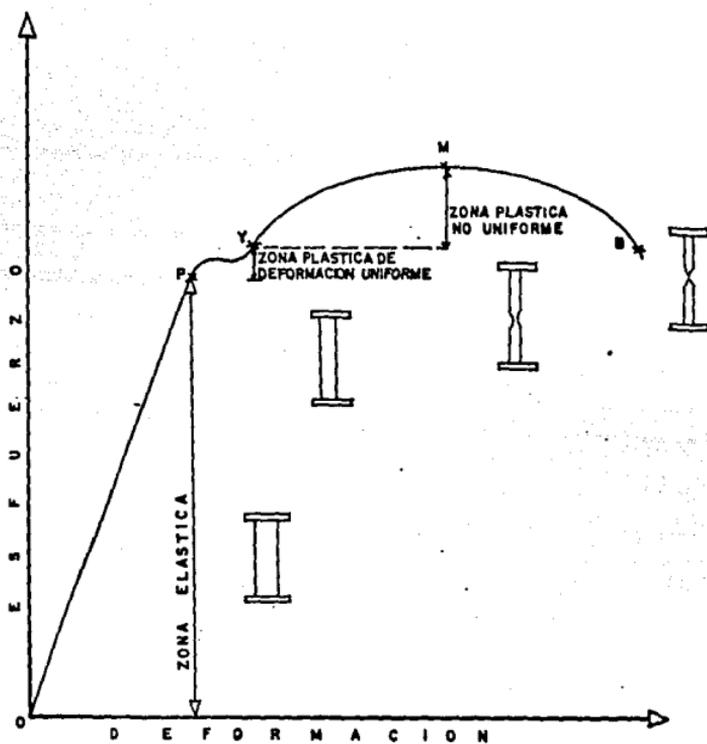
$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$\epsilon$  = Deformación

$\sigma$  = Esfuerzo

E = Módulo de Young indica la rigidez de un material.

Analizando una curva esfuerzo-deformación, de las obtenidas en una prueba de tracción (fig.I.1), se ve que los esfuerzos están como ordenadas y las deformaciones como abscisas, se ven dos zonas una en la que el metal no se deforma y si lo hace no es en forma permanente, zona de comportamiento plástico, cumpliendo con la ley de Hooke.



O.P. LIMITE DE PROPORCIONALIDAD  
 Y. PUNTO DE CEDENCIA  
 M. ESFUERZO MAXIMO  
 B. PUNTO DE RUPTURA

GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION

FIG. 1.1

El punto en el que el metal cambia de comportamiento se le conoce como límite de proporcionalidad, el cual sirve para muchos cálculos de Ingeniería. Antes de comenzar la deformación el área y la carga son proporcionales.

OP.- Determina la magnitud del límite de proporcionalidad es decir la tensión que el material de la muestra resiste sin apartarse de la ley de Hooke. El esfuerzo y la deformación son proporcionales.

Y.- Punto de cedencia, el material se deforma sin que haya incremento en la carga.

B.- El material se rompe al ser llevado hasta la resistencia límite (B).

YM.- Esfuerzo y deformación se incrementa hasta alcanzar el esfuerzo máximo en el punto M.

Prueba de compresión.

Estudia el comportamiento de un material sometido a un esfuerzo de compresión progresivamente creciente, ejercido con una máquina apropiada hasta conseguir la rotura o aplastamiento según la clase del material.

Estas pruebas es conveniente realizarlas con materiales relativamente frágiles, en la práctica se emplean para valorar las propiedades del hierro colado o de aleaciones frágiles. Este tipo de prueba es poco frecuente por que da menos datos que la prueba de tracción.

### Prueba de flexión.

Esta prueba debe considerarse como complemento de la - prueba de tracción, para aplicarla en aquellos casos en que por la fragilidad del material, las pruebas de tracción no den resultados convenientes. Este tipo de pruebas no llega a realizarse con los materiales de los equipos a presión ya que al estudiar el comportamiento del acero con este tipo de prueba, no llegan a romperse las probetas con las pruebas ordinarias de flexión.

### b) Prueba de fatiga.

Debemos hacer mención a que la prueba de fatiga para los metales no ha sido normalizada por la ASTM y por consiguiente es muy poco usada en México.

Este ensayo determina el comportamiento relativo de los materiales bajo distintos tipos e intensidades de carga fluctuantes, lo que ocasiona posteriormente la destrucción total de la pieza o de la muestra, por ello podemos decir que el fin de la prueba de fatiga consiste en ver las posibilidades del material para trabajar sin destrucción en condiciones de una carga cíclica ( repetida o fluctuante ).

Las pruebas de fatiga se utilizan para estudiar el comportamiento de los materiales bajo distintos tipos e intensidades de cargas fluctuantes, para determinar el efecto de la corrosión, el tamaño y la concentración de los esfuerzos.

c) Pruebas de impacto.

Aunque la tenacidad (energía que absorbe un material en su deformación y rotura ) de un material puede obtenerse calculando el área bajo el diagrama esfuerzo-deformación, la prueba de impacto indica la tenacidad relativa.

Esta prueba se efectúa mediante un péndulo, el cual choca contra la muestra y la rompe y al romperla absorbe - energía que es transmitida por el péndulo.

Las pruebas más comunes son la Charpy y la Izod, la diferencia entre ellas es el tipo de probeta utilizada y el lugar donde se golpea.

Prueba Charpy.

Utiliza un martillo de péndulo, la muestra se coloca en un tornillo de banco apoyada como una viga simple, se - sitúa el martillo a una cierta altura sobre el nivel de la probeta dependiendo del tipo de muestra que se preten de probar. A esa altura, con referencia al tornillo del banco, el péndulo tiene una cierta cantidad de energía - potencial. Cuando se libera el péndulo, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea la mues-tra una parte de la energía del péndulo se utilizará - para romper la muestra, provocando que el péndulo se eleve en el lado opuesto de la máquina a una altura menor - que aquella con que inició su movimiento desde ese mismo lado de la máquina.

El peso del péndulo multiplicado por la diferencia de - alturas indicará la energía absorbida por la muestra.

#### Prueba Izod.

Emplea un péndulo similar al de la prueba charpy, las -  
probetas se colocan en un banco de modo que quede como -  
una viga en cantiliver ( voladizo ).

El funcionamiento del péndulo es idéntico al que actúa -  
en la prueba charpy, con una muestra se hacen tres ensa-  
yos sucesivos y se toma el promedio de ellos.

#### d) Pruebas de dureza.

La dureza es una propiedad muy compleja de la materia en  
estado sólido, pero entendemos por dureza la propiedad -  
de la cara superficial del material de resistir a la de-  
formación.

Los métodos más usados son los de penetración, donde se  
dice que la dureza es la resistencia que presenta el met-  
al para ser penetrado por otros metales mas duros - -  
( penetrador ).

La dureza Vickers, Rockwell y Brinell son las mas conoci-  
das y la diferencia entre ellas está en el tamaño y for-  
ma del penetrador y en la carga que se aplica. En todos  
ellos la presión se ejerce lentamente.

#### Dureza Brinell.

El procedimiento estándar requiere que la prueba se haga  
con una bola de acero de 10 mm de diámetro bajo una car-  
ga de 3000 kg para metales ferrosos y de 500 kg para me-

tales no ferrosos. Para metales ferrosos la bola bajo presión es presionada dentro de la muestra a prueba por lo menos durante 10 segundos; para metales no ferrosos el tiempo es de 30 segundos.

El diámetro de la impresión producida es medido por medio de un microscopio que contiene una escala ocular, graduada en décimas de milímetro generalmente.

El número de dureza brinell (HB) es la razón de la carga en kilogramos, al área en milímetros cuadrados de la impresión y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$HB = \frac{\text{Carga sobre la bola}}{\text{Area indentada}} = \frac{L}{(\pi D/2) (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

donde:

L = Carga de prueba, en kg.

D = Diámetro de la bola, en mm

d = Diámetro de la impresión, en mm

El inconveniente que presenta es que deja una huella demasiado grande, la medición es bastante tardada y mas allá de 500 Brinell la bola de acero se empieza a deformar.

Generalmente hay tablas que permiten el cálculo de la dureza a partir del diámetro de la huella.

Dureza Vickers.

En esta prueba se sustituye la bola de acero y se utili-

za un marcador primordial de diamante de la base cuadrada con un ángulo incluido de aproximadamente 136° entre sus caras opuestas. El intervalo de carga está generalmente entre 1 y 120 kg, dependiendo de la dureza del material. El probador de dureza vickers funciona bajo el mismo principio que el probador Brinell y esta prueba es función del área de la huella dejada por la pirámide. Se requiere de un microscopio para medir la longitud de las diagonales de la huella y luego aplicar la fórmula.

$$HV = \frac{2 L \text{ sen } (\alpha/2)}{d^2} = \frac{1.8544L}{d^2}$$

Donde:

L = Carga aplicada en kg.

d = Longitud de la diagonal del cuadrado de la impresión en mm.

$\alpha$  = Angulo de 136°.

Su principal ventaja es que se pueden medir microdurezas, o sea la dureza de los granos dentro de un material y no requiere cambiar de penetrador como en la dureza Rockwell.

Dureza Rockell.

Se utilizan varias cargas y penetradores dependiendo de las condiciones del ensayo. La diferencia con el ensayo Brinell es que las cargas son menores, así como los - -

penetradores y por tanto la huella resultante es menor y menos profunda. En esta prueba la carga es constante.

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

Dependiendo de la carga y el penetrador se tendrán distintas escalas. Las escalas Rockwell más aplicadas son la B ( Marcador de bola de 2 mm y 100 kg de carga ) y la C ( Marcador brale y 150 kg de carga ), cada grado de dureza equivale a 0.02 mm de profundidad en la penetración.

Una impresión pocoprofunda en un material duro dará un número grande, en tanto que una impresión profunda en un material blando dará un número pequeño, debido a las muchas escalas Rockwell, el número de dureza debe especificarse mediante el símbolo HR seguido de la letra que designa la escala y precedida de los números de dureza, por ejemplo 82 HRB que significa una dureza Rockwell de 82 medida en la escala B.

#### Límites de las mediciones de dureza Rockwell

Escala	No.de dureza	Límite de mediciones unidades de dureza - Rockwell	Valores aprox. correspondientes a los nos. de dureza Vickers
A	HRA	70-85	390-900
B	HRB	25-100	60-240
C	HRC	20-67	240-900

Para realizar una prueba de dureza Rockwell debemos tener en consideración que:

El penetrador y la superficie de ensayo deben estar - - limpias y bien asentadas.

La superficie de la muestra debe estar limpia de óxido y materias extrañas que pueden afectar los resultados.

La superficie debe ser plana y perpendicular al penetrador el espesor de la probeta debe ser tal que no aparezca ninguna protuberancia o marca en la superficie opuesta a la huella, se recomienda utilizar un espesor que sea 10 veces la profundidad de la huella.

Las huellas deben estar separadas entre sí de tres a - cinco veces su diámetro.

La velocidad de operación de la carga debe controlarse porque si no se tendrán unas variaciones de dureza apreciable.

### 1.3 TRATAMIENTOS TERMICOS

Los tratamientos térmicos pueden llevarse a cabo en materiales o aleaciones, son una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento en una forma tal que - - obtendremos cambios en algunas propiedades de los materiales, ya sea para mejorarlas o para corregir condiciones indeseables inducidas durante el proceso de fabricación.

La modificación se logra mediante cambios morfológicos - en la estructura. Estos cambios son en la estructura interna de los materiales, los que afectan las propiedades mecánicas, pero también suelen sufrir alteraciones, - - otras propiedades como son la conductividad eléctrica, - las propiedades magnéticas, la resistencia a la corrosión, etc.

La característica principal de los tratamientos térmicos, es que tienen la particularidad de llevarse a efecto - - siempre al estado sólido, por esto una ventaja que tienen, es que les permite fabricar grandes piezas y posteriormente tratarlas térmicamente para que adquieran mejores propiedades finales.

Los tratamientos térmicos no afectan la composición química del material pero existen otros que tiene como fin principal modificar la composición química de la superficie del material y son conocidos como tratamientos térmicos o superficiales.

- a) Constituyentes mas importantes para el estudio de los - tratamientos térmicos.

La modificación de la estructura de los aceros por medio

de los tratamientos térmicos hace necesario definir lo que es: austenita, cementita, ferrita, perlita, martensita y bainita.

Austenita.- Es el nombre dado a la solución sólida de carbono en el hierro Gamma (estructura cristalina cúbica centradas en las caras), su máxima solubilidad es del 2% de carbono y sólo es estable a temperaturas superiores a 725°C.

Cementita.- Es el carburo de hierro ( $Fe_3C$ ), es muy frágil y duro, de baja resistencia tensil, pero de alta resistencia compresiva.

Ferrita.- Es el nombre dado a la solución sólida de carbono en el hierro alfa (estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo), su máxima solubilidad es de 0.025% de carbono a una temperatura de 725°C.

Perlita.- Esta formada por ferrita y cementita en láminas alternadas, es la mezcla eutectoide que contiene 0.8% de carbono y se forma a temperaturas inferiores de 725°C a un enfriamiento muy lento.

Martensita.- Es una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa a menos de 225°C.

Bainita.- Mezcla difusa entre ferrita y cementita, entre 500 y 225°C, la cual comienza con la formación de la ferrita.

b) Factores que afectan los tratamientos térmicos.

Para conseguir los cambios estructurales necesarios, se recurre a un calentamiento que generalmente es por arriba de los puntos críticos, conocidos como cambios alotrópicos, que son el cambio reversible en la estructura atómica del metal, junto con un cambio correspondiente en las propiedades del material.

De lo anterior se desprende que los factores de mayor influencia son:

Composición química del material.

Esta es de importancia fundamental en el comportamiento de los materiales sometidos a tratamientos térmicos, es el carbono el de mayor influencia sobre las propiedades de los aceros.

También es oportuno mencionar que de los elementos comunes encontrados en los aceros, los que tienen una influencia casi nula son: azufre, fósforo y silicio.

Influencia de los elementos de aleación sobre los tratamientos térmicos en materiales ferrosos.

Los elementos de aleación van a mejorar las propiedades físicas y químicas de los materiales, los elementos de aleación más utilizados son:

Cromo.- Tiende a formar carburos que mejoran la resistencia a la abrasión, mejora ligeramente la resistencia al

ablandamiento en el revenido. Imparte resistencia a la corrosión cuando está en solución en porcentajes mayores al 12%.

Níquel.- Mejora la templabilidad y la resistencia al impacto a bajas temperaturas.

Fósforo.- Aumenta la resistencia a la corrosión en aceros de bajo carbono.

Titanio.- Propicia las reacciones en endurecimiento por precipitación en aceros ferríticos y austeníticos, previene la corrosión en soldaduras de aceros inoxidables.

Tungsteno.- Proporciona dureza por las partículas de carburos que dan resistencia a la abrasión.

Cromo.- Forma carburos muy estables que inhiben el crecimiento del grano austenítico, en los aceros inoxidables evita la precipitación de carburos de cromo.

Temperatura de calentamiento.

Cada tratamiento tiene una temperatura de calentamiento específica que debe ser tomada muy en cuenta para alcanzar los fines deseados, generalmente se tendrá que calentar por encima de los puntos críticos.

Si la temperatura fuera insuficiente no se forma la estructura que es necesaria para dar lugar a la que finalmente se pretende. Si por el contrario la temperatura resulta excesiva, el material sufre efectos nocivos tales como, crecimiento del tamaño del grano, descarbura-

ción, deterioro de la superficie y en casos extremos hasta la completa inutilización; cuando se llega a "quemar" el material; efecto que consiste en la absorción de oxígeno alrededor de los límites de grano que facilita la oxidación intergranular volviéndolo frágil e inservible permanentemente.

#### Tiempo de calentamiento.

Este debe ser cuidadosamente medido, ya que, en combinación con la temperatura crean las condiciones de las que se parten para la formación de los nuevos componentes estructurales. La determinación del tiempo óptimo de calentamiento requiere de mucha experiencia por la serie de elementos a considerar y que deben combinarse para obtener buenos resultados, así, no deben establecerse elevadas diferencias de temperatura entre la periferia y el núcleo de la pieza. Estos elementos a considerar son: composición del material, tamaño y forma de la pieza, clase de equipo usado y las condiciones finales que se deseen.

Los calentamientos rápidos deben evitarse y esto se consigue introduciendo las piezas en el horno cuando aún está frío.

#### Velocidad de enfriamiento.

La característica que define a cada tratamiento térmico es básicamente la velocidad de enfriamiento, se controla por diferentes medios según sea el tratamiento. Las velocidades más lentas se consiguen dejando que las piezas -

se enfrien dentro del mismo horno, al terminar su fase de calentamiento; un aumento en la velocidad de enfriamiento, se logra enfriando "al aire en calma", es decir, sacando la pieza del horno y dejándolo que enfríe a la temperatura ambiente. Posteriores aumentos se consiguen por inmersión de las piezas en aceite, agua, o soluciones salinas para las velocidades más grandes.

c) Tratamientos comunes.

Los cambios de estructura de los metales o aleaciones, para que alcancen determinadas características, dependen del tratamiento al que se someten.

Para el hierro y sus aleaciones, que son los materiales más comunes en la industria se emplean los siguientes tratamientos térmicos:

Recocido	{	Recocido de total regeneración	{	Normal
		Recocido de esferoidización		Oscilante
		Recocido subcrítico		Recristalización
				Relevado de esfuerzo

Normalizado

Temple

Revenido

Recocido

### Recocido de total regeneración.

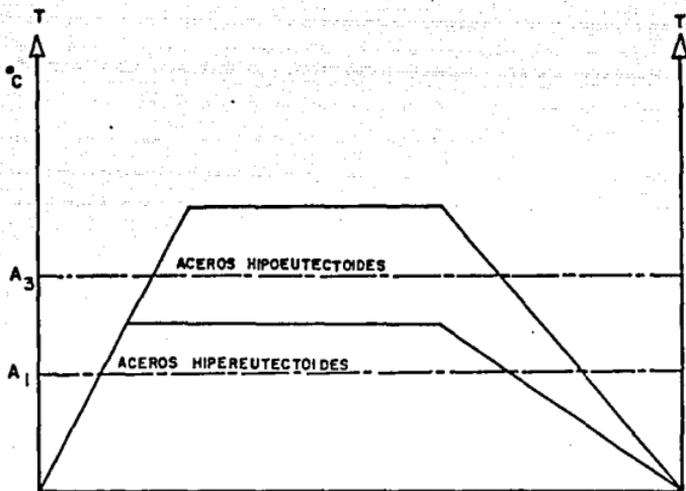
Consiste en calentar el metal o aleación hasta la temperatura adecuada para alcanzar la estructura austenítica y luego enfría lentamente, perfectamente dejando el metal en el interior del horno donde se realiza el calentamiento.

El tratamiento se realiza calentando la pieza de 30°C a 50°C por arriba de la temperatura A3 (línea de temperatura crítica superior del lado hipoeutectoide en el diagrama hierro carbono), en los aceros hipoeutectoides (aceros con contenido de carbono inferior al 0.8%), y de la temperatura A1 (línea de temperatura crítica inferior del lado hipereutectoide (aceros que contienen de 0.8% a 2% de carbono), logrando así para los primeros una estructura austenítica y cementita.

El tiempo de calentamiento está en función del espesor y no debe ser inferior a una hora por cada 25 mm, del mismo en la sección de su parte más gruesa. Este tiempo se empieza a contar después de alcanzar la temperatura A1.

Por último la velocidad de enfriamiento debe ser de 15°C por hora para que la austenita sea transformada totalmente a ferrita y perlita para los aceros hipereutectoides.

Esta estructura transformada a muy baja velocidad tendrá la proporción más estable de acuerdo con el diagrama de equilibrio de un acero tratado por este proceso. (figura I.2 ).



RECOCIDO DE TOTAL REGENERACION

FIG. 1.2

## Recocido de esferoidización.

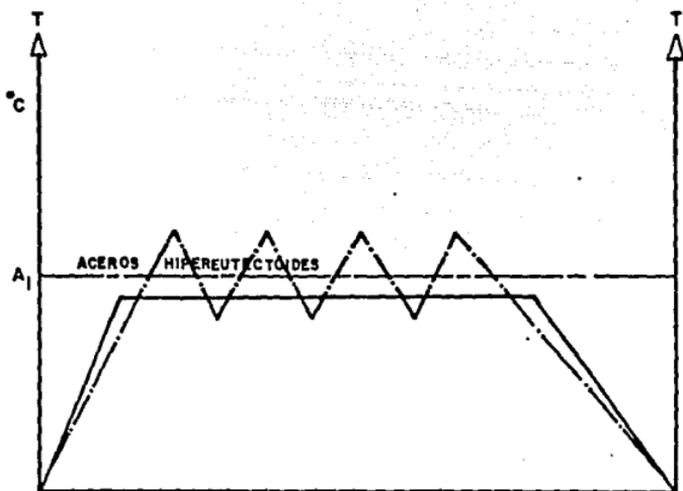
Este tipo de recocido se realiza en dos formas:

Recocido de esferoidización normal: tiene por objeto formar esferas de cementita partiendo de una estructura perlítica, efectuando un calentamiento hasta la temperatura A<sub>1</sub>, ó ligeramente abajo de ella, la última fase de este tratamiento consiste en enfriar muy lentamente para conservar las condiciones de equilibrio estable.

Recocido de esferoidización oscilante: Se emplea para esferoidizar más rápidamente la cementita, produce el mismo efecto que el tratamiento anterior pero emplea un ciclo oscilante de calentamiento y enfriamiento a una temperatura superior y a otra inferior a la temperatura A<sub>1</sub>, con este proceso se reduce el tiempo de calentamiento.

Este recocido trata de que los carburos que forman la cementita con los elementos aleantes adopten la forma esférica o globular en una matriz blanda, influyendo poco en las propiedades de la matriz de ferrita que es el componente más suave y dúctil de los aceros, se enfría con velocidades muy lentas del orden de 0.5°C por minuto.

Los materiales así tratados adquieren su mínima resistencia y máxima ductibilidad, lo que resulta de particular importancia para materiales que van a ser sometidos a trabajos de deformación en frío o en el caso de los aceros hipereutectoides, para facilitar su maquinado. ( figura I.3 ).



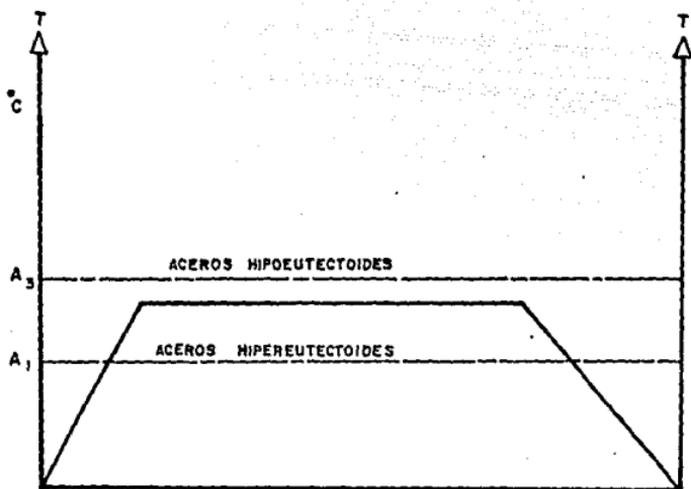
RECOCIDO DE ESFEROIDIZACION NORMAL Y OSCILANTE

—— NORMAL  
 - - - - - OSCILANTE

FIG. 1.3

**Recocido subcritico de recristalización:** Es aplicado a -  
piezas deformadas en frío, tiene por objeto disminuir la -  
energía interna del material. El calentamiento de éste -  
recocido oscila entre 500°C y A3 menos 75°C, según la -  
composición del acero, el enfriamiento como todos los -  
aplicados a los recocidos debe ser lento.

Con este tratamiento los granos deformados recobran su -  
forma, así como sus propiedades originales de dureza y -  
ductibilidad. ( figura I.4. ).



RECOCIDO SUBCRITICO DE RECRISTALIZACION

FIG. 1.4

**Relevado de esfuerzos:** Utilizado para eliminar esfuerzos residuales debido a un fuerte maquinado u otro proceso de trabajo en frío.

#### Normalizado

Es un tratamiento similar al recocido, la ventaja sobre éste es que es más rápido y el inconveniente que presenta es que no se pueden obtener durezas tan bajas como en el recocido, adn así es preferido el normalizado.

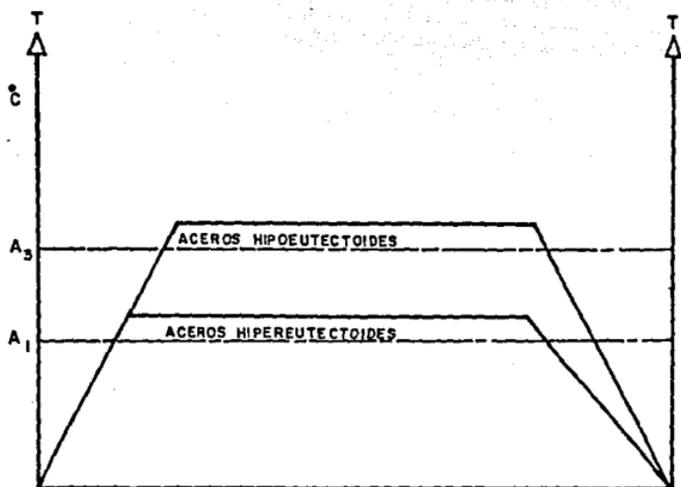
Este es un proceso en el cual el metal es calentado de 28 a 56°C, por arriba de la temperatura A3 para aceros hipoeutectoides, de la temperatura A1 para los hipereutectoides. Al término del período de calentamiento, las piezas son sacadas del horno y enfriadas al aire en calma hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Mientras más rápido sea el enfriamiento menor será la transformación de la austenita y más fina será la perlita.

El propósito de este tratamiento es destruir los efectos de cualquier tratamiento previo o del trabajo en frío, así como impartir al material propiedades para las operaciones de maquinado, por lo elevado de la temperatura de calentamiento las estructuras resultantes son perlita o perlita con exceso de ferrita o cementita, dependiendo de la composición del acero ( figura I.5. ).

#### Temple.

El templeado es el tratamiento que consiste en calentar -



NORMALIZADO

FIG. 1.5

el material hasta la temperatura en que se alcanza la estructura austenítica seguido de un enfriamiento rápido, usando agentes externos como aceite o agua para el enfriamiento, con ello se fija en el metal la estructura correspondiente a la temperatura alcanzada.

El temple se aplica con el propósito de endurecer los aceros lo cual se logra generalmente por la obtención de una estructura martensítica.

El proceso de este tratamiento consiste en calentar el acero a una temperatura algo superior ( 20 a 50°C ) a la crítica A3 para los aceros hipoeutectoides y de la A1 para los aceros hipereutectoides manteniéndolo a dicha temperatura el tiempo suficiente para lograr una estructura austenítica homogénea después de lo cual se enfría a una velocidad mas o menos grande, dependiendo del tipo de material.

El acero en esas condiciones sería de poca utilidad puesto que además de ser muy duro es muy frágil, lo cual lo hace poco apropiado en la mayoría de los casos, y de ahí que es necesario darle otro tratamiento que le impartiera tenacidad, este tratamiento es el revenido.

Revenido.

El revenido es un tratamiento que se da siempre a los aceros después de templearlos para quitarles la fragilidad y las tensiones internas fácilmente mediante la elevación de temperatura, pasando de un constituyente metaestable a otros de estabilidad intermedia.

La operación consiste en el precalentamiento del acero endurecido hasta una temperatura inferior a la crítica A1, durante un tiempo de aproximadamente 10 minutos por cada 25 mm de espesor.

A mayor temperatura habrá un descenso de dureza con el consiguiente aumento de tenacidad. La estructura obtenida en el revenido es muy variable según haya sido el grado de calentamiento aplicado.

El enfriamiento es de poca importancia puede llevarse a cabo a cualquier velocidad, salvo en el caso de ser muy rápida, en cuyo caso pueden originarse tensiones internas capaces de producir deformaciones.

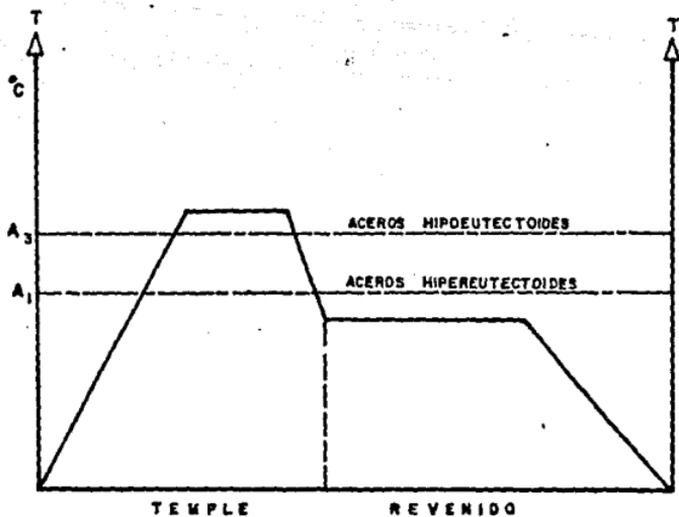
El revenido es posible debido a la inestabilidad de la martensita, de 150 a 200°C, conserva la dureza y libera los esfuerzos internos y a 315°C ocurre la transformación de la martensita ( Figura I.6 ).

Relevado de esfuerzos.

"Es un calentamiento del acero, por debajo de los puntos de la transformación tal que permita un reacomodo atómico de la estructura, reduciendo, así los esfuerzos residuales".

Esfuerzos residuales.

Los esfuerzos o tensiones residuales en los materiales no se pueden determinar por los métodos metalográficos comunes.



TEMPLE Y REVENIDO

FIG. 1.6

Son producto de distorsiones de las redes crystalográficas que no son observables directamente.

Cuando un material es sujeto a deformación o proceso de soldadura, sufre esfuerzos que alteran las condiciones crystalográficas originales, creando tensiones internas o residuales que pueden alterar las propiedades mecánicas del material, pudiendo provocar fallas cuando la pieza está en operación.

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

El proyectista suele considerar la magnitud de las posibles tensiones en servicio despreciando las tensiones residuales, siendo que éstas pueden sobrepasar el valor de las primeras.

En los materiales tratados térmicamente pueden producirse tensiones residuales muy elevadas que temporalmente pueden quedar ocultas y dar lugar a la rotura súbita del material en alguna etapa de su operación.

El trabajo en frío aumenta en general la resistencia a la tracción y el límite de fluencia de los metales y aleaciones y si se realiza en grado moderado no se redu

ce la ductibilidad tanto que pueda perjudicarse su tena-  
cidad, sin embargo, en los materiales soldados las ten-  
siones residuales son como en otros muchos casos de in-  
geniería, perjudiciales y su presencia no sólo no tiene  
ninguna utilidad sino que disminuye su resistencia.

#### Resultados obtenidos al aplicar relevado de esfuerzos.

Cuando un material deformado es sujeto a un calentamien-  
to tal que las dislocaciones son capaces de salirse de  
planos de deslizamiento en que fueron generadas las ten-  
siones residuales son relevadas por el movimiento de -  
esas dislocaciones que se encuentran ahora en libertad  
de moverse bajo pequeños esfuerzos.

Al solidificar dos metales en una soldadura o durante -  
enfriamiento brusco de una aleación o durante una defor-  
mación en frío, las redes cristalinas quedan tensiona--  
das, merced a que los átomos, que componen las redes, o  
bien no tuvieron tiempo de acomodarse, o bien han sido  
obligadas a salir de su posición original, o los defec-  
tos del material han originado gran número de disloca--  
ciones todo ello provoca las tensiones residuales en el  
metal.

#### Importancia de su aplicación.

La eliminación de los esfuerzos o tensiones residuales  
es importante y es de diversos puntos de vista, hacien-  
do hincapié en su influencia en los problemas de corro-  
sión, que son de los mas extensos: en general podemos  
afirmar que los materiales sujetos a tensión se corroe--

rán más pronto y rápido que los que no lo estén. Últimamente se ha encontrado que el relevado de esfuerzos aumenta en gran forma la resistencia a la corrosión bajo tensión en los aceros inoxidable. Este relevado deberá efectuarse por debajo de la temperatura de sensitización 427°C.

En el caso particular de los tanques para almacenaje y transporte de amoníaco, fabricados con acero de bajo o medio carbono, cuando excedan de 914 mm de diámetro deberá hacerseles un relevado de esfuerzos, después de su fabricación.

Durante la soldadura se producen grandes variaciones de expansión térmica entre el metal de aportación fundido y el metal base. En la solidificación frecuentemente ésta produce esfuerzos de tensión y bajo estas circunstancias las áreas de mayor concentración de esfuerzos, están sujetas a corroerse bajo tensión en un medio propicio.

Sin embargo, las tensiones residuales no se presentan para los aceros durante el proceso de soldadura sino también como resultados de la fabricación, durante el rolado de placas, rolado de tubos, conformado de cabezas, etc.

Como se debe llevar a cabo el relevado de esfuerzos.

Para realizar estas operaciones delicadas y difíciles, es indispensable observar alguna norma que de no seguirse, pueden originar la destrucción completa de la

estructura del metal, en lugar de mejorarla. En primer lugar, es indispensable que el calentamiento del metal sea en forma uniforme.

Conviene en cada caso dejar enfriar la pieza y calentarla de nuevo en hornos adecuados, no permitiendo que entre en contacto con el combustible, sino con gases calientes, de modo que el material se encuentre sumergido en un fluido a alta temperatura uniforme y continuamente.

El calentamiento ha de ser lento, uniforme y progresivo hasta alcanzar la temperatura establecida y debe cuidarse que no exceda de 50°C del punto crítico más alto que convenga alcanzar, de modo que la pieza se encuentre en la zona del diagrama en el que exista la estructura que se requiere fijar o interese modificar.

Una vez alcanzada la temperatura más conveniente, se mantiene durante un período suficientemente largo para que se produzcan las transformaciones estructurales deseadas.

El enfriamiento consecutivo ha de ser tan rápido que se realice en un tiempo más breve que el requerido para la transformación estructural inversa y ha de realizarse a una temperatura a la cual la viscosidad del metal ha adquirido, tales valores, que la transformación estructural sea imposible.

Nunca deben exagerarse las condiciones de un buen tratamiento pues forzando el calentamiento o el enfriamiento, no se obtienen mejores resultados sino al contrario - -

existe el peligro de quemar el material o que se agriete o de que se inutilice la pieza.

Normas para los tratamientos térmicos.

El Código ASME, proporciona las temperaturas y describe los procedimientos empleados en el relevado de esfuerzos.

## I.4 CORROSION

### a) Definición y características.

La gran importancia que tiene la corrosión en la industria en general y muy especialmente en la industria petrolera ha sido reconocida desde siempre. Sabemos que este es un gran problema y que se han tomado medidas para combatirlo. Sin embargo, es indiscutible que aun queda un largo camino para recorrer antes de que el problema se pueda considerar como resuelto.

Para efectos prácticos, es casi imposible eliminar la corrosión y el secreto efectivo de la ingeniería en este campo radica más en su control que en su eliminación siendo necesario tomar en cuenta el fenómeno corrosivo, desde el diseño de las instalaciones y no después de ponerlas en operación.

Todos los metales y aleaciones son susceptibles de sufrir el fenómeno de corrosión, no habiendo material útil para todas las aplicaciones. Afortunadamente se tienen bastantes metales que pueden comportarse satisfactoriamente en medios específicos y también se tienen métodos de control de la corrosión que reducen el problema.

La corrosión por consiguiente puede ser definida como:

"La destrucción de un material por interacción química, electroquímica o metalúrgica entre el medio y el material" o también como:

"La destrucción de un metal ya sea por acción química - directa o por una acción electrolítica entre el metal y el medio que lo rodea" .

Generalmete es lenta, pero de carácter persistente y es debido a que los materiales no son estables en el medio en que se emplean, sino que tienden a formar compuestos más estables, la corrosión tiende a presentarse sobre - la superficie de los materiales. En la mayoría de las - condiciones de exposición los productos de la corrosión consisten de óxidos carbonatos y sulfuros según la naturaleza del material y del medio corrosivo.

Los estudios más recientes sobre la corrosión han mos-- trado que este fenómeno es fundamentalmente el mismo en todos los materiales y las diferencias son de grado y - no de calidad.

Por esta razón el estudio lo haremos sobre el acero ya que es el material que tiene mayor importancia en la - construcción de los recipientes a presión.

b) Formas de la corrosión.

La corrosión ocurre en muchas y muy variadas formas pe- ro su clasificación generalmente se basa en uno de los siguientes tres factores:

Naturaleza de la sustancia corrosiva.

La corrosión puede ser clasificada como húmeda o seca. Para la primera se requiere un líquido o humedad, mien- tras que para la segunda las reacciones se desarrollan con gases a alta temperatura.

### Mecanismos de corrosión.

Este comprende las reacciones electroquímicas o bien las reacciones químicas.

### Apariencia del metal corroído.

La corrosión puede ser uniforme y entonces el metal se - corroe a la misma velocidad en toda la superficie o bien puede ser localizada, en cuyo caso solamente resultan - afectadas áreas pequeñas.

La clasificación por apariencia uniforme o localizada es muy útil, porque requiere de la diferencia entre la - corrosión localizada del tipo macroscópico y el ataque - macroscópico local.

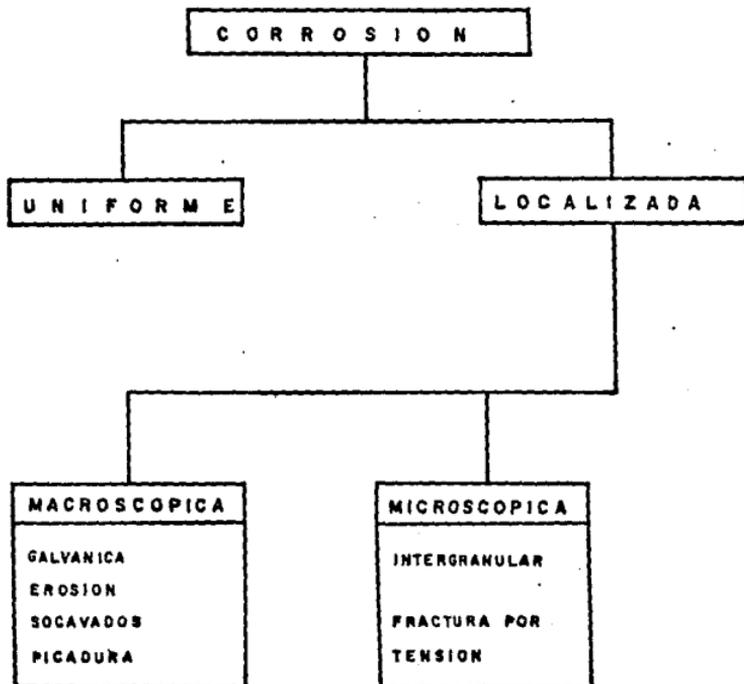
En el ataque microscópico la cantidad de metal disuelto es mínimo y puede conducir a daños muy considerables antes de que el problema sea visible.

### c) Tipos de corrosión.

Los diferentes tipos de corrosión se presentan en la tabla I. 2.

### Corrosión uniforme.

Es la forma más común de la corrosión, puede ser húmeda o seca, electroquímica o química, siendo necesario seleccionar los materiales de construcción y los métodos de protección con recubrimiento para controlarla. Es la más fácil de medir, por lo que las fallas pueden ser evitadas simplemente por una inspección regular.



**TIPOS DE CORROSION**

### Corrosión localizada.

La corrosión localizada se subclasifica a su vez en -  
corrosión macroscópica y corrosión microscópica.

### Corrosión macroscópica.

Existen 4 tipos de corrosión macroscópica que son:  
La corrosión galvánica, corrosión erosión, corrosión -  
por socavado y corrosión por picadura.

Corrosión galvánica.- Esta corrosión ocurre cuando dos  
metales diferentes en contacto ( o conectados por un -  
conducto eléctrico ) se exponen a una solución conducto  
ra.

La corrosión galvánica se presenta cuando se conectan -  
metales diferentes, el metal más activo o metal anódico  
se corroe más rápidamente mientras que el metal más no-  
ble o metal catódico tiende a protegerse.

Este tipo de corrosión ocurre en presencia de dos meta-  
les electroquímicamente diferentes, cuando hay contacto  
eléctrico entre los dos metales diferentes.

Hay varias formas para evitar la corrosión galvánica y -  
pueden ser usadas en forma aislada o combinadas.

La forma de prevenir este tipo de corrosión es aislando  
los metales diferentes con juntas de aislamiento, contro-  
lando la relación de áreas de los mismos y evitando el -  
uso de metales diferentes siempre que esto sea posible.-

Si esto no es práctico, tratar de usar metales que estén lo más cercano posibles entre sí.

Corrosión erosión.- Cuando un medio corrosivo actuando sobre una superficie metálica aumenta su velocidad de ataque debido a desgaste mecánico y corrosión, el resultado se conoce con el nombre de corrosión erosión.

El papel de la erosión se atribuye usualmente a la remoción de las películas superficiales protectoras.

Esta corrosión generalmente aparece en forma de agujeros poco profundos con el fondo alisado.

La corrosión erosión prospera en condiciones de alta velocidad, así como los sedimentos conteniendo partículas duras que se manejan a velocidades altas esto se evita con cambios de diseño o con selección de un material más resistente.

Corrosión por socavados.- Las condiciones alrededor de un socavado pueden con el tiempo llegar a ser completamente diferentes a la de una superficie abierta y limpia próxima al socavado. Es decir se puede desarrollar un ambiente más agresivo y causar una corrosión localizada en el socavado.

Los socavados se forma en juntas, empaques, remaches, rivetes, etc. También son originados por depósitos de mugre, productos de la corrosión, rasguños sobre la pintura, etc.

Corrosión por picadura.- Es la formación de hoyos en una superficie relativamente no atacada. Estos agujeros pueden tener diferentes formas. La forma de la picadura con frecuencia tiene que ver con el crecimiento de la misma, por lo tanto una picadura puede considerarse como un socavado que se forma por sí mismo.

Corrosión microscópica.

Existen dos tipos de corrosión microscópica que son: - Corrosión Intergranular y Corrosión de Fractura por Tensión.

Corrosión intergranular.- Hay que considerar que cuando un metal se suelda en un molde su solidificación comienza con núcleos al azar, cada uno de los cuales crece en un arreglo atómico regular para formar lo que se conoce con el nombre de granos o cristales.

El arreglo atómico y los espaciamientos entre las capas de los granos son los mismos en todos los cristales de un metal dado, sin embargo, los núcleos de los átomos en las cercanías de los granos no encajan perfectamente bien y el espacio entre ellos recibe el nombre de límite de grano.

Los límites de grano son atacados por agentes corrosivos y el ataque se relaciona con la separación de elementos específicos o por la formación de un compuesto en el límite. Generalmente ocurre la corrosión porque el agente corrosivo ataca preferencialmente el límite de grano o una zona adyacente a él que ha perdido un elemento necesario para tener una resistencia a la corrosión adecuada.

El fenómeno de límite de grano que causa la corrosión intercrystalina es sensible al calor por lo que la corrosión de este tipo es un subproducto de un tratamiento térmico o por el uso de una aleación modificada.

Corrosión de fractura por tensión.

La acción conjunta de un esfuerzo de tensión y un medio ambiente corrosivo dará como resultado en algunos casos la fractura de una aleación metálica, hasta la fecha este es uno de los problemas metalúrgicos más serios.

Los esfuerzos que causan las fracturas provienen de trabajos en frío, soldadura, tratamientos térmicos o bien pueden ser aplicados en forma externa durante la operación del equipo.

Algunas de las características de la corrosión de fractura por tensión son las siguientes:

Para que ésta corrosión exista se requiere un esfuerzo de tensión.

La corrosión por esfuerzos depende de las condiciones metalúrgicas de la aleación.

Algunos medios ambientes específicos generalmente causan fractura, en una aleación dada.

La corrosión por esfuerzos puede ocurrir en medios

ambientes considerados como no agresivos para una aleación dada.

Largos periodos de tiempo, a menudos años pueden pasar - antes de que las fracturas sean visibles pero al presentarse se propagan rápidamente con el resultado de una - falla inesperada.

Para combatir esta corrosión es necesario el realizar un relevado de esfuerzos o seleccionar un material más resistente.

La corrosión por fatiga es una forma especial del tipo - de corrosión por fractura por tensión y se presenta en - ausencia de medios corrosivos debido a esfuerzos cíclicos repetidos.

Acercas de la corrosión por fatiga no se sabe mucho. Los métodos para evitarla son igualmente preventivos, indicándose con cambios en el diseño.

d) Factores que afectan la corrosión.

Para los diferentes factores que afectan la corrosión, - ya sean acelerandola o retardándola es conveniente clasificarlos en tres grupos: Los relacionados directamente - con las características del metal, los relacionados con el medio corrosivo y los factores externos. De acuerdo - con esto tenemos:

El Metal.

La posición electromotriz, nos da una idea acerca de la facilidad con que los metales son corroidos o de su re-

sistencia a la corrosión.

Pureza, cuando un metal tiene alto grado de pureza su resistencia a la corrosión es notablemente superior.

Naturaleza de las impurezas, las cuales pueden ser de metales más nobles o menos nobles que el metal base.

Estado físico, tiene una gran influencia sobre el potencial y la velocidad de reacción. Podemos tener un esfuerzo resultado de disturbios físicos en estado sólido y enfriamiento rápido a partir de temperaturas mayores que la de fusión. Estas condiciones se manifiestan en cambios en la estructura cristalina del metal.

El medio corrosivo.

Solubilidad de la sal formada, cuando la corrosión produce un compuesto soluble continúa independientemente. Si el compuesto formado es insoluble puede suceder dos cosas: El compuesto insoluble forma una película adherente que impide que la corrosión continúe, la película no es adherente y en este caso la corrosión continúa.

Naturaleza de los productos de la corrosión, de acuerdo con las características de la capa que se forma por la corrosión y que depende del comportamiento de la superficie o de los óxidos y la solubilidad de la sal formada la corrosión puede avanzar o ser retardada.

Influencias externas.

Concentración de oxígeno, su ataque a la superficie metálica puede influir en dos formas: Cuando se tiene una al

ta concentración de oxígeno se puede formar una capa de óxido pasiva que retarda la corrosión, mientras que en caso contrario el oxígeno ayuda al desprendimiento del hidrógeno en forma de burbujas.

Luz, ya que la luz es una forma de energía el material que la absorbe la transforma y en el caso de los metales esto aumenta su potencial de disolución y por lo mismo - aumenta la tendencia a la corrosión. Aunque cuando éste efecto es pequeño con el tiempo se hace notar.

e) Control de la corrosión.

Muchos métodos se emplean industrialmente para controlar la corrosión, los métodos más importantes son: Control de las variables de proceso, protección, análisis de fallas, tratamientos térmicos, utilización de métodos de - alto grado de pureza y adiciones de aleación.

Control de las variables de proceso.

La velocidad de corrosión de un material dado generalmente aumenta con la concentración del medio corrosivo, pero la corrosión no siempre aumenta con la concentración y su efecto a menudo depende de los límites de la misma concentración

La alta velocidad puede aumentar o disminuir la corrosión dependiendo de las propiedades electroquímicas de la aleación. La velocidad alta ayuda a evitar la corrosión por - picadura ya que generalmente los piquetes se originan abajo de los depósitos de salida.

Las impurezas en un medio corrosivo pueden ser desde el punto de vista corrosión buenas o malas. Los efectos benéficos dependen de los mismos factores que los inhibidores (Substancias que reducen la corrosión estando presentes en pequeñas cantidades en el medio corrosivo). La reducción de la corrosión debida a la presencia de impureza puede considerarse como el resultado de un inhibidor "Libre" ( Frecuentemente Ignorado ), Si la impureza desaparece de repente el aumento resultante en corrosión puede conducir a deducción incorrecta sobre el origen del daño.

El control de temperatura es uno de los principales métodos para reducir la corrosión. Un aumento de temperatura normalmente sube la velocidad de corrosión. Con frecuencia la temperatura del metal que se corroe es más alta que la que se suponía.

#### Protección.

El empleo de recubrimientos es el método más generalizado para combatir la corrosión. El recubrimiento metálico en el interior de un equipo a presión tiene como función principal evitar la corrosión que las substancias que se manejan causan al acero al carbono.

Lo más económico resulta colocar un recubrimiento metálico anticorrosivo fijado de alguna manera al interior del equipo. Descontando los recubrimientos a base de pintura que se usan para el exterior de los equipos o bien en el interior; los mas conocidos son: Lining, clad, overlay.

### Lining.

Consiste en fijar por medio de soldadura de borde y de tapones una placa anticorrosiva a la placa base de que está formado el equipo, generalmente se hacen de uno o más de los materiales que a continuación se indican:

Acero inoxidable ferrítico SA-240 tipo 405 acabado 1.  
Acero inoxidable martensítico SA-240 tipo 410 acabado 1.  
Acero inoxidable austenítico SA-240 tipo 304, 309 y 316.  
Níquel  
Titánio  
Inconel  
Hastelloy

Además se podrán usar dimensiones comerciales en las láminas de revestimiento, aunque la limitación es del espesor de revestimiento, que como mínimo serán 2mm y máximo de 6mm.

### Clad.

Viene fabricada en varias especificaciones de materiales para la placa de recubrimiento, únicamente basta seleccionar la combinación de placas más adecuadas para el servicio que se requiere.

El espesor de la placa de recubrimiento para el "clad" se da como un porcentaje del espesor de la placa base.

El "clad" es una placa compuesta que fué ideada para proporcionar un bajo costo, es formado por dos metales los cuales han sido rolados bajo calor y presión, hasta que se integran sus caras sobre su superficie.

Los materiales más utilizados para formar la placa integral " clad " son:

Aceros al cromo.- Formados por aceros de alta aleación al cromo, nominación SA-263 con tres tipos 405, 410 y - 430.

Aceros al carbono cromo-níquel.- Nominación SA-264 de la serie 300 y está formada por aceros con alta aleación de cromo ( 16 a 26% ) y níquel ( 6 a 22% ).

Titánio.

Monel.

Inconel.

Hastelloy.

Overlay.

Consta de reducir el interior de un equipo mediante cordones de soldadura colocados en dos capas. El electrodo que se use será el adecuado para la corrosión que se vaya a tener,

Tanto para el "Lining" y el "Clad" existen reglamentaciones y disposiciones en el Código ASME en su sección VIII, División 1.

Tratamientos Térmicos.

El tratamiento térmico que origina la homogenización de soluciones sólidas especialmente en aleaciones fundidas que están sujetas a una composición variable de cristales individuales a través de la pieza fundida, tiende a

mejorar la resistencia a la corrosión. Los tratamientos que supriman las tensiones ocasionadas por el trabajo - en frío se aplican mucho para mejorar la resistencia de las aleaciones susceptibles a corrosión por esfuerzos.

## 1.5 DEFECTOS

### a) Definiciones.

Un defecto lo podemos definir como "La falta o ausencia de algo esencial para la integridad o perfección". Los defectos pueden variar en los metales desde los defectos cristalinos, que no son observables a simple vista, hasta los defectos observables a simple vista.

Dentro de los defectos cristalinos tenemos que la estructura cristalina perfecta es una abstracción útil para el estudio de los cristales, sin embargo todos los materiales poseen imperfecciones que tienen gran influencia sobre las propiedades de la estructura como son la resistencia mecánica, conductividad eléctrica, reacción química, etc.

Los defectos cristalinos se pueden definir como todos aquellos que se apartan de la red cristalina ideal. No deben considerarse los defectos cristalinos como aspectos negativos ya que pueden representar una gran importancia para las características de los materiales.

Defectos que son claramente visibles pueden no reducir la vida útil del recipientes a presión, por otro lado de defectos superficiales perfectamente visibles y otros no superficiales y por lo tanto no visibles pueden ser peligrosos y pueden dar lugar a roturas en servicio.

Las roturas también pueden producirse en materiales casi perfectos debido a causas como las de un proyecto defectuoso, la corrosión o una utilización inapropiada del equipo.

Bajo condiciones determinadas de trabajo y utilización un defecto determinado es muy improbable que cause o contribuya a la rotura en servicio. Bajo otras condiciones el mismo defecto puede ser extremadamente peligroso y causar una rotura instantánea dando lugar a explosiones, fuego y otros deterioros, poniendo con ello en peligro la salud y vida de la población.

#### Inspección de los defectos.

Las pruebas y técnicas de inspección desarrolladas con el fin de evaluar la perfección de la estructura fabricada, ha contribuido de una manera eficaz a la utilización satisfactoria de los materiales de ingeniería bajo condiciones de servicios muy severas. Un problema que deben atacar los ingenieros son las roturas en servicio que pueden resultar peligrosas y costosas cuando se trabaja en procesos industriales con presiones y temperaturas elevadas.

Los defectos generalmente consideran como una separación dentro de la estructura normal del metal.

Los defectos más comunes suelen agruparse en:

Vibraciones reticulares de origen térmico.

Defectos puntuales.

Defectos lineales ó dislocaciones.

Defectos de superficie.

Defectos de volúmen.

Vibraciones reticulares de origen térmico.

Estas se producen cuando de algún modo se someten los átomos a una excitación exterior que los separa de su posición de equilibrio sin que ésta separación sobrepase un cierto límite. La excitación puede ser de tipo mecánico o térmico, pero en todo caso provocará una vibración de los átomos según las tres direcciones del espacio con la distorsión consiguiente de la red cristalina.

Defectos puntuales.

Estos defectos son a nivel atómico, son los más sencillos y consisten generalmente en la ausencia o demasiado de un átomo, aparecen en puntos aislados de la red cristalina. Su origen puede ser debido a la colocación incorrecta de los átomos en la red durante el proceso de cristalización ó a la fluctuación de energía a temperaturas elevadas que provocan saltos en las partículas elementales de la red y las sacan de su posición de mínima energía.

Otras causas, tales como tratamientos térmicos gran deformación ( forja, laminado, rolado ), etc. los defectos de este tipo son:

Vacancia.

Es un defecto muy sencillo que se produce en la ausencia

de un átomo dentro de la red cristalina. Estas vacancias son características en número del estado termodinámico del material ( fig. I.6 ).

El número de vacancias del material se calcula mediante la fórmula;

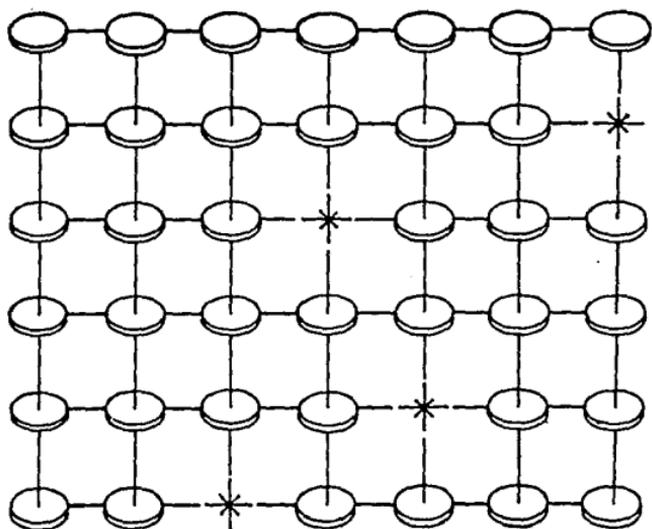
$$f = e^{-Q/RT}$$

Donde:

- f = Fracción de equilibrio de vacancias.
- e = Número exponencial.
- Q = Calor de formación.
- R = Constante universal de los gases.
- T = Temperatura absoluta.

Las vacancias de la red son una característica estable de los metales a todas las temperaturas superiores al cero absoluto, la fórmula implica que para cada temperatura a la que se encuentra el material hay un número determinado de vacancias presentes.

El calor de formación es característico para cada material y a mayor temperatura será mayor la vacancia.



DEFECTOS PUNUALES  
(VACANCIA)

 SITIO VACANTE DE LA RED.

.FIG. 1.6

### Intersticiales.

Es opuesto a lo anterior. Se origina cuando un átomo extra se sitúa en los huecos que quedan entre los átomos - que regularmente ocupan la red, para que esto ocurra tendrán que desplazarse considerablemente los átomos vecinos provocando una distorsión en ella. ( Figura I.7. ).

### Defecto de Frenkel.

Consiste en la red ideal completa con todos sus átomos, pero el átomo que aparentemente faltaría se encuentra dentro de la red pero fuera del lugar que le corresponde en la red.

### Defecto lineales o dislocaciones.

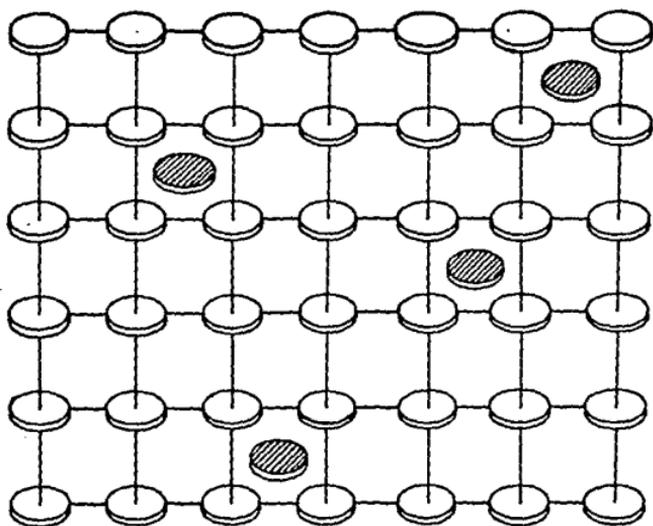
Una dislocación se puede definir como una región distorsionada situada entre dos partes sustancialmente perfectas de un cristal.

El relevado de esfuerzos trata de disminuir las dislocaciones.

Las dislocaciones pueden ser:

#### Dislocaciones de Borde.

Se presenta cuando por alguna excitación exterior algunos átomos de la red sufren desplazamientos escapando de su posición habitual pero quedan fijos en otra posición intermedia ( Intersticio ). Entonces aparece una asimetría en la red cristalina con átomos situados a lo largo de --



DEFECTOS PUNUALES  
(INTERSTICIALES)

 ATOMO INTERSTICIAL

FIG. 1.7

una línea ocupando posiciones anormales como con secuencia de estar rodeado de distintos números de átomos del que normalmente le corresponden. El resultado es que los átomos intersticiales empujan a los átomos que les rodean a mayores distancias de las que ocupan ordinariamente. - Este tipo de perturbaciones suele producirse por causas térmicas, dando entonces como resultado planos incompletos de átomos y por consiguiente obteniendo el vector de Burger, el cual se define como el vector que cierra un circuito en un cristal que contiene una dislocación.

Las dislocaciones de borde pueden ser positivas o negativas, se mueven sobre un plano de deslizamiento en la dirección del vector de Burger y el único movimiento posible es sobre un plano de deslizamiento, ( Figura I.8 ).

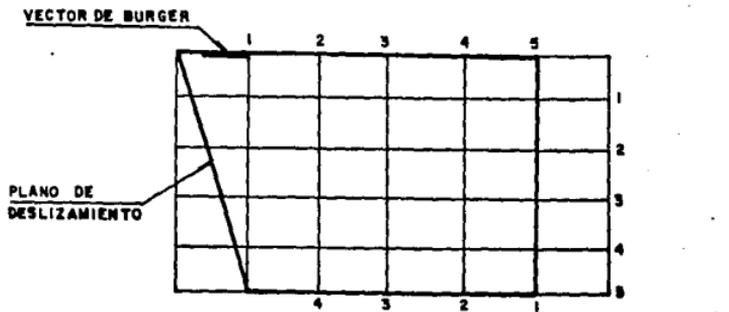
#### Dislocaciones Helicoidales.

Tanto las dislocaciones de borde como las dislocaciones helicoidales suelen tener designación como puede verse en la figura I.9.

Se mueven sobre el plano de deslizamiento en una dirección perpendicular a un vector de Burger y se puede mover en cualquier dirección paralela a su orientación. - ( Figura I.10. ).

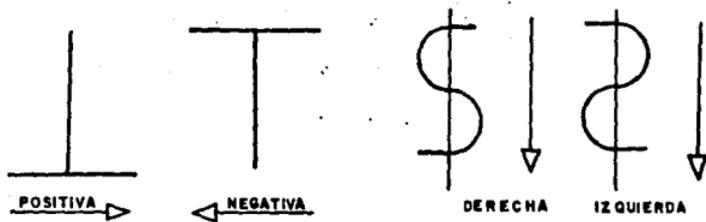
#### Defectos de Superficie.

Se deben a imperfecciones localizadas en dos dimensiones. Los más usuales se presentan en:



DISLOCACION DE BORDE

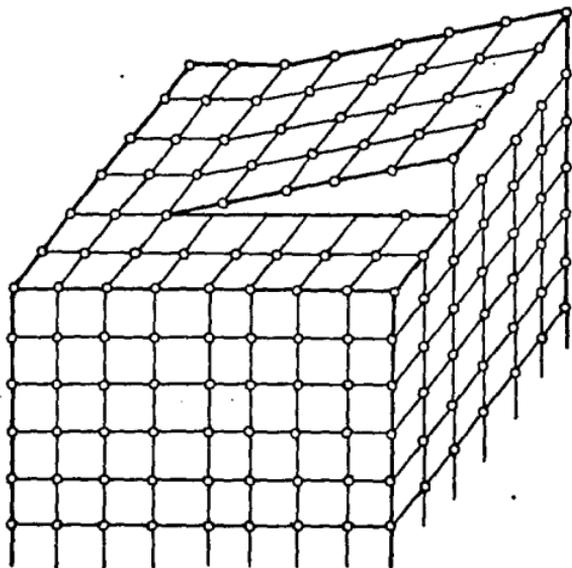
FIG. 1.8



REPRESENTACION DE LAS  
DISLOCACIONES DE BORDE

REPRESENTACION DE LAS  
DISLOCACIONES HELICOIDALES

FIG.1.9



DISLOCACIONES HELICOIDALES

FIG. 1.10

#### Límites de Grano.

Es una formación de átomos desordenadas pero en su interior van a estar los átomos ordenados y perfectamente orientados.

#### Bordes de grano.

Una vez formados los núcleos de cristalización el crecimiento de los granos prosigue en forma regular en tanto no interfiera con el átomo más próximo, al interferir en su interior los átomos estarán totalmente desordenados dando origen a la zona de transición y por tanto poseerán mayor energía potencial que los del interior de los granos no perturbados.

En consecuencia, se puede afirmar que los bordes de grano son las regiones de máxima energía del cristal.

#### Defectos de Volumen,

Estos defectos podemos encontrarlos en el lingote en productos laminados o forjados, los cuales pudieron haberse desarrollado en el proceso de laminado o conformado.

#### Defectos en el Lingote.

Los defectos más comunes en el lingote y los cuales repercutirán sobre la calidad del producto son los siguientes:

#### Rechupes.

Los rechupes son un defecto bastante común, tienden gene-

ralmente a prevalecer hacia el centro del lingote el -  
cuál es el último punto en solidificarse debido a que el  
metal en fusión no basta para rellenar el vacío creado  
por el cambio de volumen al pasar de líquido a sólido.

El agregar a la lingotera una parte superior llamada -  
mazarota, reduce el rechufe en un lingote porque disminu-  
ye la velocidad de solidificación. El rechufe enton-  
ces solo se produce en la mazarota.

Sopladuras.

Son cavidades ovaladas o alargadas con sus ejes longitu-  
dinales perpendiculares y la sección transversal del -  
lingote. Se forma por la evolución violenta del monóxido  
de carbono que se produce por la reducción del carbono  
sobre los óxidos de hierro y manganeso durante el -  
proceso final de la fabricación del acero y también du-  
rante la solidificación.

Son originadas por los gases disueltos en el metal en -  
fusión que se desarrollan y quedan atrapados durante la  
solidificación.

Los gases más frecuentemente contenidos por el acero -  
todos igualmente peligrosos son; el hidrógeno, el nitró-  
geno y el oxígeno. Los tres imparten pobres propiedades  
mecánicas al acero y hacen difícil su tratamiento pos-  
terior .

### Segregaciones.

Se denominan así los puntos o áreas faltos de homogeneidad, se les clasifica en dendríticas y principales.

Segregaciones dendríticas.- Son aquellas causadas por diferencia de composición química dentro de cada grano o cristal.

Segregaciones principales.- Son aquellas ocasionadas por las diferencias de composición química en diversas zonas del lingote.

Las segregaciones pueden eliminarse en la mayoría de los casos mediante el tratamiento térmico de recocido.

### Grietas.

Se distinguen dos tipos, los superficiales que se originan al final de la solidificación por una desigualdad en la velocidad de enfriamiento y las profundas que se forman en la última parte del período de enfriamiento.

Las grietas superficiales se evitan aumentando el espesor de las paredes de la lingotera, para reducir la velocidad de enfriamiento.

Las grietas profundas cuyo origen se encuentran en la presencia de tensiones internas por gradiente térmico, se evitan redondeando los ángulos de las lingoteras y colando a bajas temperaturas.

### Inclusiones.

Se originan por los materiales que se añaden para la desoxidación del acero. Principalmente están constituidos por óxidos de aluminio, silicatos y compuestos de fósforo, azufre, manganeso e hierro, su forma es muy variada pero puede decirse que las de forma regular son más perjudiciales que las irregulares.

Las inclusiones representan cascarillas, óxidos o impurezas que quedan atrapadas en el interior de los lingotes durante la solidificación, tales inclusiones frecuentemente se presentan como estructuras dendríticas.

### Defectos en los productos laminados o forjados.

Los defectos que dan lugar a roturas en servicio pueden tener su origen en el rolado de la placa, en el taller de forja o durante la fabricación de accesorios como tees, codos, bridas o algunos otros elementos hechos por un fabricante de accesorios.

Alguno de estos defectos son difíciles de detectar durante la fabricación y posteriormente en la inspección.

Las roturas por defectos atribuidas al fabricante generalmente son el resultado de una de las siguientes condiciones.

## Defectos Mecánicos.

Son los que tienen discontinuidades o separaciones reales en el material ya sea a lo largo de la superficie o en el interior.

Las laminaciones, pliegues y hendiduras representan defectos típicos de separaciones del metal en las placas de acero. La causa puede ser una consecuencia de defectos en el lingote o puede provenir del laminado o forjado de la placa.

En casi todos los casos estos defectos no se consideran realmente peligrosos. Es poco probable que afecten a las características de servicio del acero siempre que dichos defectos se produzcan en sentido paralelo a la superficie del mismo.

Las laminaciones y hendiduras que se producen perpendicularmente o diagonalmente a la superficie de la placa deben considerarse peligrosas. Algunos de estos defectos pueden atravesar totalmente el espesor de la pared.

Los defectos que normalmente presenta son:

### Defectos de laminación.

Normalmente se producen en el interior de los materiales de placa o tubo y tienden a presentarse paralelamente a la superficie. Comúnmente se deben a inclusiones o sopladuras existentes en el lingote. En el proceso del laminado las inclusiones quedan alargadas y aparecen como fibras longitudinales no metálicas.

Las laminaciones de importancia y algunas veces incluso las que se consideran de poca importancia pueden causar grietas o roturas durante la fabricación final.

#### Pliegues.

Estos se pueden producir durante el laminado de las placas o tubos, generalmente aparecen paralelamente a la superficie del tubo y si no profundizan, no se consideran peligrosas y por lo tanto son rechazables.

Los defectos de pliegues de poca profundidad considerados aceptables según las especificaciones pueden causar fugas en los recipientes, colectores y tubos. A veces - estos defectos no son detectados a menos que se practiquen aberturas en el material. Cuando se corta a través de la superficie de los pliegues el líquido o gas puede pasar desde la boca a la superficie donde la fuga puede detectarse mediante una prueba de agua jabonosa.

Hay casos en que el sistema de detección así como la - prueba hidrostática no revelan la presencia de pliegues superficiales.

#### Hendiduras.

Estas son el resultado de la fragilidad en caliente, - poros o inclusiones que no soldaron durante el laminado. Las hendiduras se desarrollan en la dirección del laminado y frecuentemente aparecen sobre la superficie de la placa en forma de figuras paralelas muy próximas.

Las hendiduras también pueden presentarse lo suficientemente cerradas como para no causar fugas en la prueba hidrostática, siempre que esta no sea a elevada presión.

#### Defectos Metalúrgicos.

Los defectos metalúrgicos son de una magnitud suficiente para llegar a convertirse en causa de rotura, pueden producirse dentro de la propia sección del metal donde el tratamiento térmico produce una zona de elevada dureza.

Los defectos que normalmente se presentan son:

#### Fragilidad en Caliente.

Se producen con mayor rapidez a elevadas temperaturas - sobre todo en las proximidades del punto de fusión - del metal. Generalmente se relaciona con impurezas y materiales no metálicos que se encuentran presentes en las uniones intergranulares y a ciertos niveles de temperatura, reduciendo considerablemente la tenacidad del material.

Las impurezas, inclusiones no metálicas funden a temperaturas por debajo del punto de fusión de la aleación.- A este estado se le conoce como licuación.

La fragilidad en caliente puede ser consecuencia de un proceso externo o provenir de una característica conocida o imprevista de una determinada aleación.

#### b) Carburación y descarburación de la superficie.

En el proceso de conformado en caliente de las placas,-

tubos, accesorios, etc., se debe tener cuidado para que no se produzca una excesiva carburación o descarburación en la superficie del acero, evitando así que se llegue a afectar la soldadura y las características de los materiales en servicio, de lo contrario la superficie se vería afectada haciéndola más sensible a las picaduras por oxidación o al agrietamiento por esfuerzo de corrosión.

Variación en la dureza.

La dureza de un acero varía con su composición química y con el tratamiento térmico al que sea sometido. Una elevada dureza tiende a incrementar el límite elástico y la resistencia a la tracción y a reducir la ductilidad.

Si la dureza llega a variar originará que se esperen fatigas térmicas o mecánicas en servicio existiendo la posibilidad que se produzcan roturas.

Defectos de forja.

Bastantes elementos de los utilizados en los recipientes a presión son obtenidos por métodos de forja.

Los defectos de forjado debidos al material son principalmente estructurales, de composición, por inclusiones y por fallas inducidas por sobrecalentamiento.

Los defectos de forja que normalmente se tienen son:

**Pliegues en frío.-** Son originados por diseño incorrecto de los dados o por mala posición del material al forjar.

**Grano grande.-** Por falta de control de la temperatura - durante la etapa final de la operación.

**Mala impresión.-** El material no llena correctamente la cavidad del dado por tener uno u otro dimensiones inco rrectas, puede deberse también en una operación efectua da a baja temperatura o finalmente a errores de diseño.

**Desplazamiento.-** La causa de la falta de alineación entre los bloques, dados y piezas durante el martilleo.

**Grietas de ensanchamiento.-** Se forman cuando la reducción de espesor del material es demasiado drástica y no se mantiene la debida proporción entre las dimensiones.

## CAPITULO II

### INVESTIGACION DE CAMPO

#### II.1. CONTROL DE CALIDAD EN PROVEEDORES.

Las necesidades de la industria petroquímica nacional, por fortuna en constante expansión, para bien de nuestro país, requiere de una variedad inmensa de equipos y materiales, muchos de los cuales son de fabricación nacional.

Por los requisitos y condiciones de operación de algunas industrias, la petroquímica, los equipos deben llenar los niveles de calidad establecidos en especificaciones, normas, etc., a fin de garantizar una operación y rendimiento satisfactorios, así como una vida de trabajo dentro del período de tiempo preestablecido.

La calidad de los productos no sólo depende de las actividades desarrolladas en el proceso de fabricación, sino también, y a veces fundamentalmente, de la calidad de las materias primas utilizadas en su elaboración. De lo anterior se deduce la importancia de controlar y verificar que tales materiales satisfagan plenamente las características y propiedades especificadas.

En los siguientes párrafos se comentará sobre las actividades desarrolladas por Swecomex, S.A., encaminadas

a la evaluación de la calidad de los materiales utilizados y, por consecuencia, la calificación y clasificación de los proveedores, fabricantes de tales materiales.

La producción de Swecomex se destina a la industria - petroquímica, química, eléctrica y de proceso en general, con predominio de la primera, refiriéndose a aquellos equipos que genericamente se denominan: intercambiadores de calor, condensadores de superficie, recipientes a presión, etc, y todos aquellos otros de características similares en cuanto a su función ó proceso de fabricación. Por lo tanto, puede entenderse fácilmente que clase de materias primas se requieren en estos productos.

En la mayoría de las plantas ó talleres del ramo se dá por aceptación un material cuando éste trae las marcas de identificación y/o se reciben los "Certificados de Materiales". Esta práctica es perfectamente válida en cuanto a la delimitación de responsabilidad por la calidad del material, pero no lo garantizan plenamente, si a esa sola actividad se reduce lo hecho por quien de la aceptación. Por otra parte, un certificado tiene el valor que le da la solvencia moral y capacidad técnica de quien lo expide.

Por diversas razones, que no tiene objeto mencionar en esta ocasión, las especificaciones de materiales de que trato son de origen nacional; en opinión de algunos fabricantes nacionales, nuestras necesidades y posibilidades difieren de aquellas que existen en los -

países de origen de las normas antes mencionadas. Con la idea anterior, sumado a la ancestral actitud para no hacer las cosas bien, es evidente que puedan pasar por alto algunos aspectos, secundarios ó importantes, establecidos en las especificaciones de materiales. Sin embargo, por las necesidades de la industria petrolera, no se deben hacer concesiones en este sentido, dado los requerimientos de eficiencia, seguridad y durabilidad que le son propios. Las especificaciones de materiales son internacionales y estan regidas por la ASTM y algunos fabricantes nacionales salen fuera de éstas.

El fabricante del equipo de proceso es responsable, en primera instancia, de la calidad del producto incluidos los materiales. Por un lado, debe cuidar sus propios procedimientos y, por otra parte, vigilar que las materias primas llenen totalmente los requerimientos de las normas especificadas por la ASTM. Para cumplir con lo anterior, la administración de Swecomex determinó, desde hace algún tiempo, dotar al departamento de Control de Calidad de los equipos necesarios para controlar, en todos los aspectos, la calidad de materiales desde el ingreso a la planta y toda su transformación. Al efecto, se adquirieron equipos para hacer análisis químicos y pruebas físicas en adición, como se dijo antes, a los tradicionales, ya existentes desde hace mucho tiempo, de los cuales destacan los equipos para inspección: radiográfica, partículas magnéticas, ultrasonido, líquidos penetrantes, etc.

Al disponer estos elementos, se implementó un procedimiento para reglamentar las actividades conducentes a evaluar la confiabilidad en proveedores, estructurado en la siguiente forma:

**Descripción del Procedimiento:**

Verificación periódica de materias primas recibidas, - conforme a los procedimientos de prueba de las especificaciones de materiales.

**Política.**

- a) Establecer un índice de confiabilidad en cada uno de los diferentes proveedores.
- b) Exigir a dichos proveedores el cumplimiento de las especificaciones, cuando se comprueban deficiencias, evaluando la reclamación con los resultados de las pruebas.
- c) Cuando exista imposibilidad en el cumplimiento de especificaciones de parte de proveedores, tomar - medidas ante esta situación y desarrollarlos, - tales como:
  - Importar los materiales, modificar condiciones de diseño
  - Establecer las diferencias en las negociaciones de ventas con los clientes, etc.

### Objetivo.

Se tiene el propósito de controlar, principalmente, a los proveedores nacionales de quienes se recibe continuamente la mayor parte de la materia prima, siendo los que muestran mayores deficiencias en ese sentido. Esta intención no es limitativa, y podrá aplicarse a cualquier otro proveedor que así lo requiera.

### Procedimiento.

Control estadísticos de materiales recibidos. La periodicidad de las pruebas están establecidas en el procedimiento el cual indica por lote de materiales, la cantidad y el tipo de pruebas a realizar, será llevado un registro del material no conforme para control de calidad indicando razones del rechazo y tomará las acciones correctivas requeridas.

Este control será llevado por el Departamento de Control de Calidad, y contendrá la siguiente información: Pedido, fecha de recepción, descripción del material, cantidad, si requiere o no certificado, fecha de recepción de certificados, si se efectúan o no las pruebas, y espacio para comentarios.

El control estadístico permitirá saber la cantidad de materiales recibidos y rechazados para así saber en que pedido se deben efectuar las pruebas, conforme a la periodicidad establecida.

El control estadístico, complementado con el resultado de las pruebas que periódicamente se efectúen y las visitas a plantas de proveedores, permitirá tener un historial completo, en que se cuantifique con exactitud las condiciones en que se reciben los materiales para así evaluar a los proveedores, y hacer las reclamaciones que procedan.

a) Elaboración de Pruebas y Análisis Químicos.

Las pruebas mecánicas y análisis químicos que se mencionan en éste procedimiento, se refieren a las indicadas en las especificaciones de materiales de la ASTM, y los análisis químicos determinarán la composición química cualitativa y cuantitativamente, establecidas en las mismas especificaciones.

Los análisis químicos y pruebas mecánicas serán efectuados en el laboratorio e instalaciones de Swecomex. Cumpliendo con lo establecido en la especificación del material. Eventualmente, cuando exista imposibilidad de efectuarlos, serán contratados estos trabajos con laboratorios o instituciones externas.

b) Materiales Sujetos a Pruebas y Frecuencias para Efectuarlos.

La tabla II.1 muestra los materiales sujetos a pruebas y periodicidad que tentativamente se establece para efectuarlos. La lista de materiales no es limitativa y podrá ampliarse según sea conveniente.

DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD DE SWECOMEX.

MATERIAL	PERIODICIDAD DE PRUEBAS POR CADA PROVEEDOR
<b>PLACA</b>	
A-36	Cada 15 Placas.
A-285 (Cualquier grado )	Cada 15 Placas.
A-515 (Cualquier grado )	Cada 15 Placas.
A-240 T-304	Cada 5 Placas.
A-240 T-316	Cada 5 Placas.
B-171 (Cualquier Aleación )	Cada 5 Placas.
Otras	Según se juzgue por Control de Calidad.
<b>TUBO (Calibre y Cédula )</b>	
A-179	Cada 1000 Piezas.
A-53 Todos Grados	Cada 1 Pieza.
A-106 Todos Grados	Cada 1 Pieza.
A-249 ( Cualquier Aleación )	Cada 1000 Piezas ó Lote Menor
A-269 ( Cualquier Aleación )	Cada 1000 Piezas ó Lote Menor
A-312 ( Cualquier Aleación )	Cada 1000 Piezas ó Lote Menor
B-111 ( Cualquier Aleación )	Cada 1000 Piezas ó Lote Menor

TABLA II.1.

Las pruebas periódicas no excluyen a las que normalmente se hacen para aceptación de materiales o duda en algún caso específico, para certificación de materiales, etc.

Los reportes para informar de los resultados de las actividades aquí descritas, serán enviados a los Departamentos de Ingeniería de Producción, Compras, Producción, Comercialización y a la Dirección General.

Existe una serie de fabricantes de recipientes a presión de los cuales hago mención de algunos como son: Swecomex, S.A. Industria del Hierro, S.A., Eferco, S.A., Babcock & Wilcox, S.A., La Sierrita, S.A., Ifame, S.A., CMMP, S.A., Tasmi, S.A., Ingeniería de Procesos, S.A., Clemex, S.A., Consorcio Industrial, S.A. etc. Para determinar que fabricante es el seleccionado, Petroleos Mexicanos a través del Instituto Mexicano del Petróleo, somete a estos a un concurso, donde los fabricantes cotizan y evalúan los recipientes a fabricar solicitados por PEMEX, el fabricante que cumple técnicamente, es más económico y cuenta con un mejor tiempo de entrega, este es el ganador de dicho concurso.

## II.2 PROCEDIMIENTO DE FABRICACION.

Uno de los fabricantes más seleccionados dentro de los concursos realizados es Swecomex, S.A. en donde realice visitas para la descripción de la fabricación que a continuación describo iniciando con:

a) Formación del Cilindro.

Primeramente hay que conocer la especificación de la placa y solicitar los análisis químicos y físicos al proveedor, para posteriormente cotejarlos con el ASTM ó ASME, sección II parte A y B.

Hay que apuntar el número de compra y verificar la especificación del acero la cual debe venir marcada en la placa de procedencia del fundidor, se puede utilizar también código de colores.

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

Se efectúa una pre-inspección visual por todos los cantos de la placa para ver si existen hojeaduras, laminaciones, falta de material, etc.

El material debe de estar lo suficientemente derecho, perfectamente escuadrado y no se deberá nunca utilizar las llamadas orillas de molino ( Ver figura II.1. ).

El corte puede efectuarse por medios mecánicos - tales como maquinado, cizallamiento, esmerilado - o base de oxígeno, después de esto, toda la escoria será removida por medios mecánicos.

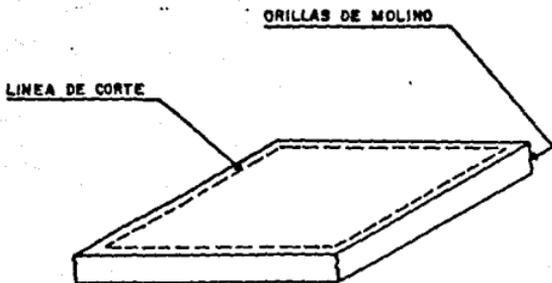


FIGURA II.1.

Todas las placas o tramos empleados en la construcción de los recipientes llevarán marcos de golpe no profundas indicando cuando menos el número de colada a la que pertenecen y la especificación del acero, los sobbrantes, también deben ser marcados con estos datos. Si no se realiza la debida identificación del material esto ocasionaría confusión en el taller o campo, en tales circunstancias, exigir responsabilidades puede resultar muy difícil.

Una vez realizada la clasificación de materiales esta pasa al almacen de materias primas, dispuestas a la fabricación de recipientes. El almacenamiento es de suma importancia ya que el material no debe ser golpeado en la manipulación, evitando que se produzcan morde

duras o melladuras de importancia lo cual produciría fallas en la operación del recipiente.

Al empezar la fabricación de un recipiente se extrae del almacén la placa correspondiente que se requiere y se procede al biselado. Este biselado se hace de acuerdo al procedimiento de soldadura que se vaya aplicar en las uniones, siempre y cuando reúna las condiciones de normalización ( Ver Figura II.2. ).

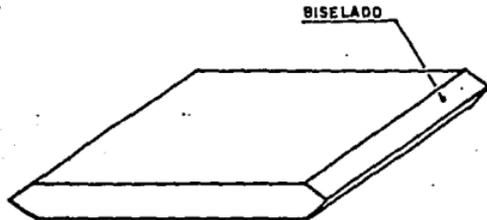
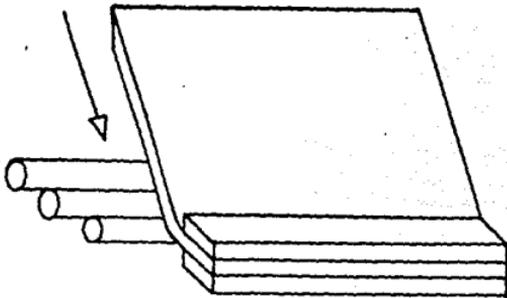


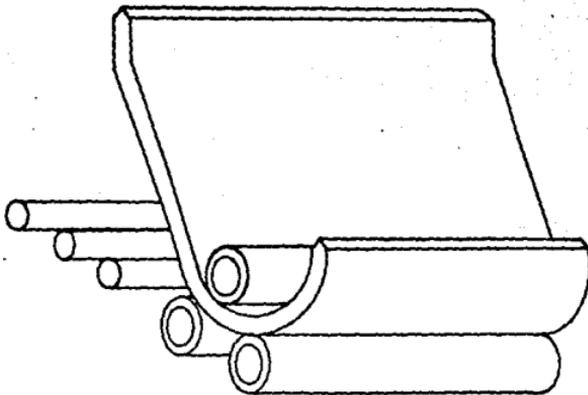
FIGURA II.2.

Al terminar este biselado se procede a la soldadura de placas. Las superficies por soldar deberán estar limpias y libres de materias extrañas, tales como grasa, aceite, pintura etc.

A continuación del biselado se procede al rolado de las placas el cual se hace a través de rodillos especiales, - en algunos fabricantes se prepara la placa con un ceja do para posteriormente rolarlo, ver figura II.3. y - II.4.



CEJADO  
FIG. II. 3



ROLADO  
FIG. II. 4

b) Formación de las Cabezas.

Las cabezas de los recipientes podrán ser de forma elipsoidal, torisférica, semiesférica o cónica con las proporciones señaladas en el código ASME, mismas que serán revisadas para verificación.

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

Cuando las orillas de cualquier sección están defectuosas al formado de las mismas, serán maquinadas para efectuar un cierre correcto con el cuerpo (cilindro).

El material de las cabezas será de la misma especificación del cuerpo.

Una vez terminado el rolado y la formación de cabezas se procede a las soldaduras longitudinales y transversales y formar el recipiente. La soldadura se aplicará de acuerdo al procedimiento antes calificado.

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

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

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

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

Los juegos de radiografiado de los recipientes se conservan durante un período no menor de cinco años.

Uno de los principales aspectos que caracterizan a los materiales en su comportamiento al estarlos habilitando, dentro de lo más característico se puede mencionar el de la unión de dos placas por medio de soldadura lo cual puede dar como resultado un aumento de dureza de la parte soldada o en las partes cercanas a éllas, esto puede ser debido al aumento de temperatura y su decremento el cual da como resultado un temple y genera esfuerzos residuales.

El código ASME, contiene reglas que toman en consideración esos factores, las cuales especifican relevado de esfuerzos y con esas reglas el diseñador puede seleccionar el tipo de tratamiento térmico que debe usarse, ya sea que el recipiente o la parte del recipiente sea o no relevada de esfuerzos y ya sea que las juntas soldadas sean total o parcialmente radiografiadas.

En las tablas de esfuerzos que contiene la sección - VIII, se encuentra una columna denominada "P" la cual nos indica los tratamientos a los que se requiere que estén sometidos los materiales y como llevar a cabo éstos. Como puede observarse en estas tablas en los aceros al carbón se especifica un No. "P" de 1, el cual indica que los recipientes de acero al carbono - que tengan un espesor mayor de 3.81 cm. ( 1 1/2" ) - deben ser relevados de esfuerzos. Los espesores comprendidos entre 3.17 cm. ( 1 1/4" ) y de 3.81 cm. ( 1 1/2" ) se les debe dar un calentamiento mínimo de 93.3°C ( 200°F ), previo a la soldadura para evitar su relevado de esfuerzos; sin embargo, en algunas normas se especifica que desde 3.17 cm ( 1 1/4" ) de espesor se releve de esfuerzos. ( Ver Tabla II.2. ).

En general los recipientes que vayan a contener sustancias letales, ya sea líquidos ó gases que sean fabricados de acero al carbón o de baja aleación, serán radiografiado totalmente y además relevado de esfuerzos.

Cuando se emplean aceros de alta aleación, no se requiere relevado de esfuerzos, es el caso de los aceros inoxidables austeníticos cromo-níquel. Si los recipientes son construídos de aceros inoxidables ferríticos - al cromo, se requiere el relevado de esfuerzos en todos los espesores del recipiente, excepto en el caso - del tipo 405, soldado con electrodos austeníticos (308, 309, etc. ), el código proporciona las temperaturas y describe los procedimientos empleados en el relevado de esfuerzos, los esfuerzos permisibles, para aceros de alta aleación, tal como lo especifica el Código ASME.

ESPECIFICACION No.	GRADO	COMPOSICION NOMINAL	P No.	GRUPO No.	ESFUERZO MINIMO A LA CEDEN- CIA (PSI)	ESFUERZO MINIMO A LA TEN- SION (PSI)
SA-36	—	C-Mn-Si	1	1	36,000	58,000
SA-283	A	C	1	1	24,000	45,000
	B	C	1	1	27,000	50,000
	C	C	1	1	30,000	55,000
	D	C	1	1	33,000	60,000
SA-285	A	C	1	1	24,000	45,000
	B	C	1	1	27,000	50,000
	C	C	1	1	30,000	55,000
SA-515	55	C-Si	1	1	30,000	55,000
	60	C-Si	1	1	32,000	60,000
	65	C-Si	1	1	35,000	65,000
	70	C-Si	1	1	38,000	70,000
SA-516	55	C-Si	1	1	30,000	55,000
	60	C-Si	1	1	32,000	60,000
	65	C-Mn-Si	1	1	35,000	65,000
	70	C-Mn-Si	1	1	38,000	70,000
SA-240	316 L	16Cr-12Ni-2Mo	8	1	25,000	70,000
SA-240	TP.304	18Cr-8Ni	8	1	30,000	75,000

TABLA II. 2.

c) Prueba Hidrostática.

Quando el recipiente queda totalmete terminado, - (Soldado de cabezas y colocación de boquillas ) se continúa con la prueba hidrostática, ésta deberá efectuarse cuando menos a 1 1/2 vez la presión de trabajo corregida por temperatura en caso de que se requiera y el tiempo de duración será el suficiente para efectuar una inspección minuciosa.

Antes de proceder a la prueba hidrostática el inspector deberá asegurarse que todas las correcciones sean las correctas para que no surja ningún accidente, deberá ver que el manómetro sea el adecuado y que esté calibrado, ( Todos los tapones de las placas de refuerzo de las boquillas deberán estar quitados ), el recipiente deberá estar completamente seco exteriormente y todas las partes soldadas deben estar visibles, a la hora de la prueba observará que el recipiente no sufra ninguna deformación visible exteriormente.

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

Como parte complementaria a la prueba hidrostática y únicamente cuando se indique en las especificaciones particulares, se efectuará la prueba de martillado, la cual se lleva a cabo como sigue:

Se reducirá la presión de prueba del recipiente a 1.25 veces el valor de la presión de trabajo máxima permisible, en este momento se golpeará con un mazo o martillo por la parte exterior del recipien

te, toda y cada una de las juntas soldadas, a ambos lados de ellas y en toda su longitud, los golpes se darán a una distancia de 15 cm aproximadamente distante uno de otro.

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

Al terminar la prueba hidrostática se continuará con la limpieza que será de preferencia por chorro de arena o la adecuada para obtener una superficie limpia, tanto interior, como exterior para eliminar todas las impurezas.

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

Se efectuará una inspección visual final tanto interior como exterior, la placa estará limpia para efectuar el proceso final que es la pintura, ésta será de acuerdo con la especificación solicitada por el cliente.

d) **Visitas a Plantas de Proveedores.**

El complemento a las actividades descritas en este procedimiento serán las visitas a plantas de proveedores, ya que la verificación objetiva de los procedimientos de fabricación y principalmente, de calidad de tales proveedores, determinará la intensidad de inspección a efectuar en los materiales recibidos. La tabla II.3. muestra la periodicidad de las visitas a plantas de proveedores de los diferentes materiales. La lista de proveedores no es limitativa y podrá ampliarse según sea conveniente.

Cada visita originará un reporte en que se detallen las observaciones efectuadas, dando las recomendaciones procedentes para tener ó no ese fabricante como proveedor.

DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD DE SWECOMEX

FABRICANTES DE:	PERIODICIDAD
Placa de Acero	Cada 6 Meses
Placa no Ferrosos	Cada 6 Meses
Tubería	Cada 3 Meses
Forjas de Acero	Cada 3 Meses
Soldaduras	Cada 3 Meses
Tornillería	Cada 3 Meses
Diversos	Cada 6 Meses

DISTRIBUIDORES

De Materiales Hechos en el País	Cada 6 Meses
De Materiales Importados	Cada 6 Meses

TABLA II.3.

## CAPITULO III

### ANALISIS DE RESULTADOS

#### III.1 CONSIDERACIONES Y ESPECIFICACIONES.

Los materiales que se usan para el diseño y fabricación de recipientes a presión, están reglamentados por Códigos y normas, la American Society For Testing Materials (ASTM) y la American Welding Society (AWS) son las máximas autoridades en materiales y electrodos respectivamente.

El código que reglamenta el diseño de recipientes a presión, reglamenta los materiales a utilizar, tomando en este caso las especificaciones ASTM, así como los métodos y pruebas para dichos materiales, mediante un acuerdo con la ASTM, la American Society of Mechanical Engineers (ASME) antepone la letra "S" al nombre del material, ejemplo:

NOMINACION	ASTM	A-285-C
NOMINACION	ASME	SA-285-C

Lo mismo hace el código ASME para los materiales de soldadura ( Electrodos ) de la AWS.

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

La prevención de las fallas dependen también de la sección del material, la cual deberá llevarse a cabo eligiendo el material más económico que satisfaga los requisitos de diseño, de especificaciones y código.

Algunos ingenieros responsables de las especificaciones y códigos saben lo que indican los mismos pero no dan suficiente importancia a la temperatura, presión, límites de esfuerzos, restricciones, corrosión, dimensiones, etc. Y para cubrirse seleccionan un material mucho más caro de lo que realmente se necesita.

El criterio de selección de los materiales para la fabricación de recipientes a presión aplicados a la industria del petróleo, están en función de las condiciones de operación que privan en ellas, fundamentalmente estas condiciones son determinadas por los ambientes corrosivos, por las altas presiones y temperaturas, estos factores son esenciales en cuanto a los aspectos del diseño y la vida útil de los equipos.

#### Aceros, definición y clasificación.

Se denomina acero a "toda aleación de hierro y carbono con un contenido de 0.025 a 2.0% de carbono"; generalmente contienen además pequeñas cantidades de manganeso, silicio, fósforo y azufre ( No mayores de 2% ).

Generalmente, los aceros se dividen en los siguientes tres grupos: Aceros al Carbono, Aceros Aleados, Aceros Inoxidable y Aceros Resistentes a Altas Temperaturas. Esto es según su uso, ya que también pueden ser clasificados de acuerdo al método de manufactura o según su composición química.

a) Aceros al Carbono.

Son aquellos en los que no se especifica su contenido mínimo o requerido de: aluminio, boro, cromo, cobalto, cobalto, molibdeno, níquel, titanio, tungsteno, vanadio, o cualquier otro elemento que se combine para obtener una característica deseada.

Se define también como aquel material ferroso en el que solo el carbón afecta de manera importante su comportamiento físico, químico y fisicoquímico, es decir no contienen ningún elemento de aleación, pues todos provienen del proceso de obtención. De acuerdo a la calidad del material, también existen otros elementos que están implícitos en la composición de este tipo de aceros que son los siguientes:

Manganeso.- Este metal está presente en todos los aceros comerciales al carbono en un intervalo de 0.03 a 0.06%, su función principal es contrarrestar los efectos negativos del azufre, aumenta la dureza, tenacidad y se emplea como desoxidante. Es recomendable que su cantidad sea de 2 a 8 veces mayor a la del azufre.

Fósforo.- Este elemento aumenta ligeramente la resistencia a la dureza, se debe mantener por debajo del 0.04 % puesto que en cantidades reduce la ductibilidad, lo cual aumenta la probabilidad de agrietarse cuando este se trabaja en frío y evita efectuar un buen tratamiento térmico en el acero.

Azufre.- El azufre generalmente se encuentra por debajo del 0.05% de los aceros comerciales, este proviene de los minerales empleados en los procesos de obtención. Provoca fragilidad en frío y en caliente. Este elemento es considerado como impureza dentro de los aceros al igual que el fósforo por lo cual se consideran nocivos.

#### Propiedades de los Aceros al Carbono.

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

Estas propiedades se ven afectadas por la presencia del fósforo y del azufre.

#### b) Aceros Aleados.

Se define como "aquel cuyas propiedades y características se deben a la unión de uno o varios elementos diferentes al carbono".

Se define también como "los aceros que contienen además de carbono e impurezas, elementos de aleación como el níquel, cromo, molibdeno, vanadio, tungsteno, etc. "

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

Uno de los propósitos más importantes al realizar una aleación son los siguientes:

- Aumentar la resistencia a la corrosión.
- Aumentar la resistencia al desgaste.
- Mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas.
- Contrarrestar efectos nocivos inducidos por otros elementos.
- Propocionar fijación de otros elementos.

En la práctica estos aceros pueden contener un solo elemento o varios, además si consideramos que podemos variar los contenidos de todos los elementos de aleación para obtener alguna propiedad especial, - esto representa la gran variedad de aceros aleados que pueden fabricarse, lo que impide el estudio particular de cada uno. Sin embargo a continuación menciono algunos de los tipos de aceros que se emplean más comunmente.

- b.1 Aceros al Níquel.
- b.2 Aceros al Cromo.
- b.3 Aceros al Níquel-Cromo.
- b.4 Aceros al Molibdeno.
- b.5 Aceros al Vanadio.
- b.6 Aceros al Tungsteno.
- b.7 Aceros Inoxidables.
- b.8 Aceros Resistentes a Altas Temperaturas.
- b.9 Aleaciones Especiales.

A continuación describo cada uno de estos aceros y sus características más importantes.

## b:1 Aceros al Níquel.

El níquel es uno de los elementos más viejos y - el más fundamental de los elementos de aleación. Tiene ilimitada solubilidad en hierro gamma y - debido a que es altamente soluble en ferrita - ( hierro alfa ), se tiene que cuando existe la - presencia del níquel éstos aceros son más resis- tentes y tenaces, amplía el rango de temperatura, no presenta carburos difíciles de disolver.

Es un fortalecedor de la ferrita, es soluble en el acero en todas proporciones. En los aceros - normalizados, mejora la resistencia y disminuye la temperatura de temple. Es un retardador del - crecimiento del grano a altas temperaturas y muy resistente a la fatiga.

Disminuye la temperatura crítica del acero, en base a ésta propiedad se obtiene que el intervalo de aplicación de los tratamientos térmicos se amplía, la perlita se forma a más bajas temperaturas.

Se necesita calentar a temperaturas más bajas - para tratarlo térmicamente, esto es beneficioso ya que se obtienen menos deformaciones en las - piezas.

Estos aceros son altamente adecuados para aceros estructurales de gran resistencia.

## b.2 Aceros al Cromo.

En base a las propiedades que imparte el cromo es el elemento más utilizado en los aceros aleados ya que es menos costoso que el níquel, al igual forma carburos, tienen una alta dureza y buena resistencia al deterioro, es un elemento endurecedor pero no un elemento que imparta tenacidad, en algunas ocasiones se combinan con otros elementos que contrarrestan este efecto.

Cuando éste elemento se presenta excediendo el 5%, se ven mejoradas las propiedades a altas temperaturas, la resistencia a la corrosión, al desgaste de la superficie endurecida, resistencia a la tracción y el límite elástico.

## b.3 Aceros al Níquel-Cromo.

En estos aceros la razón de níquel a cromo es de aproximadamente 2 1/2 a 1 respectivamente. Son adecuados para grandes secciones que requieren tratamientos térmico debido a su endurecimiento profundo y uniforme.

El efecto que da el níquel a éste acero es aumentar la tenacidad y la ductilidad y al combinarse con el cromo mejora la templabilidad y la resistencia al desgaste.

Hay que recordar que el efecto combinado de dos o más elementos de aleación sobre la profundidad y distribución de la dureza suele ser mayor que la suma de los efectos de los mismos elementos de aleación utilizados por separado, ya que el cromo pro-

porciona resistencia al desgaste de la superficie - endurecida, mientras que con la combinación de ambos se ve mejorada la tenacidad de la parte interna.

#### b.4 Aceros al Molibdeno.

Después del carbono, el molibdeno es el endurecedor más efectivo del acero, relativamente es costoso, - también forma carburos por lo cual aumenta la templabilidad, la dureza y la resistencia a la temperatura, tiene un límite elástico elevado con alta - resistencia a la abrasión y al impacto. Se requiere más altas temperaturas para llevar a cabo tratamientos térmicos ya que retiene fuertemente el límite - de grano fino, forma carburos, estimula a los demás elementos de aleación y disminuye los elementos nocivos. Amplía el margen de seguridad cuando se trabaja en caliente, al mismo tiempo que disminuye la susceptibilidad a la fragilidad por revenido, aumenta la resistencia y el límite de fatiga.

#### b.5 Aceros al Vanadio.

Es uno de los elementos más comunes de aleación y - el más costoso, es un fuerte desoxidante y a la vez un gran formador de carburos, esto inhibe el crecimiento del grano, al disolverse tiene un marcado - efecto sobre la templabilidad y al enfriarse con - aire proporciona grandes propiedades mecánicas.

Al combinarse con el carbono aumenta la resistencia a la tracción, la tenacidad, la resistencia dinámica al choque y a los esfuerzos alternos de fatiga - y de abrasión.

#### b.6 Aceros al Tugsteno.

Este elemento es adicionado en proporciones de 2 a 16%. Le imparte un marcado efecto sobre la templeabilidad, también proporciona características similares a las del molibdeno, ya que es muy costoso - se utiliza con menos frecuencia.

Se emplea en los aceros inoxidable al cromo, níquel y tugsteno, los cuales ofrecen excelentes resistencia mecánica y a la corrosión a elevadas temperaturas y los cuales hago mención a continuación.

#### b.7 Aceros Inoxidables.

Se les denomina así a una serie de materiales resistentes a los ácidos y álcalis, a la oxidación, a temperaturas elevadas y a la corrosión atmosférica.

Hago mención que cada uno o cada familia de estos aceros inoxidable, no lo son completamente, ya que en realidad solo resisten bien la acción de ciertos agentes de corrosión puesto que en otras circunstancias se oxidan y se corroen en forma parecida a los aceros ordinarios.

Su principal elemento es el cromo, que se añade en proporción hasta del 25% en algunos tipos, y en cantidades variables níquel, molibdeno, vanadio, tugsteno etc. Su propiedad de resistencia a la corrosión se debe a la película adherente que se forma en su superficie, estable de óxido de cromo ó de óxido de níquel que protege al acero contra los medios corrosivos.

Ahora, los aceros inoxidable debido a su construcción microestructural se les clasifica en tres grupos los cuales son:

- Aceros Martensíticos Inoxidables.
- Aceros Ferríticos Inoxidables.
- Aceros Austeníticos Inoxidables.

#### Aceros Martensíticos Inoxidables.

Estos aceros pueden templarse quedando con estructura martensítica de ahí que se derive su nombre, conteniendo entre el 0.08 y 6% de carbono, de 11.5 a 18% de cromo y hasta el 2% de níquel.

Estos aceros son magnéticos, se pueden trabajar en frío sin ninguna dificultad y a su vez tienen buena tenacidad, gran resistencia a la corrosión atmosférica y a algunos agentes químicos.

Este tipo de acero se utiliza en equipos para el manejo de ácidos débiles que operan a temperaturas no muy altas.

#### Aceros Ferríticos Inoxidables.

Este tipo de acero es muy resistente a la corrosión y soporta temperaturas hasta de 1000°C. Se llaman ferríticos porque ninguna temperatura modifica su estructura, pero contienen poco carbono, debido a esto no se pueden endurecer por tratamientos térmicos sino solo moderadamente mediante trabajo en frío. Los hay de dos tipos: Los de bajo cromo ( 16% cromo, 0.10% de Carbono ). Estos espe-

cialmente indicados para resistir el ataque del ácido nítrico y los de alto cromo (27% cromo, 0.20% carbono), resistentes a altas temperaturas y adecuado para manejar gases sulfurosos.

Sin embargo, la resistencia de estos materiales a altas temperaturas está referida a la oxidación, en velocidad cuando son calentados a temperaturas elevadas ( más de 900°C ) comienza el crecimiento del grano, adicionando en un 0.20% de nitrógeno, titanio ó nobio resuelven parcialmente este problema.

#### Aceros Austeníticos Inoxidables.

Estos aceros son los denominados al cromo-níquel y al cromo-níquel-manganeso, tiene pequeños porcentajes de otros elementos, en especial molibdeno. Son los más conocidos y los de uso más general. De acuerdo a la condición de recocido no son magnéticos y no se endurecen por tratamiento térmico, el contenido total de níquel y cromo es de por lo menos 23%. El prototipo de éstos aceros y de todos los inoxidables en general es el denominado 18-8 ( 18% cromo, 8% níquel ).

En estos aceros el níquel favorece la estabilidad de la austenita y refuerza la resistencia a la corrosión del cromo. El molibdeno no incrementa la resistencia a la corrosión en caliente.

Es fácil de trabajar este acero en caliente o en frío cuando en forma rápida endurezcan por trabajo. Al trabajarse en frío puede llegar a ser ligeramente magnético ya que el trabajo en frío desarrolla una amplia variedad de propiedades mecánicas. Son muy difíciles de maquinar a menos que contengan azufre y silicio, su resistencia suele ser mejor que la de los aceros martensíticos ó ferríticos.

Existen una gran variedad de aceros austeníticos - inoxidables mencionaré algunos de ellos:

Los del tipo 18-8 con 0.8% de carbono, que se utiliza para partes soldables que van a trabajar a temperaturas del orden de los 400°C.

Los del tipo 18-8 con 1.2% de molibdeno, son los más resistentes a la corrosión y los que ofrecen la mejor resistencia mecánica al trabajarlos en caliente.

Los del tipo 18-8 con titanio y niobio que se utilizan en la fabricación de piezas soldadas que deben trabajar a más de 500°C.

Los del tipo 18-8 hasta 2.5% de silicio, resisten perfectamente la oxidación aún a temperaturas cercanas a los 1000°C.

#### b.8 Aceros Resistentes a Altas Temperaturas.

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

Como anteriormente se ha mencionado, la resistencia de los aceros se ve fuertemente afectada por el calor, sobre todo a temperaturas mayores a los 400°C. Los aceros más resistentes a altas temperaturas que pueden considerarse refractarios, son los aceros austeníticos inoxidables al cromo-níquel cuyo elevado porcentaje de níquel favorece a la formación de carburos de cromo y protege de la corrosión. Menciono algunos de estos aceros como son los que contienen 35% níquel y 18% cromo, de 22% níquel y 15% cromo y de 25% níquel y 9% cromo.

#### b.9 Aleaciones Especiales.

Existen un grupo de aleaciones especiales en los que mencionaré el monel, el inconel y el hastelloy.

El Monel es una aleación de níquel-cobre, en donde aproximadamente existen dos tercios de níquel por un tercio de cobre, además de otros elementos los cuales pueden ser aluminio, hierro, titanio, silicio, manganeso, carbono y azufre.

El cobre es completamente soluble en níquel y se añade para incrementar la formabilidad, disminuir su precio y aún retener la resistencia a la corrosión del níquel. Tiene alta resistencia a los ácidos, álcalis, salmueras, aguas, productos alimenticios y a la atmósfera. No oxida a una rapidez destructiva interior a aproximadamente en atmósferas que no tengan azufre y tienen algunas aplicaciones a temperaturas hasta de 815°C.

Existen varios tipos de moneles, mencionaré algunos de ellos como son:

Monel R; Aleación cobre-níquel que contiene mucho - azufre.

Monel K; Contiene aproximadamente 3% de aluminio.

Monel H y S; Contiene 3 y 4% de silicio respectivamente.

Constantan; Contiene 45% de níquel y 55% de cobre.

De todos estos tipos existen diferentes variedades de acuerdo con las múltiples aplicaciones de este material, que es la aleación resistente a la corrosión por excelencia, además de ser una de las más - inoxidables que se conocen para soportar perfectamente temperaturas muy elevadas.

En forma general se puede decir que todos los non-les tienen una composición nominal de aproximadamente 50% de níquel y pequeñas cantidades de otros elementos además del cobre.

El Inconel y el hastelloy son aleaciones de níquel con la adición de otros elementos en cantidades variables. Sus principales elementos son el hierro, - carbono, silicio, manganeso, cromo, molibdeno, tugs-teno, fósforo y algunos otros.

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

El iniconel es una aleación la cual está compuesta de la mayor parte en níquel 76%, cromo 16% y hierro 8%, combina la resistencia a la corrosión, la resistencia y la tenacidad del níquel con la resistencia extra del cromo a la oxidación a altas temperaturas. Este acero es muy importante por su capacidad para soportar calentamientos y enfriamientos continuos en un intervalo de 0 a 870°C sin llegar a ser frágil.

El hastelloy es una aleación basada en níquel, molibdeno, hierro, silicio, cobre y otros elementos, su composición depende del tipo de hastelloy, mencionare algunos de los más comunes como son el A, B, C, y D. Los tres primeros contienen molibdeno y hierro.

La composición del hastelloy tipo A es de 57% níquel, 20% molibdeno y 20% de hierro. La composición del hastelloy tipo B es de 60% níquel, 28% molibdeno y 5% de hierro. Estas aleaciones tienen estructura austenítica y mediante el trabajo en frío es posible obtener mayor resistencia a la ductibilidad. También este tipo de aleación se caracteriza por su alta resistencia a la corrosión.

El hastelloy tipo C está compuesto por 45% níquel 17% molibdeno, 15% cromo, 5% hierro y 4% de tungsteno, se caracteriza por su alta resistencia a la corrosión y a los ácidos oxidantes tiene buenas propiedades a altas temperaturas y son resistentes a la oxidación atmosférica.

El hastelloy tipo D es uno de los más comunes y - contiene 10% de silicio y 3% de cobre, y una de - sus principales características es su alta resis- tencia a la corrosión por ácido sulfúrico concen- trado a altas temperaturas.

Materiales Amparados por el Código ASME.

Las placas de acero al carbono y las de acero de baja aleación se usan en su gran mayoría en los - casos donde lo permiten las condiciones de servi- cios, esto a causa de su bajo costo y mayor dispo- nibilidad.

Las partes secundarias de los recipientes ( Par- tes no sujetas a presión ) como ejemplos: sopor- tes, algunas partes miscelaneas, pueden utilizar - un acero estructural como el SA-36 que contiene - 0.20% de carbono, de 0.08 a 12% de manganeso, de 0.15 a 0.3% de silicio, también puede utilizarse el SA-283 en sus grados A, B, C, y D. Este mate- rial contiene un 0.15 a 40% de carbono, también puede utilizarse para partes sujetas a presión - siempre y cuando se cumpla con los siguientes re- quisitos:

- Para recipientes que no vayan a ser usado en - servicio con substancias letales, ya sean lí- quidos ó gases.
- Que el rango de temperaturas a que el material vaya a ser sometido debe estar entre -25°C a - 343°C.

- Para los recipientes en el cuerpo, cabezas y boquillas en las cuales el espesor de la placa no exceda de 16 mm.
- Que el acero sea fabricado por el proceso de horno eléctrico, no de hogar abierto.

Uno de los aceros más empleados en la construcción de los recipientes a presión es el SA-285 grado C que está compuesto del 28% de carbono, 0.9% manganeso, 0.035% fósforo y 0.04% de azufre. Este tipo de acero es muy dúctil y fácil de formar, soldar y maquinar. Es uno de los aceros más económicos y de mayor existencia en el mercado, este material normalmente se utiliza para temperaturas moderadas no menores de 18.33°C y no mayores de 345°C.

En los casos de más altas temperaturas, se usan con ventaja aceros de alta resistencia para reducir espesores de pared, como el caso del material SA-515 grado 70 que contiene 0.33% carbono y 0.13 a 0.33% de silicio, es un material muy bueno para esta aplicación, ya que requiere un espesor de pared de solamente el 78% del que se requeriría con un acero SA-285 grado C. Es también de fácil fabricación solo que es más caro que los otros aceros. Su rango de temperatura a manejar está entre los 18.33°C a 413°C.

Como se observa es un poco mayor que el rango de temperatura del acero SA-283 grado C.

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

Cuando las temperaturas rebasan de los 1000°C se utiliza el material SA-240 tipo 304 que es un acero inoxidable cuya composición es .08% de carbono, 2% de manganeso 0.045% de fósforo, 18 a 20% de cromo y 8 a 11.5% de níquel, este es uno de los aceros más caros y se utiliza en casos extremos de temperaturas.

Hasta ahora se han mencionado los aceros para temperaturas moderadas o altas, pero existen una gran variedad de procesos en los cuales se tienen temperaturas criogénicas, en estos casos mencionaré una serie de materiales más recomendables dentro de los aceros al carbono el primero de ellos el SA-516 grado 70 el cual esta compuesto de 0.27% carbono, 0.8 a 1.25% de manganeso y 0.13 a 0.33% de silicio, el cual puede usarse a temperaturas de -45.5°C a 15°C.

En caso de temperaturas de entre -101°C a -45°C, se utiliza el material SA-203 grado B y su composición química es 0.17% de carbono, 0.70% de manganeso 2.10% de níquel y 0.35% de fósforo.

Cuando existen temperaturas aún más bajas que las antes mencionadas, se utilizan aceros como el SA-240 tipo 304 en cual se vio anteriormente para temperaturas elevadas, nótese que se utiliza en

los casos extremos tanto superior como inferior, resisten temperaturas hasta de  $-254^{\circ}\text{C}$ .

Para mayor facilidad de poder elegir el acero más adecuado podemos tomar como referencia la tabla - III.1, la cual nos indica, a diferentes temperaturas el material más adecuado a utilizar en la - fabricación de recipientes a presión.

Materiales usados en recipientes a presión de - acuerdo al servicio que vayan a ser destinados.

La tabla III.2, nos ilustra acerca de los materiales recomendables que pueden ser usados de acuerdo a las temperaturas que vayan a estar operando - los recipientes.

La elección de un acero también depende en gran - parte de la sustancia que se va a manejarse, - mencionaré algunas de las sustancias más comunes a manera de ilustración, ya que no es posible indicar todas las sustancias existentes, para esta elección podemos auxiliarnos con la tabla III.3.

TEMPERATURA DE DISEÑO °F	-32°FA - 425°	-320°FA - 151°	-150°FA - 91°	-90°FA - 51°	-50°FA - 41°	-40°FA + 60°	16°FA + 650°	+ 65°FA + 775°	+ 775°FA + 850°	+ 85°FA + 1050°	+ 105°FA + 1150°
CASCARON, CABEZAS Y PLANTILLAS DE REFUERZO	SA-240 TP-304 SA-240 TP-304L	SA-307R (90%Ni) SA-307R (100%Ni) SA-307R (90%Ni) B1 SA-307R (90%Ni) B2	SA-202R SA-191 SA-202R SA-191 B1 SA-202R SA-191 B2								
BRIDAS CIEGAS PLACA FORJADA	F O R J A SA-192 F-304 SA-192 F-304L	F O R J A SA-192R (90%Ni) SA-192R F-304 SA-192R F-304L	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-2 SA-192 LF-2						
VALLETAS/FALDON	12m dILT REFUERZO CASCARON BOOS Y REG. BOQUILLAS Y BRIDAS FORJADAS	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C
R. PARA CUELLO DE BOOS	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C
COPLER	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C
AROS APOYO PLATOS Y SOPORTES DE BAJANTES PERFILES ESTRUCTURALES EN GENERAL	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C
REDE DE BRIDAS Y MANTEN. COLECTORES Y MISCELANEOS	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C	SA-285-C SA-285-C
REJILLAS	ACERO INOXIDABLE O ALUMINIO (ver catalogo)						ACERO AL CARBON		ACERO INOXIDABLE O ALUMINIO (ver catalogo)		
TUBERIA INTERIOR	SA-192 TP-304 SA-192 TP-304L	SA-307R (90%Ni) SA-307R (100%Ni) SA-307R (90%Ni) B1 SA-307R (90%Ni) B2	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-2 SA-192 LF-2						
CONEXIONES SOLDABLES	SA-192 TP-304 SA-192 TP-304L	SA-307R (90%Ni) SA-307R (100%Ni) SA-307R (90%Ni) B1 SA-307R (90%Ni) B2	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-2 SA-192 LF-2						
ESPARRAGOS EXTERIORES	SA-192 BR SA-192 BR	SA-307 BR SA-307 BR	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-2 SA-192 LF-2						
TUERCAS EXTERIORES	SA-192 BR SA-192 BR	SA-307 BR SA-307 BR	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-2 SA-192 LF-2						
TOPVILLERIA INTERIOR	SA-192 BR SA-192 BR	SA-307 BR SA-307 BR	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-2 SA-192 LF-2						
ENVUQUES INTERIORES	A S R E S T O C O M P R I M I D O										
ENVUQUES EXTERIORES	FLEXITALLIC "CG" ó EQUIVALENTE										
MALLAS	ACERO INOXIDABLE T-304										
CUFLLO DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES	SA-192 TP-304 SA-192 TP-304L	SA-307R (90%Ni) SA-307R (100%Ni) SA-307R (90%Ni) B1 SA-307R (90%Ni) B2	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-3 SA-192 LF-3	SA-192 LF-2 SA-192 LF-2						
PLATOS	VER HOJA DE DATOS DE PROCESO.										

\* HASTA 5000' DE PROFUNDIDAD PARA MAYORES CARGAS RELEVADO DE ESFUERZOS  
 \* LLEVARA RELEVADO DE ESFUERZOS CUANDO SE TENGA UNA TEMPERATURA DE DISEÑO DE -200° F.  
 \* HASTA 10000' SE PUEDE EMPLEAR ESTE MATERIAL.  
 \*\* HASTA 2000' SE PUEDE EMPLEAR ESTE MATERIAL.

TEMPERATURASMATERIAL

	>		516°C	ACERO INOXIDABLE ( 18% CROMO, 8% NIQUEL )
DE	516	A	413°C	CROMO-MOLIBDENO
DE	18	A	413°C	ACERO AL CARBONO
DE	-40	A	15°C	ACERO AL CARBONO
DE	-45	A	65°C	ACERO AL NIQUEL ( 2.5% NIQUEL )
DE	-65	A	-100°C	ACERO AL NIQUEL ( 3.5% NIQUEL )
DE	-100	A	-195°C	ACERO AL NIQUEL ( 9% NIQUEL )
DE	-195	A	-252°C	ACERO INOXIDABLE ( 18% CROMO, 8% NIQUEL )

MATERIALES RECOMENDABLES DE ACUERDO A LA TEMPERATURA

TABLA III.2.

SUSTANCIA / MATERIAL	ACERO AL CARBON	NIQUEL	INCONEL	MONEL	ACERO INOXIDABLE TIPO 304.	ACERO INOXIDABLE TIPO 316.
ACETONA	A	A	A	A	A	A
ACETILENO	A	A	-	A	A	A
CERVEZA	P	A	A	A	A	A
BENZENO, BENZAL	A	A	A	A	A	A
BENZINA, NAFTA	A	A	A	A	A	A
ACIDO BORICO	X	-	-	P	A	A
CLORUROS EN GENERAL	X	R	R	R	X	X
BUTANO	A	-	-	A	A	A
ACIDO CITRICO	X	R	A	A	A	A
MERCURIO	A	A	-	A	A	A
GAS NATURAL	A	A	A	A	A	A
ACEITES PETROLEO 260°C CRUDOS	A	P	A	P	P	R
ACIDO FOSFORICO	P	P	P	P	P	R
AZUFRE	A	A	A	A	P	P
ACIDO SULFURICO	X	P	P	R	P	A
ACIDO SULFUROSO	X	P	P	P	P	A
WHISKY Y VINOS	X	A	A	P	A	A
SUSTANCIAS CON HIDROGENO	A <sup>+</sup>	A	A	A	A	A

SUSTANCIAS A MANEJAR

+ EL ACERO AL CARBON SERA CALMADO ( NO DEBERAN DESARROLLARSE GASES DURANTE LA SOLIDIFICACION ).

P = PRECAUCION ( DEPENDE DE LAS CONDICIONES ).

A = BUENO.

R = RECOMENDABLE.

X = NO RECOMENDABLE.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES

Hace tiempo, cuando los requisitos en servicios eran menos rigurosos que los exigidos en la industria actual, los materiales de acero al carbono resultaban normalmente adecuados para la inmensa mayoría de las aplicaciones en lo que respecta a los recipientes a presión, depósitos y tuberías para las grandes refinerías, plantas químicas, alimenticias, cañeras, cafetaleras y otras instalaciones industriales. Estas circunstancias hoy en día han cambiado radicalmente. Actualmente en la manufactura de la placa, tubería y material tubular se utiliza una gran variedad de materiales ferrosos, conteniendo diversos elementos de aleación, así pues la selección de materiales es una labor muy importante dentro de este campo.

En las especificaciones y códigos de las asociaciones de ingeniería e industria estan reconocidos numerosos materiales ferrosos. Las especificaciones y códigos que se utilizan con mayor frecuencia son los preparados por la American Society for Testing Materials ( ASTM ), el American Petroleum Institute ( API ) y la American Society of Mechanical Engineers ( ASME ) ya que éstos códigos dictaminan los requerimientos mínimos de diseño.

Se concibe el interés de un diálogo permanente entre el productor de acero y el constructor, lo que implica una larga información reciproca con el fin de conseguir una mejor armonía de las normas de calidad y de los códigos de construcción.

Pero éste diálogo no conseguiría su meta, que es la de tomar los aspectos importantes de economía y seguridad, sin una participación activa de un tercero, la autoridad reglamentaria, autor y fiador del respeto de las reglas de seguridad en materia de construcción a la cual hay que asociar al cliente cuya reglamentación debe evolucionar al mismo tiempo que las técnicas de producción de los aceros y de construcción de los recipientes.

En cuanto visitas a plantas de proveedores, se refiere, obviamente, a efectuar una especie de auditoría para verificar los procedimientos de fabricación y control. En muchos casos ha sido necesario que algunos inspectores permanezcan durante varias semanas en planta, constatando que se cumpla con los puntos señalados en las especificaciones de materiales, participando en la ejecución y evaluación de pruebas e inspección de dichos productos.

La calidad de los productos depende, en un alto porcentaje, de la calidad de las materias primas utilizadas en su elaboración. El mercado nacional no se distingue, precisamente, por la abundancia de proveedores y la óptima calidad en materiales y equipos, pues existen fabricantes de gran responsabilidad, hay otras con deficiencias de orden técnico y, sobre todo mencionarlo, con una actitud negativa a cumplir fielmente con los requerimientos de las normas de los materiales que suministran. Dentro de esta realidad, el fabricante de equipo de proceso tiene la obligación de tomar medidas efectivas que cubran esas deficiencias. Que eviten el uso de materiales inadecuados, y que permitan seleccionar a los mejores proveedores, porque de ellos depende realmente la calidad del producto. No conformarse con solo exigir certificados de materiales, porque no se trata de encontrar al responsable de un problema, sino de que ése problema no debió de

haberse presentado. Se requiere pués, de disponer de equipos, materiales, personal capacitado, intervenir activamente con los proveedores, en sus plantas, ejerciendo el derecho que las mismas normas establecen y vigilar al cumplimiento de los requerimientos específicos en los pedidos. Todo esto, por supuesto, origina gastos muy importantes, que no es grato hacer, pero que no hay la menor duda en su justificación, y que la rentabilidad, en términos de calidad es inmensa.

El código ASME y todos en general, prevén un control de calidad progresivo, es decir que en todos los casos de construcción de recipientes son evaluados, y el paso siguiente es permitido si todos los anteriores se hicieron conforme al código. Se puede decir que el código ASME es una gran guía que incluye como organizar el control de calidad de la construcción previniendo, detectando y corrigiendo los problemas que se podrían presentar en el transcurso del armado.

Al hacer la selección de un material específico para las funciones que el recipiente vaya a desarrollar éste debe tener una composición química y características físicas dadas. Es importante controlar esos datos ya que el diseño se apoya en ellos tanto del punto de vista corrosión y espesor, presión y temperatura de operación, vida media del tanque, procedimientos de soldadura. Sin duda la propiedad más importante a cumplir es la uniformidad de las características del material que se recibe, ya que a veces parte de este material es de mejor calidad que la especificada, ( mayor resistencia, mejor composición química, etc ). Esto no significa ninguna ventaja para el fabricante, quien a veces a causa de ello deberá cambiar sus procedimientos, enfrentarse a problemas no previstos. Rehacer soldadura, etc. lo cual representa gastos adicionales.

Los coeficientes de seguridad en las placas son previstos para cierto número y tamaño de los defectos normales, por lo que se dice que ningún material es perfecto. Habrá de controlar que no existan defectos mayores a éstos para estar dentro de las normas de diseño.

Durante la construcción, el código prevee efectuar inspecciones con el fin de detectar los problemas desde el momento que se presenten, por causa de cambios de condiciones y reparar las fallas que se causen. No es posible afirmar que los defectos rechazables producirán una falla. Solo se ha tenido en cuenta al establecer las normas de aceptabilidad que algunos de éstos provocaron fallas, de tal forma que el fabricante no debe preguntar cuales son los defectos rechazables que se pueden aceptar, por el contrario debe cumplir con todos los requisitos antes citados a fin de reducir los riesgos que conduzcan a algún accidente. Además es conveniente considerar que es superior a los detectados, porque no todos se detectan, en particular los defectos metalúrgicos.

La aplicación oportuna de pruebas no destructivas y destructivas como controles durante la fabricación, instalación y operación equivale a tomar un seguro contra accidentes.

Lo más nuevo en el Instituto Mexicano del Petróleo, dentro del departamento de Ingeniería de Recipientes es el asegurar la calidad obligando a los fabricantes a cumplir con las especificaciones de los códigos, esto se hace tanto en los materiales como en los accesorios que componen un recipiente a presión y así asegurar la calidad, éste concepto denominado aseguramiento de la calidad.

En cuanto al aspecto económico, la aplicación de éstos controles que aunque aparentemente incrementan el costo de un recipiente, los beneficios que se obtienen, cuyo valor es muy superior al incremento del costo, podemos citar los siguientes.

- Reducir el riesgo de que una falla provoque un siniestro en el cual se puedan perder vidas humanas y/o destrucción del equipo.
- Reducir el riesgo de que una falla suspenda la operación y consecuentemente ocasiona pérdidas por no haber producción, por reparaciones y por mano de obra ociosa.
- Para el fabricante representa evitarse la ejecución de reparaciones, que equivale a efectuar dos veces el trabajo, cobrándolo solamente una vez.
- La fabricación bajo éste sistema de control dará prestigio al fabricante lo cual representará mayores ventas.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ASOCIACION AMERICANA DE INGENIEROS MECANICOS.  
( AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS ).  
  
BOILER AND PRESSURE CODE.  
SECC. II MATERIALES.  
SECC. V PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.  
SECC. VIII DIV. 1. EDIC. 1983.
  
- 2.- ASOCIACION AMERICANA PARA PRUEBAS Y MATERIALES.  
( AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALES ).  
( ASTM ).
  
- 3.- SELECCION Y APLICACION DE LOS MATERIALES EN LA INDUSTRIA  
PETROLERA.  
  
SEMINARIO DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.  
GERENCIA DE TECNOLOGIA DE MATERIALES.  
FEBRERO DE 1987.
  
- 4.- ENSAYO E INSPECCION DE LOS MATERIALES EN INGENIERIA.  
  
DAVIG, HARMER, E.  
EDITORIAL C.E.C., S.A.  
SEGUNDA EDICION 1967.

- 5.- DEFECTOS Y ROTURAS EN RECIPIENTES A PRESION Y TUBERIAS.  
THIELSCH, HELMUT.  
EDITORIAL URMO.  
PRIMERA EDICION, 1969.
- 6.- INSTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA.  
AUNER, SYDNEY H.  
EDITORIAL Mc GRAW-HILL.  
SEGUNDA EDICION, 1979.
- 7.- PRESSURE VESSEL DESIGN HANDBOOK.  
BERNARD, HENRY.  
VAN NOSTRAND, REINHOL COMPANY.  
1981.
- 8.- CIENCIA DE LOS MATERIALES ( TEORIA, ENSAYO Y TRATAMIENTO  
DE LOS MISMOS ).  
COCA, REBOLLEDO P.  
EDITORIAL COSMOS.  
SEPTIMA EDICION, 1976.
- 9.- CUERPO REGIONAL " METALURGIA DE LA SOLDADURA DEL ACERO "  
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.  
GERENCIA DE TECNOLOGIA DE MATERIALES.  
NOVIEMBRE DE 1986.

10.- LA CORROSION EN LA INDUSTRIA PETROLERA.

GERENCIA DE REFINACION SUPTCIA. GRAL. DE INSPECCION Y  
SEGURIDAD ( PEMEX ).

11.- ACEROS Y ALEACIONES ( PROPIEDADES, APLICACIONES Y SOLDA  
BILIDAD ).

FIGUEROA RUANO C.  
GRAFICA TURRILES, S.A. DE C.V.  
PRIMERA EDICION, 1984.