

216
2g.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"PROCEDIMIENTO DE INSPECCION Y
REPARACION EN RECIPIENTES SUJETOS
A PRESION"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

ERNESTO GARCIA MENA

ASESOR DE TESIS: ING. ENRIQUE CORTES GONZALEZ.

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

264519



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AVENIDA DE
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Procedimiento de inspección y reparación en recipientes sujetos a presión"

que presenta el pasante: Ernesto García Mena
 con número de cuenta: 8608998-4 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista

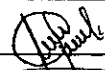
Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.
 "POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

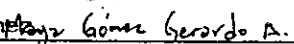
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 18 de Mayo de 1998

PRESIDENTE Ing. Eduardo Covarrubias Chávez 

VOCAL Ing. Enrique Cortés González 

SECRETARIO Ing. Jesus García Lira 

PRIMER SUPLENTE Ing. Humberto Neri Mondragon 

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Gerardo A. Maya Gómez 

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES.

SR. ERASMO GARCIA HERNANDEZ

SRA. MARIA MENA DE GARCIA.

QUIERO AGRADECER SU CONSTANTE APOYO, CARIÑO SINCERO, Y ANTE TODO, SU CONFIANZA Y AMOR QUE ME BRINDARON A LO LARGO DE MIS ESTUDIOS. LOS QUIERO Y ADMIRO, ERNESTO.

A MIS HERMANOS.

BLANCA ESTELA, EDUARDO, JUAN MANUEL, LETICIA, ERASMO, ELIZABETH, AZUCENA Y ARACÉLI, POR EL CARIÑO QUE DE ELLOS RECIBO A DIARIO.

Mi más sincero agradecimiento a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por la formación académica que de ella he recibido,

A MIS PROFESORES.

Por su ardua labor y gran esfuerzo cotidiano.

A MI ASESOR.

Ing. Enrique Cortés González, porque además de ser un gran maestro, es un gran amigo.

A MI JURADO.

Ing. Eduardo Covarrubias Chávez.

Ing. Jesús García Lira.

Ing. Humberto Neri Mondragón.

Ing. Gerardo Maya Gómez.

Por su amable trato para conmigo.

Y a todas aquellas personas que influyeron en mi vida profesional, quiero agradecer su amistad y confianza, ya que para mí fué un estímulo constante y de gran valor moral.

INDICE.

	Página
INTRODUCCION.	1
<u>CAPITULO I. MATERIALES.</u>	
I.1. ENLACES.	3
I.2. ORDENAMIENTO ATOMICO.	5
I.3. ESTRUCTURA CRISTALINA.	7
I.4. SOLUCIONES EN METALES.	8
I.5. SOLIDOS NO CRISTALINOS.	11
<u>CAPITULO II. METALES Y ALEACIONES.</u>	
II.1. DIAGRAMA DE ESTADO.	14
II.2. DIAGRAMA HIERRO-CARBONO.	15
II.2.1. PROPIEDADES DE LOS ACEROS AL CARBON EN ESTADO DE EQUILIBRIO.	17
II.3. TRATAMIENTO DE LOS ACEROS.	19
II.3.1. TRATAMIENTOS TERMICOS.	20
II.3.2. TRANSFORMACIONES EN LOS ACEROS.	21
II.3.3. TRATAMIENTO TERMOQUIMICO.	25
II.3.4. TRATAMIENTO MECANICO.	27
<u>CAPITULO III. PRUEBAS MECANICAS Y PROPIEDADES ELASTICAS.</u>	
III.1. INTRODUCCION.	29
III.1.1. PRUEBA DE TRACCION.	29
III.1.2. PRUEBA DE COMPRESION.	32
III.1.3. PRUEBAS DE DUREZA.	32
III.1.4. PRUEBA DE IMPACTO.	34

	Página
III.1.5. FRACTURA.	35
III.1.6. FATIGA.	40
III.1.7. FLUENCIA (CREEP).	42
III.2. ELASTICIDAD.	45
III.3. EFECTOS TERMICOS.	46
III.4. PLASTICIDAD.	46
III.4.1. DEFORMACION PLASTICA.	47

CAPITULO IV. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

IV.1. NORMAS DE PROYECTO.	51
IV.2. ESPESOR MÍNIMO PERMITIDO DE MATERIAL.	53
IV.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.	54
IV.3.1. MATERIALES PARA SERVICIO NO CORROSIVO.	56
IV.3.3. MATERIALES PARA SERVICIO CORROSIVO.	56

CAPITULO V. TECNOLOGIA DE LA SOLDADURA.

V.1. HISTORIA DE LA SOLDADURA.	62
V.2. PROCESO DE LA SOLDADURA.	62
V.2.1. SOLDADURA POR FUSION Y SIN FUSION.	64
V.3. ALCANSE Y DIVERSIDAD DE LA SOLDADURA.	65
V.4. ENSEÑANZA DE LA SOLDADURA.	66
V.4.1. REQUISITOS PARA LA SOLDADURA.	67
V.5. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL PROCESO DE SOLDADURA CON ARCO ELECTRICO.	68
V.6. REQUERIMIENTOS PARA RECIPIENTES A PRESION CONSTRUIDOS POR SOLDADURA.	71

CAPITULO VI. PROCEDIMIENTO DE INSPECCION Y REPARACION EN RECIPIENTES SUJETOS A PRESION.

	Página
VI.1. DEFINICIONES.	80
VI.2. INSPECCIONES DE RECIPIENTES A PRESION.	81
VI.2.1. INSPECCION GENERAL.	81
VI.2.2. TECNICAS DE INSPECCION.	82
VI.2.3. INSPECCION EXTERNA DE RECIPIENTES A PRESION.	83
VI.2.4. INSPECCIONES INTERNAS DE LOS RECIPIENTES A PRESION.	86
VI.2.5. PREPARACION Y PRECAUCIONES DE SEGURIDAD PARA INSPECCION INTERNA.	89
VI.2.6. PRUEBAS DE PRESION.	92
VI.3. REPARACIONES Y MODIFICACIONES A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION, MEDIANTE SOLDADURA.	93
VI.3.1. REQUISITOS GENERALES PARA REPARACIONES Y DIFICACIONES.	94
VI.3.2. REPARACION A RECIPIENTES A PRESION.	95
VI.4. SOLDADURA Y PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.	98
VI.4.1. CONTROL DE SOLDADURA.	98
VI.4.2. INSPECCION DE JUNTAS SOLDADAS.	98
VI.4.3. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.	99
VI.5. INSPECCION EN SERVICIO DE RECIPIENTES A PRESION.	103
VI.5.1. BITACORA DE INSPECCION.	103
VI.5.2. DETERMINACION DE LA FORMACION PROBABLE DE CORROSION.	105
VI.5.3. PERIODO MAXIMO ENTRE INSPECCIONES.	106
VI.5.4. INSPECCION POR CORROSION Y OTROS DETERIOROS.	110
CONCLUSIONES.	113
BIBLIOGRAFIA.	114

INTRODUCCION.

De manera general se entiende como recipientes a presión a una gran variedad de aparatos depósitos, tales como: generadores o calderas de vapor, recalentadores y economizadores de agua y, en general aquellos aparatos industriales en cuyo interior puede producirse presión.

A primera vista pudiera parecer que la única característica común a estos aparatos es el encontrarse sometidos a presión interna. La realidad es que existen muchas otras características comunes, incluso en aquellos recipientes, al aparecer más dispares, al estar todos ellos constituidos por un envoltivo o cáscara metálica y por elementos semejantes tales como: placas tubulares, bridas, tubos, cinturones, soportes, aparatos de medición etc.

El propósito del siguiente trabajo de tesis es el de ofrecer una guía práctica para el ingeniero mecánico, la cual le sirva como referencia para tener el criterio y conocimiento de cómo debe llevarse a cabo la inspección y reparación de recipientes sujetos a presión.

El enfoque general que se adoptó consiste en ofrecer una exposición de los aspectos fundamentales de cada tema y a continuación describir la teoría.

En el capítulo uno, se exponen las características y propiedades de los materiales, así como sus diferentes estructuras atómicas y tipos de enlaces. Los metales y aleaciones además de sus diagramas de estado y propiedades, se concentran en el capítulo dos. El capítulo tres trata de las pruebas mecánicas de los materiales y de sus propiedades (elástica y plástica), dándole mayor énfasis y las pruebas de fatiga, fractura y creep. En el cuarto capítulo

se tomaron en cuenta, y de forma general, las consideraciones que anteceden al diseño y construcción a los recipientes sujetos a presión. El quinto capítulo contempla la tecnología de la soldadura, su historia, sus avances y requerimientos que se rigen de acuerdo al código ASME para recipientes a presión construidos por soldadura. Por último, el capítulo seis manifiesta el procedimiento que debe llevar a cabo el inspector al revisar los recipientes sujetos a presión para su valoración y veredicto; éste procedimiento se apega de igual manera al código ASME sección VIII div. 1 y 2.

El "CODIGO ASME" (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos), surge de la necesidad de crear seguridad en el manejo, diseño y construcción de recipientes a presión; su origen data de principios de 1900´s en los Estados Unidos de Norteamérica. Este organismo cuenta con gran renombre en el mundo y es ampliamente recomendado. México se rige por éste código, además de Canadá y otros países.

CAPITULO I. MATERIALES.

Las propiedades de los materiales que interesan al diseñador son las propiedades mecánicas y éstas como cualquier otra propiedad están determinadas por la estructura atómica del mismo. La estructura, a su vez, depende directamente de los enlaces o posibilidades de enlace que existe entre los átomos y moléculas que finalmente dependen de la estructura interna del átomo, sobre todo el número de electrones y su configuración. Cualquier tratamiento posterior del material modifica dichas propiedades.

I.1. ENLACES.

Un átomo está compuesto de dos partes, el núcleo y los electrones; de estas dos partes son los electrones los que determinan totalmente el comportamiento de los átomos desde el punto de vista cristalino, térmico, mecánico, eléctrico, etc. El enlace entre los átomos se da a través de los electrones y el tipo de enlace proporciona una guía sobre las propiedades generales del sólido.

Los principales tipos de enlace son: *iónico, covalente, metálico y de Van der Waals.*

Enlace iónico.

Se da entre átomos de gran afinidad electrónica esto es uno muy electropositivo y otro muy electronegativo. Los cristales iónicos poseen altas energías de enlace debido a las intensas fuerzas intermoleculares entre los

iones y es común que estos materiales posean gran resistencia y punto de fusión alto.

Enlace covalente.

Se da como consecuencia del traslape de electrones enlazantes produciéndose la disminución de la energía del sistema. Es un enlace altamente direccional muy fuerte lo que manifiesta por una alta dureza y un alto punto de fusión. Bajas temperaturas de fusión y débil consistencia mecánica son resultados de enlaces no covalentes.

Enlace metálico.

Un átomo con pocos electrones de valencia los puede "ceder" fácilmente formando un ion positivo y electrones libres. Estos electrones tienen libertad para moverse dentro de la estructura metálica. Una alta conductividad eléctrica y térmica son manifestación de la presencia de este tipo de enlace.

Estos tres primeros tipos de enlace raramente se encuentran puros, de manera general se pueden presentar combinados lo que ocasiona la diversidad de propiedades de algunos materiales.

Enlace de Van der Waals.

Es un enlace de los llamados débiles. Se da por dipolos internos originados por irregularidades en la distribución electrónica de los átomos. La baja temperatura de condensación de los gases nobles y el alto valor del calor específico del agua manifiestan este tipo de enlace.

Atracciones interatómicas.

Los enlaces químicos también pueden describirse en función de las fuerzas o de la energía potencial entre los átomos. La forma de las curvas de estas magnitudes proporcionan información sobre las propiedades de los materiales.

La fig. I.1 muestra algunas formas de estas curvas y las propiedades que se desprenden de ellas.

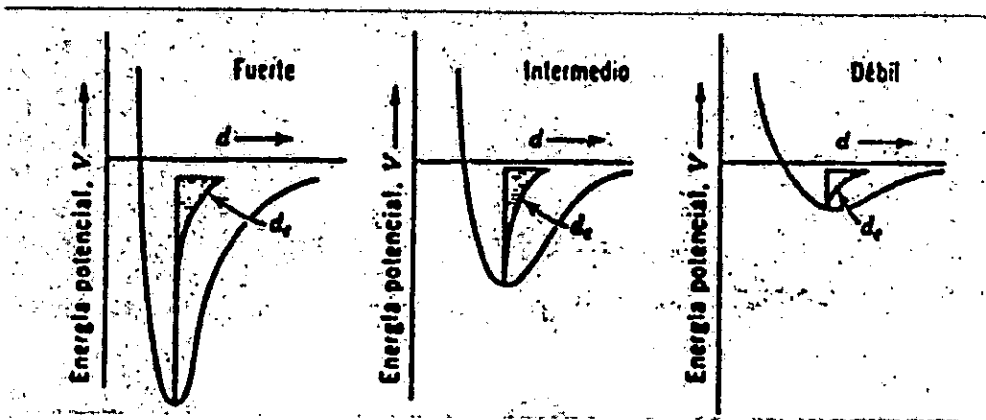


Fig I.1 Punto de fusión, módulo de Young y coeficiente de expansión térmica, relacionados a la forma de la curva potencial de Condon - Morse. La temperatura de sublimación está directamente relacionada a la profundidad del mínimo en la curva; el módulo de Young está inversamente relacionado al radio de la curvatura en la depresión de la curva; y la expansión térmica está relacionada al grado de simetría de la curva.

I.2. ORDENAMIENTO ATÓMICO.

La ordenación local de los átomos es generalmente regular y predecible aún cuando la estructura de largo alcance sea tanto regular (cristalina), como irregular (vítrea).

Las ordenaciones observadas dependen parcialmente de si la unión es o no direccional. Si la unión es direccional, el ordenamiento local está determinado por los ángulos de enlace y puede ser representado por un poliedro cuyos vértices representa las direcciones de intensidad máxima de unión. Si el enlace es no direccional, el ordenamiento depende del tamaño relativo de los átomos. En este caso puede escribirse en términos de un poliedro de coordinación, que se construye conectando los centros de todos los átomos o iones vecinos que tocan uno central y la estructura de largo alcance del sólido puede describirse ya sea en términos de la ordenación atómica o de ordenaciones de poliedros de unión.

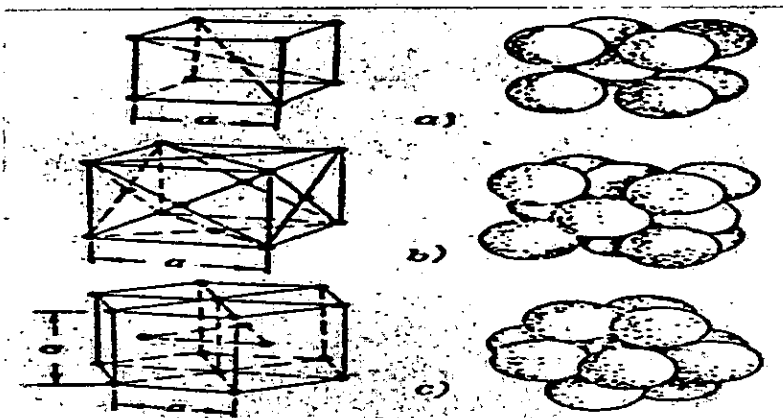
Los átomos de elementos metálicos están unidos no direccionalmente y solidifican en un ordenamiento tan compacto como sea posible. Para este ordenamiento los átomos pueden verse como esferas rígidas y apiladas. El número de átomos que pueden apilarse en torno a uno central de tal manera que todos lo toquen, es lo que se conoce como *Número de Coordinación*.

Aproximadamente dos tercios de los metales exhiben ordenamiento *Hexagonal Compacto (HC)* o *Cúbico de Caras Centradas (CCaC)*, la mayoría del Tercio restante, que no solidifica como estructura compacta, son los metales alcalinos (Na, K, etc.) y los de transición (Fe, Cr, etc.) que tienden a presentar una estructura *Centrada en el Cuerpo (CCuC)*.

La figura 1.2 muestra estos tipos de ordenamiento.

Fig. 1.2 Disposición de los átomos en los cristales elementales:

- a) cúbica centrada;
- b) cúbica centrada en las caras;
- c) hexagonal compacta.



I.3. ESTRUCTURA CRISTALINA.

Las estructuras cristalinas son descritas en términos de un concepto geométrico idealizado llamado *Red Espacial* y pueden ser racionalizadas en función de la manera en que se apilan los poliedros de coordinación para minimizar la energía del sólido. Los iones en un metal sólido se encuentran en el espacio en condiciones de equilibrio. La red cristalina está formada de líneas y planos imaginarios que pasan por los puntos de ubicación de los iones. Estos puntos se llaman nodos de la red. La figura I.3 muestra un ejemplo de la red, con líneas gruesas se marca el menor paralelepípedo, *Celda Unitaria*, mediante cuyo desplazamiento sucesivo a lo largo de los tres ejes se puede construir todo el cristal.

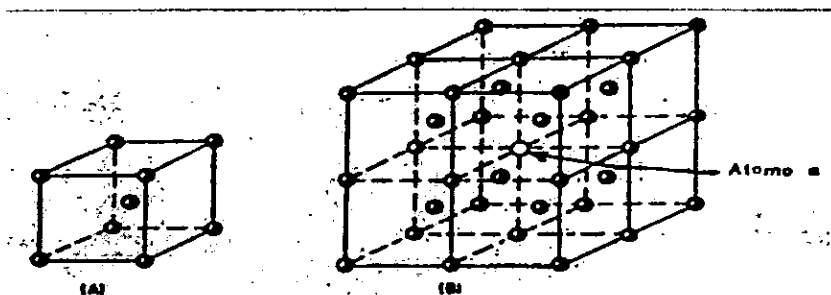


Fig. 1.3 (A) Celda unitaria cúbica centrada en el cuerpo. (B) Ocho celdas unitarias de la red cúbica centrada en el cuerpo.

Las redes cristalinas de distintas sustancias se diferencian por la forma y la magnitud de las celdas unitarias. La estructura cristalina se presenta no solo en metales, también se presenta en materiales cerámicos y en algunos polímeros se presenta como estructura de corto alcance.

La red *cúbica centrada en el cuerpo* (CCuC) se puede encontrar en los siguientes metales: Rb, K, Na, Li, Ti-B, Zr, Ta, W, Mo, V, Nb, Fe-Cr, Ba.

En una red cristalina la densidad de distribución de los átomos es distinta para diferentes planos. Esto es de primordial importancia para el estudio del comportamiento mecánico del material. La anisotropía es la manifestación de esta diferente densidad de átomos. Algunos metales representan lo que se conoce como polimorfismo que es un cambio de Tipo de Celda unitaria, en el hierro se presenta al variar la temperatura en los tratamientos térmicos.

I.4. SOLUCIONES EN METALES.

La aplicación práctica de los metales puros es muy limitada, la mayoría de los materiales que se utilizan son aleaciones, es decir mezclas de dos o más metales diferentes.

Dos o más elementos siempre son totalmente miscibles en el estado gaseoso, no es el caso para todas las combinaciones de metales en estado líquido y en el estado sólido la solubilidad total solamente ocurren en condiciones muy determinadas.

La formación de soluciones sólidas es más difícil de lograr que los otros tipos de soluciones, se forman más fácilmente cuando el solvente y el soluto tienen tamaños y estructuras electrónicas similares y el mismo tipo de estructura cristalina. Estas condiciones se conocen como "Condiciones de HUME-ROTHERY" para solubilidad en estado sólidos.

Las soluciones sólidas son de diferentes tipos:

Soluciones sólidas por sustitución.- Es aquella en la cual los átomos de un elemento sustituyen a los de otro en la estructura del cristal (Ej. Aleaciones Cu-Zn, Ni-Cu). Para una solución de este tipo los átomos deben ser casi del mismo tamaño. Estas soluciones pueden ser ordenadas o desordenadas, fig. 1.4.

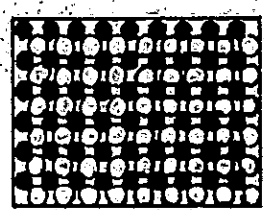
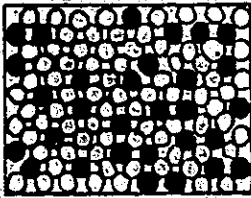


Fig. 1.4 Solución sólida por sustitución caótica (el cinc esta en el cobre, o sea, se forma latón) el patrón del cristal no se altera.

Solución sólida ordenada por sustitución.

Solución sólida intersticial.- Es una solución en la cual los átomos de un metal (átomos pequeños) se ubican en los intersticios entre átomos mayores. El hierro y el carbono son un ejemplo de este tipo de solución: a temperatura menor de 910°C el hierro puro tiene una estructura CCuC , mientras que en el intervalo de temperatura de 910°C a 1400°C tiene una estructura CCaC . En ésta última red cristalina, existen huecos relativamente grandes y no ocupados en el centro de la celda unitaria. El carbono que es un átomo muy pequeño, puede ubicarse en este hueco para producir una solución sólida de carbono en hierro. Cuando el hierro cambia de estructura CCaC a CCuC durante el

enfriamiento, la forma de los huecos de la estructura se modifica y ya no puede alojar al carbono, de modo que la solubilidad del carbono en el hierro CCuC es relativamente pequeña, figura I.5.

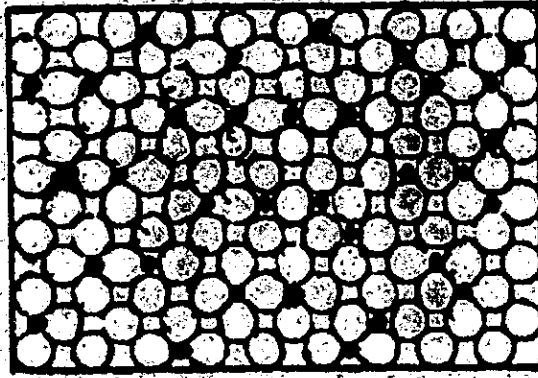


Fig. I.5 Solución sólida por intersticios (carbono en hierro estructura CCuC)

Dependiendo del alcance dimensional de los defectos de la red, solamente teniendo en cuenta desviaciones sobrepasando las dimensiones atómicas, los defectos estructurales se subdividen en:

- 1) Defectos de punto.
- 2) Defectos de línea.
- 3) Defectos de superficie.
- 4) Defectos de volumen.

Los cristales de los metales tienen por lo general pequeñas dimensiones, por esto los objetos metálicos están formados por un número muy grande de cristales; ésta estructura se llama policristalina. Los cristales aislados no presentan una forma regular, los cristales de forma irregular del agregado policristalino se llaman *GRANO* y a sus fronteras Límites de Grano. Estos límites representan la mayoría de los defectos superficiales. La diferencia de los

granos aislados consiste en la diversa orientación espacial de la red cristalina, figura 1.6.

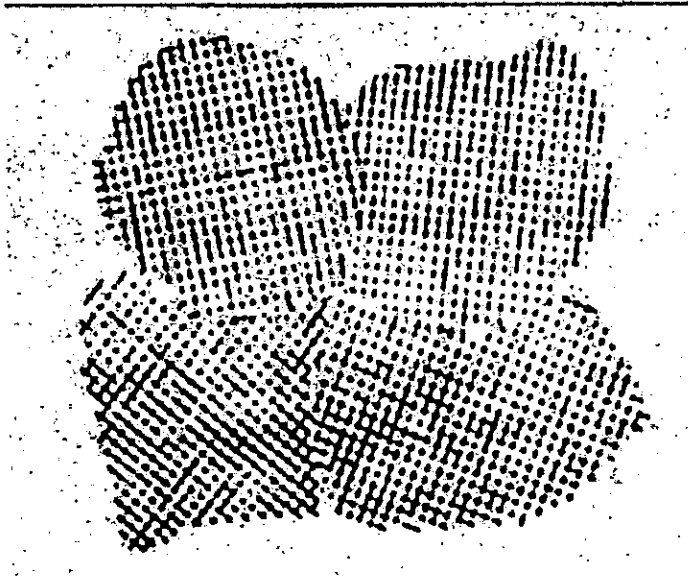


Fig. 1.6 Esquema ilustrativo de la diversa orientación de las redes cristalinas en un cuerpo policristalino.

Como ejemplos de efectos de volumen se tienen la porosidad, grietas e inclusiones.

1.5. SÓLIDOS NO CRISTALINOS.

Muchos sólidos son no cristalinos. Sus estructuras no están compuestas por unidades tridimensionales repetitivas de átomos, ni pueden ser descritos simplemente en términos de imperfecciones en cristales ideales; sin embargo, aunque son no cristalinos, estos sólidos muestran algún orden local, ya sea en la forma de poliedros de coordinación regulares o de moléculas de cadena larga; carecen de orden de largo alcance. Reciben el nombre genérico de vidrios, se incluyen aquí algunos defectos y muchos polímeros de peso

molecular elevado, vidrios comunes de base oxidiza y algunos compuestos inorgánicos.

Aunque son varios los elementos con uniones descritas y estructuras relativamente abiertas que pueden ser templados para formar vidrios a temperaturas próximas al cero absoluto, el azufre y el selenio son los únicos que dan origen a una estructura no cristalina.

La goma natural, la gutta-percha, la baquelita, la ebonita, son ejemplos de compuestos de este tipo de sólidos.

Al igual que los metales, el comportamiento mecánico (cerámicos e inorgánicos) de los materiales no metálicos dependen principalmente de su estructura, que a su vez es función de la composición química, las materias primas y el método de fabricación. Estos materiales pueden formarse por fundido o por sinterización o cementación de la partículas de polvo. Son débiles a la tracción pero en ocasiones poseen alta resistencia a la fluencia a temperaturas elevadas, su resistencia a la oxidación y a la corrosión y a su capacidad de aislamiento térmico y eléctrico.

Por lo general son frágiles pero bajo condiciones experimentales cuidadosamente controladas pueden ser dúctiles.

Por lo que respecta a los polímeros su estructura molecular ejerce una gran influencia en sus propiedades mecánicas, también afectan a ésta el grado de ramificación, polimerización a la magnitud de las uniones cruzadas, un aumento en la cristalinidad aumenta la resistencia y la densidad.

Los polímeros pueden clasificarse como termoplásticos o termofijables, según su comportamiento a temperaturas elevadas. Los elastómeros son un tipo especial de los polímeros con una gran capacidad para extensión reversible y con características térmicas muy peculiares.

Los primeros pueden estar formados por compuestos de carbono pero también por compuestos tales como los silicatos y las sileronas. Las propiedades mecánicas de los polímeros de carbono son muy sensibles a la configuración molecular, la cual está determinado por el método de manufactura. Estas propiedades pueden modificarse por diferentes técnicas.

Agregando plastilizadores se reduce el módulo y la resistencia, pero debido a la disminución que producen en la temperatura de transición vítrea, mejoran la resistencia al choque, la ductilidad facilita la elaboración a bajas temperaturas.

En ingeniería son de gran aplicación cuando se busca una buena relación entre resistencia a peso, presentan también una buena resistencia al desgaste pero se deterioran fácilmente con un exceso de luz o calor o en contacto con diferentes reactivos químicos.

CAPITULO II. METALES Y ALEACIONES.

II.1. DIAGRAMA DE ESTADO.

El diagrama de estado es la representación gráfica del comportamiento de una aleación. Si varía la composición de la aleación, su temperatura, presión y estado también cambian.

El diagrama de estado muestra los momentos estables, es decir, los estados que en unas condiciones dadas poseen el mínimo de energía libre. Por esto el diagrama de estado también puede llamarse diagrama de equilibrio, ya que indica las fases en equilibrio que existen en unas condiciones dadas.

El diagrama de estado representa un caso teórico y en la práctica se utiliza para estudiar las transformaciones a pequeñas velocidades de calentamiento o enfriamiento.

El diagrama de estado indica la variación del estado en dependencia de la temperatura (la presión se considera cte.) y de la concentración. Si el sistema es de un solo componente el diagrama de estado tendrá una dimensión (la escala de temperaturas) y los puntos respectivos sobre la recta indicarán la temperatura de equilibrio del cambio del estado de agregación. Fig. II.1.a)

Si el sistema es binario, la segunda dimensión indica la concentración de la aleación: el diagrama se construye en dos dimensiones (temperatura-concentración), Fig. II.1.b)

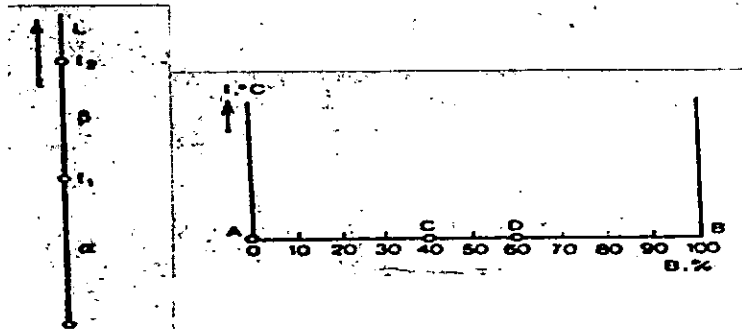


Fig. II.1 a). Variación del estado de agregación, en dependencia de cómo varía la temperatura, en el sistema de un solo componente.

Fig. II.1 b). Coordenadas para presentar el estado de un sistema de dos componentes.

Cada punto de un diagrama de estado indica el estado de la aleación con la concentración dada a la temperatura dada. Cada vertical corresponde a la variación de la temperatura de una aleación determinada. La variación del estado de fase de una aleación se señala en el diagrama por medio de un punto. Las líneas que unen los puntos de transformaciones análogas limitan en el diagrama las regiones de estados físicos análogos. La forma del diagrama de estado depende de cómo reaccionan ambos componentes entre sí en los estados sólido y líquido, es decir, que si son solubles en dichos estados, de si forman compuestos químicos etc.,.

Por lo general, para la construcción de los diagramas de estado se utilizan los resultados del análisis térmico, es decir, se construyen las curvas de enfriamiento y por sus paros e inflexiones, debido al efecto térmico de las transformaciones, se determinan las temperaturas de los cambios de estado.

II.2. DIAGRAMA HIERRO - CARBONO.

El diagrama Hierro-Carbono debe extenderse desde el hierro hasta el carbono y da una idea de las estructuras de las aleaciones de estos elementos, es decir, de los aceros y de las fundiciones.

El hierro forma con el carbono un compuesto químico: La cementita, Fe_3C . Al estudiar los diagramas con compuestos químicos estables cada compuesto puede considerarse como un componente y el diagrama puede estudiarse por partes. Así el diagrama se estudió en la parte que va desde el hierro hasta el compuesto químico Fe_3C ; por lo tanto se puede considerar que los componentes del sistema son el hierro y la cementita.

Como el hierro, además de formar con el carbono el compuesto químico Fe_3C , tiene dos formas alotrópicas, α y γ , en el diagrama se representan las fases siguientes:

LIQUIDO (solución líquida de carbono en hierro) existe por encima de la línea de líquido, **L**.

CEMENTITA Fe_3C , existe en la vertical **DFKL**.

FERRITA, es hierro α que disuelve el carbono en cantidades muy pequeñas, siendo una solución sólida.

AUSTENITA, es una solución sólida de carbono en hierro γ .

A 1499°C (línea HJB) se produce la reacción peritética, en aleaciones que contienen de 0.1 al 0.5% de carbono, por la cual forma la Austenita.

A 1147°C (línea ECF) se produce la reacción Eutéctica, en aleaciones que contienen más del 2.14% de carbono, por lo cual se forma la Ledeburita.

A 727°C (línea PSK) se produce la reacción Eutectoide, en aleaciones que contienen de 0.02% hasta 2.14% de carbono, por lo cual se forma la Perlita.

El análisis de la zona de los aceros en el diagrama de Fe-Fe₃C muestran que todos los aceros, según su estructura se pueden dividir en tres tipos, como se muestra en la siguiente tabla.

Estructura de los aceros al carbón

Tipo de acero	Contenido de carbono	Estructura
Eutectoide	0.8%	Perlita
Hipoeutectoide	0-0.8%	Ferrita + Perlita
Hipereutectoides	0.8-2.0%	Perlita + Cementita

II.2.1. Propiedades de los aceros al carbono en estado de equilibrio.

La estructura de los aceros enfriados lentamente es bifásica, estas fases entran en la composición de la perlita y se encuentran parcialmente en forma de constituyentes sobrantes estructuralmente libre, o sea, ferrita y cementita.

Las propiedades de los aceros se pueden establecer entonces, basándose en las propiedades de cada fase por separado, en este caso la ferrita y la cementita.

La ferrita es una fase relativamente blanda y tenaz mientras que la cementita es una fase dura y frágil.

En la práctica las propiedades del acero se regulan cambiando la estructura de éste con ayuda de tratamientos térmicos.

Influencia de las impurezas constantes en las propiedades de los aceros.

Debido a las condiciones de su producción siempre quedan en la masa del acero impurezas, como: Silicio, Manganeso, Fósforo, Azufre y ciertos gases como Hidrógeno, Nitrógeno y Oxígeno.

El contenido de algunos de estos elementos está dado por los siguientes límites superiores, en %, 0.8Mn, 0.5Si, 0.5P y 0.5S, si su contenido es mayor, el acero debe considerarse aleado.

El silicio, Si, entre los límites 0.17 al 0.37% es una impureza útil en el acero: desoxida el acero y, disolviéndose en la ferrita eleva la elasticidad y rigidez del acero, otra parte forma inclusiones de óxido de silicio.

El manganeso, Mn, entre los límites de 0.25 al 1% es también útil: desoxida el acero, disolviéndose en la ferrita y en la cementita lo endurece formando el carburo Mn_3C , eleva las propiedades mecánicas, aumenta su capacidad de recocido y elimina el efecto perjudicial del azufre.

El Fósforo, P, forma con el hierro la solución sólida Fe (P), de composición química Fe_3P . Eleva la dureza del acero, reduce la plasticidad y su resistencia. Por eso en los aceros comunes se admite un contenido de fósforo no mayor de 0.05% y en aceros finos de 0.03%. Al disolverse en la ferrita eleva bruscamente la temperatura de transición al estado frágil, es decir, provoca la fragilidad en frío del acero. Mejora la maquinabilidad y en presencia del cobre eleva la resistencia a la corrosión.

El Azufre, S, al igual que el fósforo llega al metal procedente del mineral y de los gases del combustible al quemarse (SO_2).

Se permite un contenido de azufre no mayor de 0.05% en aceros comunes, y de 0.03% para aceros finos. Es prácticamente insoluble en el hierro y forma el compuesto FeS, sulfuro ferroso que con el hierro forma una eutéctica a 988°C. Esta eutéctica es fusible y frágil, y situada por lo general a lo largo de los límites de los granos, hace que el acero sea frágil a 800°C y temperaturas superiores lo que dificulta el forjado, el estampado y el laminado.

Para evitar la formación del FeS se introduce un mayor porcentaje de Mn para formar MnS. Al igual que el fósforo mejora la maquinabilidad del acero.

El hidrógeno, nitrógeno y oxígeno se encuentra en el acero en pequeñas cantidades que dependen del procedimiento de fabricación. De estos gases el nitrógeno se encuentra formando inclusiones no metálicas (nitrógeno y oxígeno) entre los granos lo que provoca una fragilización del acero y disminución de sus propiedades, disminuyen la resiliencia y elevan bruscamente el umbral de fragilidad en frío. La presencia del hidrógeno es causa de que aparezcan los "copos" que, bajo trabajo de la pieza, originan concentraciones de tensiones y la consecuente fractura.

II.3. TRATAMIENTO DE LOS ACEROS.

Los tratamientos de los aceros son operaciones que tienen por objeto variar la estructura y por lo consiguiente sus propiedades mecánicas. La elevación de las propiedades mecánicas de los metales o aleaciones permite aumentar las tensiones permisibles y reducir el tamaño y peso de los elementos que se diseñan.

Los tratamientos son fundamentalmente: Térmicos, Termoquímicos y Mecánicos o alguna combinación de estos.

II.3.1.Tratamientos térmicos.

Por tratamiento térmico se entiende el conjunto de operaciones de calentamiento, permanencia y enfriamiento de las aleaciones de metales en estado sólido con el fin de cambiar su estructura y mejorar sus propiedades.

Los principales factores que determinan el régimen de tratamiento térmico son la temperatura y el tiempo; por lo tanto cualquier régimen de tratamiento se puede representar gráficamente en función de estos dos factores.

Para que cambien las propiedades de una aleación es necesario que como resultado del tratamiento térmico se produzcan en ella variaciones estables, debidas a las transformaciones de fase. Si un metal o aleación, como consecuencia de un tratamiento precedente, no está en estado de equilibrio, al calentarlo, es posible que el material se aproxime a su estado de equilibrio.

Todos los tipos de tratamientos térmicos pueden dividirse en cuatro grupos principales.

1er. Grupo. Tratamiento llamado recocido, consiste en calentar un metal, que como resultado de un tratamiento anterior cualquiera se encuentra en estado inestable, para pasarlo a un estado estable.

2ndo. Grupo. Tratamiento llamado recocido de segundo género o de recristalización física y que consiste en calentamiento hasta una temperatura superior a la de transformación de fase y el enfriamiento a pequeña velocidad para que

la aleación entre en equilibrio estructural, la transformación inversa se efectúa de una manera total.

3er Grupo.

Tratamiento llamado temple que consiste en calentar la aleación hasta una temperatura superior a la de transformación de fase y con un enfriamiento rápido tratar de mantener, a temperatura ambiente, el estado de aleación característico de las altas temperaturas.

4o Grupo.

Tratamiento llamado revenido que consiste en el calentamiento hasta una temperatura inferior a las de transformación de las fases de una aleación que ha tenido un tratamiento previo con cambio de fase. Si el revenido, se efectúa a la temperatura ambiente o con un calentamiento poco elevado, se llama envejecimiento.

II.3.2.Transformaciones en los aceros.

En el tratamiento térmico las transformaciones de fase que se presentan en el acero se deben a que, como consecuencia del cambio de las condiciones, por ejemplo, de la temperatura, un estado resulta ser menos estable que el otro. Las estructuras fundamentales del acero son tres y las transiciones entre ellas caracterizan las transformaciones principales. Estas estructuras son:

Austenita (A). Martensita (M). Perlita (P).

En el tratamiento Térmico del acero se observan cuatro transformaciones principales.

P ----- A
 A ----- P
 A ----- M
 M ----- P

La transformación de una fase en otra es un proceso de nucleación y crecimiento de los cristales de la nueva fase.

En las propiedades del acero influyen el tamaño de grano y este depende de la magnitud de la temperatura de calentamiento.

El tipo de transformación que se presenta al enfriar la austenita se obtiene a partir de las curvas de transformación isoterma o Anisoterma de la austenita. En la fig. II.2 se muestra el diagrama de transformación isoterma de un acero eutectoide.

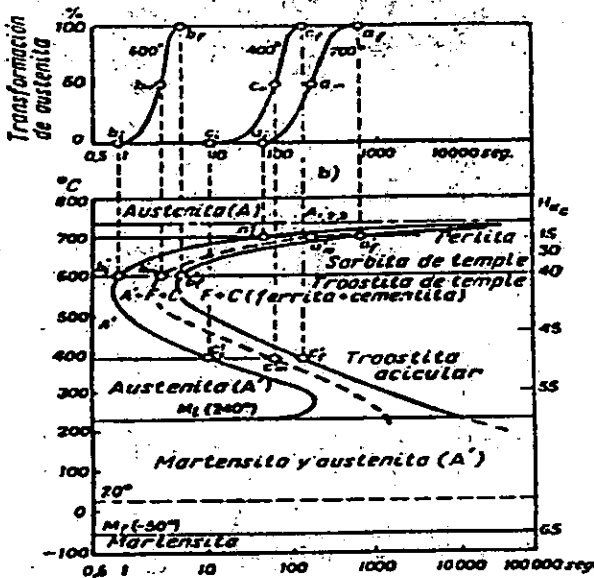


Fig.II.2 Diagrama de transformación isotérmica de la austenita en el acero eutectoide

Las estructuras especificadas como Sorbita de Temple, Troostita de Temple y Troostita acicular, son estructuras perlíticas que solo difieren entre si por el grado de dispersión de la ferrita y la cementita.

Con un enfriamiento anisotermico de la austenita, regulando las velocidades de enfriamiento, se consiguen las mismas estructuras típicas que por el método Isotérmico.

Un ejemplo de curvas de enfriamiento para distintos procedimientos de temple se presenta en la fig. II.3.

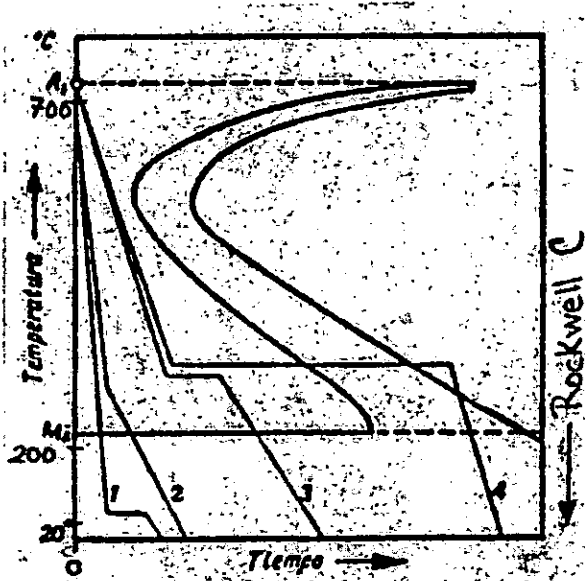


Fig. II.3 Curvas de enfriamiento para distintos procedimientos de temple trazadas en el diagrama de descomposición Isotérmica de la austenita.

- 1.- temple en un medio de enfriamiento;
- 2.- temple interrumpido (temple en dos medios);
- 3.- temple por etapas;
- 4.- temple isotérmico.

Curva 1. Es el procedimiento más simple pero se crean tensiones residuales considerables. Para acero al carbono se usa como medio de enfriamiento el agua, y para aceros aleados el aceite.

Curva 2. Se usa para disminuir las tensiones residuales. Normalmente se enfría rápidamente en agua hasta aproximadamente 300°C y luego se enfría en aceite o al aire. Se presenta la dificultad de regular el tiempo de permanencia en el agua.

Curva 3. Elimina la dificultad anterior, primero se enfría rápidamente en un baño de sales que tiene una temperatura un poco mayor que la de M_s y luego se enfría al aire.

Curva 4. Permite conseguir estructuras de tipo perlítico (sorbita, troostita) enfriando en un baño de sales con temperatura dada permaneciendo en él hasta que termine la transformación de la austenita. Se obtienen durezas de aproximadamente 45 a 55 Rc.

Influencia de elementos aleantes.

La finalidad de alear los aceros es modificar sus propiedades en función de cierta necesidad.

Los aleantes metálicos se disuelven en la ferrita y la austenita, formando soluciones sólidas por sustitución, los aleantes no metálicos (B, C, N, O, H) forman soluciones intersticiales.

La presencia de aleantes modifica tanto el diagrama Fe-Fe₃C como la posición de las curvas de enfriamiento.

Los elementos que forman carburos (Cr, Mn, Mo, W, V, Ti) elevan la dureza y la resistencia mecánica del acero. El Ni, Si, Co, Al, Cu, N. No forman carburos, sin embargo el Ni, Si, y Al, constituyen la descomposición de los carburos o sea la grafitación.

La fig. II.4 muestra la influencia de elementos aleantes sobre la posición del punto M, y sobre la cantidad de austenita residual.

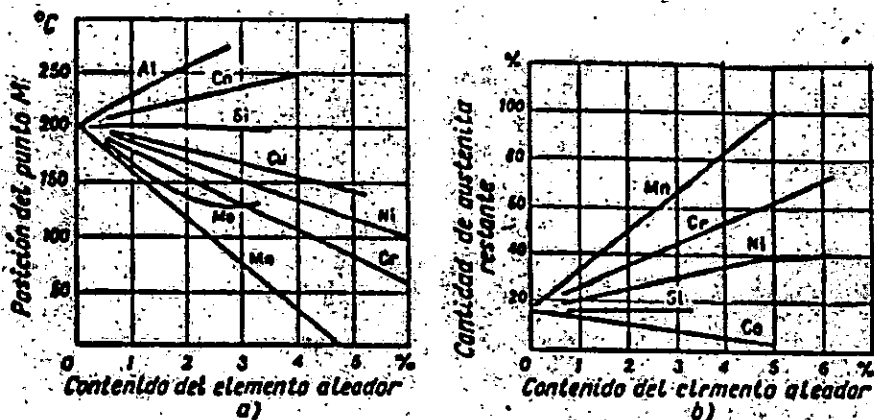


Fig. II.4 influencia de los elementos de aleación en la posición del punto de transformación martensítica (a) y con cantidad de austenita residual (b) en los aceros con contenido del 1% de carbono.

II.3.3. Tratamiento termoquímico.

El tratamiento termoquímico consiste en enriquecer por difusión, las capas superficiales de la pieza de acero con elementos: Carbono (cementación), nitrógeno (nitruración), carbono y nitrógeno (carbonitruración o cianuración), aluminio (calorización), cromo (cromado), etc. Para elevar la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y otras propiedades.

Cementación. Es la saturación de las superficies de los aceros con carbonos para aumentar la dureza y la resistencia al desgaste de la capa superficial y

conservando un núcleo blando. Para este tratamiento se usan diferentes medios: sólido, líquido y gaseoso. La capa carburada de la pieza adquiere una alta dureza y resistencia al desgaste sólo cuando se somete a un temple y revenido.

Nitruración. El objeto de la nitruración es el de elevar la dureza y resistencia del desgaste y resistencia a la corrosión de la capa superficial de la pieza. Después de un temple y alto revenido las piezas se someten a la nitruración, en amoníaco, a una temperatura de 500° a 520°C. Este tratamiento es adecuado para aceros aleados pero no para aceros al carbono.

Cianuración o Carbunitruración. Es un proceso de saturación simultánea de la capa superficial del acero con carbono y nitrógeno para elevar la dureza y la resistencia al desgaste. Si el medio es líquido se llama cianuración y si es gaseoso se llama carbonitruración. Después de la carbonitruración es necesario un temple y bajo revenido.

Para impartir a la capa superficial una gran resistencia a la formación de óxido, resistencia de calor, resistencia a la corrosión, dureza y resistencia al desgaste se satura la capa con metales como Al, Cr, Si. En estos casos el tratamiento se llama recubrimiento por cementación y se puede realizar en medio sólido, líquido y gaseoso.

La alitación (calorización). Es la saturación de la capa superficial de la pieza de acero con aluminio, y se hace para elevar la resistencia al calor. Formando una capa de óxido Al_2O_3 que protege contra la oxidación posterior para eliminar la fragilidad las piezas aleadas se someten al recocido de difusión a 900°-950°C.

La cromización. Se efectúa a 900°-1000°C. El cromado por difusión eleva la resistencia a la corrosión, resistencia a la formación de óxido, aumenta la dureza y resistencia al desgaste. Se efectúa en un medio que contenga cloruro de cromo.

La silicación. Se efectúa en un medio que contenga cloruro de silicio. La silicación eleva la resistencia a la corrosión en agua de mar, ácidos nítricos, sulfúricos y clorhídrico, aumenta la resistencia al calor y al desgaste.

II.3.4.Tratamiento mecánico.

El tratamiento mecánico de los metales puede realizarse tanto en caliente como en frío. Estos métodos aprovechan las propiedades plásticas del metal, o sea, su capacidad de cambiar de tamaño y forma sin destruirse bajo la acción de fuerzas externas.

Para realizar la deformación plástica, el material se somete a una tensión que rebasa el límite de cedencia, pero menor que la resistencia a la rotura. Al aumentar el grado de deformación, los granos giran, se trituran, y sus fragmentos se orientan en dirección de la deformación formando una estructura fibrosa de tal forma que la deformación plástica del metal esta acompañada con el refinado de los granos. La deformación plástica en frío altera las propiedades del material, aumenta la resistencia mecánica y la dureza, además disminuye el alargamiento relativo y la resiliencia así como la resistencia a la corrosión.

El cambio de propiedades del metal deformado en frío se denomina acritud. Si la deformación no es bastante grande de la acritud del metal resulta superficial (endurecimiento superficial por deformación en frío).

El metal deformado esta en un estado inestable por lo cual se somete a un tratamiento de recristalización (recocido).

Si el tratamiento mecánico se efectúa a una temperatura superior a la de recristalización, los procesos de refinamiento de los granos y de recristalización se verifican simultáneamente.

CAPITULO III. PRUEBAS MECANICAS Y PROPIEDADES ELASTICAS.

III.1. INTRODUCCION.

La producción y uso de materiales dependen, en gran parte, de sus propiedades mecánicas, tales como resistencia, dureza y ductilidad. Es posible obtener valores numéricos que describan estas propiedades mediante el uso de pruebas patrón de tracción, dureza, impacto, creep y fatiga y es de vital importancia entender el significado de la información que de ellas se obtiene. Así por ejemplo, la capacidad de un material para soportar una carga estática puede determinarse mediante una prueba de tracción o de compresión. De las pruebas de dureza se deduce la resistencia a deformarse de manera permanente.

Si estas pruebas se efectúan sobre un intervalo de temperaturas se puede obtener información sobre la transición de comportamiento dúctil o frágil en función de la temperatura.

Con las pruebas de fatiga se tiene una medida del período de vida útil de un material sometido a cargas cíclicas; las de fluencia y rotura bajo carga se efectúan para evaluar el comportamiento de un material sometido a una carga y a una temperatura elevada por un período largo.

III.1.1. Prueba de tracción.

En esta prueba se estira hasta la rotura una probeta normalizada, cilíndrica o plana, hecha del material bajo estudio. La muestra se estira por una carga de tracción monoaxial a una velocidad de deformación constante, midiéndose,

como una variable independiente, la carga necesaria para producir un alargamiento específico.

Con los datos de carga y alargamientos obtenidos se construye una gráfica carga-alargamiento.

Así se define el esfuerzo, σ , como la razón de la carga aplicada, P , a la sección transversal original A_0 , esto es:

$$\sigma = P/A_0$$

se define a la deformación, ϵ , como la razón del cambio de longitud de la muestra, Δl , a la longitud original, l_0 .

$$\epsilon = (l - l_0) / l_0 = \Delta l / l_0$$

Puesto que el esfuerzo y la deformación se obtienen dividiendo la carga y el alargamiento por, factores constantes, una gráfica esfuerzo-deformación tendrá la misma forma que la de carga-alargamiento.

La forma y las magnitudes de la curva σ - ϵ de un material o aleación dependerá de su composición, tratamiento, velocidad de deformación, temperatura y estado de esfuerzo creado durante el ensayo. De manera general los materiales que se usan en ingeniería presentan curvas del tipo frágil y dúctil.

La información fundamental que se obtiene de este ensayo tiene que ver con la resistencia mecánica (resistencia de cedencia, resistencia a la tracción) y con la ductilidad (% de alargamiento, % de estricción).

De éstas la resistencia a la tracción es el valor citado con más frecuencia y es útil para especificaciones y para el control de calidad de un producto.

También son de utilidad las diversas correlaciones empíricas encontradas entre la resistencia a la tracción y otras propiedades tales como dureza y la resistencia a la fatiga.

Se define la elasticidad como la propiedad que tienen los cuerpos de recuperar su forma original una vez que la carga aplicada se retira. El punto **C** de la curva la divide en dos regiones, de deformación elástica y de deformación plástica.

Para metales y materiales cerámicos, la relación entre esfuerzo y deformación en la región elástica es lineal y la ecuación que la describe recibe el nombre de Ley de Hooke:

$$\sigma = E\varepsilon$$

En donde **E** es la constante llamada Módulo de Young o de Elasticidad que es una medida de la rigidez del material. Cuanto mayor sea el módulo, más pequeña será la deformación resultante de la aplicación de un esfuerzo dado.

Dentro de la región elástica la deformación se presenta con un cambio de volumen mientras que en la región plástica la deformación se presenta únicamente como un cambio de forma. Otra información que puede obtenerse del diagrama $\sigma-\varepsilon$ es la relativa a lo que se conoce como Resiliencia Elástica

El concepto normalmente usado de Resiliencia tiene que ver con la energía absorbida en rotura por choque, tal como se determina en los ensayos de impacto Charpy e Izod.

Se define como tenacidad a la capacidad de un material para absorber energía en el campo plástico. Esta propiedad, puede resistir cargas mayores al límite de cedencia, sin que se produzca fractura, es de gran valor en piezas como acoplamiento de vagones, engranajes, cadenas, ganchos de grúas, etc. Una idea de la resiliencia y de la tenacidad la da el área bajo la curva σ - ϵ entre los límites de cedencia y de rotura respectivamente.

El acero para muelles, con alto contenido de carbono; tiene un límite de cedencia y una resistencia a la tracción más elevados que el acero de construcción con contenidos medios de carbono. Sin embargo, el acero de construcción es más dúctil. El área total bajo la curva es mayor y por lo tanto, es un material más tenaz. Esto indica que la tenacidad es un parámetro que comprende la resistencia mecánica y la ductilidad. A causa de un límite de cedencia más alto, el acero para muelles tiene mayor resiliencia elástica, aunque la tenacidad sea menor.

III.1.2. Prueba de compresión.

Los materiales que presentan un comportamiento frágil son a menudo débiles a la tracción. Estos materiales muestran una baja resistencia a la tracción y ésta varía de una muestra a otra. Sin embargo, esos mismos materiales pueden tener una alta resistencia en compresión. Por todo esto la prueba de compresión es una prueba que se aplica para materiales que presentan este tipo de comportamiento.

III.1.3. Pruebas de dureza.

Cuando hay que seleccionar un material que resista desgaste, erosión o deformación plástica, generalmente la dureza es la propiedad más importante.

La dureza implica, en general, una resistencia a la deformación permanente que está relacionada con la resistencia y el tratamiento térmico del material. Se dispone de varios procedimientos de pruebas de dureza, las cuales se usan según la propiedad particular por la que se tenga interés.

Para el caso de materiales usados en ingeniería la dureza a la penetración es la de mayor interés.

Las cuatro medidas de dureza más empleadas son las llamadas índices o número Brinell, Rockwell, Vickers y Knoop.

En la mayoría de los sistemas de ensayo de dureza se utiliza una carga normalizada, la cual se aplica a una bola o un cuerpo piramidal (penetradores) puestos en contacto con el material en prueba. En este caso la dureza se expresa en función de la profundidad de la penetración resultante. Así la dureza es una propiedad fácil de medir, porque el ensayo no es destructivo y no se requieren probetas.

Algo particularmente valioso de los ensayos de dureza es el hecho de que algunos de los números de dureza sirven para obtener una buena estimación de la resistencia a la tracción (resistencia última) del material.

Aunque el ensayo Rockwell puede utilizarse para cualquier tipo de material y es el más fácil y rápido, de manera general puede decirse que el ensayo Brinell se utiliza para materiales no templados (laminados, forjados, moldeados, etc.) y el Rockwell para materiales "duros".

El ensayo de dureza Vickers se utiliza para medir la dureza de las capas finas exteriores que se originan después de un tratamiento de endurecimiento superficial (cementar, nitrurar, cianurar) así como la dureza de materiales más

duros y piezas de sección pequeña. Los números de dureza Brinell y Vickers coinciden en materiales cuya dureza es de hasta 450 unidades.

El ensayo de microdureza Knoop se emplea para determinar la dureza de las capas superficiales muy finas, piezas pequeñas, diferentes constituyentes estructurales de las aleaciones, hilos metálicos, etc.

III.1.4. Prueba de impacto.

La determinación de la temperatura de transición se efectúa por pruebas de impacto en barras con muescas. Con esta prueba se mide la energía necesaria para romper una barra con muesca patrón por una carga bajo impulso y, por lo tanto, es un indicio de la tenacidad en presencia de muescas, de un material sometido a carga de choque. Para el ensayo se libera un péndulo desde una altura conocida golpea y rompe la muestra. Conociendo la masa del péndulo y la diferencia entre la altura inicial y final, se puede calcular la energía que se observa en la fractura. La concentración de tensiones en la base de la muesca produce una fractura con muy poca deformación plástica. Una concentración de tensiones, también se presenta en zonas de inclusiones en los límites de grano, fisuras internas y fases secundarias.

La información de la prueba de impacto también es útil como una herramienta en la producción, ya que permite la comparación de materiales manufacturados con otros que han demostrado dar un servicio satisfactorio. Los aceros al igual que la mayor parte de otros materiales absorben más energía al romperse de modo dúctil que frágil, por ello la prueba de impacto se emplea a menudo para evaluar la temperatura de transición.

La temperatura de transición también depende de la geometría de la muesca.

Para materiales idénticos cuanto más aguda es la muesca, mayor será la temperatura de transición.

La determinación de la temperatura de transición está basada en:

- 1) Transición en absorción de energía.
- 2) Transición en ductilidad (contracción en la base de la muesca).
- 3) Transición en fractura (cambio en la apariencia externa de la fractura).

La tenacidad en la entalla de un material se puede establecer realmente sobre la base de dos temperaturas de transición. La temperatura de transición de la ductilidad que está relacionada con la tendencia a la iniciación de la fractura, por debajo de la cual se producen fácilmente fracturas de despegue completamente frágiles. La temperatura de transición de la fractura, relacionada con las características del material en lo que respecta a la propagación de la grieta; por arriba de esta temperatura la fractura se produce por cizallamiento. En la región intermedia entre las dos temperaturas de transición, las fracturas se inician difícilmente, pero una vez iniciadas se propagan rápidamente con poca absorción de energía.

La temperatura de transición de la ductilidad es generalmente más adecuada para la estimación del comportamiento en servicio, porque si es difícil que se inicie una grieta, no hay que preocuparse de su propagación.

III.1.5. FRACTURA.

Fractura es la separación de un cuerpo en dos o más partes y puede tener características dúctiles o frágiles, y está influenciada por el tipo de esfuerzo

aplicado, las características geométricas de la muestra y las condiciones de temperatura y velocidad de deformación.

La fractura es el resultado de dos procesos: La iniciación y la propagación de grietas.

La fractura frágil ocurre por una propagación rápida de la fisura después de poca o ninguna deformación plástica. En materiales cristalinos esta se propaga a lo largo de ciertos planos cristalográficos característicos denominados planos de clivaje; en este tipo de materiales la fractura presenta una apariencia granular debido a los cambios de orientación de los planos de clivaje entre cada grano. También puede propagarse siguiendo una trayectoria a lo largo de los límites de grano. En ambos casos la fractura se produce en una dirección perpendicular a la componente máxima del esfuerzo de tracción.

La fractura dúctil se produce después de una deformación plástica extensa, y se caracteriza por una propagación lenta de la fisura por medio de un proceso de formación y coalescencia de micro huecos que se producen como el resultado del deslizamiento en el plano activo a causa de tensiones de corte. La superficie de este tipo de fractura tiene una apariencia característica opaca y fibrosa.

Los metales pueden presentar diferentes tipos de fractura dependiendo del material, temperatura, estado de tensión y velocidad de deformación.

En los metales CCuC y HC se han observado fracturas frágiles, pero no en los CCaC a no ser que existan factores que contribuyan a la fragilización de los límites de grano.

Las fracturas se clasifican de acuerdo con características tales como deformación, forma cristalográfica y aspecto.

Basándose en el examen metalográfico las fracturas de las muestras policristalinas se clasifican en Transgranular (la grieta se propaga a través de los granos) o Intergranulares (la grieta propaga a lo largo de los límites de grano). El límite entre una fractura dúctil y otra frágil es arbitrario, así por ejemplo las fundiciones nodulares son dúctiles cuando se comparan con las fundiciones grises ordinarias, pero se consideran frágiles cuando se comparan con el acero suave.

En los metales de transición **CCcC** la fractura dúctil se caracteriza por una gran absorción de energía. Por lo tanto, es importante evitar el uso de estos materiales bajo condiciones que inducen un comportamiento frágil.

Resistencia cohesiva teórica de los metales.

La resistencia de un metal se debe a las fuerzas cohesivas entre los átomos. En general, las fuerzas cohesivas elevadas están relacionadas con constantes elásticas grandes, puntos de fusión elevados y pequeños coeficientes de dilatación térmica.

Para un metal que cumpla la ley de Hooke la resistencia cohesiva teórica esta dada por:

$$\sigma = (E/a_0)^{1/2}$$

en donde a_0 es el espacio interatómico sin deformación.

La magnitud de la resistencia dada por esta expresión (del orden de unidades de millar en Kg-mm²) es de 10 a 100 veces mayor que las resistencias a la fractura observadas en los metales. Observaciones experimentales permiten establecer que la diferencia entre la resistencia teórica y real de los metales, se debe a imperfecciones estructurales.

Fractura frágil en materiales policristalinos.

En monocristales la fractura ocurre a lo largo de los planos de clivaje, en policristales puede ocurrir a lo largo de dichos planos, a lo largo de los límites de grano. El clivaje transgranular se observa más a menudo en materiales policristalinos puros.

En cambio la fractura intergranular se observa en materiales que tienen depósitos de segregaciones en los límites de grano. Esto se ha observado en aleaciones de tungsteno y molibdeno que contienen oxígeno, carbono o nitrógeno, en aleaciones de cobre, con bismuto ó antimonio y en hierro con cierto contenido de fósforo y en aceros inoxidable austeníticos.

Aspectos metalográficos de la fractura frágil.

En observaciones hechas no se han proporcionado pruebas de la existencia de las grietas de Griffith en metales no deformados; se cree en cambio que éstas se forman como consecuencia de la deformación plástica sobre todo si el material tiene inclusiones. Estas microgrietas no producen necesariamente fractura frágil, pero contribuyen a la anisotropía observada en la resistencia a la fractura dúctil.

El proceso de la fractura frágil puede considerarse entonces como resultante de otras tres:

- 1) Deformación plástica,
- 2) Iniciación de la grieta y
- 3) Propagación de la misma.

Observando a grandes aumentos las superficies de las fracturas se han visto que las fracturas transgranulares presentan un gran número de escalones de despegue y un esquema de ríos de microgrietas ramificadas. Las superficies de fractura frágil intergranular son mucho más lisas, en general con ausencia de escalones de despegue.

Fragilidad de revenido.

Cuando ciertos aceros de baja aleación son revenidos después de un Temple (el cual produce una estructura martensítica) en la zona de 450° a 550°C y se enfrían lentamente se vuelven susceptibles a ciertas formas de fractura por fragilidad intercristalina. Se considera que esto sucede por la segregación de algún elemento en los límites de grano. La tendencia a este fenómeno se ve reducida mediante la adición de pequeños porcentajes de molibdeno. Esto constituye la razón primordial para la inclusión de este elemento en la composición de muchos aceros de baja aleación.

Fragilidad azul.

El fenómeno de Fragilidad Azul representa una pérdida de alargamiento a la tracción en la temperatura de la fragilidad azul y se conoce más en los aceros pero también se presenta en otros metales. El fenómeno ocurre en una zona de temperatura (varios cientos de grados centígrados sobre la temperatura ambiente) en donde se forma una película de óxido de color azul sobre la superficie de una probeta de acero. En sentido estricto el material no se vuelve frágil sino que solo presenta pérdida de alargamiento. Este fenómeno está asociado con el envejecimiento por deformación dinámica y se explica por la interacción de las dislocaciones con los átomos de impurezas.

III.1.6. FATIGA.

Este término describe la falla de un metal bajo la acción de esfuerzos repetidos. Cuando un esfuerzo es aplicado repentinamente dentro de un período de tiempo, muchos esfuerzos pequeños pueden causar la falla de la pieza, en comparación con el esfuerzo requerido para causar la falla por alargamiento o golpe.

Se ha estimado que el 80% de todas las fallas mecánicas son causadas por fatiga. La falla por fatiga presenta una fractura de tipo frágil, sin deformación notable. La superficie de fractura suele ser, macroscópicamente, normal al eje de la tensión de tracción principal.

Debido a la manera en que se produce la fractura el aspecto de la superficie de entalla muestra dos zonas con apariencias muy diferentes, una lisa debida al frotamiento que ocurre cuando se propaga la grieta lentamente y una rugosa, originada cuando el elemento ha roto por haber disminuido la sección sana al poder soportar la carga.

Son necesarias tres condiciones básicas para que se produzca una falla por fatiga:

- 1) Una tensión de tracción de valor elevado
- 2) Una variación o fluctuación suficientemente intensa de la tensión aplicada y
- 3) Un número suficiente de ciclos

Existen además otras variables que tienden a modificar las condiciones necesarias para la fatiga, entre otras:

Concentración de tensiones, corrosión, temperatura, sobrecarga, estructura metalúrgica, tensiones residuales, acabados superficiales, tensiones combinadas, etc. El efecto es un resultado puramente empírico.

Fatiga con corrosión.

El ataque corrosivo, sin el efecto de tensiones superpuestas, produce generalmente la picadura de las superficies metálicas.

Estas picaduras actúan como entallas y reducen la resistencia a la fatiga.

Existen varios métodos para combatir el deterioro por la fatiga con corrosión.

En general, el material que se halla sometido en servicio a este tipo de deterioro se debe elegir atendiendo más a sus características frente a la corrosión que a las propiedades convencionales de fatiga.

Los aceros inoxidable, el bronce y las aleaciones cobre-berilio tienen un mejor comportamiento en servicio que el acero tratado térmicamente. La protección contra el ataque corrosivo mediante recubrimientos metálicos dará resultados positivos si la capa que recubre no se rompe por la acción de las tensiones cíclicas. Los recubrimientos de zinc, de cadmio y de aluminio sobre el acero ayudan contra la fatiga con corrosión pero pueden reducir la resistencia a la fatiga en el aire. En sistemas cerrados es posible suavizar el ataque corrosivo empleando inhibidores de corrosión. La eliminación de los concentradores de tensiones en el diseño ayuda contra la fatiga con corrosión.

Ludimiento (Fretting).

Es el deterioro de la superficie que resulta del movimiento relativo periódico, ligero, de dos superficies en contacto. El fenómeno guarda más relación con el desgaste que con la fatiga-corrosión. Difiere sin embargo, del desgaste por el hecho de que la velocidad relativa de las dos superficies es mucho menor

que la encontrada usualmente en el último y porque, como las superficies no dejan de estar nunca en contacto, no hay posibilidad para que se eliminen los productos de la corrosión. El ludimiento se encuentra frecuentemente en árboles con un cubo o un cojinete sujeto por presión.

Se produce picadura superficial y deterioro, usualmente acompañado por depósitos de óxido. Las grietas de fatiga se suelen iniciar en el área deteriorada. El ludimiento se produce por una combinación de acciones mecánicas y químicas. Hay remoción del metal superficial por efectos de amoldado o por sucesiva soldadura y desgarre de los puntos más altos. Las partículas removidas se oxidan y forman un polvo abrasivo que continúa el proceso destructivo, este proceso se repite con cada nueva superficie.

No hay métodos efectivos de combatir el ludimiento. Si se evita todo movimiento relativo no hay ludimiento. El uso de lubricantes sólidos y el aumento de la resistencia superficial también ayudan contra el ludimiento.

III.1.7. FLUENCIA (CREEP).

Se ha visto que la resistencia mecánica de los materiales disminuye al aumentar la temperatura, la elevación de la temperatura favorece el desplazamiento de las dislocaciones por el mecanismo de trabajo, aumenta la concentración de equilibrio de las vacantes y habrá posibilidad de que entren en juego otros mecanismos de deformación. En la sollicitación a temperatura elevada es necesario evitar oxidaciones y penetraciones intergranulares de óxido que pueden resultar catastróficas.

Una característica importante de la resistencia mecánica a temperaturas elevadas es que siempre se debe relacionar con una escala de tiempos. A

temperaturas elevadas, la resistencia mecánica depende mucho de la velocidad de carga y del tiempo de exposición; algunos metales se comportan en estas condiciones como materiales viscoelásticos. Un metal sujeto a una carga de tracción constante fluye lentamente (creep) y sufre un aumento de longitud que es función del tiempo.

Los ensayos para medir la resistencia mecánica a temperaturas elevadas deben elegirse de acuerdo con la escala de tiempos adecuada a la duración en servicio que los materiales deban tener. Por ejemplo, un ensayo de tracción a temperatura elevada puede proporcionar información útil sobre el comportamiento de un objeto cuya duración o vida en servicio haya de ser corta (una ojiva o un motor de cohete), pero los resultados, no son aplicables para predecir comportamiento en servicio de una tubería de vapor de la que se exige que aguante durante 100 000 horas en el servicio a temperatura elevada.

El ensayo de fluencia lenta (prueba de creep) mide la variación de dimensiones que se produce durante la exposición a temperatura elevada, mientras que los ensayos de tensión hasta la rotura miden el efecto de la temperatura en la capacidad para soportar cargas durante tiempos largos.

El ensayo de tracción hasta la rotura.

Este ensayo es análogo al de fluencia lenta, con la única diferencia que se prolonga hasta que se produce la falla.

Ordinariamente el ensayo de fluencia lenta se realiza a tensiones relativamente bajas para que no se produzca la fluencia terciaria, y se mide con mucha precisión la deformación, en particular para determinar la velocidad mínima

de fluencia lenta; duran frecuentemente de 2000 a 10 000h. La deformación total no suele pasar de 0.5%.

En los ensayos de tracción hasta la rotura, la deformación total puede ser superior al 50%.

Con tensiones más altas y mayores velocidades de fluencia, el tiempo necesario para que se produzcan las alteraciones del material en los ensayos de fluencia es más corto, por lo que la duración de los ensayos de tracción hasta la rotura se concluyen usualmente en un período de 1000h. Este ensayo es particularmente adecuado para determinar la resistencia mecánica relativa a altas temperaturas de materiales nuevos para empleo en los motores de reacción.

La información básica que suministra el ensayo de tracción hasta la rotura se refiere al tiempo necesario para producir el fallo a una tensión nominal determinada y una temperatura constante dada. También se determina el alargamiento y la estricción de rotura. Si el ensayo es de duración adecuada, se acostumbra medir el alargamiento como función del tiempo para deducir la velocidad mínima de fluencia.

Fractura a temperaturas elevadas.

Cuando la temperatura se eleva hay una transición de fractura transgranular e intergranular. En las condiciones de fluencia lenta se han reservado dos tipos de fractura intergranular; en los puntos triples de coincidencia de granos que resbalan se pueden iniciar las grietas o por la formación de huecos en los límites de grano, especialmente en aquellos que son transversales a las tensiones de tracción. Los huecos crecen y coalescen en una grieta intergranular. Este tipo de fractura es el predominante cuando la tensión es baja y la rotura se produce después de transcurrido un largo tiempo.

III.2. ELASTICIDAD.

La deformación elástica de los sólidos es limitada. La deformación producida en un sólido al aplicarle un esfuerzo desaparece totalmente cuando este esfuerzo se elimina. La relación entre esfuerzo y deformación lineal en algunos materiales, pero muy lejos de serlo en otros, puede correlacionarse cualitativamente con la estructura y tipo de enlace atómicos presentes. Esta relación de esfuerzo y deformación depende también de la temperatura, y en el caso de materiales que han sido deformados previamente, de la dirección cristalográfica.

Todos los materiales cambian su forma, volumen o ambos, bajo la influencia de un esfuerzo o un cambio de temperatura. Se dice que la deformación es elástica si el cambio en forma o volumen producido por el esfuerzo o la temperatura se recupera totalmente cuando se permite al material regresar a su temperatura o sistema de esfuerzo original. En sustancias cristalinas la relación entre esfuerzo y deformación en la región elástica, como se mencionó anteriormente es lineal, mientras que los materiales no cristalinos con moléculas de cadenas largas exhiben generalmente comportamiento elástico no lineal.

La teoría de la Elasticidad Lineal trata con la proporcionalidad entre esfuerzo y deformación en una escala macroscópica, utilizando constantes elásticas que pueden determinarse por medio de pruebas del tipo descrito anteriormente. Así por ejemplo, la ecuación para la porción lineal de la curva σ - ϵ en tracción es $\sigma = E\epsilon$ en donde **E** es la constante de proporcionalidad.

III.3. EFECTOS TERMICOS.

Los átomos en una estructura cristalina tienden a estar arreglados en un patrón definido, las deformaciones microscópicas elásticas son resultado de un cambio en el espacio interatómico.

La expansión térmica es generalmente isotrópica en cristales cúbicos, y solo es necesario un solo coeficiente de expansión para describir la expansión volumétrica. En materiales con otras estructuras cristalinas, que no son isótropos ante este tipo de expansión, se necesitan dos o tres coeficientes en diferentes direcciones para describir el cambio de volumen.

Los módulos medidos estáticamente, son generalmente más bajos que los medidos dinámicamente debido al relajamiento de los límites de grano y por la fluencia que afectan la pendiente inicial de la curva.

III.4. PLASTICIDAD.

Microplasticidad de cristales.- El principal mecanismo en la deformación de materiales cristalinos, es el deslizamiento sobre ciertos planos y a lo largo de ciertas direcciones cristalográficas (sistema de deslizamiento). A altas temperaturas y velocidades bajas de deformación, los materiales policristalinos pueden también deformarse por deslizamiento de los límites de grano o por fluencia difusiva.

La resistencia de un cuerpo cristalino a la deformación elástica o plástica depende de la fuerza de unión entre los átomos. Sin embargo el proceso descrito que produce deformación plástica comprende las imperfecciones puntuales y de superficie.

El deslizamiento es el mecanismo de deformación cristalina más importante y consiste en el desplazamiento de unos planos sobre otros, por medio de dislocaciones en ciertos planos y direcciones resultado de la acción de un esfuerzo cortante en dicho plano.

Por lo general los planos y direcciones de deslizamiento son los más compactos y los más separados. Pero sí el deslizamiento se impide en estos planos por esfuerzos locales elevados por endurecimiento, por límites de grano, etc., otros planos nuevos compactos entran en actividad.

El esfuerzo requerido para iniciar el deslizamiento (tensión tangencial crítica) en un mono cristal puro y perfecto es una constante para cada material, a una temperatura determinada.

Cuando un material es cristalino sufre una deformación plástica, se vuelve más resistente, esto es, se endurece por deformación o trabajo y se requiere un aumento de esfuerzo para continuar deformándolo. La pendiente de la curva define la velocidad de endurecimiento.

III.4.1. DEFORMACION PLASTICA.

En los materiales policristalinos los límites de grano introducen nuevas restricciones al movimiento de dislocaciones. El comportamiento de los materiales policristalinos tiene, entonces, una relación cualitativa con el comportamiento de los monocristales del mismo cristal.

A temperaturas elevadas, la deformación de los materiales mono o policristalinos depende de la velocidad de deformación y la temperatura.

Límites de grano.- Los límites de grano de solidificación o de recristalización son usualmente más resistentes que el material de los mismos granos, a temperatura baja de ahí que la fractura de los metales en esas condiciones sea transcrystalina (por el interior de los granos). En materiales policristalinos no-metálicos, los límites de grano son más débiles que los granos debido a la poca cohesión entre ellos. Esta debilidad intergranular es semejante a la que se encuentra en los metales a temperaturas elevadas.

La segregación de elementos de aleación e impurezas en los límites de grano de los metales afecta su resistencia. Esta segregación puede producir fragilidad en el material a baja temperatura y en ciertos casos aún a temperaturas elevadas (fragilidad en caliente). La segregación en los límites de grano acelera también la corrosión localizada.

La magnitud del impedimento al deslizamiento que producen los límites de grano depende del tamaño de grano (a mayor tamaño menor esfuerzo).

Endurecimiento por deformación.- El endurecimiento por deformación está relacionado únicamente con el aumento de la densidad de dislocaciones. Se supone entonces que durante la deformación existen fuentes de dislocaciones (Manantial de Frank-Read).

Envejecimiento por deformación.- Es posible fijar dislocaciones por átomos extraños como el caso de envejecimiento del acero dulce. En estos materiales los átomos intersticiales de carbono y nitrógeno pueden emigrar al espacio libre creado por las dislocaciones. Esta segregación de los átomos intersticiales se denomina atmósfera de Cottrell. Y es la etapa inicial de la participación de carburos y nitruros.

La difusión de los átomos de carbono y Nitrógeno en hierro CCuC se efectúa en unos cuantos minutos a una temperatura de 100 C pero requiere varios días al ambiente. El envejecimiento consiste en un aumento de la resistencia de cedencia de un material al paso del tiempo depende entonces de la velocidad de la difusión. Las dislocaciones se ven fijadas por estas atmósferas de tal manera que la tensión para moverlas debe ser mayor. Las bandas de Luders son producidas por envejecimiento en piezas que son troqueladas y se les denominan marcas de estiramiento.

Velocidad de deformación.- El nivel de la curva de tensión puede elevarse aumentando la velocidad de deformación. Este aumento es semejante a una reducción en la temperatura. En algunos casos la elevación del nivel de la curva va unida a una reducción en dificultad y en intervalos de temperatura, y puede estar ausente a otras temperaturas o puede producirse un aumento en la ductilidad. Esta sensibilidad del esfuerzo de cedencia con la velocidad de deformación produce una transición de comportamiento dúctil a frágil a una temperatura baja o intermedia.

Velocidad de deformación y temperatura.- El aumento de la resistencia de cedencia en algunos metales CCuC a baja temperatura y velocidad de deformación alta es de tal magnitud que se puede producir clivaje antes que una deformación plástica. Los metales CCaC tienen un aumento de resistencia menos drásticos con poca o ninguna reducción en la ductilidad y tampoco exhiben una reducción brusca en la absorción de energía de impacto o bajas temperaturas. Por eso las aleaciones de aluminio y las austenitas de hierro-níquel, son de gran utilidad para trabajo a bajas temperaturas.

Una disminución en el nivel de la curva a la temperatura puede compensarse por un aumento en la velocidad de deformación.

A temperaturas elevadas la resistencia disminuye por varias razones. La velocidad de endurecimiento disminuye a medida que la temperatura aumenta, ya que los procesos de recuperación se activan y es posible mantener una estructura deformada en frío. Además con un aumento mayor en la temperatura, se puede producir recristalización y crecimiento de grano con lo cual la difusión puede eliminar sus efectos, el metal puede usarse, a temperaturas elevadas, con condiciones de deformación alta y niveles elevados de esfuerzo.

El porcentaje de aumento en resistencia debido a cargas de impacto es mucho mayor a temperaturas elevadas que a bajas.

CAPITULO IV. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

IV.1. NORMAS DE PROYECTO.

El proyecto de recipientes a presión sigue, de manera general, el siguiente proceso:

- 1). Definición de las condiciones de proyecto (tamaño, temperatura, presión, normas).
- 2). Selección de materiales.
- 3). Determinar o tener la información precisa de las características del material específicas para la aplicación concreta.
- 4). Determinación de dimensiones principales (espesor según fórmulas de las normas de proyecto utilizadas).
- 5). Definición del valor permisible a utilizar si el recipiente presenta cambios de geometría.
- 6). Determinadas las dimensiones, se hace una comprobación de resistencia proyectando los detalles constructivos.
- 7). Determinación del tipo de falla más probable de la pieza bajo las condiciones específicas de carga.

- 8). Determinación de las relaciones (fórmulas) entre las cargas y la magnitud (esfuerzo deformaciones, etc.) que se considera significativa de la falla del elemento.
- 9). Definición de posibilidades de falla bajo condiciones extremas, si estas son inadmisibles se repite el cálculo.
- 10). Documentación para construcción, ensayo y operación.

Tanto en el establecimiento de las condiciones de proyecto, como en la selección de materiales y determinación de las dimensiones principales, es necesario, en general, y siempre conveniente el tener en cuenta las normas contenidas en Códigos de proyecto.

Los códigos más representativos para el diseño de recipientes son: el americano (ASME), el inglés (BSI) y el alemán (ADM).

Dichas normas se basan en la limitación de las tensiones nominales calculadas para los elementos constructivos del recipiente a una fracción determinada de la resistencia de rotura, la resistencia en el límite elástico u otra característica mecánica considerada como representativa de la resistencia de materiales.

La relación entre la característica mecánica considerada como representativa que se elige y la tensión nominal de proyecto recibe el nombre de Coefficiente de Seguridad.

Como ejemplo, el Código ASME estipuló originalmente para este coeficiente igual a 5; en ediciones más modernas del código en donde se contemplan recipientes de plantas nucleares este coeficiente se ha visto reducido a 3.

El proyecto y dimensionado de elementos, tales como transiciones cónicas, fondos y refuerzos de penetraciones, se realiza según reglas especiales contenidas en los Códigos.

En la mayoría de los Códigos no se intenta el identificar las distintas formas y causas de fallo con objeto de dimensionar el recipiente. De igual manera solo en pocos Códigos se considera la posibilidad de fatiga. Basta con considerar la resistencia a la rotura bajo carga estática, tanto dúctil como frágil.

El considerar la fiabilidad en el proyecto y construcción ha aumentado el interés en el establecimiento de la resistencia de los recipientes, independiente de la utilización de Códigos de proyecto.

IV.2. ESPESOR MÍNIMO PERMITIDO DE MATERIAL.

El diseño de recipientes y partes de recipientes sujetos a presión, se debe de conformar con los requerimientos generales de diseño; además de los requerimientos específicos para diseño.

Como un principio del diseño, se inicia con la determinación del espesor de pared de las envolventes, así como la sección requerida para el esfuerzo de orificios utilizando una de las normas de proyecto aceptadas por el cliente y la compañía(s) aseguradora(s) o requerida por la(s) ley(es) del país en el que se utilice el recipiente.

Como cada elemento se considera único, este espesor únicamente depende de las presiones de operación de trabajo.

En el caso de recipientes cilíndricos, el peso total, soportado en los extremos, ocasiona un momento flector en el centro. Si la sección del cilindro se

mantiene perfectamente circular, el momento flector da lugar a una tensión longitudinal que se puede calcular tratando al cilindro como viga simplemente apoyada en sus extremos. La situación se complica por el hecho de producirse una ovalización de la sección, lo que da lugar a tensiones circunferenciales de flexión, máximas en un plano horizontal y de magnitud que puede ser muy superior al de las tensiones longitudinales.

Si bien en la mayoría de los casos es posible calcular los esfuerzos unitarios a que se halla sometido determinado recipiente puede ocurrir que la forma de éste o la complejidad de las cargas sean tales que sea preciso construir un modelo o prototipo y proceder a un análisis puramente empírico. Por lo que en tales casos se prefiere trabajar con métodos quizá menos exactos, en los cuales la probabilidad de rotura del recipiente es pequeña, al ser las condiciones de proyecto semejantes a las de otros recipientes en servicio.

El código ASME en lo referente al espesor mínimo de envolventes y tapas menciona que el espesor mínimo permitido independientemente de la forma y el material del producto deberá ser de 1/16 de pulgada.

Otras normas de construcción y proyecto son; la British Standard (B.S. 1515) y la AD Merkblatt, todas estas normas presentan al proyectista una forma clara y resumida de la experiencia acumulada durante muchos años.

IV.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.

La selección de materiales de construcción para recipientes a presión es muchas veces influenciada por el diseño del equipo. Con menos frecuencia las propiedades del material que se requiere dictan el tipo de diseño que puede ser usado. Por un lado la necesidad de economizar en el material, y por el otro

la eficiencia del recipiente a presión, requieren que los metales usados en el recipiente sean de sección transversal relativamente delgada, y esto significa que el material seleccionado debe tener la suficiente resistencia a la corrosión para operar un tiempo razonable sin perforarse.

El hecho que en casi todos los casos el intercambio de calor implica flujo de fluido, significa que el metal puede también estar expuesto a erosión-corrosión o incrustación, que incrementa la severidad de cualquier efecto corrosivo que pueda estar presente. Otras veces, existen casos donde la corrosividad es demasiado severa o la temperatura demasiado alta para que los metales sean adecuados. Para condiciones de alta corrosividad puede ser necesario usar un material frágil tal como vidrio o carbón, y la necesidad de minimizar la exposición a esfuerzos es un factor importante para determinar el diseño. Para aplicaciones de alta temperatura, se puede requerir material refractario y la fragilidad de los refractarios es un factor en el diseño de, por ejemplo, recuperadores.

Los códigos y especificaciones para diseño listan los materiales que pueden ser usados en los recipientes a presión. Se pueden usar otros materiales de común acuerdo con el comprador, la autoridad inspectora, y el fabricante; en general, los códigos y normas especifican la mínima calidad de material que se puede usar.

Los materiales y sus correspondientes esfuerzos de diseño para usarse en conjunto con las especificaciones TEMA para recipientes a presión, se dan en la Sección 8, División 1 del código ASME para calderas y Recipientes a Presión. (Los códigos son mandatorios, las especificaciones son prácticas recomendadas).

IV.3.1. MATERIALES PARA SERVICIO NO CORROSIVO.

El acero austenítico cromo-níquel es el generalmente el más usado para la carcasa y tubo de intercambiadores a las temperaturas más bajas de operación. Sin embargo, un buen intercambiador frío (por ejemplo, en etileno u oxígeno líquido) es el de tipo núcleo, donde capas alternadas de aluminio liso y corrugado se sueldan. Tales recipientes dan la superficie máxima para cualquier volumen dado, y tienen ventaja en el ahorro de espacio donde el equipo de proceso está todo encerrado en una "caja fría".

Para condiciones de bajas temperaturas menos severas, un diseño convencional puede ser más económico, y puede emplearse, en la carcasa y tubo del recipiente, un 3½Ni o un acero al carbón con prueba de impacto. En la práctica es mejor establecer una prueba simple de impacto-temperatura para todas las partes que están expuestas a fluido frío.

Para rangos de temperatura mayores puede ser necesario el uso de acero al carbón o de baja aleación protegido con un recubrimiento refractario. El objeto del recubrimiento es actuar como una barrera térmica, tal que proteja al acero de baja aleación o al carbón y este trabaje a una temperatura aceptable.

IV.3.2. MATERIALES PARA SERVICIO CORROSIVO.

Acero al carbón.

El acero al carbón se usa para un número de atmósferas semi corrosivas. Por ejemplo, es una práctica común en la industria de procesamiento de

hidrocarburos el usar tubos de acero al carbón en contacto con agua fría en enfriadores y condensadores.

Existen otros medios más corrosivos en los cuales el acero al carbón se comporta sorprendentemente bien. Un ejemplo es el condensador superior de una torre de destilación de crudo atmosférica. El condensado es una mezcla de agua e hidrocarburo, mientras que la fase gaseosa puede contener H₂S, o cloruros.

En general es mejor evitar el uso de material aleado donde el acero al carbón es una alternativa viable. La selección de acero aleado puede incrementar los problemas de fabricación, mientras el acero austenítico cromo-níquel está sujeto al riesgo de corrosión bajo esfuerzo debido a contaminación accidental, por soluciones cloradas, ya sea por el equipo o el flujo del proceso.

Acero de baja aleación.

Los aceros carbón-molibdeno o cromo-molibdeno se usan en carcasas o tubos resistentes a la corrosión, por ejemplo contra ataque por sulfuro de mercaptano en hidrocarburos o para resistencia a elevadas temperaturas. Han habido casos donde los recipientes hechos de acero de baja aleación se fracturaron en servicio.

Tales problemas se pueden evitar no usando aceros de baja aleación excepto donde sea necesario, espaciando las toberas tanto como sea práctico.

Aceros inoxidable ferríticos con cromo.

Los aceros inoxidable ferríticos con cromo tipo 12Cr y 17Cr se usan para resistir el sulfuro de mercaptano, el ataque a elevada temperatura por H₂/H₂S, y para condiciones mediante ácidas tales como aquellas debidas a soluciones de CO₂ en agua. Se puede requerir un recubrimiento de acero 12Cr para carcasas o canales expuestos a sulfuros contenidos en hidrocarburos como una alternativa al acero 5Cr½Mo.

Los aceros inoxidable ferríticos y ferríticos-austeníticos están sujetos a revenido frágil y no deben ser operados a temperaturas arriba de 400oC. Las soldaduras en este tipo de aceros son frágiles también, y se deben evitar para partes a presión.

Aceros austeníticos cromo-níquel.

Excepto donde hay un riesgo conocido de corrosión bajo esfuerzo, los aceros austeníticos cromo-níquel se usan para un gran rango de condiciones corrosivas, incluyendo ácidos orgánicos e inorgánicos, fenol, mezclas H₂/H₂S a elevadas temperaturas, y plantas en las cuales se requieren mantener un alto grado de pureza del producto. Hay un número limitado de aplicaciones donde son necesarios los tubos con base-níquel o base cobalto, por ejemplo, ácido hidroc্লórico, ácidos fórmicos y acéticos, cloruro férrico o cúprico, y fósforo o ácido sulfúrico caliente.

Aleaciones con base cobre.

En la práctica estadounidense, el latón admiralty inhibido (aproximadamente 70Cu-30Zn con pequeñas cantidades de arsénico o antimonio) es un material

normal para condensadores enfriados por agua de mar o salobre, con espejos de latón naval rolado (60Cu-40Zn). En Europa se prefiere el latón alumínico debido a su mejor resistencia a los efectos de la velocidad. El latón tiene una resistencia adecuada al CO₂ que contiene el condensado de la turbina de vapor en el vacío del condensador y al H₂S que contiene el condensado. Sin embargo, puede ser atacado por soluciones de amoníaco, y donde el agua o el condensado pueda contener amoníaco, no es normalmente aceptado el latón.

Aleaciones con base níquel.

El uso de aleaciones con base níquel para condiciones de corrosión muy severas ya se mencionó. En adición el Ni-30Cu (monel) se ha usado para un número de trabajos en enfriadores con agua de mar o salobre y en calentadores de agua de alimentación donde el agua está del lado de la carcasa y se necesita su ventajosa resistencia a la corrosión bajo esfuerzo y otras formas de corrosión debida a los cloruros. El monel también tiene un grado adecuado de resistencia a la corrosión con los fluoruros, y ha sido, por ejemplo usado, en recalentadores y condensadores en unidades de alquilación que emplean HF como un catalizador. Sin embargo, en las plantas modernas donde es posible mantener agua libre de condicionamientos fluyendo, el acero al carbón es adecuado para todo el equipo de intercambiador de calor. El monel también se usa para exponerlo a sosa cáustica caliente y a soluciones de carbonato de potasio caliente.

Titanio.

El titanio se usa para tubos y carcasas de intercambiadores de calor que son enfriadas por agua de mar, principalmente donde el fluido del proceso colateral es incompatible con el latón u otra alternativa metálica. Para reducir

costos, los tubos son 20 o 22 BWG, y como es un material delgado puede ser necesario incrementar el número de soportes para evitar una falla por fatiga.

Recubrimiento.

Los recubrimientos orgánicos pueden usarse para proteger cualquier parte del recipiente a presión, principalmente contra agua agresiva, pero también contra flujos de procesos corrosivos.

Los recubrimientos orgánicos, térmica y químicamente curados tienen gran uso en la industria en general y en intercambiadores de calor se usan especialmente en condensadores de agua de mar, donde la carencia de obstrucciones más que nada compensa cualquier incremento de resistencia térmica debida a la película.

Los epoxis de alta construcción pueden usarse hasta 70°C y los fenólicos con respaldo hasta 80°C húmedos y 120°C secos. Un adecuado control de calidad de la preparación de la superficie, aplicación, y horneado, es esencial y deben darse pruebas de aceptación final que incluya una prueba para la continuidad.

Materiales no metálicos.

Se usa grafito impermeable en diseños especiales de recipientes a presión para condiciones severas tales como el contacto con ácido hidrofúrico acuoso o cloruros húmedos. Se usa vidrio para tubos en precalentadores de aire para grandes hornos y calderas de potencia. En este tipo de unidades el calor se intercambia, el aire frío que entra y el flujo de gases que sale. Los tubos de vidrio están contenidos por un ducto de hierro fundido recubierto con politetrafluoretileno (PTFE). Hay un sello mecánico entre los tubos y el hierro fundido, y el arreglo contempla una membrana continuada de PTFE.

Existen los intercambiadores de tubos y carcasa, con carcasa de vidrio y tubos de acero inoxidable o tantalio; el tantalio se usa para ácido sulfúrico hirviendo.

Es evidente de lo aquí expuesto que la selección de materiales para recipientes a presión es una tarea compleja que requiere habilidad y experiencia del personal para que sea efectivo; se necesita también de la estrecha relación entre el diseñador y el metalúrgico, esto es, una alianza entre las dos disciplinas para tener éxito.

En cualquier organización que diseña recipientes a presión, es más deseable constituir un equipo multidisciplinario capaz de anticipar problemas de los materiales y que tengan los conocimientos y habilidades para especificar materiales y diseñar tal que se asegure la confiabilidad óptima en servicio.

CAPITULO V. TECNOLOGIA DE LA SOLDADURA.

V.1. HISTORIA DE LA SOLDADURA.

Es difícil obtener una relación exacta del perfeccionamiento de la soldadura y de las personas que participaron, porque se estaban efectuando muchos experimentos similares con técnicas de soldadura en diferentes países al mismo tiempo. Quienes hacían experimentos en un país también tenían dificultades, en aquellos lejanos tiempos, en comunicarse con los de otros países.

Aunque el trabajo con los metales y las formas de unirlos datan de hace siglos, tal parece que la soldadura, como la conocemos en la actualidad, se comenzó a utilizar alrededor del año del 1900.

V.2. PROCESO DE LA SOLDADURA.

Soldar es el proceso de unir o juntar metales. Aunque los métodos antiguos para soldar tienen poca o ninguna semejanza con las técnicas modernas, tanto los procesos antiguos como los modernos se califican en las dos siguientes categorías. El primer tipo de soldadura consiste en calentar dos piezas de metal hasta que se derriten y se funden entre sí. A éste se le llama soldadura con fusión. El segundo tipo se basa en calentar los metales hasta una temperatura inferior a su punto de fusión y unirlos con un metal de aporte fundido, o calentar los metales hasta que están blandos para martillarlos o unirlos a presión entre sí. Éste se llama soldadura sin fusión.

El método más antiguo para unir metales se basaba en calentar dos piezas de metal en una fragua hasta que estaba blanda y flexible. Después, se martillaban o forjaban las piezas entre sí o en un yunque y se dejaban enfriar y endurecer; este proceso rara vez se emplea en la actualidad. Mientras se calentaban de un modo uniforme y a la temperatura correcta, las piezas de metal se colocaban sobre una gruesa capa de coque, tratando de mantenerlas limpias. Cuando se martillaban las piezas juntas, no se fundían sino que se unían por la presión de los golpes; por eso, se considera que la forja es un tipo de soldadura sin fusión

En los comienzos del siglo XX se popularizó otro método para unir metales: la soldadura por vaciado. Este método se utilizaba para reparar piezas fundidas que tenían grietas o defectos. Para hacer las piezas se vaciaba el metal fundido en un molde y se dejaba enfriar con lentitud, para que adopte su forma. Cuando se encontraba una pieza con grietas o defectos, se formaba un molde más pequeño alrededor de la zona defectuosa y se vaciaba hierro fundido sobre los bordes de la falla, una y otra vez hasta que se moldeaban los bordes. Después se cerraba el molde y se dejaba que el hierro enfriara y solidificara. Esta forma de soldar es una operación de vaciado (colado) en miniatura y de ahí su nombre de soldadura por vaciado. Debido a que el metal fundido que se vaciaba sobre la falla, en un momento dado fundía las superficies y bordes con que hacía contacto, a este proceso se le puede catalogar como el primer proceso de soldadura por fusión.

Ni la forja ni la soldadura por vaciado resultaron muy práctico. Las piezas grandes de metal no se podían soldar en la forja y, a menudo, las uniones o soldaduras no eran fuertes ni duraderas. Aproximadamente la misma época en que se empezó a emplear la soldadura por vaciado, se perfeccionó un método para soldaduras por fusión, con el cual se lograba una unión

permanente que era tan fuerte o más que el metal base. La tecnología y la ciencia de la soldadura han avanzado con tal rapidez en los últimos años, que sería casi imposible enumerar todos los métodos diferentes de soldadura que se emplean en la actualidad. Sin embargo, todos pueden clasificarse en cualquiera de las dos categorías: soldadura por fusión y soldadura sin fusión.

V.2.1. SOLDADURA POR FUSIÓN Y SIN FUSIÓN.

Los dos procesos principales en la soldadura por fusión son la soldadura con flama y la soldadura de arco. En los procesos de **soldadura con flama** se emplea el calor de los gases en combustión para fundir o calentar el metal base, también se suele hacer con flama de oxiacetileno, a éste proceso se le llama **soldadura oxiacetilénica (OAW)**. Sin embargo, en la industria se emplean a menudo mezclas de oxígeno y gases combustibles que no son el acetileno. El término general **soldadura con oxígeno y gas combustible (OF)** se aplica a las soldaduras en que se utiliza cualquier gas combustible. Como éstos son altamente explosivos en determinadas condiciones, el soldador debe conocer y aplicar todas las precauciones de seguridad.

En los procesos de **soldadura de arco (AW)** se emplea el calor creado por una corriente eléctrica para elevar la temperatura del metal base a la requerida para soldar. Se establece la corriente entre el metal base y una varilla que sirve como electrodo, el cual se sujeta en un soporte especial que el soldador sostiene en la mano. El calor requerido para fundir el metal base proviene del arco que se crea cuando la corriente eléctrica salta en el espacio (o entrehierro) entre el extremo del electrodo y el metal base. En este proceso se funden ambos: el metal base y el electrodo. Este es el proceso que utilizó

Slavinoff en 1888. Se denomina soldadura con arco metálico desnudo (BMAW) y tiene aplicación muy limitada en las Industrias actuales.

Otros perfeccionamientos dieron origen a la protección del electrodo con un gas inerte o con un fúndente granulado fino y, en algunos procesos, con una combinación de ellos. Dado que el metal fundido a menudo se vuelve quebradizo al exponerlo al aire, la finalidad de la protección es resguardar la soldadura. Cuando se utiliza un revestimiento o recubrimiento en el electrodo, se llama soldadura con arco protegido (SMAW). Kjellberg logró en 1907 el primer electrodo recubierto para soldadura con arco. Si se emplea un fúndente granulado para proteger el electrodo, se está hablando de soldadura con arco sumergido (SAW). Se llama soldadura con gas inerte cuando se utiliza este tipo de gas. Los dos procesos más comunes de soldadura con gas inerte son la soldadura con gas y arco de tungsteno (GTAW) y la soldadura con gas y arco de metal (GMAW).

V.3. ALCANCE Y DIVERSIDAD DE LA SOLDADURA.

La soldadura tiene una misión muy importante en la industria y tiene tal diversidad de aplicaciones que será difícil mencionar una industria metalmeccánica en donde no utilicen soldadura en mayor o menor medida. La AWS (American Welding Society) tiene una lista de más de 90 procesos diferentes para soldadura y corte. Un soldador podría trabajar en una línea de ensamble en labores sencillas o en los rascacielos, en una mina o bajo el mar. Aunque no es posible enumerar todos los aspectos e industrias en que se emplea la soldadura, la siguiente relación muestra someramente su diversidad y alcance.

-Oleoductos y gasoductos.

- Equipos de perforación petrolera.
- Industria de la construcción.
- Fabricación de máquinas.
- Equipo para soldadura.
- Equipo militar.
- Ferrocarriles y puentes.
- Minas.
- Automóviles y motocicletas.
- Construcción y reparación de buques.
- Aviones.
- Industria aeroespacial.
- Patios de hierro viejos.
- Salvamentos submarinos.
- Industria metalmeccánica.
- Trabajo de hierro ornamental.

V.4. ENSEÑANZA DE LA SOLDADURA.

Una persona puede aprender a soldar como alumno de tiempo completo en una escuela técnica, de artes y oficios o en cursos en alguna escuela superior, o bien en clases nocturnas. Por supuesto, también puede lograr adiestramiento en el trabajo, muchas veces como aprendiz. Es posible combinar la teoría, y la práctica, por ejemplo laborando como aprendiz y tomando clases nocturnas. Algunas de las grandes empresas que emplean muchos soldadores en su producción, ofrecen cursos de soldadura, que varían en contenido y duración. Algunos de ellos se destinan a adiestrar a los trabajadores para efectuar, en el

menor tiempo posible labores sencillas de soldadura en la producción. Otros se imparten a los soldadores expertos para que amplíen sus conocimientos y que puedan supervisar a otros trabajadores.

V.4.1. REQUISITOS PARA LA SOLDADURA.

Debido a que muchas vidas dependen de las soldaduras que se produzcan, se requerirá que los trabajadores se sometan a exámenes de soldadura en intervalos muy frecuentes. Estos exámenes pueden ser muy sencillos en el taller o en pruebas controladas por autoridades. A los soldadores se les examina con mucho mayor frecuencia que a los operarios de otros gremios para determinar la calidad del trabajo que ejecutan.

INSPECCION Y PRUEBAS.

Las reglas de estos párrafos se aplican específicamente a la inspección y a las pruebas de recipientes a presión y de partes de recipientes a presión que son construidas por soldadura.

REVISION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.

El inspector se cerciorará de que el procedimiento de soldadura empleado en la construcción de un recipiente ha sido calificado según las provisiones de la Sección IX del Código ASME. El fabricante someterá evidencia al Inspector de que se han reunido los requerimientos.

REVISION DE CALIFICACION DE SOLDADORES Y DE OPERARIOS DE SOLDADURA.

a) El fabricante certificará que la soldadura en un recipiente ha sido por soldadores y operarios de soldadura que han sido calificados según los requerimientos de la Sección IX, y el Inspector se cerciorara de que sólo se han empleado soldadores y operarios de soldadura calificados.

b) El fabricante hará disponible al inspector una copia certificada del registro de las pruebas de calificación de cada soldador y operario de soldadura. El inspector tendrá el derecho en cualquier tiempo de pedir y presenciar pruebas de procedimientos de soldadura o de la capacidad de cualquier soldador y operario de soldadura.

V.5. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL PROCESO DE SOLDADURA CON ARCO ELECTRICO.

1. El equipo se debe mantener en perfectas condiciones.
2. Antes de iniciar la operación de soldadura verificar que todas las conexiones eléctricas estén apretadas.
3. Usar cables de soldadura del calibre adecuado.
4. Asegurarse de que los cables portaelectrodos y las conexiones estén debidamente aislados.

5. Desconectar la corriente de red antes de limpiar y hacer ajustes internos de la máquina de soldar.
6. Mantener el área de trabajo limpia y seca.
7. No soldar recipientes como tambores o barriles que hayan contenido material inflamable sin haber averiguado que no hay peligro de fuego o explosión.
8. Antes de iniciar la operación de soldadura asegurarse de que haya ventilación adecuada en la zona donde se trabaja. Tomar las debidas precauciones cuando se suelde con plomo, zinc, cobre o cadmio.
9. Utilice siempre el casco con lentes del grado correcto.
10. Antes de empezar a soldar, examine el lente para ver si tiene grietas.
11. Utilice siempre ropa resistente al fuego, usar guantes de cuero y proteger la ropa con delantal. Abotonar el cuello de la camisa para evitar los rayos del arco y las chispas además de mantener las mangas de la camisa bajadas hasta el puño.
12. Antes de empezar a soldar, compruebe que las demás personas estén protegidas contra los rayos que se desprenden del arco.
13. Utilice una plantilla no reflejante para proteger a quienes trabajan cerca de usted.

14. Nunca forme el arco cerca de una persona que no esté protegida.
15. Utilice ropa de color oscuro, pues la de color claro reflejará el arco.
16. Apague la máquina cuando no esté en uso.
17. No deje el electrodo en el portaelectrodo.
18. Utilice siempre gafas con protectores laterales contra deslumbramiento.
19. Compruebe que la pieza, el banco de trabajo o ambos estén bien conectadas a tierra.
20. No haga conexiones a tierra en ninguna tubería.
21. No sobrecargue los cables.
22. Nunca forme el arco sobre un cilindro de gas comprimido.
23. Informe de inmediato si sufre deslumbramiento.
24. Ponga los cabos de los electrodos en un recipiente metálico separado; no los tire al suelo.
25. No cambie nunca la polaridad mientras la máquina esté trabajando.

26. No haga funcionar una máquina de soldar movida por un motor de combustión interna (gasolina o diesel), sin antes comprobar que haya suficiente ventilación y descarga de los gases de escape.

V.6. REQUERIMIENTOS PARA RECIPIENTES A PRESION CONSTRUIDOS POR SOLDADURA.

- a).** Las reglas de los párrafos siguientes se aplican específicamente a la fabricación de recipientes a presión y de partes de recipientes a presión que son fabricadas por soldadura y se aplicarán en conjunción con los requerimientos generales para Fabricación de la Subsección A y con los requerimientos específicos para Fabricación de la Subsección C que pertenecen a la clase de material utilizado.
- b).** Cada fabricante o fabricante de partes será responsable de la calidad de soldadura hecha por su organización y efectuará pruebas no sólo del procedimiento de soldar para determinar su propiedad adecuada para asegurar soldaduras que satisfacen las pruebas requeridas, sino también los soldadores y operarios de máquinas automáticas de soldar para determinar su capacidad de aplicar el procedimiento apropiadamente.
- c).** Ninguna soldadura de producción será emprendida sino hasta después que se hayan calificado los procedimientos de soldar que se van a aplicar. Sólo se emplearan en producción soldadores y operarios de máquinas automáticas de soldar que sean calificados de acuerdo con la Sección IX.

d). Los soldadores no en empleo del Fabricante (Poseedores de Certificado de Autorización) pueden ser empleados para fabricar recipientes construidos de acuerdo con esta División, siempre que reúnan todas las condiciones que siguen:

- 1). Toda construcción de Código será de la responsabilidad del Fabricante.
- 2). Toda soldadura se efectuará de acuerdo con las especificaciones de procedimientos de soldar del Fabricante que hayan sido calificadas por el Fabricante de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX.
- 3). Todos los soldadores serán calificados por el Fabricante de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX.
- 4). El sistema de control de calidad incluirá como mínimo:
 - a). Un requerimiento para supervisión administrativa y técnica completa y exclusiva de todos los soldadores por parte del Fabricante;
 - b). Evidencia de la autoridad del fabricante para asignar y remover soldadores a su discreción sin inclusión de alguna otra organización;
 - c). Un requerimiento para Asignación de símbolos de Identificación de Soldador;
 - d). Evidencia de que este programa ha sido aceptado por la Agencia de Inspección Autorizada del Fabricante que provee el servicio de inspección.

5). El fabricante será el responsable del cumplimiento del Código del recipiente o de la parte, incluyendo estampado de Símbolo de Código y con provisión de Formas de Datos ejecutadas y con firma de confirmación por parte del Inspector.

PROCESOS DE SOLDADURA.

Los procesos de soldadura que se pueden aplicar en la construcción de recipientes según esta Parte de esta División están restringidos como sigue.

a). Los procesos de soldadura de arco y gas están restringidos a arco metálico protegido, arco sumergido, arco metálico con gas, arco tungsteno con gas, arco de plasma, arco metálico con hidrógeno atómico, soldadura con oxcombustible, electroescoria, electrogas, y de haz de electrones. Nada a presión mecánica o de golpes será permitido.

b). Los procesos de soldadura con presión están restringidos a soldadura de centelleo, de inducción, de resistencia, a presión, explosiva, con gas a presión, y soldadura de inercia y de fricción de impulsión continua.

c). Las definiciones están dadas en la Sección IX que incluyen variaciones de estos procesos.

d). La soldadura de arco para husillos y la soldadura de resistencia para husillos se puede utilizar sólo para fijaciones que no soportan presión, que tiene una función de carga o de no soportar carga, excepto por el material puesto en lista en la Tabla UHT-23 siempre que, en el caso de materiales ferrosos, se cumplan los requerimientos de tratamiento térmico de UCS-56 y

que los requerimientos de UW-28(b) y UW-29(a) sean reunidos antes de iniciar la soldadura de producción. Los husillos se limitarán al diámetro máximo de 1 pulg. para husillos redondos y una área de sección transversal equivalente para husillos de otras formas.

e). El proceso de soldadura de electroescoria puede ser empleado para soldaduras a tope sólo en aceros ferríticos y en aceros inoxidable austeníticos de los tipos puestos en lista en UW-5(d), siempre que sean satisfechos los requerimientos de UW-11(a)(6) y de UW-11(d).

f). El proceso de soldadura de electrogas puede ser empleado para soldaduras a tope sólo en aceros ferríticos y en inoxidable austeníticos de los tipos puestos en lista en UW-5(d), siempre que sean satisfechos los requerimientos de UW-11(a)(6). Cuando un paso sencillo sea mayor que 1 1/2 pulg. en materiales ferríticos, se le dará a la junta un tratamiento térmico de refinación de grano (austenización).

CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.

a). Cada procedimiento de soldadura que se va seguir en la construcción será registrado en detalle por el fabricante.

b). El procedimiento empleado al soldar partes a presión y en la unión de partes sin presión que soportan carga, tales como todas las abrazaderas y orejas permanentes o temporales, a partes a presión será calificado de acuerdo con la Sección IX:

c). El procedimiento empleado al soldar fijaciones que no soportan presión que esencialmente no tienen función de soportar cargas (tales como superficies extendidas de transferencia de calor, pernos para soporte de aislamientos, etc.), a partes a presión, reunirán los requerimientos que siguen.

- 1). Cuando el proceso de soldadura es manual, a máquina o semiautomático, se requiere la calificación del procedimiento de acuerdo con la Sección IX.
- 2). Cuando la operación de soldadura sea un proceso de soldar automático de acuerdo con una Especificación de Procedimiento de Soldadura (en cumplimiento con la Sección IX hasta donde es aplicable), no se requiere prueba de calificación de procedimiento.

d). La soldadura de todas las muestras de prueba será conducida por el Fabricante. Las pruebas de todas las muestras serán de la responsabilidad del Fabricante. La calificación de un procedimiento de soldadura por parte de un Fabricante no calificará ese procedimiento para cualquier otro Fabricante excepto como está provisto en QW-201 de la Sección IX.

PRUEBAS A SOLDADORES Y A OPERARIOS DE SOLDADURA.

a). Los soldadores y operarios de soldadura empleados al soldar partes a presión y al unir partes sin presión que soportan cargas (fijaciones) a partes a presión, serán calificados de acuerdo con la Sección IX.

- 1). La prueba de calificación para operarios de soldadura a máquina se efectuará en una placa de prueba separada antes de iniciar la soldadura o en la primera pieza de ejemplo de trabajo.

- 2).** Cuando la soldadura de husillos se realiza para fijar husillos que soportan carga, una prueba de soldar de husillos de producción de cada soldador u operario de soldadura se efectuará en una placa o tubo en forma separada antes de iniciar la soldadura en cada turno de trabajo. Esta prueba de soldar estaré compuesta de cinco husillos, soldados y probados por el procedimiento de prueba de soldadura de husillos de doblez o de momento de torsión descrito en la Sección IX.

- b).** Los soldadores y operarios de soldadura empleados al soldar fijaciones de soporte sin presión que esencialmente no tienen la función de soportar cargas (tales como superficies de transferencia de calor extendidas, pernos de soporte de aislamiento, etc.), a partes a presión cumplirán con lo siguiente.
 - 1).** Cuando el proceso de soldar es manual, a máquina, o semiautomático, se requiere la calificación de acuerdo con la Sección IX.

 - 2).** Cuando la operación de soldar se hace por un proceso de soldadura automático, no se requiere la prueba de calificación de habilidad.

 - 3).** Cuando se emplee soldadura de husillos, una prueba de soldar de husillos de producción, apropiado para los requerimientos de aplicación de uso final, será especificado por el Fabricante y llevado a cabo en una placa o tubo de prueba por separado al principio de cada turno.

- c).** El Fabricante asignará a cada soldador y operario de soldadura un número, una letra o un símbolo de identificación lo cual se usará para identificar el trabajo de ese soldador u operario de soldadura de acuerdo con UW-37(f).

d). El Fabricante mantendrá un registro de los soldadores y operarios de soldadura, que muestre la fecha y resultado de las pruebas y la marca de identificación asignada a cada uno. Estos registros serán certificados por el Fabricante y estarán disponibles para el Inspector.

e). La soldadura de todas las muestras de prueba será conducida por el Fabricante. La prueba de todas las muestras será la responsabilidad del Fabricante. Una prueba de calificación de habilidad conducido por un Fabricante no calificara a un soldador u operario de soldadura para hacer trabajo para cualquier otro Fabricante excepto como está provisto en QW-300 de la Sección IX.

TEMPERATURAS MÁS BAJAS PERMISIBLES PARA SOLDAR.

Se recomienda que ninguna soldadura de clase alguna sea hecha cuando la temperatura del metal base sea más baja que 0°F. La superficie de todas las áreas a temperaturas entre 32°F y 0°F, a no más de 3 pulg. del punto donde se va a principiar la soldadura se deben calentar hasta una temperatura al menos caliente para la mano (estimada de ser arriba de 60°F) antes de que sea iniciada la soldadura. También se recomienda que nada de soldadura se haga cuando las superficies estén húmedas o cubiertas con hielo, cuando esté cayendo nieve sobre las superficies que se van a soldar o durante periodos de viento intenso, a menos que los soldadores u operarios de soldadura y el trabajo estén protegidos en forma apropiada.

LIMPIEZA DE SUPERFICIE A SOLDAR.

- a).** Las superficies que se van a soldar estarán limpias y libres de incrustaciones, herrumbre, aceite, grasa, escoria, óxidos detrimentales y otro material extraño deletéreo. El método y extensión de la limpieza deberá ser determinado con base en el material que se va a soldar y con los contaminantes que se van a remover. Cuando el metal de soldadura se va a depositar sobre una superficie soldada previamente, toda escoria será removida por una herramienta de desbastar, un cincel, un martillo de corte en frío, u otro medio conveniente a modo de evitar inclusión de impurezas en el metal de soldar.
- b).** Las superficies de fundición que se van a soldar serán maquinadas, desbarbadas o esmeriladas para remover incrustaciones de fundición y para exponer metal sano.
- c).** Los requerimientos de (a) y de (b) anteriores, no se destinaran a aplicarse a proceso alguno de soldadura por medio del cual son obtenidas de algún otro modo la función y penetración apropiadas y por lo cual la soldadura permanece libre de defectos.

CAPITULO VI. PROCEDIMIENTO DE INSPECCION Y REPARACION EN RECIPIENTES SUJETOS A PRESION.

El establecimiento de los Procedimientos de la Inspección y Reparaciones en Recipientes a Presión es indispensable para asegurar la buena operación de éstos equipos.

Los criterios más completos en Inspección y Reparación en Recipientes a Presión son los establecidos por el Consejo Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión (National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors). Esta es una organización que está compuesta por Inspectores en estados y ciudades de los Estados Unidos y de Canadá, y tiene el propósito de promover una mayor seguridad a la vida y a las propiedades, mediante el establecimiento de acciones concentradas en la construcción, instalación, inspección y reparación de recipientes a presión, así como sus accesorios, asegurando con ello el cumplimiento del Código de Calderas y Recipientes a Presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME).

La Sección VIII del Código ASME establece las reglas de seguridad que gobiernan el diseño, la fabricación y la inspección durante la construcción de recipientes a presión. En cambio, el National Board Inspection Code es un documento que tiene el propósito de mantener la integridad de los recipientes a presión después de que han sido puestos en servicio, proporcionando reglas y principios para inspección y reasignación, ayudando así a asegurar que estos equipos continúen utilizándose en forma segura.

También existe un Código de Inspección del Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute Inspection Code), el API-510, que cubre inspección de mantenimiento, modificación, así como de procedimientos de reasignación para recipientes a presión, utilizado por las industrias de procesos químicos y del petróleo.

VI.1. DEFINICIONES.

Con el propósito de unificar los criterios de inspección, se hacen las siguientes definiciones.

Código ASME.

Es el Código de Calderas y Recipientes a Presión publicado por la ASME (The American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Code), incluyendo suplementos y casos de Código, aprobados por su consejo

Código de Inspección.

Es el Código de Inspección del Consejo Nacional (National Board Inspection Code), publicado por el Consejo Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión (The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors).

Modificación.

Es cualquier cambio en la parte descrita en el informe de Datos del Fabricante Original, que afecte la capacidad de soportar presión en el Recipiente a Presión. Los cambios no físicos, tales como un incremento en la presión de trabajo máxima permisible (interna o externa) o de la temperatura de diseño de un recipiente a presión, se consideran como una modificación. Una

reducción de la temperatura mínima, tal que se requieran pruebas mecánicas adicionales, también se considera como una modificación.

Reasignación.

Es el incremento de la presión de trabajo máxima permisible ó de la temperatura de un recipiente a presión, sin tomar en cuenta si se efectúa o no un trabajo físico. La reasignación se considera como una modificación

Reparación.

Es el trabajo necesario para restaurar un recipiente a presión a una condición de operación segura y satisfactoria, siempre y cuando no se haga una modificación al diseño original.

VI.2. INSPECCIONES DE RECIPIENTES A PRESION.

Hay numerosos tipos de recipientes a presión, muchos de los cuales tienen múltiples funciones, presiones variables de operación, diseños y construcciones complejas. Estos recipientes pueden utilizarse para contener o procesar gases o líquidos que puedan tener diferentes grados de cualidades corrosivas o erosivas. Todas estas consideraciones se deben tomar en cuenta para las actividades de inspección y reparaciones.

VI.2.1. INSPECCIÓN GENERAL.

El inspector debe examinar cuidadosamente las superficies de las envolventes y de las tapas, observando grietas, ampollas, abombamientos y otras evidencias de deterioro, prestando particular atención al faldón y a la fijación de soportes, así como a las regiones de rodilla de las tapas. Si se encuentra

evidencia de deformación, puede ser necesario hacer una revisión detallada de los contornos reales o de las dimensiones principales y comparar estos contornos y dimensiones con los detalles del diseño original.

El inspector debe revisar las juntas soldadas y las zonas adyacentes afectadas por el calor, en busca de grietas u otros defectos. El examen por partículas magnéticas o líquidos penetrantes, es un medio útil para hacer este examen.

VI.2.2. TÉCNICAS DE INSPECCIÓN.

Las partes de un recipiente que deben de inspeccionarse con mayor cuidado, depende del tipo de recipiente y de sus condiciones de operación. El inspector se deberá familiarizar con las condiciones de operación y con las causas y características de defectos y deterioros potenciales.

El examen visual cuidadoso es el método de inspección más aceptado universalmente. Otros medios que pueden usarse para complementar la inspección visual incluyen: el examen con partículas magnéticas para grietas y otras continuidades alargadas en materiales magnéticos; examen con líquidos penetrantes fluorescentes o con tinturas para descubrir grietas, porosidades o agujeros pasantes que se extienden a la superficie del material y para delinear otras imperfecciones superficiales, en especial en materiales no magnéticos; examen radiográfico, medición de espesores y detección de defectos por ultrasonido; examen de corrientes parásitas; examen metalográfico; examen de emisión acústica, y por último, la prueba de presión.

La preparación superficial adecuada es importante para un examen visual apropiado y para la aplicación en forma satisfactoria de cualquier procedimiento auxiliar, como los antes mencionados. El tipo de preparación

superficial depende de las circunstancias particulares, pero puede necesitarse el cepillado con alambre, cincelado, soplado con arena, esmerilado, o una combinación de todas estas operaciones.

VI.2.3. INSPECCIÓN EXTERNA DE RECIPIENTES A PRESIÓN.

a. La inspección externa de los recipientes a presión se lleva a cabo para determinar si su condición es segura para continuar en operación.

b. En recipientes para procesos, en donde la corrosión es una consideración principal y en donde se efectúan exámenes periódicos para determinar el espesor de pared del recipiente, el Inspector deberá estudiar los registros de tales exámenes.

c. El inspector debe cerciorarse de que el recipiente esté estampado o marcado apropiadamente para cumplir con la sección aplicable del Código ASME.

d. El inspector deberá revisar si existe tolerancia adecuada para expansión y contracción del recipiente sobre sus soportes, tal como la proporcionada por agujeros de pernos con ranura o soportes de silletas sin obstrucciones.

Manómetro.

El inspector deberá observar la presión indicada por el manómetro y compararla con otros manómetros del mismo sistema. Si el manómetro no está soportado sobre el mismo recipiente, deberá cerciorarse que el

manómetro esté instalado de tal manera que indique correctamente la presión real del recipiente.

Válvulas de Alivio de Presión.

a. Cuando sea práctico, deberá(n) probarse la(s) válvula(s) de alivio de presión aumentando la presión de trabajo, hasta la calibración de la válvula, a fin de verificar la operación a la presión de ajuste. Si esto no es práctico y la válvula está equipada con una palanca para probar el libre movimiento del vástago y del disco de la válvula, puede revisarse mediante el uso de la palanca de prueba. Esta prueba debe realizarse cuando la presión en el recipiente sea igual o mayor del 75% de la presión de ajuste de la válvula y que el contenido pueda descargarse con seguridad a la atmósfera, o que la descarga de la válvula se transporte por una tubería a un lugar seguro.

b. Muchos recipientes a presión contienen líquidos o gases que son peligrosos o costosos, por lo que no son prácticas las pruebas de la(s) válvula(s) de alivio de presión en servicio. En estas condiciones, la válvula debe removerse del servicio durante la inspección interna con la frecuencia que sea acordada por el propietario y el inspector.

c. Cuando la inspección revele la existencia de una válvula de alivio de presión defectuosa, el recipiente o los recipientes que dependan de la válvula deberán ser puestos fuera de servicio, hasta que la válvula sea reparada o reemplazada, a menos que se hagan arreglos especiales aceptables para el inspector, a fin de permitir la continuación de la operación del recipiente temporalmente.

d. El inspector deberá estar convencido de que la capacidad de desfogue de la(s) válvula(s) de alivio de presión del recipiente es la adecuada y que la presión de trabajo y la capacidad de alivio requeridas estén estampadas en el cuerpo o placa de la válvula, de acuerdo a lo exigido por la sección aplicable del Código ASME.

Discos de Ruptura.

a. El inspector deberá revisar los estampados en los discos de ruptura, con el objeto de asegurarse de que la presión y la temperatura de ruptura estampadas sean las correctas para las condiciones de servicio destinadas.

b. Cuando se instala un disco de ruptura entre el recipiente y una válvula de seguridad, el espacio entre el disco de ruptura y la válvula deberá estar provisto de un manómetro de prueba, a fin de que se pueda descubrir fuga o ruptura.

c. Cuando se instala un disco de ruptura en el lado de salida de una válvula de seguridad, la válvula será de un diseño tal, que no falle en abrir a su presión de ajuste, independientemente de cualquier contrapresión que pueda acumularse entre la válvula y el disco de ruptura. Además, el espacio entre la válvula y el disco de ruptura, deberá estar ventilado o drenado para evitar acumulaciones de presión por causa de una pequeña fuga de la válvula.

Controles de Seguridad.

Cualquier dispositivo o control instalado para seguridad del recipiente, deberá ser revisado por el inspector, mediante operación o estudio de

procedimientos y de los registros para verificar la operación correcta y apropiada.

Análisis de Bitácoras.

El inspector deberá hacer un análisis de cualquier bitácora del recipiente a presión, registro de mantenimiento, registro de corrosión o cualquier otra prueba. El usuario o propietario deberá ser consultado con respecto a las reparaciones que se hayan hecho desde la última inspección. El inspector deberá analizar tales reparaciones, para dictaminar si cumplieron con los requisitos aplicables.

VI.2.4. INSPECCIONES INTERNAS DE LOS RECIPIENTES A PRESIÓN.

Los recipientes a presión que contienen sustancias no corrosivas pueden requerir sólo de una inspección externa. Tales recipientes pueden no estar provistos con registros de hombre u otras aberturas de inspección. En estos casos, el inspector puede aceptar exámenes por métodos no destructivos, para determinar la condición del recipiente.

Modos de Deterioro y Fallas.

Los contaminantes en fluidos que se manejan dentro de los recipientes a presión, pueden reaccionar con los metales de tal forma que puedan causar corrosión.

Las variaciones de esfuerzos (tal como cargas cíclicas) en partes del equipo son comunes. Si el esfuerzo es alto y las variaciones son frecuentes, la falla de las partes pueden ocurrir por fatiga. Las fallas por fatiga en los recipientes a

presión pueden también resultar por cambios cíclicos de temperatura y presión.

Las soldaduras de metales que tienen diferentes coeficientes térmicos de expansión, pueden ser afectadas fácilmente por fatiga térmica.

El deterioro o deformación, puede ocurrir si el equipo se somete a temperaturas mayores de aquellas para las cuales se proyectó. Debido a que el metal se vuelve más débil a altas temperaturas, tal deformación puede traer como resultado la falla, especialmente en los puntos de concentración de esfuerzos. Si se encuentran altas temperaturas, pueden ocurrir cambios químicos en las propiedades estructurales y cambios químicos en los metales, los cuales pueden también debilitar permanentemente el equipo. Ya que la deformación depende del tiempo, de la temperatura y del esfuerzo, los niveles reales o estimados de estas cantidades, serán usados en todas las evaluaciones.

A temperaturas inferiores a las de congelación, el agua y las sustancias químicas manejadas en los recipientes a presión, se pueden escarchar y causar fallas. Los aceros al carbono y de baja aleación, fácilmente pueden ser afectados por falla frágil a temperatura ambiente. Varias fallas se han atribuido a fractura frágil de aceros que fueron expuestos a temperaturas por debajo de su temperatura de transición y que también se expusieron a presiones mayores al 20 por ciento de la presión de prueba hidrostática. Sin embargo, la mayoría de las fracturas frágiles han ocurrido durante la primera aplicación de un nivel particular de esfuerzo (es decir, la primera hidro-prueba a sobrecarga). Por lo tanto, además de las condiciones excesivas de operación por debajo de la temperatura de transición, también se evaluará el potencial para una falla de una fractura frágil, cuando se hagan pruebas hidráulicas o

neumáticas o al agregar otras cargas adicionales. Debe prestarse atención especial a los aceros de baja aleación (particularmente a los de 2-1/4 por ciento Cr, 1 por ciento Mo) puesto que están propensos a fragilización por revenido *(La fragilización de revenido se define como una pérdida de ductilidad a causa de tratamiento térmico posterior a soldadura o servicio de alta temperatura, arriba de 700°F (371°C)).*

Otras formas de deterioro incluyen pero no se limitan a grafitización, ataque de hidrógeno a alta temperatura, precipitación de carburo, ataque irregular y fragilización. El deterioro puede ser también causado por fuerzas mecánicas, tales como choque térmico, cambios cíclicos de temperatura, vibración, ondas de presión, temperatura excesiva, cargas externas y material y fabricación defectuosos.

Corrosión.

La corrosión es uno de los problemas más comunes encontrados en los recipientes sujetos a presión. Cuando se perciba corrosión activa o excesiva, se deberán tomar acciones correctivas.

Erosión.

El inspector deberá observar cualquier acción causada por abrasivos y corrientes de alta velocidad, las cuales puedan causar erosión en las superficies del metal.

Abolladuras.

Las abolladuras en un recipiente son deformaciones que se causan cuando llegan a estar en contacto con algún objeto obtuso, de tal manera que el espesor del metal es disminuido materialmente.

En algunos casos, una abolladura puede repararse mediante la acción mecánica de empujar para afuera la deformación.

Deformación.

Los recipientes serán examinados respecto a indicaciones visuales de deformación. Si se sospecha que hay deformación, se revisarán las dimensiones de extremo a extremo de los recipientes para determinar la extensión y la seriedad de la deformación.

VI.2.5. PREPARACIÓN Y PRECAUCIONES DE SEGURIDAD PARA INSPECCIÓN INTERNA.

Cuando se va a efectuar una inspección interna, el propietario o usuario, preparará el recipiente como sea exigido por el inspector.

Normalmente, la preparación incluye lo siguiente:

a. Cuando el recipiente opera a alta temperatura, el recipiente se deberá dejar enfriar a una velocidad tal que evite algún daño al mismo.

b. El recipiente deberá ser drenado de todo líquido y deberá ser purgado de cualquier gas tóxico inflamable o de otros contaminantes que estén contenidos dentro del recipiente. La ventilación mecánica, como un soplador o ventilador para aire nuevo, será puesta en marcha después de la operación de purga y se mantendrá en operación hasta que todas las bolsas de "aire muerto" que puedan contener gas tóxico, inflamable o inerte sean eliminadas.

c. Los tapones y cubiertas de inserción deberán removerse como lo exija el inspector, con el fin de permitir un examen completo de las superficies interiores.

d. El recipiente deberá estar suficientemente limpio para permitir la inspección visual de todas las superficies internas y externas del material base expuesto.

e. Cualquier manómetro instalado deberá removerse para probarse, si el inspector no tiene alguna otra información para evaluar su exactitud.

f. La válvula de alivio de presión deberá removerse para probarla, si el inspector tiene razón para dudar de su efectividad o no tiene alguna otra información para evaluar su operación apropiada.

g. Cuando un recipiente está conectado en un sistema donde existe presencia de líquidos o gases, el recipiente se aislará con cerrar, membretar y poner candados a las válvulas de cierre. Cuando están involucrados materiales tóxicos o inflamables, la seguridad adicional puede requerir remoción de secciones de tuberías, antes de ingresar al recipiente. Los medios de aislar el recipiente que se va a inspeccionar serán los aceptados por el inspector.

h. En el caso de recipientes de tipo rotatorio o que cuenten con partes móviles, se deben tomar precauciones adicionales de seguridad, tales como remoción de fusibles, eliminación de controles y bloqueos o de partes móviles, antes del ingreso al recipiente.

i. Antes de ingresar a un recipiente que contenía gases tóxicos o inflamables o una atmósfera inerte, el recipiente deberá ser probado por una persona calificada a fin de determinar la integridad de la atmósfera del recipiente, utilizando instrumentos indicadores apropiados. En todos los casos de ingreso al recipiente, se deberá efectuar una prueba de contenido de oxígeno.

El inspector no permitirá el ingreso o la permanencia en el mismo, a menos que el contenido de oxígeno esté entre el 19 y el 23% del volumen. La ventilación deberá continuar si el contenido de oxígeno está afuera de los límites.

El personal deberá usar ropa de protección que sea adecuada para las condiciones del interior del recipiente. Si se juzga necesario, también deberán estar disponibles equipo de respiración y una cuerda.

Afuera del recipiente, una persona responsable mantendrá contacto visual y verbal con el inspector que esté dentro del recipiente y deberá estar en condiciones de responder a cualquier comportamiento anormal.

j. Si el recipiente no ha sido preparado apropiadamente para una inspección interna, el inspector deberá declinar hacer la inspección.

Aislamiento y Forros.

Normalmente, no es necesario remover el material de aislamiento o forro para una inspección, a menos que se sospeche de defectos o deterioros que se encuentran comúnmente en recipientes del tipo o uso particular que se inspecciona.

Iluminación.

El inspector se aproximará tanto como sea práctico a las partes del recipiente, tanto internas como externas, para hacer el mejor examen posible. Para alumbrado, se usará de preferencia una lámpara de mano. Cuando se use una extensión de luz portátil en espacios confinados, no deberá operarse a más de 12 volts.

VI.2.6. PRUEBAS DE PRESIÓN.

a. Cuando exista duda respecto a la extensión de un defecto o condición de deterioro encontrado en un recipiente a presión, el inspector puede exigir una prueba de presión. Normalmente, una prueba de presión no es necesaria como parte de una inspección periódica. Sin embargo, se hará una prueba cuando se descubran por inspección, formas de deterioro raras y difíciles de evaluar, que posiblemente afecten la seguridad de un recipiente; también después de ciertas reparaciones.

b. Para determinar la hermeticidad, la presión de prueba no necesita ser mayor que la presión de ajuste de la válvula de alivio de presión que tiene la calibración más baja.

c. La prueba de presión no deberá exceder de 1 1/2 veces la presión de trabajo máxima permisible, ajustada por temperatura. Cuando la presión de prueba original incluye la consideración de tolerancia de corrosión, la presión de prueba debe ajustarse aún más, sobre la base de la tolerancia de corrosión restante.

d. La temperatura del agua usada para efectuar una prueba hidrostática no deberá ser menor a 60°F (15.6°C), a menos que el propietario proporcione información sobre las características de dureza del material del recipiente para evaluar la aceptación de una temperatura de prueba más baja.

La temperatura no deberá exceder de 120°F (49°C), a menos que el propietario especifique el requerimiento para temperatura de prueba más alta. Si la prueba se conduce a 1 1/2 veces la presión de trabajo máxima permisible y el propietario especifica una temperatura mayor que 120°F, la presión deberá reducirse hasta la presión de trabajo máxima permisible y la temperatura hasta 120°F, para un examen preciso.

e. Cuando está prohibida la contaminación del contenido del recipiente o cuando no es posible realizar una prueba hidrostática, se puede usar otro medio de prueba, siempre y cuando se sigan los requisitos de la sección aplicable del Código ASME. En tales casos deberá existir acuerdo entre el propietario y el inspector en cuanto al procedimiento de prueba.

VI.3. REPARACIONES Y MODIFICACIONES A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION, MEDIANTE SOLDADURA.

En esta sección se proporcionan reglas para las reparaciones y modificaciones por soldadura a recipientes a presión. Cuando no se dan reglas específicas, se entiende que están sujetas a la aprobación del Inspector. Todas las reparaciones y las modificaciones se harán, hasta donde sea posible, con las reglas de la sección y de la edición más aplicable del Código ASME, para la mejor ejecución del trabajo planeado.

VI.3.1. REQUISITOS GENERALES PARA REPARACIONES Y MODIFICACIONES.

Los requisitos de los párrafos siguientes se aplican a todas las reparaciones y modificaciones a recipientes a presión.

Reparaciones.

Ninguna reparación a recipientes a presión será iniciada sin la autorización del inspector, quién estará convencido de que los procedimientos de soldadura y los soldadores estén calificados y que los métodos de reparación son los apropiados. El inspector puede dar aprobación previa para reparaciones limitadas, siempre y cuando se haya asegurado de que la empresa encargada de la reparación disponga de procedimientos aceptables que cubran las reparaciones. Sin embargo, en cada caso el inspector será notificado de cada reparación, sujeta al acuerdo previo.

Modificaciones.

Ninguna modificación a recipientes a presión se iniciará sin la autorización del inspector, quién estará convencido de que los procedimientos de soldadura y los soldadores estén calificados, que los métodos de modificación sean apropiados y que los cálculos se hayan realizado y estén disponibles. Si lo considera necesario, hará una inspección del recipiente, antes de conceder tal autorización.

Aceptación de Reparación y Modificaciones.

La empresa que haga la reparación ó la modificación, tendrá la responsabilidad de proporcionar al inspector, la documentación y la certificación del trabajo y de asegurarse de la aceptación previa de los procedimientos a aplicar.

La Inspección y la certificación de reparaciones y modificaciones, serán hechas por un inspector de aceptación, deberá ser el mismo inspector que autorice la reparación ó la modificación.

Deberes del Inspector.

Reparaciones. Antes de la aceptación de una reparación, el Inspector estará convencido de que la soldadura se realizó de acuerdo a los procedimientos aceptados; presenciará toda prueba de presión que considere necesaria, y se asegurará que se hayan ejecutado las otras acciones que juzgue necesarias para cumplir con los requisitos del Código.

Modificaciones. Antes de firmar la aceptación de una modificación, el Inspector estudiará dibujos y cálculos; presenciará y se asegurará que se hayan realizado los exámenes no destructivos requeridos en forma satisfactoria y que se hayan ejecutado las otras acciones que juzgue necesarias para asegurar el cumplimiento con los requisitos del Código.

VI.3.2. REPARACIÓN A RECIPIENTES A PRESIÓN.

Reparaciones de Defectos.

Una reparación de un defecto tal como una grieta en una unión soldada ó en el material base, no se hará hasta que el defecto haya sido removido. Un método conveniente de prueba no destructiva, tal como el de partículas magnéticas ó el de líquido penetrante, puede ser necesario para asegurar la eliminación completa del defecto.

Si el defecto penetra en el espesor completo del material, la reparación se hará con una soldadura de penetración completa, como una soldadura doble a

tope, ó una soldadura simple a tope con ó sin respaldo. Antes de reparar un área agrietada, deberá tenerse cuidado de investigar su causa y determinar su extensión. Cuando las circunstancias indiquen que la grieta puede volver a ocurrir, se deberá considerar la remoción del área agrietada y la instalación de un parche ó tomar otras medidas correctivas aceptables.

Defectos Menores: Las grietas menores, picaduras aisladas e imperfecciones pequeñas en la placa, se deben examinar para determinar la extensión del defecto y decidir si se requiere reparación por soldadura. Antes de reparar por soldadura, se removerán los defectos hasta alcanzar el metal sano. Se pueden utilizar pruebas de partículas magnéticas ó de líquidos penetrante, antes o después de soldar.

Áreas Desgastadas.

Envolventes: Las áreas desgastadas en envolventes con refuerzos y sin refuerzos pueden reconstruirse mediante soldadura, siempre y cuando, a juicio del Inspector, la resistencia de la estructura no haya disminuido. Cuando se emplea reconstrucción extensa por soldadura, el Inspector puede solicitar un método apropiado de pruebas no destructivas para toda la superficie reparada.

Abertura de Acceso: Las áreas desgastadas alrededor de las aberturas de acceso pueden ser reconstruidas por soldadura.

Bridas: Las caras desgastadas de bridas pueden limpiarse perfectamente y reconstruirse con metal de soldadura. Deben maquinarse si es posible, hasta un espesor no menor que el de la brida original ó aquel requerido por los cálculos y de acuerdo con las disposiciones de la sección aplicable del Código ASME. Las bridas desgastadas también pueden ser remaquinadas, sin

reconstrucción con metal de soldadura, siempre y cuando el metal retirado en el proceso, no reduzca el espesor de la brida hasta una medida menor que la calculada.

Parches.

Parches a Ras: La soldadura alrededor de un parche a ras deberá ser una soldadura de penetración completa y las superficies se esmerilarán a ras donde sea requerido por la sección aplicable del Código ASME. Las soldaduras serán sujetas al método de prueba no destructiva usado en la construcción original ó una opción aceptable.

Antes de instalar un parche a ras, se deberá remover el material defectuoso hasta que se alcance el material sano. El parche se deberá rerolar y prensar a la forma ó curvatura apropiada. Las orillas deberán alinearse sin sobreposición.

PARCHES A RAS EN AREAS SIN TIRANTES.

En áreas con tirantes, las costuras soldadas deberán quedar entre las hileras de pernos tirantes ó de costuras remachadas.

PARCHES A RAS EN AREAS CON TIRANTES.

Los parches deberán hacerse a partir de un material que sea al menos, en calidad y espesor igual que el material original.

Los parches pueden ser de cualquier forma ó tamaño. Si el parche es rectangular, se deberá proveer un radio adecuado en las esquinas. Deben evitarse las esquinas cuadradas.

VI.4. SOLDADURA Y PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

El propósito de esta guía es proporcionar información suplementaria al Inspector, en materia de soldaduras y pruebas no destructivas.

VI.4.1. CONTROL DE SOLDADURA.

El propósito de una especificación de un procedimiento de soldadura, y el registro de calificación de procedimiento, es determinar si la unión soldada propuesta para construcción es capaz de proporcionar las propiedades requeridas para su aplicación destinada. Cada proceso de soldadura tiene partidas asociadas (llamadas variables), que tienen un efecto sobre la operación de soldadura. El procedimiento en soldadura es una relación de las variables, tanto esenciales, como no esenciales y las variaciones aceptables de éstas variables. El procedimiento de soldadura proporciona dirección para el soldador. La calificación de procedimiento proporciona una relación de lo que se usó en la calificación del procedimiento y los resultados de la prueba.

VI.4.2. INSPECCIÓN DE JUNTAS SOLDADAS.

Inspección de Ajuste.

El inspector deberá programar sus inspecciones para verificar el ajuste de las partes que se van a soldar. Las dimensiones y el perfil de las orillas que se van a unir, deberán permitir la fusión completa, y cuando se requiera, la penetración completa de la junta. Deberá analizar la colocación de soldaduras provisionales ó de mordazas, para asegurarse de que se mantengan las tolerancias de alineamiento como lo exige la sección aplicable del Código ASME.

Soldaduras Terminadas.

Las soldaduras terminadas se deberán inspeccionar respecto a la apariencia y a las condiciones insatisfactorias, tales como grietas, refuerzos excesivos y socavación excesiva.

VI.4.3. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

La sección V del Código ASME se relaciona con los requisitos y métodos para pruebas no destructivas, los cuales se relacionan con las otras secciones del Código ASME.

Los métodos de pruebas no destructivas se destinan a revelar discontinuidades superficiales e internas en materiales, en soldaduras, en partes y en componentes. Estos incluyen examen radiográfico, examen ultrasónico, examen de líquido penetrante, examen de partículas magnéticas, examen de corrientes parásitas, examen visual, pruebas de fugas y exámenes de emisión acústica. En los métodos antes mencionados son esenciales la experiencia, la habilidad y la integridad del personal que efectúa estos exámenes para obtener resultados significativos. El Inspector deberá repasar los métodos y los procedimientos que se van a emplear, para asegurar el cumplimiento con los requisitos del Código ASME.

Examen Radiográfico (RT).

Este método se usa comúnmente para examinar las discontinuidades superficiales y sub-superficiales. El uso de este método puede estar restringido a causa de la configuración de la junta soldada ó de las limitaciones del equipo radiográfico. La radiografía no dará una indicación de la

profundidad de la discontinuidad, a menos que se usen procedimientos especiales.

La técnica usada en radiografía depende del equipo que se use y de la experiencia para producir los mejores resultados. No es la función del Inspector indicar el procedimiento que se ha de seguir, siempre y cuando el procedimiento y las películas radiográficas satisfagan los requisitos de la sección aplicable del Código ASME.

La interpretación de las películas radiográficas de las soldaduras, no sólo requiere un conocimiento de soldadura y de discontinuidades de soldadura, sino también el ejercicio del buen juicio, respecto a si las continuidades son realmente defectos. Cuando existe una diferencia de opinión, en vez de abrir la soldadura, un nuevo examen de área sospechosa, usando técnicas más sensitivas puede indicar si la soldadura es ó no sana. Las irregularidades de la superficie puede mostrarse en la radiografía. En tales casos, la película ó papel transparente se puede colocar sobre la soldadura; el área en duda se localiza sobre la superficie y se hace la corrección necesaria.

Examen Ultrasonico (UT).

Este método proporciona indicaciones de discontinuidades superficiales y sub-superficiales. La profundidad de las discontinuidades puede determinarse por el uso de la técnica apropiada. Puesto que normalmente no existen registros de los resultados más que los indicados en una pantalla, la destreza, la experiencia y la integridad del personal que ejecuta la prueba, son de gran importancia.

El examen ultrasónico para la determinación de espesores se puede usar mediante la técnica de resonancia ó de pulsación-eco.

Examen de Líquidos Penetrantes (PT).

El método del líquido penetrante se usa para detectar discontinuidades que están abiertas a la superficie del material que se está examinando. Este método puede aplicarse tanto en materiales ferrosos como en materiales no ferrosos.

El examen de líquido penetrante se puede usar en la revelación de discontinuidades en la superficie, tales como grietas, costuras, solapas, cierres fríos (defectos por falta de calor), laminaciones y porosidades.

Examen de Partículas Magnéticas (MT).

El método de partículas magnéticas se puede usar sólo en materiales ferromagnéticos para poder revelar discontinuidades y, hasta un grado limitado, aquéllas ubicadas debajo de la superficie. La sensibilidad de éste método decrece rápidamente con la profundidad debajo de la superficie que se está examinando y, por tanto, se usa principalmente para examinar discontinuidades superficiales.

Examen de Corrientes Parásitas (ET) de Productos Tubulares.

El método de corrientes parásitas se usa para descubrir discontinuidades en tubo de cédula y tuberías flus, sometiendo al material a un fuerte campo magnético externo. Una bobina de prueba que induzca corrientes parásitas en el material se usa para éste propósito. Si existe una discontinuidad, habrá

variaciones en las corrientes parásitas producidas y esto se indicará por una señal en el aparato de prueba.

Examen Visual (VT).

El examen visual se usa generalmente para determinar situaciones tales como, la condición superficial de la parte, refuerzos y socavación de soldaduras, alineamiento de superficies que empatan, forma y evidencia de fugas. Los métodos empleados pueden ser:

- a) *Examen visual directo.*
- b) *Examen visual remoto.*
- c) *Examen visual transluciente, usando alumbrado direccional artificial.*

Pruebas de Fugas (LT).

Las pruebas de fugas se efectúan usando gas y formación de burbujas, pruebas de vacío, el indicador de diodo halógeno, el probador inverso de espectrómetro de masa de helio ("olfateador"), el método de caperuza de espectrómetro de masa de helio y la prueba de cambio de presión.

Examen de Emisión Acústica (AE).

El examen de emisión acústica se usa para identificar áreas de un recipiente en las cuales se ubican discontinuidades superficiales y sub- superficiales estructuralmente importantes. El método se usa en conjunto con una prueba de presión ó elevación de presión en la línea, y valora la integridad estructural del recipiente.

Otros métodos de exámenes no destructivos, en particular ultrasónicos, se usan después del examen de características en forma precisa de discontinuidades que se han identificado.

VI.5. INSPECCION EN SERVICIO DE RECIPIENTES A PRESION.

Si se cambian las condiciones de operación, la presión y la temperatura máxima de operación, se deberá realizar una inspección.

Si se cambia la ubicación de cualquier recipiente a presión estacionaria, el recipiente se inspeccionará antes de que se ponga en servicio y se establecerán las condiciones permisibles de servicio, así como el próximo período de inspección para el nuevo servicio.

VI.5.1. BITÁCORA DE INSPECCIÓN.

Se mantendrá una bitácora permanente para cada recipiente a presión. Este registro incluirá lo siguiente:

a. Un informe de datos del fabricante autorizado por ASME ó, si el recipiente no va a llevar sello de Código, otras especificaciones equivalentes. El Informe de Datos y de Recipientes a Presión, mostrará los números de identificación siguientes que sean aplicables:

-Número de Serie del Fabricante.

-Número del Propietario ó Usuario.

b. Información completa de dispositivos de alivio de presión, que incluya datos del resorte de válvulas de seguridad ó de seguridad-alivio ó datos del disco de ruptura, y la fecha de la última Inspección.

c. Un registro progresivo que incluya, pero no se limite a lo siguiente.

1. *Ubicación y espesor de muestras para control y otras ubicaciones críticas de inspección.*

2. *Temperaturas limitantes del metal y ubicación del recipiente cuando sea importante, en el establecimiento del espesor mínimo permisible.*

3. *Espesores calculados del metal requerido y presión de trabajo máxima permisible, para la temperatura de diseño del metal y presión de apertura del dispositivo de alivio de presión, carga estática y otras cargas.*

4. *Pruebas de presión, si se prueban durante la Inspección.*

5. *fecha programada (aproximada) de la siguiente inspección.*

6. *Fecha de instalación y fecha de cualquier cambio importante en las condiciones de servicio (presión, temperatura, carácter del contenido ó formación de corrosión).*

d. Dibujos que muestren detalles suficientes para permitir el calculo de la asignación de servicio, para todos los componentes de recipientes a presión

utilizados en operaciones de procesos, sujetos a condiciones corrosivas. Los datos detallados con croquis, donde sea necesario, pueden servir para este propósito cuando no se disponga de dibujos.

VI.5.2. DETERMINACIÓN DE LA FORMACIÓN PROBABLE DE CORROSIÓN.

Para recipientes a presión nuevos y para recipientes para los cuales se han cambiado las condiciones de servicio, se empleará uno de los métodos siguientes para determinar la formación probable de corrosión, a partir de la cual se puede estimar el espesor de pared restante, en el tiempo de la siguiente inspección:

a. la formación de corrosión que se estableció por datos recopilados por el usuario, en recipientes a presión de servicio similar.

b. si los datos para servicio igual ó similares no están disponibles, la formación de corrosión se estimará por el conocimiento y la experiencia del Inspector, con recipientes a presión en servicio similar.

c. Si la formación de corrosión probable no se puede determinar por cualquiera de los métodos mencionados anteriormente, se harán determinaciones de espesor, durante los procesos después de aproximadamente 1,000 horas de servicio. Se tomarán subsecuentes mediciones de espesores en intervalos de tiempo similares, hasta que se establezca la formación de corrosión.

VI.5.3. PERIODO MÁXIMO ENTRE INSPECCIONES.

a. El tipo de inspección dado a recipiente a presión deberá tomar en consideración la condición del recipiente y el ambiente en el cual opere. Esta inspección puede tomar varias formas; externa, interna ó cualquiera de las numerosas técnicas de evaluación no destructivas. La forma de inspección apropiada elegida debe considerar si el recipiente está en operación ó sin presión, pero debe proporcionar la información necesaria, para determinar si las secciones esenciales del recipiente están en condiciones para continuar operando durante el intervalo de tiempo esperado. La inspección en proceso, que incluye cuando está sujeto ha presión, se puede usar para satisfacer los requisitos de inspección, siempre y cuando se pueda demostrar la exactitud del método.

b. El período máximo entre inspecciones internas ó una evaluación completa en proceso de recipientes a presión, no excederá de la mitad de la duración restante estimada del recipiente ó diez años, cualquiera que sea menor. Cuando la duración de operación restante sea menor de cuatro años, el intervalo de inspección puede ser la duración total de operación segura restante, hasta un máximo de dos años. Cuando la formación de corrosión regule la duración del recipiente a presión, la vida restante se calculará por la fórmula siguiente:

$$\text{vida restante (años)} = \frac{t_{\text{reat}} - t_{\text{requerido}}}{\text{formación de corrosión}} \\ \text{(pulgadas ó mm por año)}$$

Donde:

t_{reat} Espesor en pulgadas ó mm. medido durante la inspección.

$t_{\text{requerido}}$ Espesor mínimo en pulgadas ó mm. para la sección ó la zona crítica del recipiente a presión.

Cuando se descubren otras formas de deterioro, tales como abombamiento, pandeo, grietas por corrosión con esfuerzo, ruptura por deformación que depende del tiempo y de la temperatura, fatiga térmica ó mecánica, ampollamiento de hidrógeno, ataque de hidrógeno a alta temperatura, carburización, grafitización ó erosión, la duración restante también se volverá a evaluar y se volverá a estudiar el intervalo de inspección para un posible ajuste. El deterioro también puede ser causado por fuerzas mecánicas, tales como impacto térmico, cambios cíclicos de temperatura, vibración, pulsaciones de presión, temperatura excesiva, cargas externas y por material y fabricación defectuosa.

C. Cuando la formación de corrosión se sabe que es cero, el recipiente no necesita ser inspeccionado internamente, siempre y cuando se satisfagan todas las condiciones siguientes y se hagan inspecciones externas completas, que incluyan mediciones no destructivas de espesor periódicamente en el recipiente.

1. *El carácter no destructivo del contenido, incluyendo el efecto de componentes residuales, se haya establecido por medio de la experiencia comparable de servicio de al menos 5 años, con el fluido que se está manejando.*
2. *No se descubra condición dudosa por la inspección periódica externa.*
3. *La temperatura de operación del recipiente a presión no exceda de los límites inferiores para la variación de ruptura por deformación, que depende del tiempo y de la temperatura del metal del recipiente. El límite inferior de temperatura para el rango de ruptura por deformación*

que depende del tiempo, para acero al carbono sea al menos de 700°F (351°C). El límite para acero de aleación es con frecuencia más alto. El límite para otros metales depende de la composición específica. Se debe obtener consejo metalúrgico especializado, para metales no ferrosos y aceros aleados.

4. *El recipiente a presión se protege contra contaminación inadvertida.*

d. Cuando una parte ó toda la pared del recipiente a presión tiene un recubrimiento resistente a la corrosión, el intervalo entre las inspecciones de aquellas secciones así protegidas, se puede basar en la experiencia registrada con el mismo tipo de recubrimiento en servicio similar, pero no excederá de diez años.

Si no existe experiencia previa en la cual basar el intervalo entre inspecciones, el comportamiento del recubrimiento debe ser monitoreado por un medio conveniente, tal como el uso de muestras de prueba de corrosión removibles del mismo material, así como el recubrimiento, examen ultrasónico ó radiografía. Para comprobar la efectividad de un recubrimiento de aislamiento interno, las temperaturas del metal se pueden obtener supervisando la envolvente del recipiente a presión con medición de la temperatura ó utilizando dispositivos indicadores.

e. Cuando un recipiente a presión tiene dos ó más zonas y el espesor requerido, la tolerancia de corrosión ó la formación de corrosión difieren tanto, que las disposiciones mencionadas anteriormente dan diferencias importantes en períodos máximos entre inspecciones para las zonas respectivas (por ejemplo, las porciones superiores e inferiores de algunas

torres de fraccionamiento), el período entre inspecciones se puede establecer individualmente para cada zona, sobre la base de la condición aplicable para ese lugar, en vez de establecer la inspección completa, en base a la zona que requiere la inspección más frecuente.

f. Todos los recipientes a presión ubicados sobre el piso deberán someterse a un examen visual externo, después de operarlo menos de cinco años ó un cuarto de la duración de vida, preferentemente, mientras estén en operación. La inspección incluirá la determinación de la condición de aislamiento externo, los soportes, y el alineamiento general del recipiente sobre sus soportes. No es necesario remover ningún aislamiento, si la temperatura de toda la envolvente del recipiente a presión, se mantiene suficientemente baja ó alta como para que se imposibilite la presencia de agua. Los recipientes a presión que se sabe que tiene una duración restante de más de diez años ó que se impide que se expongan a corrosión externa (tales como que se instalen dentro de una caja fría, en la cual la atmósfera se purga con un gas inerte, ó porque la temperatura se mantenga suficientemente baja ó suficientemente alta como para imposibilitar la presencia de agua), no necesitan que se haga remover el aislamiento para la inspección externa periódica. Sin embargo, la condición del sistema de aislamiento y/o la camisa exterior, tal como la envolvente de la caja fría, se observará periódicamente y se reparará de ser necesario.

g. Los dispositivos de alivio de presión se inspeccionarán y se probarán a intervalos necesarios, a fin de mantener el equipo en condiciones de operación seguras. Los intervalos entre inspecciones deberán determinarse por la experiencia en el servicio particular de que se trate.

h. Los periodos para inspección, suponen que el recipiente a presión está en operación continua, interrumpida solamente por intervalos de paradas normales. Si el recipiente a presión está fuera de servicio por un intervalo prolongado, el efecto de las condiciones ambientales internas y externas durante tal intervalo se deberán considerar al revisar la fecha de la siguiente inspección, la cual se estableció y se informó en la ocasión de la inspección previa. Si el recipiente a presión está fuera de servicio por un año o más, se inspeccionará otra vez antes de que vuelva a ponerse en servicio.

VI.5.4. INSPECCIÓN POR CORROSIÓN Y OTROS DETERIOROS.

a. El espesor real y el deterioro máximo de cualquier parte del recipiente a presión, se determinarán por uno de los métodos siguientes:

1. *Se puede usar cualquier examen no destructivo adecuado, siempre y cuando las determinaciones de espesor sean exactas dentro de las tolerancias siguientes:*

<u>Espesor de pared, t (pulg. ó mm.)</u>	<u>Tolerancia permisible.</u>
<i>-5/16 pulg, (8 mm) y menos</i>	<i>0.10 t</i>
<i>Más de 5/16 pulg, (8 mm.)</i>	<i>1/32 pulg.</i>
<i>Cualquiera que el mayor valor</i>	<i>ó 0.05 t</i>

2. *Si están disponibles aberturas existentes ubicadas convenientemente, las mediciones se pueden tomar a través de las aberturas.*

3. *Cuando es imposible determinar el espesor por métodos no destructivos, se puede barrenar un agujero a través de la pared del metal y tomar mediciones del calibre de espesor.*

b. *Para un área corroída de tamaño considerable, en la cual los esfuerzos circunferenciales gobiernan la presión máxima de trabajo, los espesores menores a lo largo del plano más crítico de tal área, se puede promediar sobre una longitud que no exceda de:*

1. *Un medio del diámetro del recipiente a presión, ó 20 pulg. (50.8 mm) para recipientes con diámetros interiores de 60 pulg. (152.4 mm) ó menos.*

2. *Un tercio del diámetro del recipiente a presión, ó 40 pulg. (101.6 mm) para recipientes con diámetros interiores mayores de 60 pulg. (152.4 mm), excepto si el área contiene una abertura, la distancia entre la cual se promedian los espesores a cada lado de tal abertura no se extenderá más allá de los límites de refuerzo que se definen en la sección del Código ASME, según la cual se construyó el recipiente.*

Si a causa de las cargas de vientos u otros factores, los esfuerzos longitudinales fueran de importancia, los espesores mínimos en una longitud de arco determinada similarmente en el lugar más crítico, perpendicular al eje del recipiente a presión, también se promediarán para el cálculo de los esfuerzos longitudinales. Los espesores usados para determinar formaciones de corrosión en las ubicaciones respectivas, serán los espesores promedio.

c. Las picaduras ampliamente dispersas pueden no tomarse en cuenta siempre que:

- 1.** *Su profundidad no sea de más de la mitad del espesor requerido de la pared del recipiente a presión (excluyendo la tolerancia por corrosión);*
- 2.** *El área total de las picaduras no excederá de 7 pulg² (45.2 cm²) dentro de cualquier círculo de diámetro de 8 pulg. (20.3mm).*
- 3.** *La suma de sus dimensiones a lo largo de cualquier línea recta dentro de este círculo, no exceda de 2 pulg. (5.08 mm).*

d. Cuando la superficie de una soldadura que tenga un factor de junta diferente de uno esté corroída, así como las superficies remotas a partir de la soldadura, se debe hacer un cálculo independiente, utilizando el factor de junta de soldadura apropiado, para determinar si el espesor en la soldadura ó en una zona alejada a partir de la soldadura, es suficiente para soportar la presión de trabajo permisible. Para los propósitos de éste cálculo, la superficie en una soldadura incluye una pulgada a cada lado de la soldadura, ó dos veces al espesor mínimo a cada lado de la soldadura, cualquiera que sea lo mayor.

CONCLUSIONES.

Al cabo de este trabajo tesis, se pudo concluir que el conocimiento de las técnicas avanzadas para la protección y seguridad de obreros e ingenieros, da como resultado una satisfacción laboral, ya que se evitan pérdidas humanas, monetarias y de tiempo.

La inspección a los recipientes a presión se recomienda que deba de ser con un periodo mínimo de cuatro años y no mayor de diez. Como medida precautoria el usuario tendrá la obligación de reportar cualquier anomalía que presente el recipiente, por pequeña e insignificante que parezca, para así proceder a su revisión inmediata.

El tener una bitácora de inspección resulta de gran ayuda ya que con el paso del tiempo, no se percata con exactitud del periodo transcurrido desde la última inspección del equipo.

El Código ASME es una herramienta de gran importancia para los diseñadores, constructores y proyectistas de recipientes a presión ya que tiene una larga trayectoria con lo relacionado a seguridad. Este y muchos otros organismos, son la base para que la tecnología avance y trascienda en la economía de un país, se mejoren las condiciones de vida y la seguridad laboral (que es en gran parte, una problemática que se pretende erradicar).

BIBLIOGRAFIA.

Askeland, R. Donald.

La Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

México. Grupo Editorial Iberoamérica. 1987.

Sloane, Alvin.

Resistencia de Materiales. 4ª, Ed. Barcelona.

Edit. Montaner y Simon, S.A. 1993.

W. J. Ellis.

Ingeniería de Materiales. 3ª, Ed. México.

Representaciones y Servicios de Ingeniería,
S.A. 1987.

R. L. Timings.

Tecnología Mecánica, Procesos y Materiales.

México. Representaciones y Servicios de
Ingeniería, S. A. 1985.

James, A. Pender.

Soldadura. México.

3ª, Ed. Edit. Mc. Wraw Hill 1993.

Mijarez, Ruiz A.

Soldadura por Gas. México.

Representaciones y Servicios de Ingeniería
S.A. 1987.

**The American Society of
Mechanical Engineers.**

Pressure Vessel ASME CODE.
Sección VII, VIII, IX. U.S.A. 1986.

Vladimiro, Piredda Massimo.

Soldadura Eléctrica Manual.
México. LIMUSA. 1981.

Acosta H., Luis Eduardo.

Guía práctica para la investigación y
redacción de informes. Buenos Aires, Edit.
Paidós, 1972.