

11
2oj



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**SELECCION DE MATERIALES EN
LA INGENIERIA QUIMICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE;
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N :

ABEL GUTIERREZ JACINTO

CARLOS GUTIERREZ JACINTO



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

SELECCION DE MATERIALES EN INGENIERIA QUIMICA

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I

DIVISIONES BASICAS DE LOS MATERIALES

- 1.1. EL ENLACE METALICO**
- 1.2. EL ENLACE IONICO**
- 1.3. EL ENLACE COVALENTE**
- 1.4. EL ENLACE DE VAN DER WALLS**
- 1.5. METALES Y ALEACIONES. CLASIFICACION Y PROPIEDADES GENERALES**
 - 1.5.1. METALES PUROS**
 - 1.5.2. METALES LIGEROS**
 - 1.5.3. METALES NOBLES**
 - 1.5.4. METALES DE TRANSICION, MAGNETICOS**
 - 1.5.5. METALES DE TRANSICION, REFRACTARIOS**
 - 1.5.6. METALES DE TRANSICION, REFRACTARIOS Y MICROALEANTES**
 - 1.5.7. METALES DE ALTA VALENCIA**
- 1.6. ELEMENTOS NO METALICOS**
 - 1.6.1. METALOIDES**
 - 1.6.2. NO METALICOS**

CAPITULO II

CORROSION

- 2.1. DEFINICION**
- 2.2. FORMAS DE CORROSION**

- 2.2.1. CORROSION GALVANICA
- 2.2.2. LIXIVIACION SELECTIVA
- 2.2.3. CORROSION GRAFITICA
- 2.2.4. CORROSION INTERGRANULAR
- 2.2.5. CELDAS POR CONCENTRACION DE OXIGENO
- 2.2.6. FRACTURA POR HIDROGENO
- 2.3. ENSAYOS DE CORROSION
 - 2.3.1. PRUEBAS DE INMERSION
 - 2.3.2. CORROSION POR TENSION
 - 2.3.3. CORROSION POR FATIGA
 - 2.3.4. METODO DE RESISTENCIA ELECTRICA
 - 2.3.5. POLARIZACION LINEAL

CAPITULO III

ENSAYOS MECANICOS DE LOS MATERIALES

- 3.1. PRUEBAS DESTRUCTIVAS
 - 3.1.1. ENSAYOS DE DUREZA
 - 3.1.2. PRUEBA O ENSAYO DE TENSION
 - 3.1.3. PRUEBAS DE IMPACTO
- 3.2. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS
 - 3.2.1. RAYOS X
 - 3.2.2. PARTICULAS MAGNETICAS

CAPITULO IV

ALEACIONES FERROSAS

- 4.1 DIVISION DE LAS ALEACIONES FERROSAS

- 4.1.1. ACEROS
- 4.1.2. ESPECIFICACIONES DE LOS ACEROS
- 4.1.3. ACEROS AL CARBONO
- 4.1.4. ACEROS ALEADOS
- 4.1.5. ACEROS INOXIDABLES
- 4.1.6. ACEROS REFRACTARIOS
- 4.1.7. CORROSION EN ACERO AL CARBON
- 4.1.8. CORROSION EN ACERO INOXIDABLE

CAPITULO V

ALEACIONES NO FERROSAS

- 5.1. ALUMINIO Y SUS ALEACIONES
 - 5.1.1. CORROSION EN EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES
- 5.2. NIQUEL Y SUS ALEACIONES
 - 5.2.1. OTRAS ALEACIONES DE NIQUEL
 - 5.2.2. CORROSION EN EL NIQUEL Y SUS ALEACIONES
- 5.3. COBRE Y SUS ALEACIONES
 - 5.3.1. CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE

CAPITULO VI

CERAMICOS

- 6.1. DEFINICION Y CARACTERISTICAS
- 6.2. PROPIEDADES DE LOS CERAMICOS
- 6.3. TIPOS MAS COMUNES DE CERAMICOS
- 6.4. APLICACIONES DE LOS CERAMICOS

CAPÍTULO VII

PLÁSTICOS

7.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PLÁSTICOS

7.2 APLICACIONES DE LOS PLÁSTICOS

CAPÍTULO VIII

CRITERIOS GENERALES EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES

CONCLUSIONES

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCION

En la presente tesis se pretende dar los lineamientos generales que conlleven a la mejor selección posible de los materiales a utilizarse en un determinado equipo y/o proceso.

Así mismo la de ser un auxiliar y una guía que permite dar los criterios básicos para discernir entre los diversos materiales existentes disponibles para el Ingeniero Químico, dentro de la Ingeniería de Procesos, Diseño, etc.. De esta forma se enfatiza en criterios básicos, puesto que en cada situación específica habrá una gran variedad de materiales a elegir, por lo que se tendrá que consultar las referencias bibliográficas necesarias.

La tesis también está dirigida a estudiantes que cursen la licenciatura en Ingeniería Química siendo un complemento adicional para su preparación. Para realizar nuestro propósito el trabajo se ha dividido en ocho capítulos estructurados de tal forma que se logre una sistematización en el estudio de los materiales.

Se principia con el desarrollo de los materiales y su clasificación, se continúa con los diferentes métodos para probar la resistencia de los materiales (ensayos), los cuales nos darán bases para el posterior análisis de alternativas después en los siguientes capítulos se define la corrosión, características principales y los diversos tipos que existen.

En los últimos capítulos se dan características generales de diversos --

materiales tales como: metales ferrosos, no ferrosos, polímeros y cerámicos. Así como los criterios para poderlos seleccionar adecuadamente de -- tal forma que ofrezcan una mejor resistencia y durabilidad de acuerdo a -- las condiciones de operación.

El material adicional constituido de gráficas, tablas y diagramas permite una mayor posibilidad de apoyo en problemas específicos, que pueden -- presentársele al Ingeniero en su vida profesional.

Cabe hacer la aclaración que no es posible profundizar en cada uno de los temas puesto que cada uno es muy extenso, volviendo a reiterar que es una visión general lo tratado dentro de la selección de materiales.

CAPITULO I

1.0 DIVISIONES BASICAS DE LOS MATERIALES

Si se examinan el área completa de materiales para la Ingeniería, se encuentra tres grupos principales:

1. Metales: acero, cobre, hierro fundido, etc.
2. Cerámicos: vidrio, ladrillo, cemento, etc.
3. Plásticos y otros polímeros mayores: polietileno, caucho, etc.

Las diferencias en las características de cada grupo tienen su origen en diferencias básicas que hay en el enlace entre átomos y grupos de átomos. Por ejemplo, en los metales, el enlace metálico conduce a ductilidad y alta conductividad eléctrica; en los cerámicos los enlaces iónicos y covalentes generalmente dan dureza, fragilidad y alta resistencia eléctrica; en los plásticos, las fuerzas covalentes e intermoleculares de Van der Waal conducen a la variedad de propiedades que se encuentran en los materiales plásticos.

1.1. EL ENLACE METALICO:

Este enlace, se forma debido a que los electrones pueden moverse de manera que quedan cercanos simultáneamente dos o más núcleos positivos. Se puede representar a un metal como un enrejado de iones positivos, colocados en los nudos de la red cristalina y sumergidos en una nube de --

electrones móviles. En el enlace metálico, los electrones tienen capacidad de desplazarse en todos los sentidos, casi uniformemente por todo el cristal. Los electrones móviles o no localizados que existen en el enlace metálico explican la maleabilidad y ductilidad debido al libre movimiento sin destruir el enlace. Los metales son buenos conductores de la electricidad debido a que algunos electrones de valencia tienen libertad de movimiento a través del sólido. Al mismo tiempo, estos electrones móviles son capaces de mantener unido al cristal, puesto que en cualquier dirección que se muevan están próximos simultáneamente a dos o más núcleos. El brillo metálico se explica mediante la movilidad de los electrones. La luz al incidir sobre la superficie es absorbida por la pérdida de electrones de la superficie. Estos electrones ocasionan una oscilación rápida, con cualquier movimiento de la carga eléctrica emiten energía radiante. El efecto neto de la absorción y emisión de energía radiante hace que la superficie metálica refleje la luz.

1.2. EL ENLACE IONICO:

El enlace electrovalente o iónico se origina por una transferencia completa de uno o más electrones de un átomo o grupo de átomos, a otro. Así mismo se puede definir el enlace electrovalente o iónico, como la atracción electrostática entre iones de carga opuesta. Esta fuerza de atracción explica la estabilidad de los compuestos electrovalente por ejemplo: NaF, LiCl, KCl. Sus fuerzas electrostáticas son tan grandes que en el estado sólido toman una estructura ordenada geométrica o reticular (red cristalina) y en el estado líquido y en solución interaccionan fuertemente con --

iones o moléculas de otro material presente. El enlace iónico se forma cuando se traslapan reempes u orbitales incompletas pertenecientes a distintos átomos, o cuando los átomos tienen diferentes electronegatividades. Comparando las propiedades de una estructura iónica con la estructura metálica, se encuentra que la conductividad eléctrica del sólido es menor en varios órdenes de magnitud que la de los metales, esto a consecuencia de que los electrones no están libres sino firmemente sostenidos en su lugar. El cristal se fractura de manera frágil debido a que cuando se trata de deslizar un plano de iones sobre otro, los campos eléctricos de iones diferentes se oponen.

1.3 EL ENLACE COVALENTE:

Experimentalmente se ha visto que las moléculas más estables son las moléculas diatómicas como las de hidrógeno, oxígeno, fluor, etc. Cuando estos átomos se unen para formar la molécula no pueden transferir electrones de un átomo a otro y sin embargo tienen una configuración muy estable debido a que la unión la hacen compartiendo electrones. Los átomos que se enlazan de esta manera tienen carga eléctrica neutra, puesto que todos los electrones de los dos átomos participan en la interacción de los dos núcleos y esta coparticipación tiene particular importancia. La nube electrónica forma un enlace con el núcleo y de esta manera los electrones son fuertemente atraídos por el núcleo y se dice que forman un enlace covalente. Cada electrón contribuye a formar el par de enlace. Cada par de enlace constituye una unión covalente. En muchos materiales cerámicos se encuentra este tipo

de enlace. Un ejemplo importante es el caso del sílice (vidrio) en donde los cuatro electrones externos del silicio pueden compartirse con el -- electrón de la capa externa de cada uno de los cuatro átomos de oxígeno y formar una capa estable de ocho electrones. En esta forma se tendrá ca da átomo de silicio rodeado por un tetraedro de cuatro átomos de oxígeno. Cada átomo de oxígeno está situado entre dos átomos de silicio y comparte un electrón a cada lado. El enlace es también en parte iónico porque el oxígeno es un poco más electronegativo y tiende a atraer con mayor -- fuerza a los electrones. En el cuarzo, que es una forma de sílice, este enlace da como resultado alta dureza y baja conductividad eléctrica.

1.4. EL ENLACE DE VAN DER WALLS:

Este tipo de enlace ocurre, hasta cierto punto en todos los materiales - pero especialmente es importante en los plásticos o polímeros mayores. - Las moléculas están conformadas por una estructura de átomos de carbono con enlaces covalente y otros átomos como hidrógeno, nitrógeno, fluor, - cloro, azufre y oxígeno, unidos a los lados con otros enlaces de carbono.

Dentro de la molécula, los enlaces covalentes son muy fuertes y únicamente se rompen bajo condiciones extremas. Los que tienen gran importancia son los enlaces intermoleculares que acompañan al deslizamiento y finalmente se rompen. A estos enlaces se les llama "fuerzas de Van der Wall". Esta fuerza de atracción proviene del movimiento continuo y desordenado de las moléculas, se producen como resultado de un oscilar periódico de

Los electrones en las moléculas próximas, dando lugar a la formación de dipolos inestables que a su vez originan atracciones momentáneas. Las fuerzas de Van der Waals son más intensas cuanto más electrones contienen las moléculas y cuanto más débiles son los enlaces que los unen. Las fuerzas de Van der Waals aumentan a medida que las moléculas van creciendo. Por ejemplo, con las moléculas de polietileno se encuentra la misma relación de átomos de hidrógeno y átomos de carbono, como en el gas etileno simple, pero a medida que aumenta el número de átomos en la molécula, se pasa de un gas a un líquido y finalmente a un plástico sólido.

1.5 METALES Y ALEACIONES. CLASIFICACION Y PROPIEDADES GENERALES.

Es relativamente sencillo para cualquier persona establecer cuando un artículo es de metal, pero las razones básicas para hacerlo no lo son.

En el transcurso del tiempo aparecieron nuevos metales y se multiplicó su uso, pero sólo recientemente es cuando se ha establecido en forma más o menos amplia una definición que abarca todos los metales.

Se denominan metales puros a las sustancias químicas elementales que son buenos conductores de la electricidad y del calor, que son en general dúctiles y maleables y que, convenientemente preparados tienen un brillo "sui generis".

Una mirada más detenida al conjunto de metales, permite establecer que a pesar de tener las propiedades específicas metálicas, en ciertos aspectos

su comportamiento es diferente, lo cual se debe a que pertenecen a dos grupos de materiales metálicos.

- Metales puros
- Aleaciones

1.5.1. METALES PUROS

Los metales puros son los formados por granos cristalinos de un solo elemento químico.

Es bien sabido que los elementos químicos se dividen en tres grandes grupos:

- Metales
- No Metales
- Metaloides

Los metales, que son 80, están ubicados en el centro y a la izquierda de la Tabla Periódica; sus cualidades metálicas van disminuyendo, conforme su posición está más a la derecha. Se pueden establecer grupos en sentido horizontal, vertical y diagonal, de tal suerte que los más importantes son los siguientes:

- a) Metales alcalinos: litio, sodio, potasio, rubidio y cesio.
- b) Metales alcalinos-térreos: calcio, estroncio, bario y radio.
- c) Metales ligeros: berilio, magnesio y aluminio.

- d) Metales nobles: cobre, plata y oro.
- e) Familia del zinc: zinc, cadmio y mercurio.
- f) Metales de transición: del escandio al níquel, del itrio al paladio y del lantano al platino. Dentro de estos metales de transición son importantes los siguientes grupos:
 1. Metales magnéticos: fierro, cobalto y níquel.
 2. Metales refractarios: cromo, molibdeno y tungsteno.
 3. Metales refractarios y microaleantes: titanio, vanadio, columbio y tántalo.
 4. Metales preciosos: rutenio, rodio, paladio, osmio, iridio y platino.
- g) Metales de alta valencia: galio, indio, talio, estaño, plomo y bismuto.
- h) Metales de transición interna: lantánidos y actínidos.

A continuación se destacan los aspectos más característicos de los grupos que más nos interesan, haciendo hincapié en sus cualidades tecnológicas.

1.5.2. METALES LIGEROS

Bajo este rubro se agrupan el berilio, magnesio y aluminio. El berilio y el magnesio, como los metales alcalino-térreos pertenecen al grupo IIA; - sin embargo no tienen las mismas cualidades que ellos; el aluminio está - en el grupo IIIA, sin embargo tiene una relación muy marcada en su comportamiento con el berilio. Se les denomina metales ligeros por su baja densidad.

El magnesio tiene una estructura hexagonal compacta. Su densidad es de 1.74. Su ductilidad es baja para el trabajo mecánico en frío pero puede trabajarse en caliente a temperatura mayor de 250°C.

Sus aleaciones, que se emplean principalmente en la industria aeronáutica porque de los metales de uso común es el más ligero, son con zinc, aluminio, zirconio y otros elementos los cuales se le agregan para refinar el grano, aumentar la resistencia a la corrosión o preparar aleaciones endurecibles por precipitación. Como aleante se le agrega al aluminio, sobre todo junto con el silicio.

ALUMINIO. El aluminio es un metal que cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras. Tiene una densidad de 2.7. Sus aplicaciones principales se deben a tres factores: conductibilidad eléctrica, resistencia a la corrosión y ligereza. Aunque tiene una conductividad de 2/3 partes que el cobre en relación al volumen, se le considera con conductividad mayor porque tiene 1/3 parte de su peso.

El aluminio se recubre rápidamente de una capa adherente al óxido que impide que avance la corrosión atmosférica; el óxido formado puede ser fácilmente coloreado de donde nacen los productos de aluminio anodizados.

Por su ligereza se emplea mucho en construcción. Para mejorar algunas de sus propiedades se le agregan magnesio, silicio, cobre, manganeso, etc., para dar respuesta a gran número de aplicaciones que requieren de las propiedades mencionadas. A su vez, se agrega con diversos fines al acero, cobre, níquel, etc.

1.5.3. METALES NOBLES

Bajo este tipo se agrupan cobre, plata y oro los cuales tienen un punto de fusión relativamente elevado a diferencia de los metales alcalinos con los que comparten el grupo I de la Tabla Periódica de los Elementos formando el grupo I B. Cristalizan en el sistema cúbico centrado en las caras, tienen ductilidad y maleabilidad elevadas así como una excelente resistencia a la corrosión. La densidad y la resistencia a la corrosión aumentan del cobre al oro.

COBRE

Tiene singular importancia porque es el metal que se utiliza en mayor cantidad como metal puro por su elevada conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión en determinados ambientes; también por su alta conductividad térmica. Se trabaja muy bien en frío y en caliente.

Sus propiedades se afectan radicalmente con la adición de elementos de aleación. Se elevan sus valores de las propiedades mecánicas y disminuyen las conductividades eléctricas y térmicas y la resistencia a la corrosión.

Forma como metal base una gran variedad de familias de aleaciones todas muy importantes.

Como elemento de aleación se agrega a los siguientes metales base: aluminio, hierro, níquel, magnesio, zinc, etc.

FAMILIA DEL ZINC

Esta familia está formada por el zinc, cadmio y mercurio; se encuentra en el grupo II B de la Tabla Periódica.

ZINC

Tiene una estructura hexagonal compacta; como metal puro se usa para prevenir el acero de la corrosión ya sea recubriéndolo (galvanizado) o como ánodos en protección catódica. Forma con el aluminio y el cobre aleaciones para moldearse conocidos como Zamak.

Se utiliza como aleante con el cobre para formar latones, y con el cobre y níquel para producir alpacas.

CADMIO

El cadmio cristaliza en el sistema hexagonal compacto; se emplea en la preparación de aleaciones de bajo punto de fusión y para proteger al acero de la corrosión aplicándolo como un recubrimiento.

1.5.4. METALES DE TRANSICION, MAGNETICOS

Esta familia de metales es de analogía horizontal; está constituida por los elementos: fierro, cobalto y níquel; los tres son magnéticos y corresponden al periodo 4 del grupo VIII.

FIERRO

El fierro es el principal elemento metálico. Cristaliza en el sistema

cúbico centrado en el cuerpo desde la temperatura ambiente hasta 910°C, de 910 a 1400°C como cúbico centrado en las caras y por arriba de 1400°C hasta su punto de fusión nuevamente como cúbico centrado en el cuerpo.

Su característica magnética se presenta por abajo de 768°C, arriba de esta temperatura, el hierro no es magnético.

COBALTO.

El cobalto cristaliza a temperatura ambiente como hexagonal compacto - pero es cúbico centrado en las caras por arriba de 427°C. Se usa como metal base en la preparación de aleaciones resistentes al calor y a la abra sión, como metal de aleación en la preparación de aceros y como aglutinante de carburos. Es magnético abajo de 358°C.

NIQUEL

El níquel es un elemento que cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras. Se utiliza como metal puro como electrodepósito por su gran resistencia a la corrosión y como metal base de aleaciones con cobre, cromo, hierro, molibdeno, etc., que originan familias muy importantes de aleaciones. Como elemento de aleación se agrega al hierro y al cobre principalmente para la elaboración de aceros inoxidables con primero y cuproníqueles y plata alemana (alpaca) con el segundo. Es magnético por abajo de - 1123°C.

1.5.5. METALES DE TRANSICION REFRACTARIOS

Esta familia está compuesta por los elementos cromo, molibdeno y tungsteno,

que corresponden al grupo VI B, son de gran dureza, alto punto de fusión y gran resistencia a la corrosión. Forman carburos que también presentan una dureza elevada y gran resistencia a las temperaturas elevadas. Todos cristalizan en el sistema cúbico centrado en el cuerpo.

CROMO

Nunca se utiliza como metal base para aleaciones, sino como elemento aleante en aceros, aleaciones de níquel, aleaciones de cobalto, etc. Se utiliza como recubrimiento electrofítico por su gran dureza.

Se utiliza en forma de metal puro: como electrodo en máquinas punteadoras para soldar; como alambre incandescente; aleado con torio en electrodos - en máquinas soldadoras por el sistema TIG; y formando carburos en la fabricación de herramientas de elevada dureza solamente inferior a la del diamante. Como elemento aleante se utiliza en aleaciones de cobalto y en aceros.

1.5.6. METALES DE TRANSICION REFRACTARIOS Y MICROALEANTES.

Dentro de este grupo se consideran: titanio, vanadio, columbio y tántalo. El titanio corresponde al grupo IV B y el resto al V B.

Estos metales en cierta forma se pueden considerar refractarios, sobre todo el columbio y el tántalo por su alto punto de fusión; sin embargo, y a pesar de que todos ellos forman grupos de aleaciones, algunas muy importantes como las del titanio, se les trata aparte por la gran aplicación -

que tienen en la fabricación del acero ya que añadidos en pequeñas cantidades (0.02% aproximadamente) imparten un aumento importante a su resistencia sin detrimento de otras propiedades deseables como la soldabilidad.

TITANIO

Cristaliza en el sistema hexagonal compacto y por arriba de 882°C en el sistema cúbico centrado en el cuerpo. Tiene una excelente resistencia a la corrosión aunque a más de 425°C se combina fácilmente con algunos elementos gaseosos. Se usa como metal base en diversas aleaciones como aluminio, estaño, cobre, etc. Como elemento aleante se agrega al acero, al aluminio y al níquel.

COLUMBIO (NIOBIO), VANADIO Y TANTALO

Tienen una ductilidad mayor que los metales refractarios (cromo, molibdeno y tungsteno). Cristalizan en el sistema cúbico centrado en el cuerpo. Todos ellos forman aleaciones resistentes al calor, y se agregan al acero para modificar sus propiedades.

1.5.7. METALES DE ALTA VALENCIA

Estos metales tienen un bajo punto de fusión; se les denomina de alta valencia porque químicamente funcionan con + 4; son los elementos: galio, indio, talio, estaño, plomo y bismuto que forman un conjunto escalonado de los grupos IIIA, IVA y V A. Todos ellos son muy blandos. Su cristalización es diversa: el galio es ortorrómbico, el indio, tetragonal centrado

en las caras; el talio, hexagonal compacto, el estaño tetragonal; el plomo, cúbico centrado en las caras y el bismuto, romboedral.

De estos metales los más importantes son: el estaño y el plomo.

ESTANO

Se utiliza como un metal base en la preparación de metales antifricción, soldaduras suaves y aleaciones para fundición de precisión, se agrega como aleación sobre todo al cobre para formar el bronce.

PLOMO

Se utiliza como metal puro para ciertas aplicaciones por su resistencia a la corrosión y para determinado tipo de juntas por su suavidad; también se preparan con base plomo metales antifricción, soldadura suave y metales para imprenta.

1.6. ELEMENTOS NO METALICOS.

Aunque el objeto fundamental es el estudio de los metales, no es posible dejar de tomar en cuenta otros elementos de la Tabla Periódica porque tienen una gran influencia sobre los metales. Dentro de estos elementos los grupos más importantes son:

a) Metaloides

b) No Metálicos

1.6.1. METALOIDES

Dentro de los metaloides los más importantes, por su relación con los metales, son el silicio y el antimonio.

El silicio está presente en muchas de las aleaciones, como por ejemplo: acero, bronce al silicio, aleaciones de aluminio etc.. Se les agrega -- como desoxidante o para impartir propiedades mecánicas y eléctricas de terminadas.

El antimonio, una de cuyas formas es metálica; puesto que es un elemento alotrópico se agrega como aleación al plomo y estaño para la fabricación de metales antifricción y metales para imprenta.

1.6.2. NO METALICOS

El elemento no metálico del grupo IA, muy importante en el comportamiento de los metales, es el hidrógeno que, por su pequeño tamaño atómico se introduce en la red cristalina de ellos produciendo grandes problemas.

Los elementos importantes de los elementos no metálicos del periodo 2 - para los metales son: boro, carbono, nitrógeno y oxígeno. Por su tamaño forman aleaciones intersticiales y por ello una pequeña cantidad influye en una forma muy importante en las propiedades de los metales base; un ejemplo de ello es el fierro cuya dureza aumenta rápidamente con el contenido de cualquiera de estos elementos. Además el oxígeno en condiciones

determinadas es el principal enemigo de los metales.

El fósforo, el azufre y el selenio son los elementos de los periodos 3 y 4 que siempre se consideran como impurezas y que cuando se les agrega en forma controlada les imparten maquinabilidad.

C A P I T U L O I I

CORROSION

INTRODUCCION

En la selección de materiales de construcción, es de vital importancia - considerar las características del sistema, poniendo especial atención a factores extraños que pueden influir en la corrosión. Así como los materiales con que se construirá el sistema; por lo que es necesario tener conocimientos sobre las características y el comportamiento general de los materiales cuando se exponen a determinados ambientes, que muchas veces - reaccionan con ellos para formar productos indeseables debilitando al material.

La corrosión es un fenómeno destructivo muy complejo que se presenta bajo diferentes formas y efectos, los cuales originan: pérdidas económicas por costos excesivos en el mantenimiento de plantas y equipos; pérdidas económicas por fugas de productos; pérdidas económicas por disminución de la - capacidad de producción debido a paradas por reparación o reposición de - equipo.

2.1. DEFINICION

La corrosión puede definirse como la destrucción gradual de los materiales de construcción originada por acciones químicas, electroquímicas, o biológicas al interactuar con el medio ambiente.

Por definición se sabe que un fenómeno electroquímico no es otra cosa - que el cambio de energía química en energía eléctrica producida, por medio de una transferencia de electrones en celdas o pilas electroquímicas.

Así, pues la corrosión metálica está ligada con el flujo de corrientes - eléctricas los cuales se producen en celdas o pilas electroquímicas que se forman en el metal.

Los componentes básicos de las celdas o pilas electroquímicas son:

1. Un líquido conductor llamado electrolito que permite el paso de la corriente eléctrica dentro de la pila.
2. Dos superficies conductoras las cuales tienen la misión de introducir y recibir los electrones en la disolución, estas superficies son el ánodo (-) y el cátodo (+).
3. Un conductor externo entre el ánodo y el cátodo que cierra el circuito.

Para explicar lo anterior se describirá un proceso de corrosión en una celda electroquímica. Según los muestran las figuras 1 y 2.

Cuando se conectan los electrodos sumergidos en la solución electrolito con el circuito externo como lo muestra la fig. 1 entonces dicho circuito eléctrico será una trayectoria eléctrica completa, que consiste en permitir que circulen el flujo de electrones en ciclo, es decir, desde la superficie negativa hasta la positiva y por el interior del electrolito se completa el ciclo; mientras que se está desarrollando dicho ciclo se verá

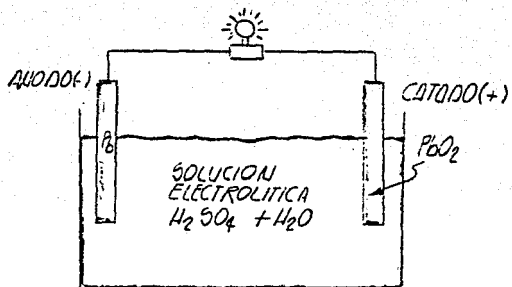


FIG 1 CELDA ELECTROQUIMICA

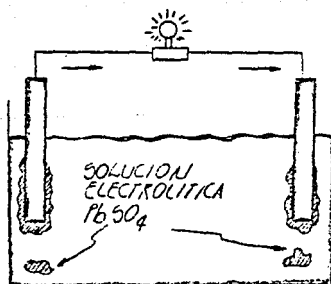


FIG 2

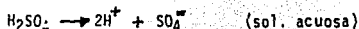
que la superficie del ánodo se va disolviendo mucho más rápido que la otra placa debido a las reacciones químicas entre los iones disueltos -- del electrolito y los iones formados que se separan de la superficie del ánodo debido al cambio químico de plomo metálico a ion plomo.



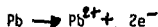
Así pues durante este proceso se libera energía la cual se manifiesta - en la forma de flujo de corriente eléctrica.

PROCESO DE LA CELDA

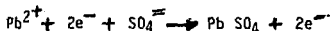
La solución electrolito resulta al mezclarse con el agua el ácido sulfúrico concentrado el cual se descompone en iones siendo estas pequeñas partículas químicas capaces de conducir la corriente eléctrica.



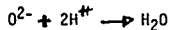
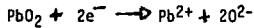
Como se observa en la figura de la pila el flujo de electrones es desde - el ánodo de plomo hasta el cátodo de óxido de plomo; así pues la reacción en el ánodo es:



que inmediatamente se combina con un ion sulfato cercano donde el sulfato de plomo se deposita en el fondo de la celda.



Siendo esta destrucción de la superficie anódica principalmente el fenómeno llamado corrosión, de la misma manera en la superficie catódica, el óxido de plomo reacciona al recibir el pequeño flujo de corriente y el oxígeno con el ion hidrógeno para dar más agua.



2.2. FORMAS DE CORROSION

2.2.1. CORROSION GALVANICA

Toda corrosión involucra en general la acción galvánica, sin embargo este término se aplica a la corrosión originada por el contacto de dos materiales de diferente potencial a través de una solución conductora. La diferencia del potencial eléctrica actúa como la fuerza impulsora para que circule la corriente a través de esta substancia originando con ello la corrosión de uno de los metales acoplados.

Los arreglos de los metales acoplados se llaman series galvánicas, como se muestran en la tabla para metales y aleaciones en agua de mar.

Como regla general, la corrosión galvánica ocurre con mayor probabilidad si los metales están colocados muy separadamente en la serie. El metal más activo se convierte en el ánodo en la celda de corrosión y se corroe a mayor velocidad que el metal más noble, que es el cátodo.

TABLA III SERIE GALVANICA EN AGUA DE MAR A TEMPERATURA AMBIENTE.

NOBLE (CATODICO) PROTEGIDO	Platino
	Oro
	Titanio
	Alloy C (Ni-Cr-Mo)
	Alloy 20
	Serie 300 Acero Inoxidable (pasivo)
	Serie 400 Acero Inoxidable (pasivo)
	Aleación (Níquel - Cobre)
	Bronces al aluminio
	Cobre
	Latón
	Plomo
	Acero Inoxidable (activo)
	Hierro fundido
ACTIVO (ANODICO) CORROIDO	Acero aleado
	Acero al bajo carbono
	Aleaciones al aluminio
	Cadmio
	Aluminio
	Zinc
Magnesio	

Para tratar de evitar la corrosión galvánica se pueden tomar las siguientes medidas:

- a) Emplear metales colocados juntos o lo más cercano posible en la serie galvánica.
- b) Evitar el efecto del "Área desfavorable". Si el metal más activo tiene una menor área comparada con el metal noble, habrá una velocidad muy alta de corrosión.
- c) Aislar, por ejemplo, interrumpiendo el circuito entre los dos metales y verificando que el contacto no sea reestablecido en el servicio.
- d) Utilizar revestimientos. Es importante mantener una película que cubra la mayor área posible del cátodo así como cubrir completamente el ánodo para evitar "áreas desfavorables" y al ataque sobre orificios en la película.
- e) Colocar un tercer metal en contacto con los dos metales en cuestión, señalando que, este material deberá ser más activo que los otros, de modo que se corroa en lugar de la estructura.
- f) Por ejemplo, cuando se atornillan placas juntas, se pueden utilizar arandelas de plástico diseñadas especialmente.

2.2.2. LIXIVIACION SELECTIVA

Por definición la lixiviación es un proceso en el cual se retiran uno o

varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido; en este caso, la "lixiviación selectiva" es un término que se puede utilizar en general para abarcar varias clasificaciones tales como "deszincificación", "desaluminación", etc.

Deszincificación.

La deszincificación es la corrosión de una aleación de latón que contenga zinc en un porcentaje mayor del 15%, en donde el producto principal de la corrosión es cobre metálico, por ejemplo al exponer el latón al agua potable o salada, se desarrollan capas o tapones de material con la coloración del cobre, que son en realidad regiones esponjosas de baja resistencia de cobre de las cuales se ha extraído el zinc. El mecanismo aceptado es que el latón se disuelve ligeramente, a continuación los iones de cobre son desplazados por el zinc que se disuelve, depositándose el cobre.

Para reducir el problema se adicionan pequeñas cantidades de arsénico, antimonio, fósforo o estaño a la aleación; por ejemplo en las aleaciones de 30% de zinc se adicionan 1% Sn y 0.04 de arsénico.

2.2.3. CORROSION GRAFICA

Este tipo de corrosión generalmente se asocia con el hierro colado gris, en donde el hierro metálico se solubiliza convirtiéndose en producto de corrosión, quedando intacto el grafito mezclado con productos de corrosión de hierro y otros constituyentes insolubles de hierro colado. Existen dos comportamientos dependiendo de la capa de grafito y productos de

corrosión, si esta es impermeable la corrosión disminuirá o cesará, si por el contrario es porosa, la corrosión se incrementará notablemente por el comportamiento galvánico entre el grafito y el hierro.

En general los hierros colados de baja aleación así como los hierros colados austeníticos de alta aleación muestran una resistencia superior a la corrosión grafitica.

Los aceros al carbono calentados durante periodos prolongados a temperaturas por encima de 850°F pueden sufrir este tipo de corrosión. Los aceros calmados o de baja aleación de cromo y molibdeno o cromo y níquel, se deben de tomar en consideración para servicios a temperaturas elevadas.

2.2.4. CORROSION INTERGRANULAR

Para poder comprender la corrosión intergranular, se considerarán algunas bases de la metalurgia. Cuando un metal fundido es moldeado, solidifica en distribuciones al azar de los núcleos. Cada uno de los cuales se desarrolla en un arreglo atómico regular para la formación de granos.

Los arreglos atómicos y los espacios entre las capas de los átomos son los mismos en todos los granos de un metal dado. Sin embargo, debido a la nucleación al azar, los planos de los átomos entre los granos próximos no son iguales.

Los límites entre los granos son atacados preferentemente. Esto se relaciona con la segregación de elementos específicos o la formación de un compuesto en los enlaces. (el enlace atómico defectuoso favorece la segregación y la precipitación).

La corrosión generalmente ocurre debido a que el corroyente preferentemente ataca la fase en los límites de grano, o en la zona adyacente que origina una pérdida del elemento necesario para una resistencia adecuada.

En casos severos de corrosión en los límites de grano, estos son desalojados debido al deterioro completo de sus enlaces. En tales casos, la superficie parecerá áspera a simple vista y se palpará como "azucarado" debido a los granos sueltos.

Los fenómenos en los límites de grano que causan la corrosión intergranular son sensibles al calor. Algunas aleaciones, como los aceros inoxidables austeníticos y algunas aleaciones de cobre y aluminio, cuando se calientan de modo inadecuado, son propensas a la corrosión intergranular, debido a la precipitación de compuestos intergranulares.

2.2.5. CELDAS POR CONCENTRACION DE OXIGENO

Aunque aparentemente este tipo de corrosión ocurre sin ningún potencial inicial a diferencia de los efectos galvánicos, es posible que una gota de agua pueda corroer una superficie pulida de hierro o un tanque de acero homogeneizado pueda corroerse en la línea de agua. La explicación es que-

se origina una celda de concentración de oxígeno electrofítica, donde la fuerza impulsora para originar la corrosión se debe a una diferencia en la cantidad de oxígeno en solución de un punto en comparación con otro.

La corrosión se incrementa donde la concentración de oxígeno es menor como por ejemplo, en una caja prensa estopas o bajo empaques. Esta forma de corrosión se produce también bajo sustancias sólidas que se pueden depositar en una superficie metálica y, en esa forma, evitar que le llegue oxígeno.

2.2.6. FRACTURA POR HIDROGENO

Se le denomina fractura por hidrógeno a la pérdida de ductilidad y a una baja resistencia al impacto originada por la entrada o la absorción de hidrógeno al metal. En algunas condiciones, a temperaturas elevadas, la decarburización, la fisuración y el requiebrajamiento de los aceros al carbono se originarán cuando el hidrógeno se combine con el carbono y el acero, para formar metano. Estos efectos se pueden minimizar por calentamiento durante largo tiempo para eliminar el hidrógeno y evitando las parejas que lo producen, así como las aleaciones que forman carburos estables, como las de bajo contenido de cromo proporcionan una solución para esta forma de ataque.

2.2.7 AGRIETAMIENTO POR CORROSION BAJO ESFUERZO

Ocurre durante la exposición de un metal o aleación tanto a un esfuerzo sostenido de tensión menor al límite elástico - como a un medio ambiente considerado poco corrosivo y conduce a falla en mucho menor tiempo del que resultaría si las dos condiciones se presentan por separado.

El proceso se caracteriza porque el material permanece virtualmente sin atacar en toda su superficie mientras se propagan pequeñas y numerosas grietas ramificadas las cuales - pueden seguir una trayectoria transgranular o intergranular. Los esfuerzos de tracción se originan o en las etapas de manufactura (fusión, tratamientos térmicos, soldadura, etc.), o en el servicio (cargas mecánicas aplicadas, vibración, - presión, etc.). La acción corrosiva tiene como agentes a - ciertas sustancias para un material específico y no siguen un patrón general.

En la tabla 10 aparecen algunas de las combinaciones metal-medio ambiente donde se ha encontrado este mecanismo de - falla.

2.3. ENSAYOS DE CORROSION

Es indudable la importancia de los ensayos de la corrosión ya que en base a ellos es posible llevar el control de la corrosión en la planta (equipos,

TABLA 10 AMBIENTES QUE PUEDEN CAUSAR CORROSION BAJO ESFUERZO DE METALES Y ALEACIONES.

<u>MATERIAL</u>	<u>AMBIENTE</u>
Aleaciones de aluminio	Soluciones de NaCl-H ₂ O ₂ Soluciones de NaCl Agua de mar, aire, vapor de agua
Aceros comunes	Soluciones de NaOH Soluciones de NaOH-Na ₂ SiO ₂ Soluciones de H ₂ S Soluciones de HCN Agua de mar Mezclas de ácidos (H ₂ SO ₄ -HNO ₃)
Aceros inoxidables	Soluciones ácidas de cloruros tales como MgCl ₂ y BaCl ₂ Soluciones de NaCl-H ₂ O Agua de mar H ₂ S Soluciones de NaOH-H ₂ S Vapor condensado de agua clorada
Aleaciones de titanio	Acido nítrico, metanol-HCl, agua de mar, N ₂ O ₄

tuberfas, etc.); evaluar los materiales y los efectos del medio ambiente para futuras aplicaciones; probar la calidad de un material de comportamiento conocido; así como estudiar el mecanismo de corrosión.

Aunque no existe un modo estándar ni preferido para efectuar una prueba de la corrosión; el método se debe escoger para que se ajuste a la finalidad de la prueba. Los tipos principales de pruebas son:

1. La experiencia operacional real con equipos de plantas a escala completa, expuestos al medio corrosivo.
2. Experiencias con equipos de plantas en pequeña escala, ya sea en condiciones comerciales o de planta piloto.
3. Pruebas de muestras sobre el terreno que incluyen muestras de acero, sondas de resistencia eléctrica expuestas al medio de corrosión de la planta o muestras expuestas a la atmósfera, a tierras o a aguas dulces, salobres o saladas.
4. Pruebas de laboratorio con muestras expuestas a líquidos de plantas -- "reales" o ambientes simulados.

Al realizar una prueba de corrosión deben de considerarse y reportarse los siguientes puntos:

MATERIAL

1. Nombre o Grado

- . Análisis Químico
- . Forma Original (Placa, tubo, barra, etc.)
- . Condición Metalúrgica (Trat. Térmico, trab. en frío, etc.)

MUESTRA

- . Forma y medida
- . Secuencia del acabado de la superficie
- . Secuencia de la limpieza antes de la prueba

EXPOSICION

- . Nombre y composición del corroyente (% en vol., % peso, etc.)
- . Volumen del corroyente
- . Temp. del corroyente
- . Presión del corroyente
- . Grado de agitación
- . Grado de aereación
- . pH
- . Duración de la prueba
- . Frecuencia de cambio de solución
- . Tipo del portador de la muestra
- . Fluctuación de temp., etc. durante la prueba si la hay.

EVALUACION

- Descripción de los productos de la corrosión, si los hay.
- Limpieza después de la prueba

Apariencia de la corrosión

Algún tipo de corrosión localizada

MUESTRAS DE PRUEBA Y SUS SOPORTES

No existe una medida standard de los cupones de prueba. El peso usualmente es de 10 a 50 g, y tienen una relación grande de superficie a masa. Esas razones se pueden alcanzar mediante la utilización de especímenes cuadrados o circulares de espesor mínimo. Los especímenes circulares se pueden cortar de preferencia de láminas y no de barras, con el fin de minimizar los granos de los extremos que estén expuestos. Los discos generalmente son de 1.5 pulg. de diámetro por 1/8 de espesor similar al de los cupones rectangulares.

Algunos de los métodos más comúnmente utilizados para sostener el espécimen durante la prueba se muestra en la fig. 2. Para las pruebas en las plantas es común utilizar rejillas para sujetar firmemente la muestra y aislarla de otras muestras y del mismo recipiente.

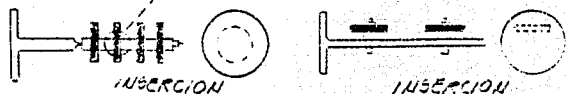
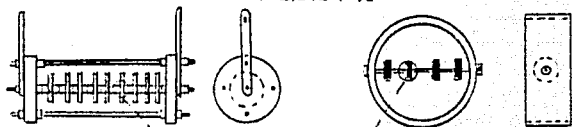
2.3.1. PRUEBAS DE INMERSION

Un buen método para determinar el factor de resistencia química, es la prueba de inmersión, que da resultados razonablemente concordantes, de conformidad aproximada con los resultados obtenidos a gran escala, cuando se toman en consideración las otras variables. La prueba de inmersión total sirve para eliminar los materiales que, evidentemente, no se pueden utilizar, se puede llevar a cabo una selección adicional entre los --

EN EL LABORATORIO



LOS SOPORTES SON HECHOS DE VIDRIO O PLASTICO
EN PLANTA



LOS SOPORTES DE PRUEBA SON DE ACRERO INOXIDABLE

FIG. 2 SOPORTES PARA PRUEBAS DE CORROSION

materiales que aparentemente se pueden usar, sobre la base del conocimiento de las propiedades de los materiales de que se trate y las condiciones operacionales.

La manera más simple de llevar a cabo el ensayo de corrosión es sumergiendo la muestra en el medio corrosivo como se muestra en la figura 2.3.1.a. Para trabajos teóricos precisos se puede construir un dispositivo como el que aparecen en la fig. 2.3.1.b. El bulbo, D se ajusta a presión constante por medio de la bureta de oxígeno, F, y las trazas de hidrógeno pueden ser eliminadas quemándolas con un arrollamiento de alambre de platino. La muestra por ensayar, A, se coloca en soportes de vidrio.

Cuando se desea ensayar el efecto del movimiento sobre la velocidad de corrosión, se puede utilizar un aparato como el que se ve en la fig. -- 2.3.2.a. Una lámina del material por ensayar, que está conectada a una varilla de vidrio o de otro material inerte, gira a una velocidad periférica de alrededor de 5 metros por segundo y mueve el líquido corrosivo alrededor de láminas fijas que funcionan como baffles, que pueden ser tanto de vidrio como del mismo material del agitador. Una corriente de aire, o de otro gas por ensayar controla el grado de aeración, etc., en el que se desarrolla la corrosión. Si puede anticiparse que el equipo estará directamente vacío entonces la muestra por ensayar puede sumergirse solo parcialmente. En la fig. 2.3.2.b. se muestra un medio para determinar la corrosión en la línea de nivel del líquido o para hacer el ensayo en verdaderas condiciones secas y húmedas se mueve la muestra hacia arriba y hacia abajo haciendo pasar a veces una corriente de aire seco o vapor.

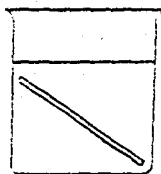


FIG 2.3.10

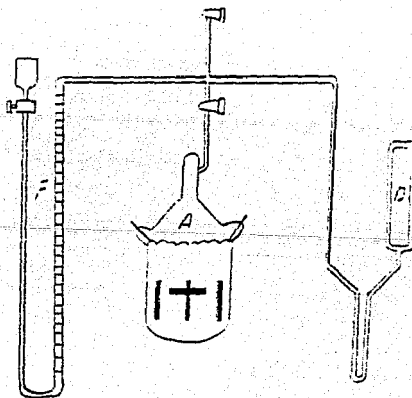


FIG 2.3.16 APARATOS USADOS EN ENAYOS DE CORROSION

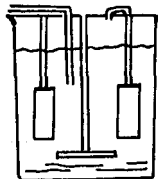


FIG 2.3.2. a

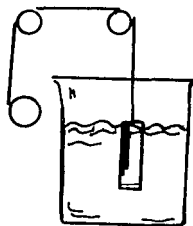


FIG 2.3.2. b

APARATOS USADOS EN ENSAYOS DE CORROSION

Es vital controlar cuidadosamente la temperatura en todos los ensayos, ajustándola con un termostato a los niveles esperados en el equipo real. Muchas veces se encuentra que la temperatura verdadera de la película de la superficie calentadora está muy por encima del punto de ebullición de la solución que la cubre, lo cual debe tenerse en cuenta cuando se establece la temperatura de ensayo.

Deben tenerse en cuenta posibles cambios en la velocidad de corrosión y las experiencias deben cubrir un periodo suficientemente amplio como para cubrir tales alteraciones. En la Graf. 2.3.3. se muestra un ejemplo de alteraciones de este tipo. En estos ensayos los metales A, B y C muestran la misma pérdida de peso después del tiempo, pero si se continúa durante un periodo mayor se verá que solo el C es realmente apropiado para el trabajo de planta.

Las juntas de cualquier tipo constituyen núcleos para el ataque y un examen completo debe incluir ensayos de corrosión sobre muestras unidad. Actualmente las soldaduras constituyen el tipo más común de junta, y se puede preparar fácilmente una lámina soldada. Cuando se examina un equipo -- muy grande y costoso, se debe tratar de reproducir lo más exactamente -- que sea posible las condiciones del equipo, aún hasta el punto de construirlo en miniatura. Uno de los datos valiosos del trabajo en escala piloto, es el de la medición de la corrosión ya que las condiciones son las reales en operación. Se pueden construir pequeños evaporadores y condensadores para ensayo, como los que se ven en la fig. 2.3.4. mientras que

la experimentación sobre el efecto de las grandes presiones se puede llevar a cabo en ampollas de vidrio selladas.

2.3.2. CORROSION POR TENSION

Es necesario combinar los efectos mecánicos y químicos de los materiales para tener en cuenta la resistencia a la corrosión por tensión.

En la fig. 2.3.4 se muestra el aparato de ensayo más típico para estudiar tensiones que se aproximan al límite elástico. Un alambre (A) del metal -- por examinarse se cuelga bajo una carga constante dada por el peso W, mientras que la solución corrosiva se bombea a través del recipiente a una velocidad lo suficientemente pequeña como para evitar el problema de la erosión. El aparato permite ensayar con una amplia variedad de reactivos, a varias temperaturas. Aunque este ensayo mostrará cualquier tendencia del metal a fallar en condiciones corrosivas y bajo cargas, solo es aplicable a alambres bastante finos, y no a secciones más grandes de una forma determinada. Para un ensayo sobre el efecto de mayores cargas se puede doblar -- en frío una muestra hasta darle una forma permanente como la que se ve en la fig. 2.3.5. y exponerla a la corrosión de manera habitual.

2.3.3. CORROSION POR FATIGA

Los ensayos de corrosión por fatiga se llevan a cabo en una máquina rotativa común aplicando a la muestra el líquido corrosivo; la mejor forma es la descrita por Huddle y Evans en la que un tubo se acerca mediante un --

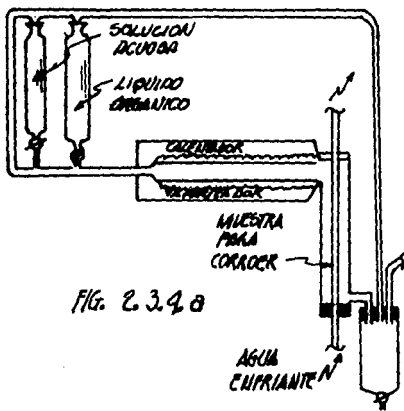
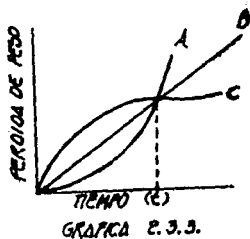


FIG. 2.3.4.8



GRAFICA 2.3.5.

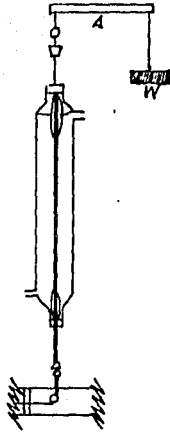


FIG. 2.3.4b CORROSION
BAJO TENSION

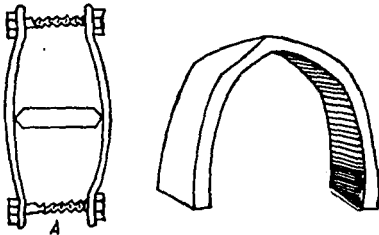


FIG. 2.3.5. ENSAYO DE CORROSION
POR TENSION

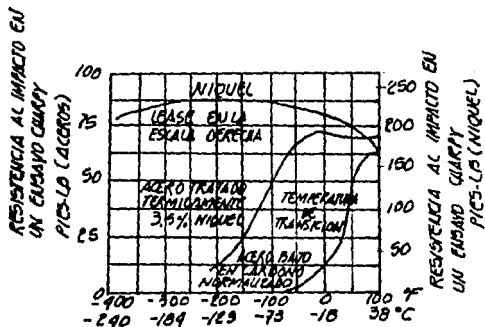


FIGURA 2.3.6.

2.3.5. METODO DE RESISTENCIA ELECTRICA

Si a una muestra se le realiza una prueba de corrosión estando en la forma de un alambre delgado o un fleje, su resistencia eléctrica se incrementa a medida que la corrosión disminuye su sección transversal. Debido a esto, una medición periódica o continua de la resistencia longitudinal del espécimen puede ser utilizado para monitorear la corrosión. Este método no debe ser confundido con el método de resistencia a la polarización descrito más adelante.

Las ventajas de la técnica de resistencia eléctrica son:

1. La medición de la corrosión puede ser hecha sin tener que ver ni retirar la muestra.
2. Las mediciones de la corrosión son rápidas, en unos cuantos minutos o en forma continua. Esto permite la detección instantánea del incremento repentino en la velocidad de corrosión. En algunos casos, es posible entonces modificar el proceso para disminuir la corrosión.
3. El método es utilizado para vigilar un proceso e indicar cuando las reacciones concluyan si la velocidad de corrosión depende de la etapa de reacción.
4. El corroyente no tiene que ser un electrolito.
5. Pueden detectarse bajas velocidades de corrosión que podrían tomar mucho tiempo para medirlo con los métodos de pérdida de peso.

Las limitaciones de la técnica son:

1. Usualmente limitado para la medición de la corrosión uniforme. No es -

adecuado para la corrosión localizada, sin embargo puede ser utilizado para el ataque intergranular.

2. Los especímenes suelen ser más difíciles de preparar que las muestras para pruebas normales; la alternativa es adquirir sondas ya preparadas.
3. Puede dar resultados erróneos si se forman depósitos conductores sobre la muestra.

2.3.6. POLARIZACION LINEAL

Las sondas electroquímicas son también útiles para las mediciones en las plantas. La polarización lineal (o la resistencia a la polarización) da la velocidad de corrosión en un minuto sin necesidad de ninguna medición anterior.

El principio de este método se sintetiza como sigue:

La cantidad de corriente aplicada externamente, necesaria para cambiar el potencial de corrosión de un espécimen que se corroe libremente se mide (generalmente 10 mV). Esta corriente se relaciona con la corriente de corrosión y, por lo tanto la velocidad de corrosión de la muestra. De tal manera que si el metal se corroe rápidamente, será necesario una gran corriente externa para cambiar su potencial, y viceversa.

El sistema de medición consiste en cuatro elementos básicos:

1. Electrodo. Electrodo de referencia y prueba y, en algunos casos, un

electrodo auxiliar.

2. Sonda. Conecta los electrodos en el material corrosivo, al interior del recipiente, a los conductores eléctricos
3. Conductores eléctricos. Van de la sonda a la fuente de corriente y el tablero de instrumentos. Pueden ser de unos cuantos metros a varios kilómetros de longitud.
4. Sistema de control. Fuente de corriente (pilas), amperímetro, voltímetro, tablero de instrumentos, etc.

Algunas de las muchas aplicaciones de esta técnica es en la industria del petróleo, tratamiento de agua de enfriamiento, etc. El método es particularmente útil para el estudio de los inhibidores.

Ventajas de la Polarización Lineal

La velocidad de corrosión puede ser medida instantáneamente cuando las condiciones de equilibrio sean alcanzadas.

Las muestras de las pruebas no son removidas al efectuar la medición. El instrumento y el panel de control puede ser remoto y estar lejos de la muestra.

Los cambios en el proceso pueden ser seguidos instantáneamente; pueden ser medidos tanto bajas velocidades de corrosión ($< 1 \text{ mpy}$) como altas velocidades (1000 mpy).

$$1 \text{ mpy} = 0.001 \text{ pulg/año}$$

Es posible tanto la lectura directa como el registro.

Limitaciones y Precauciones

El corroyente es un electrolito líquido. El método no es bueno en gases o líquidos de baja conductividad tales como los hidrocarburos. El sistema - de 3 electrodos necesita una resistividad menor a 10^6 ohm-cm, mientras - que 2 electrodos requieren una resistividad menor que 10^5 ohm-cm.

La velocidad de corrosión R se calcula de:

$$R = K \cdot \Delta I$$

K dependen del sistema y se obtiene de cartas de calibración.

C A P I T U L O I I I

ENSAYOS MECANICOS DE LOS MATERIALES

3.1 PRUEBAS DESTRUCTIVAS

3.1.1. ENSAYOS DE DUREZA

La "dureza" de un material es difícil de definir y toma diferentes significados de acuerdo con la prueba empleada en particular para determinar su valor, además los números de dureza no tienen significado por sí mismos sino que sirven sólo como comparación entre materiales o tratamientos; la dureza, pues, no es una propiedad fundamental de un material sino que está relacionada con sus propiedades elásticas y plásticas. Sin embargo - debido a que el procedimiento de prueba y la preparación de la muestra - suelen ser sencillos y los resultados pueden utilizarse para estimar otras propiedades mecánicas, tal como la resistencia a la tracción, esta prueba es utilizada ampliamente para inspección y control.

Las pruebas de dureza existentes se pueden dividir en tres categorías:

- a) Dureza elástica
- b) Resistencia al corte o abrasión
- c) Resistencia a la indentación

DUREZA ELASTICA

Esta prueba es una medida de la resistencia del material en términos de -

la energía que puede absorber en el intervalo elástico de una gráfica de esfuerzo-deformación. Se mide mediante un escleroscopio, que es un dispositivo para medir la altura de rebote de un pequeño martillo con empujador de diamante, después de que cae por su propio peso desde una altura definida sobre la superficie de la pieza a prueba. El instrumento tiene - por lo general un disco autoindicador tal que la altura de rebote se indica automáticamente. Al inicio el martillo tiene cierta energía potencial debido a su altura, al ser liberado esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea la superficie de la pieza a prueba; una parte de la energía se absorbe al formar la impresión, y el resto regresa al martillo al rebotar este. La altura de rebote se indica por un número sobre una escala arbitraria de tal manera que cuanto mayor sea el rebote, - mayor será el número y la pieza a prueba será más dura.

RESISTENCIA AL CORTE O ABRASION

Se describirán dos pruebas:

PRUEBA DE RAYADURA. Ideada por Friedrichs Mohs, en donde la escala consta de diez minerales que están ordenados de forma ascendente en el incremento de dureza: El talco es 1, el yeso 2, etc., hasta el 9 para el corindón y el 10 para el diamante. Si un material desconocido es rayado o considerablemente por el 6 y no por el 5, el valor de dureza esta entre 5 y 6. La principal desventaja de esta prueba es que la escala de dureza no es - uniforme, aunque aún es empleada en Mineralogía, de tal forma que cuando la dureza de los minerales es examinada por otro método de prueba de --

dureza, se encuentra que los valores están muy cercanos entre 1 y 9 y que hay gran diferencia en dureza no cubiertas entre 9 y 10.

PRUEBA O ENSAYO DE LIMA. La pieza a prueba se somete a la acción de corte de una lima de dureza conocida, para determinar si se produce un corte visible. Las pruebas comparativas con una lima dependen del tamaño, forma y dureza de la lima; de la velocidad, presión y ángulo de limado durante la prueba; y de la composición y tratamiento térmico del material a prueba. La prueba generalmente se emplea como aceptación o rechazo de una pieza, por ejemplo cuando el acero se trata térmicamente, será suficientemente duro, de tal manera que si se pasa una lima por la superficie, ésta no se cortará.

RESISTENCIA A LA IDENTACION. Esta prueba se realiza imprimiendo en la muestra, la cual se encuentra en reposo sobre una plataforma, un marcador o dentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida que se aplica directamente o por medio de un sistema de palanca. Dependiendo del sistema de prueba, la dureza se expresa por un número inversamente -- proporcional a la profundidad de la indentación para una carga y marcador especificados, o proporcional a una carga media sobre el área de mella. - Los métodos comunes para pruebas de dureza por indentación se describen en seguida.

PRUEBA O ENSAYO DE DUREZA BRINELL. El aparato para medir la dureza Brinell generalmente consta de una prensa hidráulica vertical de operación manual, diseñada para forzar un marcador de bola dentro de la muestra. La prueba -

se realiza con una bola de 10 mm. de diámetro con una carga de 3000 Kg y durante 10 segundos para metales ferrosos; y de 500 Kg y 30 segundos para metales no ferrosos. El diámetro de la impresión producida se mide por medio de un microscopio que contiene una escala ocular.

El número de dureza Brinell (HB) es la relación de la carga en Kg al área en milímetros cuadrados de la impresión, y se calcula de la siguiente manera:

$$HB: L / (\pi D/2) (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

donde:

L: Carga de prueba (kg)

D: Diámetro de la bola (mm)

d: Diámetro de impresión (mm)

Generalmente no se necesita realizar el cálculo ya que existen tablas en donde por medio del diámetro de grabación se lee el número de dureza Brinell correspondiente.

Los límites para la determinación de la dureza Brinell son fijados por el material utilizado en el indentador; se tiene que para la bola de acero endurecido el límite es de aproximadamente 500 HB y para la bola de carburo de tungsteno es de 650 HB.

Especificación de Dureza. En primer lugar aparece el número de dureza seguido por el símbolo HB, diámetro de la bola, la carga y duración de la --

carga. Por ejemplo: 80 HB 10/500/30.

NUMERO DE DUREZA VICKERS (VHN). En este ensayo la carga se aplica sobre una punta de diamante tallada en forma de pirámide de sección cuadrada con un ángulo interno de 136°; el intervalo de la carga va de 1 a 120 kg, y sigue el mismo principio que la Brinell, de tal forma que los números se expresan en términos de carga y área de la impresión

Debido a la forma del indentador, la impresión sobre la superficie de la muestra será un cuadrado (ver fig. 1), determinándose la longitud de la diagonal del cuadrado por medio de un microscopio, obteniendo el número de dureza por medio de la fórmula:

$$HV: 1.854L/(d^2)$$

L: Carga aplicada (kg)

d: Longitud de la diagonal del cuadrado de la impresión (mm)
o por medio de tablas.

NUMERO DE DUREZA ROCKWELL . En este tipo de ensayo la dureza se lee directamente en una escala y se basa en la medición de profundidad diferencial; es decir, que a través de un sistema de palancas se registra en la escala la profundidad de penetración entre la precarga y la carga leyéndose directamente la dureza Rockwell.

Existen dos tipos de máquinas Rockwell, una es la de probador norma que se

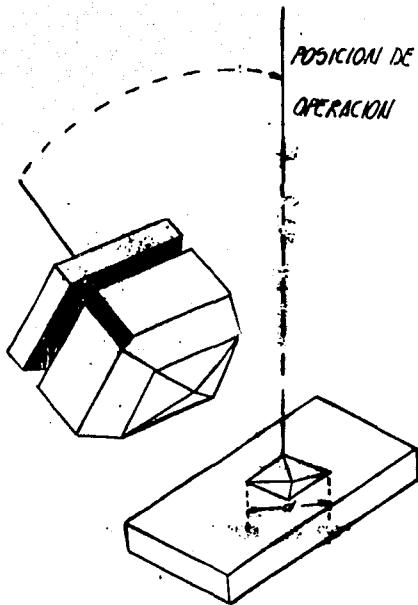


FIG 1 MARCADOR PIRAMIDAL DE DIAMANTE VICKERS

emplea para secciones relativamente gruesas y cuya carga menor es de 10 kg; y la otra es el probador superficial para secciones delgadas y carga de 3 kg.

Asimismo existe una gran variedad de marcadores de muescas y cargas, donde cada combinación determina una escala Rockwell específica; de tal forma que los marcadores de muescas incluyen bolas de acero duras de 1/16, 1/8, 1/4, y 1/2" de diámetro y un marcador cónico de diamante de 120°. En tanto que las cargas mayores son de 60, 100 y 150 kg en el probador normal y de 15, 30 y 45 kg en el probador superficial.

Las escalas Rockwell de mayor empleo son la B (marcador de bola de 1/16 y 100 kg de carga) y la C (marcador de diamante y 150 kg de carga) ambas obtenidas con el probador normal. En la tabla 3.1 aparecen los diferentes tipos de dureza Rockwell.

La especificación del número de dureza es el siguiente: número de dureza, símbolo HR, seguido de la letra que designa la escala, ejemplo: 80 HRB, significa una dureza Rockwell de 80 medida en la escala B.

CUADRO A. COMPARACION ENTRE LAS ESCALAS MOHS, BRINELL, VICKERS Y ROCKWELL

ESCALA MOHS	No. BRINELL	No. VICKERS.	DUREZA ROCKWELL		
			A	B	C
Talco 1	10				
Yeso 2	50	50			
Espato Cálcico 3	95	100	43	54	
Espato Fluor 4	195	200	59	94	
Apatita 5	295	300	56		30
Feldespatio 6	535	600	77		54
Cuarzo 7		800	92		62
Topacio 8		1100			
Zafiro 9		2100			
Diamante 10					

TABLA 3.1 ESCALAS DE DUREZA ROCKWELL

ESCALA	CARGA MAYOR Kg	TIPO DE MARCADOR DE MUESCAS	MATERIALES TÍPICOS APROBADOS
A	60	Cono de diamante	Materiales duros en extremo, carburos de tungsteno, etc.
B	100	Bola de 1/16"	Materiales de dureza media, aceros al carbono bajos y medios, latón, bronce, etc.
C	150	Cono de diamante	Aceros endurecidos, aleaciones endurecidas y revenidas.
D	100	Cono de diamante	Acero superficialmente cementado.
E	100	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio.
F	60	Bola de 1/16"	Bronce y cobre recocidos
G	150	Bola de 1/16"	Cobre al berilio, bronce fosfórico, etc.
H	60	Bola de 1/8"	Placa de aluminio.
K	150	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio.
L	60	Bola de 1/4"	Plásticos y metales suaves -- como el plomo.
M	100	Bola de 1/4"	Igual que la escala L
P	150	Bola de 1/4"	Igual que la escala L
R	60	Bola de 1/2"	Igual que la escala L
S	100	Bola de 1/2"	Igual que la escala L
V	150	Bola de 1/2"	Igual que la escala L

De lo expuesto anteriormente se pueden dar algunas ventajas en la utilización de un determinado tipo de prueba. Para la prueba Brinell como generalmente deja una impresión relativamente grande está limitada a secciones de tamaño menor, esto constituye una ventaja cuando el material probado no es homogéneo.

La prueba Rockwell es una operación rápida y sencilla. Además como las cargas y los indentadores son menores que los utilizados en la prueba Brinell esta prueba puede emplearse en muestras más delgadas y probarse tanto los materiales más duros como los más blandos.

El probador Vickers es el más sensible de los probadores de dureza utilizados en la producción industrial. Tiene una sola escala continua para todos los materiales y el número de dureza es independiente de la carga. -- Pueden probarse secciones más delgadas que cualquier otra prueba de producción y la impresión cuadrada es la más fácil de medir con exactitud.

3.1.2. PRUEBA O ENSAYO DE TENSION

Una de las propiedades esenciales de un material utilizado en la construcción de un equipo es el de ser mecánicamente seguro, de acuerdo a las condiciones de operación, lo que involucra el seleccionar tanto el material como el espesor adecuado que vienen a ser factores económicos importantes, de ahí la importancia de describir este tipo de ensayo.

La resistencia de un material puede expresarse como el esfuerzo máximo --

permissible al tipo de esfuerzo que va a soportar el elemento a estudiar ahora, el esfuerzo es la relación entre la carga y el área resistente, - dependiendo del tipo y dirección de la carga se encuentran 3 tipos de es fuerzos elementales: compresión, tensión y corte, o bien, combinaciones de dos o más de ellos como: flexión, torsión, fatiga, etc.

Dentro de la zona elástica, todo esfuerzo origina una deformación transitoria que desaparece al quitar la carga. Por debajo del límite proporcional, esta deformación puede calcularse con la ley de Hooke:

$$\epsilon = S/E \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} E: \text{Deformación unitaria} \\ S: \text{Esfuerzo} \\ \epsilon: \text{Módulo de elasticidad} \end{array}$$

En la zona plástica la relación esfuerzo-deformación se comporta de manera irregular, para conocer el comportamiento del material se coloca una muestra o una probeta preparada específicamente en las cabezas de la máquina y se somete a una carga axial que va aumentando gradualmente y - entonces se registra la deformación o en ocasiones se mide. El resultado se observa en la fig. 3.1.2 para un material dúctil y la fig. 3.1.3. -- para un material frágil.

Las propiedades que se pueden determinar mediante la prueba de tensión se explican en seguida.

LIMITE PROPORCIONAL. En este intervalo (OP), el esfuerzo es proporcional

a la deformación de manequé que cualquier incremento en el esfuerzo vendrá acompañado de un aumento proporcional en la deformación. Al esfuerzo en el límite del punto de proporcionalidad P se le denomina límite de proporcionalidad.

LIMITE ELASTICO. Se define como el esfuerzo mínimo al que ocurre la primera deformación permanente. Generalmente se tiene que para la mayoría de los materiales el límite elástico tiene un valor numérico semejante al límite de proporcionalidad.

PUNTO DE CEDENCIA O FLUENCIA. El esfuerzo en el punto σ_y de la fig. 3.1.3. - se conoce como punto de cedencia o fluencia, en este punto se alcanza un es fuerzo al cual el material continua deformándose sin que haya incremento de la carga; esto ocurre solo en ciertos materiales dúctiles.

RESISTENCIA DE CEDENCIA O FLUENCIA. Para los materiales que no tienen un punto de cedencia definido (mat. no ferrosos y aceros de alta resistencia), la máxima resistencia útil corresponde a la resistencia de cedencia, que es el esfuerzo al cual un material exhibe una desviación limitante de la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación permanente especificada.

En la figura 3.1.3 la deformación especificada OX se marca sobre el eje de la deformación. Después, se traza la línea XW paralela a OP, localizando de esta manera el punto Y y la intersección de la línea XW con el diagrama esfuerzo-deformación. El valor del esfuerzo en el punto Y indica la resistencia de cedencia o fluencia. El valor de la deformación permanente --

especificada está generalmente entre 0.10 y 0.20% de la longitud calibrada.

RESISTENCIA LIMITE. La resistencia límite o la resistencia de tensión es el esfuerzo máximo desarrollado por el material (punto MO. Aquí hay que notar que un material frágil se rompe cuando es llevado hasta la resistencia límite (punto B de la fig. 5.1.2), mientras que el material dúctil continuará alargándose.

RESISTENCIA A LA RUPTURA. En un material dúctil, hasta el punto de resistencia límite, la deformación es uniforme a lo largo de la longitud de la barra, sin embargo, a esfuerzo máximo, la muestra experimenta una deformación localizada o formación de cuello y la carga disminuye conforme el área decrece. Esta elongación en forma de cuello es una deformación y ocurre rápidamente hasta el punto en el que el material falla. La resistencia a la ruptura (punto B fig. 5.1.2) determinada al dividir la carga de ruptura entre el área transversal original, es siempre menor que la resistencia límite. Para un material frágil, la resistencia límite y la resistencia de ruptura coinciden.

DUCTILIDAD. La ductilidad de un material se determinará a partir de la cantidad de deformación que le es posible soportar hasta que se fractura. Esta se determina en una prueba de tensión mediante dos mediciones:

ELONGACION. Se determina juntando, después de la fractura, las partes de la muestra y midiendo la distancia entre las marcas puestas en la muestra antes de la prueba.

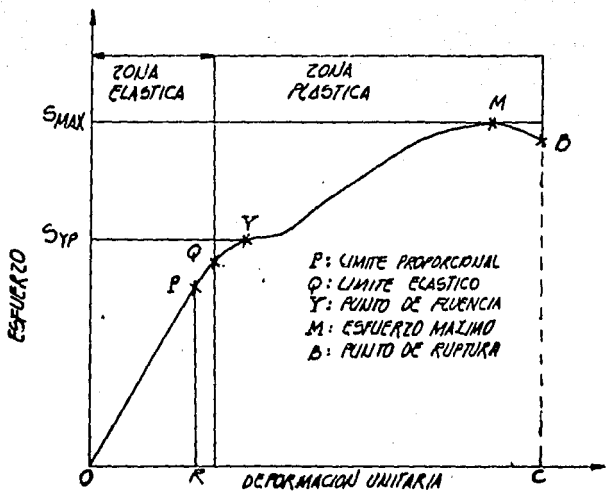


FIG. 3.1.2. GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION PARA UN MATERIAL DUCTIL.

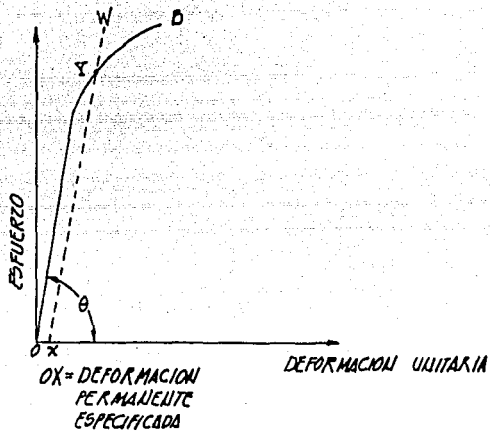


FIG 3.1.3. GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION
PARA UN MATERIAL FRAGIL

Elongación (%) : $\frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$

donde:

L_f : Longitud de la medida final

L_0 : Longitud de la medida original

Al reportar el porcentaje de elongación, debe especificarse la longitud de la medida original, ya que el porcentaje de elongación variará de acuerdo con la longitud original.

REDUCCION EN AREA. Esta también se determina a partir de las mitades rotas de la muestra o bajo la tensión, midiendo para ello el área transversal mínima y con la fórmula:

Reducción en área (%) : $\frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100$

donde:

A_0 : Área transversal original

A_f : Área transversal final

MODULO DE ELASTICIDAD O MODULO DE YOUNG. Considerando la porción recta de la curva esfuerzo-deformación se tiene que la pendiente de la recta se conoce como módulo de elasticidad o módulo de Young, y nos indica la rigidez de un material; por ejemplo, el módulo de elasticidad del acero, es de 30 millones lb/pulg², mientras que el del aluminio es de 10 millones de lb/pulg². Por ende el acero es aproximadamente tres veces más rígido que el aluminio.

ESFUERZO DEFORMACION-VERDADEROS. La prueba convencional de tensión descrita antes dará valiosa información hasta aproximarse y llegar al punto

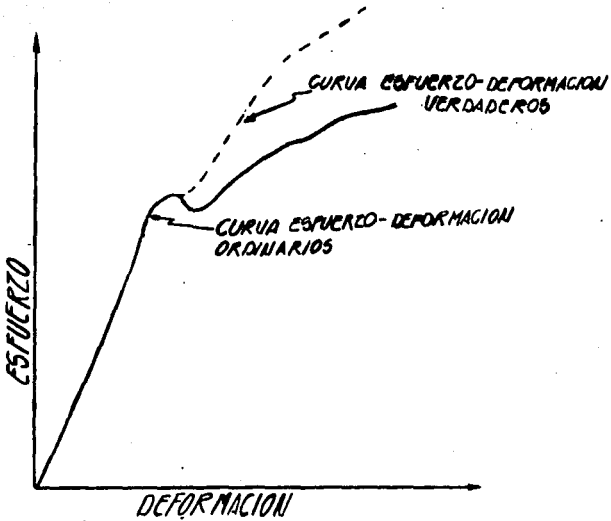


FIG 3.1.4 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION VERDADEROS Y CONVENCIONALES PARA UN ACERO DUCTIL

de cedencia. Sin embargo, pasando este punto los valores de esfuerzo son ficticios, debido a que el área transversal real se reducirá considerablemente. Para determinar el esfuerzo verdadero se divide la carga entre el área transversal existente a esa intensidad de carga. La deformación real se obtiene al dividir el cambio en longitud entre la longitud inmediatamente precedente. El diagrama esfuerzo-deformación real (fig. 3.1.4) da información útil concerniente al flujo plástico y la fractura de metales.

RECUPERACION (RESISTENCIA Y DUREZA). El diagrama esfuerzo-deformación se puede dividir en dos partes, como se muestra en la fig. 3.1.4. La parte a la izquierda del límite elástico se define como intervalo elástico y la de la derecha como intervalo plástico. El área bajo la curva en el intervalo elástico (OPQ) es una medida de la energía por unidad de volumen que puede absorber el material sin sufrir deformación permanente. Este valor se conoce como módulo de recuperación o resistencia. La energía por unidad de volumen que puede absorber un material (el área bajo la totalidad del diagrama esfuerzo-deformación) hasta el punto de fractura se conoce como tenacidad.

3.1.3 PRUEBAS DE IMPACTO

Como se vió anteriormente la tenacidad de un material puede obtenerse calculando el área bajo el diagrama esfuerzo-deformación, sin embargo la prueba de impacto nos indicará la tenacidad relativa.

En este ensayo puede utilizarse ya sea una muesca ojo de cerradura o una -

muesca en V; así como existen dos tipos muestra: La Charpy y la Izod. Mientras que la muestra Charpy se coloca en un tornillo de banco de madera similar a una viga sencilla soportada en ambos extremos, la muestra Izod se coloca en el tornillo de banco de modo que un extremo quede libre y sea, por tanto, una viga volada.

La máquina de impacto ordinaria tiene un péndulo oscilante de peso fijo - el cual es elevado a una altura estándar, dependiendo del tipo de muestra que se pretenda probar. A esa altura, con referencia al tornillo del banco, el péndulo tiene una cantidad definida de energía potencial, cuando el péndulo se libera, esta energía se convierte en energía cinética - hasta que golpea a la muestra.

Una parte de la energía del péndulo se utilizará para romper la muestra - provocando que el péndulo se eleve en el lado opuesto de la máquina a una altura menor que aquella con que inició su movimiento desde ese mismo lado de la máquina. El peso del péndulo multiplicado por la diferencia de - alturas indicará la energía, generalmente en lb-ft, absorbida por la muestra, o sea la resistencia al impacto de la muestra con muesca.

La prueba de impacto no da la tenacidad verdadera sino su comportamiento en función de una muesca en particular, sin embargo los resultados son - útiles para propósitos de comparación.

Los metales CCC muestran valores de impacto altos y no muestran cambios - importantes con la temperatura. Los metales CC, los polímeros y los cerámicos muestran una temperatura de transición por debajo de la cual se encuentran un comportamiento frágil.

ENSAYO DE FATIGA

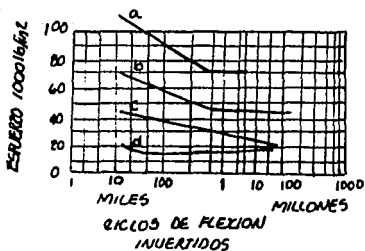
Es una prueba de tipo dinámico para determinar el comportamiento relativo de los materiales cuando se les somete a cargas repetidas o fluctuantes - incluyendo variables tales como el efecto de la corrosión, la rugosidad superficial, la temperatura, el tamaño y la concentración de esfuerzos.

El ensayo de fatiga en su forma más simple requiere la preparación de muestras con superficies pulidas, realizando ensayos a diversos niveles de esfuerzo, los ciclos de esfuerzo se aplican hasta que se alcanza la falla de la muestra o un número de ciclos límite, graficando los resultados en una escala semilogarítmica con el esfuerzo S (esfuerzo necesario para que falle) y el número de ciclos N , que originaron la falla, como abscisa.

El "límite de aguante o continuación" de cualquier material se define como el esfuerzo límite por debajo del cual el metal soportará un gran número - indefinido de ciclos de esfuerzo sin fracturarse.

Para el acero, esto ocurrirá a los 10^7 ciclos de esfuerzo aprox.; sin embargo, para algunas aleaciones no ferrosas, la curva no se hace horizontal, y el término límite de aguante se refiere a menudo al esfuerzo correspondiente a algún número de ciclos.

La figura 3.1.6. muestra una gráfica $S-N$ típica para un acero de aleación tratado térmicamente, un acero de mediano carbono tratado térmicamente, - una aleación de cobre-aluminio y hierro fundido gris.



- a) ACERO ALEADO TRATADO TERMICAMENTE
- b) ACERO AL 0.47% DE CARBON TRATADO TERMICAMENTE
- c) ALEACION ALUMINIO-COBRE
- d) ACERO FUNDIDO

FIG 3.1.5. GRAFICA S-N (CICLO-ESFUERZO)

3.2 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Las pruebas no destructivas se caracterizan por la inspección de un material sin perjudicarlo en su estructura y son sumamente útiles tanto para detectar defectos en las piezas antes de ser utilizadas o los originados por el empleo.

Existen 5 elementos básicos en cualquier prueba no destructiva.

- 1) Fuente. Es la que proporciona el medio de sondeo con el cual se inspeccionará la pieza o el material.
- 2) Modificación. El medio de sondeo sufrirá una modificación como resultado de la uniformidad dentro del objeto sometido a prueba.
- 3) Detección. Un detector que se encarga de detectar los cambios en el medio de sondeo.
- 4) Indicación. Es la que se encarga de indicar o registrar las señales del detector.
- 5) Interpretación. Un método de interpretar las indicaciones.

3.2.1. RAYOS X.

Se generan cuando la materia es bombardeada por un haz de electrones que se mueven rápidamente y que al detenerse de repente por la materia parte de su energía cinética se convierte en energía de radiación o rayos X.

Se utiliza para medir variaciones en espesor de metales o capas delgadas, para detectar costuras o vetas longitudinales o fisuras en tubos, para determinar tratamientos térmicos y composiciones metálicas para su clasificación. Generalmente se aplica a tuberías, barras, parte de geometría uniforme, placas o materiales planos o láminas y alambre. Como ventajas se tiene una alta velocidad y ningún contacto automático, y como limitaciones, falsas indicaciones, sólo es útil para materiales conductores además de que tiene una penetración limitada.

3.2.2. PARTICULAS MAGNETICAS

En este método se induce un campo magnético dentro de la parte que se inspeccionará y al aplicar un revestimiento de partículas magnéticas, las fisuras de la superficie se hacen visibles, formando nuevos polos magnéticos.

Se utiliza para detectar imperfecciones superficiales o subsuperficiales - no profundas, fisura, porosidad, inclusiones no metálicas y defectos de soldadura. Aunque sólo se aplica para materiales ferromagnéticos, a partes de cualquier tamaño, forma, composición o tratamiento térmico. Como ventajas se tiene que es económico, fácil de efectuar, portátil, rápido - para prueba durante la producción industrial. Como limitaciones, el material debe ser magnético, se requiere desmagnetización después de la prueba y las partes deben limpiarse antes de terminar de fabricarse.

C A P I T U L O IV

ALEACIONES FERROSAS

Se ha establecido que de los elementos químicos, 80 de ellos son metales; a pesar de esta gran cantidad no es posible con ellos resolver la variedad de los problemas planteados por las necesidades humanas.

Una definición generalmente aceptada es la que dice que una aleación es una sustancia que tienen propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos químicos de los cuales por lo menos uno es un metal. Por lo tanto no toda relación entre elementos químicos aunque uno de ellos sea metal, produce una aleación.

La interacción entre dos elementos metálicos modifican las propiedades que cada uno de ellos tienen por separado; por ejemplo se modifica la resistencia mecánica, las propiedades eléctricas, la resistencia a la corrosión, las constantes físicas de cambio de estado de cristalización, etc.

Un punto de vista práctico para la clasificación de las aleaciones y su estudio es de acuerdo con el metal base de ellas. De acuerdo con lo anterior hay tantas familias como metales puros capaces de aceptar elementos aleantes. Sin embargo, debido al tonelaje de producción de las aleaciones se acostumbra hacer una gran división en dos grupos:

- Aleaciones ferrosas

- Aleaciones no-ferrosas

En este capítulo trataremos a las aleaciones de base fierro cuya producción supera al conjunto de aleaciones de los elementos básicos restantes y que forman el segundo grupo.

4.1. DIVISION DE LAS ALEACIONES FERROSAS

Como se apuntó en líneas anteriores las aleaciones ferrosas son las que tienen como metal base el fierro y de ellas las más importantes son las que forman principalmente con el carbono. Estos dos elementos forman de acuerdo con el contenido de carbono los tres grupos siguientes:

- Hierro dulce (menos de 0.008 % C)
- Aceros (0.008 - 2.0 % C).
- Hierro colado (más de 2.0 % C)

El carbono aumenta la resistencia mecánica del fierro y disminuye su tenacidad.

Industrialmente las aleaciones ferrosas no solamente tienen carbono sino otros elementos, ya como impurezas, ya como aleantes, que modifican las propiedades. Considerando dichos elementos, además de la presencia importante del carbono, es como se desarrollarán en este capítulo.

4.1.1. ACEROS

Los aceros son aleaciones ferrosas cuyo contenido de carbono varía de 0.008 % a 2.0%. Es la aleación de mayor consumo que todas las demás juntas.

Una proporción adecuada de alentos, además del carbono, origina aleaciones de gran versatilidad de propiedades: resistentes, dúctiles, duras -- refractarias, no magnéticas, etc., de las que se fabrican multitud de productos. Ya que los aceros, además de carbono, tienen elementos que se agregan en cantidades predeterminadas justamente para modificar las propiedades, se dividen en:

- Aceros al carbono
- Aceros aleados

4.1.2. ESPECIFICACIONES DE LOS ACEROS

Las especificaciones para los aceros fueron resultado de los esfuerzos de American Iron and Steel Institute (AISI) y la Society of Automotive -- Engineers (SAE). La clasificación consta de 4 ó 5 dígitos. El primero de ellos indica a que tipo pertenece el acero. De este modo, 1 indica un acero al carbono; 2 un acero al níquel, 3 un acero al níquel-cromo, etc. En el caso de acero de aleación simple, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento predominante de la aleación. Los dos o -- tres últimos dígitos generalmente indican el contenido de carbono medio -- dividido entre 100. Por ejemplo el símbolo 2520 indica un acero al níquel de aproximadamente 5% de níquel y .20% de carbono. Los números básicos -- para la serie de cuatro dígitos de los diversos grados de aceros al carbon y de aleación con porcentajes aproximados de elementos de identificación son:

10xx	Aceros al carbono: básicos de hogar abierto y bessemer ácidos;
11xx	Aceros al carbono: básicos de hogar abierto y bessemer ácidos, azufre alto, fósforo bajo;
12xx	Aceros al carbono: básicos de hogar abierto, azufre alto, fósforo alto;
13xx	Manganeso 1.75;
21xx	Níquel 3.50 (serie eliminada en 1959);
22xx	Níquel 5.00 (serie eliminada en 1959);
31xx	Níquel 1.25 y cromo 0.60 (serie eliminada en 1964);
33xx	Níquel 3.50 y cromo 1.50 (serie eliminada en 1964);
40xx	Molibdeno 0.20 o 0.25;
41xx	Cromo 0.50, 0.80 o 0.95 y molibdeno 0.12, 0.20 o 0.30;
43xx	Níquel 1.83, cromo 0.50 o 0.80 y molibdeno 0.25;
44xx	Molibdeno 0.53;
46xx	Níquel 0.85 o 1.83 y molibdeno 0.20 o 0.25;
47xx	Níquel 1.05, cromo 0.45 y molibdeno 0.20 o 0.35;
48xx	Níquel 3.50 y molibdeno 0.25;
50xx	Cromo 0.40;
51xx	Cromo 0.80, 0.86, 0.93, 0.95 o 1.00;
52xxx	Carbono 1.04 y cromo 1.03 o 1.45;
61xx	Cromo 0.60 o 0.95 y vanadio 0.13 o 0.15 mín;
86xx	Níquel 0.55, cromo 0.50 y molibdeno 0.20;
87xx	Níquel 0.55, cromo 0.50 y molibdeno 0.25;
88xx	Níquel 0.55, cromo 0.50 y molibdeno 0.35;
92xx	Silicio 2.00;
93xx	Níquel 3.25, cromo 1.20 y molibdeno 0.12 (serie eliminada en 1959);
98xx	Níquel 1.00, cromo 0.80 y molibdeno 0.25 (serie eliminada en 1964); y
94Bxx	Níquel 0.45, cromo 0.40, molibdeno 0.12 y boro 0.0005 mín.

TABLA 7A. Algunas especificaciones de acero estándar representativo

NOM. AISI*	% C	% Mn	% P max	% S max	NOM. SAB
ACEROS AL CARBONO					
C1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04	0.05	1010
C1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.04	0.05	1015
C1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.04	0.05	1020
C1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.04	0.05	1025
C1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.04	0.05	1030
C1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.04	0.05	1035
C1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.04	0.05	1040
C1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.04	0.05	1045
C1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.04	0.05	1050
C1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.04	0.05	1055
C1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.04	0.05	1060
C1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.04	0.05	1065
C1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.04	0.05	1070
C1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.04	0.05	1074
C1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.04	0.05	1080
C1085	0.80-0.93	0.70-1.00	0.04	0.05	1085
C1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.04	0.05	1090
C1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.04	0.05	1095

4.1.3. ACEROS AL CARBONO

Los aceros al carbono, suelen contener ciertas cantidades de manganeso, silicio, fósforo y azufre; los dos primeros que se agregan al metal durante su fabricación con el objeto de desoxidar el metal y las dos últimas son impurezas siempre dañinas; el manganeso, además sirve para desulfurar.

El carbono en una concentración relativamente pequeña, afecta las propiedades del acero de tal forma que con baja proporción es dúctil, maleable y de regular resistencia pero al aumentarla se reducen las dos primeras propiedades y se aumenta la última; así mismo, aumenta la dureza y disminuye la tenacidad. Con el aumento de la dureza que se consigue por medio del temple, disminuye la soldabilidad.

Para manejar los aceros al carbono se les clasifica según el contenido de carbono en:

- Aceros de bajo carbono (menos de 0.25% C)
- Aceros de medio carbono (de 0.25 - 0.55% C)
- Aceros de alto carbono (más de 0.55% C)

Los valores límites de carbono para la clasificación anterior varían de autor en autor.

Las cantidades de manganeso varían de 0.30 a 0.60% en los aceros de bajo carbono; de 0.60 a 0.90%, en los de medio carbono y pueden tener hasta -

1% algunos tipos de alto carbono. El silicio debe estar presente en cantidad suficiente de acuerdo con el tipo de fusión. El fósforo y el azufre no deben exceder de 0.04 y 0.05% respectivamente, a menos que sean del tipo de aceros al carbono de maquinado rápido en lo que estos elementos se agregan específicamente para lograr un metal que bajo la herramienta de corte produzca una viruta fina y quebradiza.

También se les puede clasificar desde otros puntos de vista, como los siguientes:

Por la desoxidación del acero

- Acero efervescente
- Acero semicalmado
- Acero calmado
- Acero tapado

Por el producto de fabricación

- Barras
- Lámina
- Tubo
- Fundiciones

4.1.4. ACEROS ALEADOS

Por otra parte estos aceros son a los que se les ha agregado cantidades --

controladas de aleantes; estos pueden ser: manganeso, silicio, cromo, níquel, molibdeno, tungsteno, etc. De acuerdo con las cantidades que de ellos se agrega puede dividirse en:

- Aceros de baja aleación (hasta 2/3%)
- Aceros de media aleación (2/3% a 10%)
- Aceros de alta aleación (más de 10%)

ACEROS DE BAJA ALEACION

Este grupo de aceros se clasifican a su vez por el nombre del elemento o elementos principales de tal suerte que hay acero al níquel, al acero, al cromo-níquel, al molibdeno, etc. Se utilizan ampliamente para flechas, tornillos y espárragos, piezas para cementar, piezas con templabilidad controlada.

ACEROS DE MEDIA ALEACION

Los aceros más importantes de este grupo contienen cromo y molibdeno que los hace apropiados para temperaturas más o menos elevadas y por ello se utilizan en calentadores, e intercambiadores de calor por ejemplo. La selección de estas aleaciones para servicios a más de 752°C. Se efectúa considerando diversos factores y experiencias previas. Entre estos factores se cuentan los requerimientos mecánicos y metalúrgicos generados por las condiciones de presión y temperatura de operación, así como por los diversos medios en los cuales puede surgir el deterioro y falla de cada aplicación particular. Los materiales fabricados con aceros de baja aleación --

cromo-molibdeno (0.5% - 2.5%Cr a 0.5% - 1.0% Mo) tienen mayores resistencias que aquellas de aceros al carbono, permitiéndose su empleo bajo esfuerzos más altos. La presencia de cromo hace al acero más resistente a las condiciones oxidantes o sulfurosas, por lo que se prefiere a los aceros aleados únicamente con molibdeno.

ACEROS DE ALTA ALEACION

Los aceros de alta aleación forman un grupo muy importante de metales que se utiliza en condiciones muy especiales. Se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Aceros inoxidables
- Aceros refractarios
- Aceros para herramientas

La característica principal de estos aceros es su resistencia a la oxidación y a la corrosión aún a temperaturas elevadas.

Esta propiedad se la imparte la presencia del cromo en cantidades por lo menos de 12%. Algunos de los tipos contienen además níquel (8/22%) y cantidades menores de molibdeno, vanadio, columbio y otros. A continuación se tratará cada división por separado tendiendo especial atención en los aceros inoxidables, esto es por la importancia que tienen.

4.1.6. ACEROS INOXIDABLES

El desarrollo de los aceros inoxidables se inició a partir de la Segunda -

Guerra Mundial, empleándose originalmente como aleaciones resistentes al calor y no como aleaciones resistentes a la corrosión. Encontraron su primer empleo en la fabricación de partes para hornos de metales y posteriormente en partes de equipos militares y equipos generadores de energía, como es el caso de las turbinas.

Su clasificación se realiza de tal forma que, por una parte, se agrupan aquellas que se aplican como fundiciones en la manufactura de piezas moldeadas y, por otro lado, aquellas cuyos productos proceden de los procesos termomecánicos de forja, laminación, extrusión, etc. Esta diferencia estriba en las variaciones de composición química y las propiedades resultantes, dado que algunas fundiciones son difíciles de conformar y maquinarse. No obstante, metalúrgicamente pueden clasificarse por la microestructura que las constituye: ferrítica, austenítica, martensítica y mixta. A esta clasificación deben agregarse aquellos aceros que presentan la capacidad de endurecerse por precipitación.

Dependiendo principalmente de los contenidos de cromo y níquel se presentan las microestructuras mencionadas. La estructura ferrítica es suave y relativamente blanda y dúctil a temperaturas elevadas. La estructura martensítica es inestable tanto como aquellas resultantes de una precipitación. La austenítica es resistente y relativamente tenaz, por ello las aleaciones en este servicio se constituye sobre una matriz austenítica.

Hace alrededor de cincuenta años se descubrió que un mínimo de 12% de

cromo en los aceros produce resistencia a la corrosión y a la oxidación, por lo tanto, se decidió que aquellos aceros que contienen 12% de cromo o más, son inoxidables. La adición de elementos específicos producen modificaciones que influyen profundamente en las propiedades y estructura de las aleaciones resultantes.

La base del estudio de los aceros inoxidables es sin duda el diagrama - hierro-cromo, en el que se puede observar que la microestructura predominante es la ferrita (Ver figura 4.1.5.), en tanto que la austenita se presenta sólo con contenidos de cromo inferiores a 12% y a temperaturas superiores a 831°C. Los aceros inoxidables que sólo contienen hierro y cromo - forman el grupo ferrítico, conteniendo como máximo de carbono 0.12%, normalmente. Los contenidos de cromo se mantienen entre 16% y 18%.

En casos especiales se eleva el contenido de carbono hasta 0.20%, paralelamente a un incremento en cromo que llega hasta 27% para estabilizar la fase ferrítica y aumentar considerablemente la resistencia mecánica. Estos aceros que forman parte de la serie AISI-400 son, entre otros: 430, 430F, 446, etc., de aceros forjados.

Cuando se eleva el contenido de carbono en los aceros ferríticos se produce un aumento en las posibilidades de la estructura austenítica, por lo que las aleaciones resultantes son tratables térmicamente por temple, del que se obtiene una microestructura martensítica. En estos aceros es normal encontrar contenidos de cromo del orden de 12% a 18% y de carbono de -

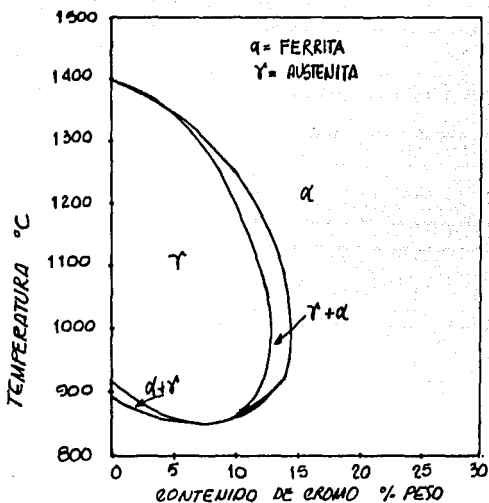


FIG 4.1.5. MICROESTRUCTURAS PREDOMINANTES
PARA EL ACERO INOXIDABLE CON
MENOS DE 0.10% DE CARBONO.

0.15% hasta 1.20%. Las designaciones de AISI (American Institute of -- Automotive Engineers), son también de la serie 440, siendo ejemplos de - estas los aceros 403, 410, 416, 420, 440 A, etc.

En ambos grados, martensíticos y ferríticos, es notable la alta resisten cia mecánica que poseen (especialmente en el primero), pero deja mucho - que desear la resistencia a la fractura a bajas temperaturas, por lo que ocasionalmente se añaden pequeñas cantidades de níquel.

Este último produce un fuerte efecto austenitizante, a tal grado que en proporciones de 8% la fase austenítica se hace estable a temperatura ambiente. Los aceros que contienen níquel entre 8% y 22% se incluyen en la serie 300, donde el cromo varía en contenidos de 16% a 26% y el carbono - de 0.03% a 0.25%. Son tradicionales los aceros 301, 304, 310 y 316, y de uso reciente: 304L, 316L, 321 y 347.

Dentro de la clasificación de AISI se encuentran aceros de una serie 200, que emplean manganeso y nitrógeno como sustitutos del níquel para obtener su efecto microestructural, dicho de otra manera: son aceros austeníticos.

Los aceros de la serie 300 no son endurecibles por temple, solo por defor mación, y la serie 400 da aceros de alta resistencia mecánica pero de po- bre resistencia a la corrosión. La necesidad de mayor resistencia conduce a elevar los contenidos de carbono y a la adición de elementos especiales como aluminio, titanio y columbio, que precipitan con el tratamiento --

térmico de envejecimiento y endurecen la aleación en forma similar a - como ocurre con las aleaciones base níquel y base aluminio. Cabe mencionar que a estos aceros se les denomina "endurecibles por precipitación", y que pueden poseer matrices martensíticas, semiausteníticas o austeníticas. Ejemplos de estas aleaciones son: 17-7 PH, 15-7 PH, 14-8PH, AM 355, de las cuales se pueden obtener resistencias de 125,000 psi hasta 290 000 psi y límites elásticos que van de 40,000 psi a 280, 000 psi.

Las fundiciones de acero inoxidable pueden obtenerse en los mismos grados empleados para productos forjados y en otros grados adicionales o modificaciones especiales. Esto se explica al analizar el caso de los aceros -- inoxidables forjados: deben tener una mínima resistencia a temperaturas - altas de laminación y posteriormente, una vez conformada la pieza, deben llenar ciertos requisitos de resistencia mecánica mínima, situación que - no se presenta en el caso de las fundiciones, que toman directamente la - forma del producto que se desea obtener. Además, las composiciones de las fundiciones llevan a resistencias tan altas que las hacen casi imposible de conformar mecánicamente.

Es por esta razón que las fundiciones de acero inoxidable se clasifican en: fundiciones de composición similar a la de aceros forjados, de resistencia a la corrosión para servicio hasta 650°C, y fundiciones con composición tal que eleva la resistencia mecánica a alta temperatura (1200°C).

Las fundiciones inoxidables se designan prácticamente por el sistema --

adoptado por el ACI (Alloy Casting Institute). Los contenidos de hierro, cromo y níquel más usuales se observan en la Fig. 4.1.7. en la que se identifica con una letra el grado de aleación. Puede observarse que conforme aumenta el contenido de níquel las letras siguen una secuencia de la A a la Z. A estas letras se antepone una C, cuando se trata de una aleación resistente a la corrosión y una H cuando esta se aplica para servicios a alta temperatura.

A estas primeras letras se une un número que indica el porcentaje máximo de carbono en centésimas de por ciento, y finalmente, puede agregarse una letra que simboliza la presencia de un elemento especial. Así, por ejemplo, CF - 3M indica que se trata de una fundición resistente a la corrosión con un contenido de níquel de 9% a 13% y de 0.03% máximo de carbono y también contiene molibdeno.

Las variaciones en composición química entre grados equivalentes de aceros inoxidables forjados y fundidos pueden parecer pequeñas pero no se les debe restar importancia, ya que puede brindar mayor forjabilidad o mayor dolabilidad según sea el caso. Como resultado se tiene un balance de constituyentes que modifica la microestructura y las propiedades que de ella dependen. Es por esta razón que en el diseño de un equipo se debe especificar claramente el tipo de fundición que se requiere, dado que ocasionalmente surge en el comprador la idea de obtener las mismas propiedades entre un acero forjado y uno colado del mismo grado.

Los grados resistentes al calor poseen mayores contenidos de silicio, manganeso, cromo, níquel y carbono, que, considerando principalmente el fenómeno

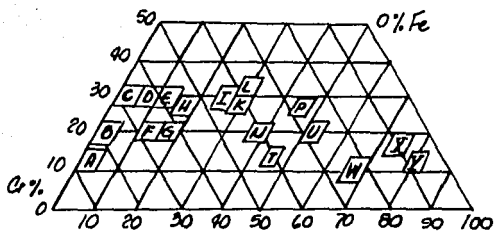


FIG 9.1.7. RANGOS DE CROMO Y NIQUEL EN GRADOS ESTANDARIZADOS DE FUNDICIONES DE ACEROS INOXIDABLES.

de creep, desarrollan su vida útil con una menor velocidad de fluencia, -
lo que lleva a obtener una menor distorsión comparada con la que se obtiene con aleaciones forjadas.

TABLA 4.1.5.

CLASIFICACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

Según the American Iron and Steel Institute el sistema consta de tres - números, los dos últimos números no tienen significado específico, pero el primero indica el grupo como sigue:

2 X X

Cromo - Níquel - Manganeso; no endurecibles, austeníticos no magnéticos.

3 X X

Cromo - Níquel; no endurecibles, - austeníticos, no magnéticos.

4 X X

Cromo; endurecibles, martensíticos magnéticos.

4 X X

Cromo; no endurecibles, ferríticos, - magnéticos.

5 X X

Cromo; bajo cromo, resistentes al - calor.

4.1.6. ACEROS REFRACTARIOS

Los aceros refractarios son resistentes a la oxidación a temperaturas elevadas y por ello se usan en hornos, reformadores etc. Algunos son similares a los aceros inoxidable pero otros tienen una cantidad mucho más elevada de carbono así como de cromo (hasta 32%) y níquel (hasta 68%).

Las herramientas deben reunir cualidades que las haga durables sin perder su dureza, filo, brío, etc., aún bajo condiciones duras de trabajo. Para fabricarlas se usa aceros aleados con diversos elementos lo cual depende del uso específico y del tratamiento térmico que se les aplique. Los aleantes pueden ser: cromo, vanadio, tungsteno, molibdeno y cobalto.

HIERROS COLADOS

Los hierros colados, denominados en algunos textos "fundiciones", son aleaciones ferrosas cuyo contenido de carbono es mayor de 2%. Este elemento, dentro de la microestructura metálica, puede estar combinado o como grafito en diferentes formas y agrupamiento; esto produce una gran variedad de características que va desde metales forjables hasta extraordinariamente duros y frágiles, aptos para resistir el desgaste como los hierros blancos.

Por lo anterior los hierros se clasifican por la forma en la que está presente el carbono:

- Hierro blanco o cementítico
- Hierro gris o grafit laminar

- Hierro maleable o grafinodular
- Hierro dúctil o grafiesferoidal
- Hierro resistente a la corrosión y al calor

HIERRO BLANCO O CEMENTADO

El hierro blanco tiene todo su contenido de carbono en forma combinada principalmente de cementita (Fe_3C), por ello su dureza es muy elevada así como su fragilidad. Es un material no maquinable que se utiliza donde se requiere una gran resistencia al desgaste. Este hierro tiene un contenido bajo de silicio.

HIERRO GRIS O GRAFILAMINAR

El hierro gris es el más común de los hierros colados y en el carbono se encuentra como grafito en forma de laminillas distribuidas y orientadas más o menos al azar. La razón por la cual el carbono está en forma de grafito es la presencia del silicio en cantidad de 1.0/2.5%.

La matriz puede ser alterada con la velocidad de enfriamiento a pesar de la presencia del silicio, el hierro gris puede no presentar grafito o presentarlo en forma escasa si la velocidad del enfriamiento impide su precipitación.

HIERRO MALEABLE O GRAFINODULAR

El hierro maleable se obtiene por medio de un tratamiento prolongado del

hierro blanco. Según sea el tratamiento térmico a que se someta el hierro blanco pueden producirse dos tipos, uno de matriz ferrítica y otro de matriz perlítica. Estos hierros se producen en diversos grados que dependen de la estructura.

HIERRO DUCTIL O GRAFIESFEROIDAL

En este tipo de hierro el grafito se presenta en forma esferoidal lo cual se logra con la adición de determinados elementos en el metal fundido. La estructura está formada por grafito esferoidal en una matriz de ferrita que lo rodea, más perlita y cementita. La estructura depende de la composición química, de los inoculantes, de la forma de aplicar éstos y de la velocidad del enfriamiento. El campo de la industria en el que se emplea más este hierro es el automotriz.

4.1.7. CORROSIÓN EN ACERO AL CARBÓN.

El acero al carbón es ampliamente utilizado en las plantas de los procesos químicos por varias razones importantes. En primer lugar su bajo costo, - además de su facilidad de fabricación y la tecnología para soldarlo está - perfectamente bien establecida.

Sin embargo, la resistencia a la corrosión general del acero al carbón en ciertos medios es baja, debido a la tendencia del hierro, contenido en el acero, de retornar a su estado estable que es el de un óxido mediante la oxidación.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CORROSION DEL ACERO.

Los principales factores que gobiernan la corrosión del acero al carbón - en el agua son: pH de la solución, cantidad de oxígeno disuelto, temperatura, sales disueltas y velocidad de la solución.

EFFECTOS DEL pH

Las soluciones ácidas (pH 5) son altamente corrosivas para el acero al carbón.

El factor principal que afecta la velocidad de corrosión del acero al carbón en agua es la acidez de la solución debido a que la reacción catódica involucra al hidrógeno.

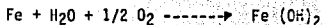
La fig. 4.1. muestra el efecto del pH sobre la velocidad de corrosión del acero sumergido a 22°C en agua, con aire saturado (aprox. 9ppm O₂).

Cuando el HCl se adiciona, la velocidad de corrosión permanece constante, alrededor de 12 mpy para un pH de 4 a 10.

A pH 4, la velocidad aumenta rápidamente.

Cuando el CO₂ se adiciona, existe una corrosión alta a un pH alrededor de 6.

La reacción catódica para soluciones alcalinas o neutras es muy lenta, ya que la cinética depende de la disponibilidad del oxígeno. La reacción es:



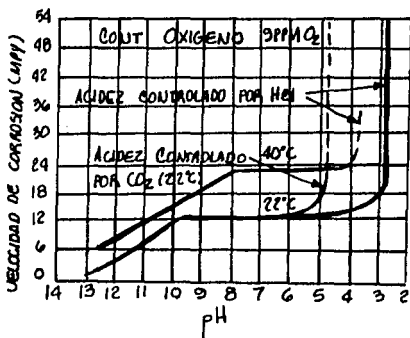
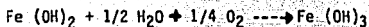


FIG 4.1 Efecto del pH sobre la velocidad de corrosión del acero sumergido a 22°C en agua, con aire saturado.

El pH de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ saturado es de 9.5 y debido a la formación de esta capa de hidróx. ferroso la superficie del acero es siempre alcalino en un rango de pH de 4 a 10. Esto explica que la velocidad de corrosión permanezca - constante.

La exposición del $\text{Fe}(\text{OH})_2$ a más oxígeno produce hidróxido férrico que es de color naranja a rojo



EFFECTOS DEL OXIGENO DISUELTO

A temperatura ambiente en soluciones aprox. neutras, la velocidad de co - rrosión es proporcional a la concentración del oxígeno.

La corrosión esperada para aire saturado-agua a bajas velocidades del flui do y a temp ambiente es de 12 mpy. Por arriba del aire de saturación, la velocidad de corrosión a temp amb. es el doble del contenido de oxígeno - disuelto en el agua a pH neutros.

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA

A mayor temperatura se incrementa la velocidad de corrosión debido a la aceleración de la difusión del oxígeno a través de la capa catódica del óxido de hierro.

En la Tabla 3.1. se resumen los resultados de la medición de la corrosión a varias temperaturas.

TABLA 3.1 EFECTOS DEL CAMBIO DE TEMPERATURA EN LA VELOCIDAD DE CORROSION EN AGUA.

<u>TEMP INICIAL</u> <u>°C</u>	<u>CORROSION A TEMP.</u> <u>INICIAL (mpy)</u>	<u>CAMBIO DE TEMP QUE PRODUCE EL DOBLE</u> <u>DE LA VELOC DE CORROSION</u>
60	8	30°C
90	16	
40	19	42°C
70	27	
22	12	20°C
40	22	
32	5	16°C
54	14	18°C
65	18	17°C

Desde temperatura ambiente hasta 80°C se tiene que un incremento de 15 a 30°C produce el doble de la velocidad inicial de corrosión. Para sistemas abiertos, la velocidad de corrosión decrece arriba de 80°C debido al decremento de la solubilidad del oxígeno.

EFEECTO DE LAS SALES DISUELTAS

La presencia de sales ácidas o neutras incrementan en mayor cantidad la velocidad de corrosión en comparación con las sales alcalinas, debido a factores tales como: polarización anódica, conductividad de la solución -

difusión y solubilidad del oxígeno, y la solubilidad de los productos de corrosión.

La velocidad de corrosión del ac. al carbón en agua de mar (3-4% NaCl) es de 15 mpy a 22°C; mientras que a 50°C o temp. mayores es mayor a 50 mpy.

Las sales de los metales alcalinos (KCl, LiCl, KI, NaBr) tienen efectos similares al NaCl.

Las sales de las tierras alcalinas (CaCl₂, SrCl₂) son ligeramente menos corrosivas que las sales de los metales alcalinos.

Sales Oxidantes. Pueden ser extremadamente corrosivas o pueden actuar como inhibidores: Na₂CrO₄, NaNO₂, KMnO₄ y K₂FeO₄

Tabla 3. SOLUCIONES ACUOSAS ESPECIALMENTE CORROSIVAS PARA ACERO AL CARBON

<u>CATEGORIA</u>	<u>EJEMPLOS</u>
ACIDOS	Acido Clorhídrico Acido Nítrico Acido Sulfúrico (diluído) Acido Acético Acido Cítrico
SALES OXIDANTES	Cloruro Férrico Cloruro Cúprico Cloruro Mercúrico Hipoclorito de sodio
SALES ACIDAS	Cloruro de aluminio Cloruro ferroso Cloruro de níquel Bromuro de amonio Cloruro de amonio

EFECTO DE LA VELOCIDAD DE FLUIDO

El flujo de agua alrededor de 8 ft/s causa una velocidad de corrosión de 10-30 mpy.

El agua de mar a 10 ft/s origina una velocidad de corrosión de 30 a 50 mpy.

En general un incremento en la velocidad del fluido aumenta la velocidad de corrosión. A velocidades menores de 1ft/s origina un ataque de corrosión localizada.

4.1.8. CORROSION EN ACERO INOXIDABLE

Los aceros inoxidable, contienen alrededor de 10 a 30% de cromo, y puede además tener Níquel, Molibdeno, y Cobre, adicionados para incrementar la resistencia a la corrosión y por otras razones; por ejemplo, el alto contenido de cromo le da mayor resistencia al acero en medios oxidantes y a temperaturas altas, el Níquel (35%), Cobre (2 a 3%) y Molibdeno (1 a 4%) mejoran la resistencia en medios menos oxidantes. En particular, estos elementos incrementan la resistencia al sulfúrico y a una variedad de ácidos orgánicos. El Molibdeno reduce las picaduras por cloruros.

FIG. 4.1.6. SELECCION DE LA ALEACION DEPENDIENDO DEL CORROYENTE

	ALEACION	NIVEL DE CORROSION
	No. 20 Cb-3	Corroyentes Severos
INCREMENTO DE RESISTENCIA A LA CORROSION	Tipo 316	Químicos
	Tipo 304	Procesos de Alimentos y corroyentes ligeros.
	Tipo 430	Atmósferas Industriales
	Tipo 405	Atmósferas Ligeras

Existen más de 60 tipos de Ac. Inoxidables con resistencias similares a la corrosión, pero que son diseñados para algunas otras propiedades específicas, tal como una alta resistencia a la tensión; o una característica de fabricación, por ejemplo: maquinabilidad.

El número extenso de Acero Inoxidables con resistencias similares a la corrosión puede crear una confusión en la selección; la situación se complica aún más si se considera que los Aceros Inoxidables tienen diferentes estructuras metalúrgicas: las aleaciones ferríticas (Serie 400 AISI) y - los austeníticos (serie 300 AISI).

Recientemente se ha desarrollado un procedimiento simplificado para selección del Acero Inoxidable que es el sistema "selectaloy". El principio -- del método es que la clasificación de las aleaciones es hecha por el uso

final más bien que por la estructura o composición.

El sistema "Slectaloy" divide la familia del Acero Inoxidable dentro de 5 niveles de resistencia a la corrosión como se muestra en la Fig. 4.1.7. - El tipo 405 (12% Cr) representa el nivel mínimo de resistencia a la corrosión en el acero.

<u>A L E A C I O N</u>				<u>NIVEL CORROSION</u>
No. 20	Cb-3			Corroy Severos
Tipo 316				Químicos Procesos de Alim.
Tipo 304	Custom 450			Corroy Ligeros
Tipo 430	Tipo 431	Custom 455		Atmosf. Industr.
Tipo 405	Tipo 410	Tipo 420	Tipo 440C	Atmosf. Ligeras
Menor a	Arriba de	Alrededor de	Arriba de	PUNTO DE CEDENCIA
50 000	75 000	250 000	250 000	(LB/IN ²)

FIG. 4.1.7. FAMILIAS DE ACEROS

La resistencia a la corrosión se incrementa con el progreso de los Tipos 430 (17%Cr), 304 (18Cr-9Ni) y 316 (17Cr-13Ni-2Mo).

Arriba de la escala está Alloy 20 (20Cr-33Ni-2Mo-3Cu) que en muchos casos

es un punto intermedio entre los Aceros Inoxidables y las aleaciones en base Níquel.

Para utilizar el sistema "Selectaloy" tenemos:

1. Seleccionar el nivel deseado de resistencia a la corrosión de la Fig. 4.1.6. Ya que alrededor del 50% de todos los aceros Inoxidables utilizados son del tipo 304, es conveniente considerarlo primero. Después se puede decidir si se requiere una mayor o menor resistencia.
2. Ir hacia el requerimiento apropiado, es decir, un criterio de diseño, - por ejemplo, el punto de esfuerzo máximo. Las aleaciones que aparecen en la Fig. 4.1.6. tienen sus puntos de cedencia máxima que aparecen en la fig. 4.1.7. y en base a esto se puede seleccionar alguna de ellas. Por ejemplo si se desea una resistencia a la corrosión general del tipo 405 pero con un punto de cedencia máxima de 100 000 psi, seleccionamos el tipo 410. Empleando la Fig. 4.1.7., se observa que el Custom 450 se empleará en aplicaciones que requieran de una resistencia a la corrosión similar al tipo 304 y de una resistencia al esfuerzo del tipo 410.
3. Considerar el siguiente requerimiento en el proceso de selección. Muchos de los grados básicos tienen modificaciones en los diferentes procesos de fabricación.
4. Considerar los requerimientos siguientes. (Económico, maquinado, etc.)

Para aplicaciones específicas consultar la bibliografía anexa.

C A P I T U L O V

ALEACIONES NO FERROSAS

Este grupo de aleaciones está constituido por todas las aleaciones cuyo metal básico es diferente del hierro. Aunque el volumen de su producción de todas ellas es menor que el de las aleaciones ferrosas es indiscutible que son indispensables en aplicaciones específicas.

Considerando que los metales puros son 80 y eliminando el hierro que ya se trató por ser el elemento básico de las aleaciones ferrosas, es evidente que puede haber 79 familias de aleaciones; sin embargo, las más importantes son aquellas cuyos metales base son:

- Aluminio
- Cobre
- Níquel
- Cobalto
- Plomo y estaño
- Otras.

5.1. ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

El aluminio produce diversas aleaciones de acuerdo con el elemento aleante en las cuales, se obtienen diferentes propiedades de acuerdo con trabajo mecánico en frío y a los procesos térmicos que se les dé durante la fabricación. En general las aleaciones de aluminio no tienen nombres propios y

se clasifican, en base a los aleantes con un número que los identifica seguido de tres dígitos que puedan indicar la pureza del aluminio o el número de la aleación. Este sistema es el siguiente:

1XXX	Aluminio convencionalmente puro (más de 99%)
2XXX	Aleado con cobre
3XXX	Aleado con manganeso
4XXX	Aleado con silicio
5XXX	Aleado con magnesio
6XXX	Aleado con magnesio y silicio
7XXX	Aleado con zinc
8XXX	Aleado con otros elementos

De estos grupos de aleaciones de aluminio los de más amplio uso en la industria son:

La marcada con el número 2014 que tiene de 3.9 a 5% de cobre, la 3003 que tiene de 1 a 1.5% de manganeso, la 5005 con 0.5 a 1.1% de magnesio, la 6061 que tiene 0.4 a 0.8% de silicio y tiene de 0.8 a 1.2% de magnesio.

Las aleaciones de aluminio también se fabrican recubiertas de aluminio puro o de alguna aleación de aluminio diferente, para obtener propiedades de resistencia mecánica en el interior y de resistencia de corrosión en el exterior.

5.1.1. CORROSION EN EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES.

Como regla general, las aleaciones de aluminio (particularmente la serie -

2000 Al-Cu) puede tener una resistencia menor a la corrosión que el metal comercialmente puro, sin embargo las adiciones de los aleantes incrementan la resistencia a la tensión. Las aleaciones comúnmente usadas en las industrias de los procesos químicos son las series: 1XXX, 5XXX, y 6XXX. La resistencia a la corrosión del aluminio depende de las películas protectoras. - Esta película es estable en medios acuosos cuando el pH se encuentra entre 4.5 y 8.5; a pH menores o mayores es más probable que el aluminio sea corroído.

El aluminio se emplea en sistemas que requieran de una alta pureza del agua y para una gran variedad de soluciones orgánicas, Los alcoholes mayores originan problemas al almacenarse y deben de evitarse así como los haluros, los ácidos orgánicos anhídridos, el mercurio y las soluciones de las sales de metales pesados.

Algunas aleaciones de aluminio son susceptibles de sufrir corrosión intergranular debido a temperaturas bajas que origina la precipitación en los límites de grano y produce tanto la exfoliación así como la fractura por esfuerzo de corrosión. Este problema no se presenta en las series que contienen cantidades menores al 3% de magnesio como son: 1XXX, 3XXX, 4XXX, 6XXX, 5XXX.

Cuando el aluminio se emplea en estructuras complejas la corrosión galvánica es un problema potencial. Se comporta como ánodo en muchos de los materiales tal como el hierro, Acero inoxidable titanio, cobre y aleaciones de Niquel. Se presenta una corrosión galvánica, el aluminio se corroerá -

preferentemente, mientras que la otra parte de la celda se comporta como un cátodo, que libera hidrógeno y puede originar fractura por hidrógeno en una estructura adyacente que esté siendo sometida a algún esfuerzo.

5.2. NIQUEL Y SUS ALEACIONES

El níquel forma como metal base, un grupo numeroso de aleaciones cuya principal propiedad es la de resistir a diversas condiciones de corrosión; su única desventaja es su elevado precio.

Las aleaciones de níquel se conocen en general por el nombre que el fabricante les ha dado al desarrollarse aunque con el tiempo, a pesar de ser marcas registradas, han pasado a utilizarse como denominaciones genéricas. Una breve clasificación es la siguiente:

- Níquel-cobre (monel)
- Níquel-cromo-fierro (inconel)
- Níquel-molibdeno-cromo-fierro (hastelloy)
- Níquel-fierro (incoloy)
- Aleaciones para usos eléctricos
- Otras aleaciones

NIQUEL-COBRE (MONEL)

En cierta forma estas aleaciones son similares a los cuproníqueles solamente que en este caso el níquel es el solvente y el cobre es el soluto. En -

general son más resistentes que el níquel en condiciones reductoras y más resistentes que el cobre en condiciones oxidantes.

El tipo básico de monel contiene 30% de cobre y cantidades moderadas de fierro y manganeso. Las propiedades de monel básico se modifican agregando azufre para facilitar su maquinado o agregando silicio y/o aluminio -- para producir aleaciones endurecibles por precipitación.

El monel es un material resistente mecánicamente y a muchos agentes corrosivos por lo que su uso es muy amplio en la industria. Es el material de elección para agua de mar; resiste ácido sulfúrico diluido y soluciones fuertemente alcalinas. Por arriba de los 370°C las atmósferas con azufre lo corroen rápidamente.

NIQUEL-CROMO-FIERRO (INCONEL)

Estas aleaciones, llamadas comúnmente inconel contienen generalmente 16% de cromo y 8% de fierro; reúnen buena resistencia mecánica así como a la corrosión y a la oxidación a temperaturas altas. Su contenido de cromo -- hace que estas aleaciones sean superiores al níquel puro en condiciones oxidantes. Agregando aluminio y titanio se pueden producir inconeles endurecibles por precipitación.

La gran variedad de inconeles permite emplearlos en turbinas, discos de compresores, válvulas, tuberías y accesorios de hornos, escape de motores, etc.

NIQUEL-MOLIBDENO-CROMO-FIERRO (HASTELLOY)

Estas aleaciones son llamadas hastelloy, contienen molibdeno de 7/28% y 5% de hierro generalmente; se dividen en dos grupos con base si tienen cromo (5/22%) o no. Las aleaciones sin cromo resisten la acción del ácido clorhídrico en todas sus concentraciones hasta el punto de ebullición y lo mismo ocurre con el ácido fosfórico, en cambio solamente resiste al ácido sulfúrico hasta una concentración de 60% en su temperatura de ebullición o a mayores concentraciones a temperaturas menores de 150°C. Sin embargo estas aleaciones no se recomiendan para aplicaciones con ácido nítrico o ácidos verdaderamente oxidantes. Por su parte los hastelloy que tienen cromo además de las excelentes cualidades de los hastelloy mencionados anteriormente resisten a agentes oxidantes tales como ácido nítrico diluido y mezclas de nítrico y sulfúrico, crómico y sulfúrico, permanganatos y persulfatos y otros.

NIQUEL-FIERRO (INCOLOY)

Las aleaciones níquel-ferro conocidas como incoloy son similares a los aceros de la serie 300 solamente que tiene hasta 37% de níquel y alrededor de 20 de cromo. Con frecuencia se les coloca dentro de las correspondientes al hierro y, en realidad están en el área limítrofe entre ambos grupos de aleaciones. Tiene una gran resistencia a la oxidación comparable a otras aleaciones de níquel y superior en resistencia mecánica a elevadas temperaturas; por otro lado se pueden soldar como los aceros inoxidable austeníticos.

ALEACIONES PARA USOS ELECTRICOS

Con el níquel se prepara una gran variedad de aleaciones que se usan en resistencias eléctricas así como para servir de termopares. Tal es el caso de las siguientes aleaciones:

- Cromel 90% Ni - 10% Cr
- Alumel 94% Ni - 3% Mn - 2% Al - 1% Si
- Constantano 50% Ni - 50% Cu
- Nicrome 80% Ni - 20% Cr

5.2.1. OTRAS ALEACIONES DE NIQUEL

Además de los grupos de aleaciones ya mencionados en los párrafos anteriores, existen otras no menos importantes que presentan magnífica resistencia a la oxidación y a la corrosión a altas temperaturas, a la erosión, a la acción de diversos medios y substancias sin perder sus propiedades mecánicas. De allí que se empleen en impulsores de bombas, válvulas de admisión y escape de motores, parte de compresores, álabes de turbina, etc.

Estas aleaciones también tienen nombres registrados que, como las anteriores, pasan a ser genéricos. Las más importantes son:

- Colmonoy 68/85% Ni Cr resto
- Inconel 50/68% Ni 25% Cr 6.5% Mo 5.5% Cu
- Waspaloy 60% Ni 20% Cr 14% Co 4% Mo 3% Ti

- René y Udimet 60% Ni 14% Cr 15% Co más Mo, Ti Al y W
- Nimonic 67.5% Ni 20% Cr 15% Co 2.5% Cb
- Invar 36/68% Ni

5.2.2. CORROSION EN EL NIQUEL Y SUS ALEACIONES

El níquel y sus aleaciones tienen una buena resistencia a los cloruros y medios reductores que atacan al acero inoxidable.

La resistencia del níquel al medio reductor se debe al molibdeno y al cobre. El Alloy B (Ni-27 Mo) es resistente al ácido clorhídrico. Alloy 400 (Ni-30 Cu) es ampliamente utilizado en intercambiadores de calor, tiene -- además una buena resistencia al ácido fluorhídrico, aunque la fractura por esfuerzo de corrosión es un problema potencial.

Si se adiciona Cromo al Níquel, se obtienen aleaciones resistentes para -- un amplio rango de medios oxidantes y reductores tal como Alloy 600 (Ni - 15 Cr - 7Fe). Si se adiciona molibdeno se obtiene una resistencia para un amplio rango de medios reductores y oxidantes con una muy buena resistencia a la picadura por cloruros, por ejemplo Alloy C (Ni- 15Cr - 15 Mo - 5Fe)

Todas éstas aleaciones altas de Ni son resistentes a la fractura por es -- fuerzo de corrosión por cloruros a temperaturas altas, son generalmente -- mejor que los obtenidos con los ácidos inoxidables sin embargo, pueden -- ser más susceptibles a la corrosión intergranular debido a (1) la ---

solubilidad del carbón en la austenita decrece mientras que en el níquel - se incrementa, aumentando la tendencia de formar carburos de cromo, y (2) las aleaciones son generalmente más propensas a precipitar con puestos intermetálicos que pueden disminuir la resistencia a la corrosión por el consumo de la matriz de Ni, Mo, etc.

Los carburos de Cromo y los compuestos intermetálicos precipitan completamente a temperaturas que van de 1100 a 1800°F aproximadamente. Por lo tanto, éstas son las restricciones para los usos de estas aleaciones como material soldable. La corrosión intergranular se acelera en aleaciones Ni-15 Cr-7Fe a temperaturas altas (600°F).

5.3. COBRE Y SUS ALEACIONES

El cobre cuyas principales características son de alta conductividad, gran deformabilidad y resistencia a la corrosión, modifica sus propiedades aún con pequeñas cantidades de otros elementos; por tal razón, aún cuando el metal sea tecnológicamente cobre puro sus propiedades están afectadas por residuos de elementos tales como oxígeno, fósforo y otros.

El cobre y sus aleaciones pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Cobre
- Cobre con pequeños porcentajes de aleantes
- Cobre-zinc (latón)
- Cobre-estaño (bronce)

- Cobre-níquel (cuproníquel)
- Cobre-níquel zinc (alpaca)
- Bronces especiales

COBRE DE APLICACION INDUSTRIAL

En el ámbito industrial, se considera como cobre puro el que tiene 99.90% mínimo del elemento, el resto a 100% es lo que permite preparar diferentes tipos de cobre.

Cobre OF

Es cobre desoxidado preparado por medio de una refinación adecuada bajo atmósfera reductora por lo que para eliminar el oxígeno no se emplea desoxidantes. Tiene una conductividad muy elevada, se aplica en equipos eléctricos y electrónicos.

Cobre ETP

Es cobre con un contenido de oxígeno controlado, generalmente se le conoce con el nombre de cobre electrolítico, y resulta de la fusión y refinación de cátodos que provienen de las cubas electrolíticas; por medio de la refinación se controlan las impurezas y el oxígeno. Con este tipo de cobre se elaboran barras de secciones diversas, alambres, láminas, etc., para usos eléctricos principalmente.

Cobre DPH

Es cobre desoxidado con fósforo por lo que tienen de este elemento de 0.015% a 0.045%; por ello su conductividad es menor.

El uso más importante es la fabricación de tubos para conducción de agua, gas, etc.

COBRE CON PEQUEROS PORCENTAJES DE ALEACION

Este grupo de aleaciones está formado por cobre y hasta 1.5% de aleantes; los más importantes son:

Aleación Cobre-Plata. Se emplea para la fabricación de las láminas de los radiadores; el contenido de plata aumenta la temperatura de recristalización por lo que a las láminas montadas durante la fabricación del radiador se puede introducir en estaño fundido sin deformarse.

Aleación Cobre-Cromo. Se emplea en la fabricación de electrodos de máquinas punteadoras para soldar, esto es posible porque el cobre y el cromo forman una aleación endurecible por precipitación con lo que se logran electrodos de mayor vida.

Aleación Cobre-Cadmio. El cadmio aumenta la resistencia mecánica del cobre lo que permite la fabricación de alambres telefónicos, de calibres que permiten un mayor espaciamiento entre los postes.

COBRE-ZINC (LATON)

El zinc se adiciona al cobre hasta en un 40% y con ello se incrementa la resistencia a la tracción, la dureza y disminuye la plasticidad. Para mejorar otras propiedades se le añaden elementos tales como: estaño, plomo, - etc. Como aleaciones típicas se puede mencionar:

- Latón amarillo 70/30
- Latón Admiralty
- Latón para maquinado libre

El latón amarillo 70/30 es el de mayor consumo en forma de láminas, alambre y tubo. Se elabora con diferentes propiedades y se utiliza en la fabricación de cartuchos, conexiones eléctricas, telas mecánicas, etc.

La corrosión afecta a los metales con mayor intensidad cuando el contenido de zinc sobrepasa el 15% sobre todo la denominada deszincificación que es la disolución de latón por un ataque inicial seguido de la precipitación del cobre en forma esponjosa quedando el zinc en solución. La presencia de estaño en el latón Admiralty aumenta la resistencia mecánica y a la corrosión excepto a la deszincificación; ésta se evita con la adición principalmente de arsénico. La tubería fabricada con latón Admiralty se aplica en cambiadores de calor y condensadores en tubería de poco diámetro. Su alta resistencia al ataque por sulfuros a más de 400°F (200°C) hacen de esta aleación un elemento útil cuando se tratan productos amargos de refinerías. La adición de pequeñas cantidades de fósforo, arsénico o antimonio, evita

la descinczificación en los latones Admiralty inhibidos.

COBRE ESTAÑO

Los bronce son aleaciones básicamente entre el cobre y el estaño a los que se les agrega el fósforo como desoxidante; en algunos casos se añade zinc o plomo para modificar alguna de sus propiedades. El estaño aumenta la resistencia mecánica rápidamente obteniéndose en algunos casos productos con valores de resistencia a la tracción similares al acero. Los bronce se utilizan en forma de láminas, alambres, perfiles, muelles, etc.; un gran tonelaje de ellos se utiliza en forma de piezas moldeadas.

COBRE-NIQUEL (CUPRONIQUEL)

El cobre y el níquel son solubles en todas proporciones; las principales aleaciones contienen 5, 10, 20, 30 y 40% de níquel además de cantidades menores de hierro y manganeso. Son de las aleaciones de cobre, las más resistentes a la corrosión, sobre todo si está asociada con la erosión; solamente en el caso de corrosión por azufre no se recomienda el cuproníquel. Además se utiliza para tuberías y placas para intercambiadores de calor, así como válvulas.

COBRE-NIQUEL-ZINC (ALPACA)

El aspecto de las aleaciones cobre-níquel-zinc es asimilar al de la plata de ahí que también se le conozca como plata alemana. Tiene buenas características para trabajarse en frío y con ellos se fabrican contactos eléctricos, cuchillería, piezas para platear o niquelar, etc.

BRONCES ESPECIALES

Los principales bronce especiales son los que forma el cobre y el aluminio, el manganeso y el silicio.

El bronce al aluminio es una aleación muy resistente a la corrosión y que en ciertas condiciones puede someterse a tratamientos térmicos similares a los del acero. Esta aleación resiste especialmente el agua de mar cuando se maneja a altas velocidades y sustituye al latón Admiralty cuando este falla por picaduras. Con ellas se construyen: cuerpos de bombas, hélices, herramientas antichispa, etc.

El bronce al manganeso es una aleación de alta resistencia mecánica de muy buenas propiedades de fricción. El bronce al silicio es una aleación que puede alcanzar la resistencia a la tracción del acero; se usa como tubería para intercambiadores de calor, flechas, accesorios marinos, etc.

5.3.1. CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE

Existen alrededor de 300 o más aleaciones de cobre, esto y el uso indistinto de los términos tales como el latón y el bronce, crea confusiones en la selección de esta familia de aleaciones.

Se puede dividir dentro de 3 clases:

1. Latones (Cobre-Zinc)
2. Bronces (Cobre-Estaño, Cobre-Aluminio, Cobre-Silicio, etc.)
3. Cobre-Níquel

El zinc se adiciona al cobre en cantidades que van de 5 a 45%. Como regla general, la resistencia a la corrosión disminuye cuando el contenido de Zinc se incrementa. Los problemas con las aleaciones altas de Zinc son la deszincificación y la fractura por esfuerzo de corrosión, que puede ser evitada manteniendo el contenido de Zinc por debajo del 15% y adicionándole 1% de estaño como en el latón Admiralty (Cu-30Zn-1Sn) y el latón Naval (Cu-40Zn-1Sn) o mediante la adición de cantidades menores al 0.1% de arsénico, antimonio o fósforo que dan una mejor protección.

Los latones que contienen cantidades menores que el 15% de Zinc pueden ser utilizados para manejar muchos ácidos, soluciones alcalinas y sales, con tal que:

1. Haya un mínimo de aireación, y no deben de estar presentes materiales oxidantes tales como el HNO_3 y dicromatos.
2. No haya compuestos presentes que puedan formar complejos con el cobre, por ejemplo iones amonio, cianuros.
3. No haya elementos o compuestos que reaccionen directamente con el cobre, por ejemplo; sulfuro de hidrógeno, mercurio, sales de plata, acetileno.

Estas condiciones son además aplicables a otras aleaciones que tienen alto contenido de cobre.

El estaño (1 a 10%) se adiciona al cobre para incrementar su resistencia a la corrosión y a la tensión. El término de bronce se aplica a otras aleaciones de cobre.

Existen bronce-aluminios (Cu-5Al) y bronce-silicios (Cu-3Si) que no contienen estaño. El aluminio incrementa la resistencia a la corrosión por erosión y a la fractura por esfuerzo de corrosión mejorando sus propiedades a temperaturas elevadas. El silicio se adiciona para incrementar la resistencia a la tensión y mejora sus propiedades a temperaturas elevadas.

Los cuproníqueles (10-30%Ni) son las aleaciones de cobre más resistentes a la corrosión y son los más utilizados.

CAPITULO VI

CERAMICOS

6.1. DEFINICION Y CARACTERISTICAS

La palabra cerámico proviene del griego keramos, la cual significa materia quemada. Este término fue usado por civilizaciones antiguas que encontraron que la arcilla debía ser mezclada con agua, formada, secada y puesta en fuego para endurecerla. La definición actual es más extensa. Incluye no solamente los materiales tradicionales hechos por calentamiento, sino también sustancias altamente refinadas y sintetizadas para modernas aplicaciones químicas, eléctricas, magnéticas, ópticas y mecánicas.

La mayoría de los materiales cerámicos están compuestos de materiales inorgánicos no metálicos. Se usan como cuerpos sólidos o capas, reducen la fricción, tienen y proveen resistencia a la corrosión a alta temperatura y/o protección térmica. Se incluye en este grupo los cementos, refractarios, óxidos, carburos, nitruros y cermets. La mayoría de estos materiales son completamente cristalinos. Los átomos de un material cerámico se unen principalmente por enlaces covalentes o iónicos. En enlaces covalentes los electrones son compartidos, pero solamente por dos átomos adyacentes. Esto resulta en un enlace direccional. Tales enlaces pueden producir estructuras de tres dimensiones rígidas y fuertes (tales como diamante, carbono de silicón o nitrato de silicón, estructuras de cadenas fibrosas (tales como asbesto) y estructuras laminares (tales como grafito, mica y arcilla). Las

características de cerámicos covalentes incluyen altas durezas, productos químicos más inertes, no dúctiles, baja expansión térmica y baja conductividad eléctrica.

Los enlaces iónicos involucran transferencia de uno o más electrones entre átomos adyacentes, produciendo iones de carga opuesta, unidos por atracción coulombica. Ejemplos de cerámicos con alto enlace iónico incluye cloruro de sodio, fluoruros de calcio, y óxido de magnesio.

Los cerámicos iónicos forman estructuras empacadas similares a los que forman los metales puros, excepto que sin electrones libres presentes y átomos alternados de sustancias de diferentes medidas. Como resultado, los cerámicos iónicos tienen baja ductilidad, alta expansión térmica y baja conductividad eléctrica. Algunos tienen conductividad iónica a alta temperatura debido a la difusión de los iones cargados a través de la estructura. Como ejemplo de esto es el ZrO_2 a alta temperatura, la carga negativa de los iones de oxígeno pueden moverse a través de la estructura y llevar corriente eléctrica. Este material ha sido usado en sensores de oxígeno para monitorear el nivel de combustión en procesos industriales.

6.2. PROPIEDADES DE LOS CERÁMICOS

Las propiedades de los cerámicos son resultado de una combinación de los efectos del enlace atómico y la microestructura. Los efectos de enlaces se reflejan primeramente en las propiedades intrínsecas-químicas, físicas

térmicas, eléctricas, magnéticas y ópticas. La microestructura puede también afectar algunas de las propiedades intrínsecas, pero tiene mayor efecto sobre las propiedades mecánicas y sobre la velocidad de reacción química.

TEMPERATURA DE FUSION:

Muchos cerámicos son usados en aplicaciones que requieren una alta temperatura de fusión y estabilidad química. La temperatura de fusión es función de la fuerza del enlace atómico.

Los metales alcalinos enlazados débilmente (Na) y los cerámicos iónicos monovalentes (NaCl) tienen baja temperatura de fusión, enlaces más fuertemente unidos de metales de transición (Fe, Ni, Co) y cerámicos iónicos multivalentes (BeO , Al_2O_3 , ZrO_2) tienen mucha más alta temperatura de fusión. Enlaces más fuertemente unidos como metales (W) y cerámicos covalentes (TiC, HfC) tienen las más altas temperaturas de fusión.

CONDUCTIVIDAD TERMICA

La conductividad térmica es controlada por la cantidad de energía presente calorífica, la naturaleza del calor transportado en el material y la cantidad de calor disipado. El primer camino para llevar calor en los cerámicos es por la radiación y vibración del enrejado. Los materiales cerámicos tales como el diamante, grafito, BeO , SiC y B_4C , los cuales tienen simples -

estructuras hechas de átomos de peso atómico similar, transfieren calor rápidamente por vibraciones de la red debido a esto tienen altas conductividades térmicas. Estructuras más complejas de cerámicos tienen disipaciones más grandes o atenuaciones de las vibraciones de la red y por lo tanto más bajas conductividades térmicas. Los cerámicos porosos, cerámicos en polvos y cerámicos de fibras agregadas contienen espacios con aire que provocan más bajas conductividades térmicas.

EXPANSION TERMICA

La velocidad de expansión térmica de metales y cerámicos está determinado por la fuerza de enlace y la estructura atómica. A mayor fuerza de enlace la expansión es más baja. Los cerámicos iónicos tienen estructuras atómicas empacadas y una expansión térmica relativamente alta. Por otra parte, los enlaces covalentes son direccionales y producen estructuras con grandes espacios abiertos. Cuando un cerámico covalente se calienta, una porción de la expansión puede ser absorbido por el espacio abierto dentro de la estructura o por cambios de ángulos de enlaces, lo que resulta en baja expansión térmica.

Los materiales cerámicos tales como el silicato, aluminio, litio, sílica fundida y silicato-aluminio-magnesio tienen bajas velocidades de expansión térmica.

DUCTILIDAD

La ductilidad se favorece por el movimiento de deslocaliza a lo largo del

plano de los átomos. Los cerámicos iónicos tienen estructuras empacadas similares a los metales puros y de esta forma tienen muchos planos potenciales de deslizamientos. Sin embargo debido a la carga eléctrica opuesta de iones adyacentes, cada ión es estable solamente en una posición de -- equilibrio y coordinación. Se requiere de una energía más alta de activación respecto a los metales, para mover iones cargados opuestamente y causar deslizamiento. En muchos casos esta energía de activación es más alta que la energía requerida para iniciar la fractura a través de esfuerzos de concentración en la superficie o falla del material interno.

La situación es similar para los cerámicos covalentes. La direccionalidad del enlace coloca a los átomos en posiciones de equilibrio que requieren altas energías de activación para el deslizamiento. Los cerámicos fallan de un modo quebradizo debido a la presencia de fallas de fabricación y estructural que resultan en esfuerzos de concentración y fractura a una carga muy abajo de la resistencia teórica. Muchos cerámicos se fracturan a -- una carga aplicada de menos de 100 000 psi. Los cerámicos pueden tener altas resistencias. Por ejemplo Al_2O_3 , SiC y Si_3N_4 tienen resistencias más grandes de 50 000 psi. Estos serán adecuados para muchas aplicaciones de procesos químicos. Sin embargo, por su naturaleza quebradiza, los componentes cerámicos deben ser diseñados cuidadosamente para evitar esfuerzos de concentración localizados resultando del impacto, adhesión, hendiduras, gradientes térmicos u otras fuentes.

DUREZA

La mayoría de los cerámicos no son duros. Cuando se inicia una fractura -

se propaga rápidamente resultando en una fractura de la pieza. El diseño primario se hace para un preesfuerzo del cerámico a la compresión por con tracción adecuada o laminación. Esto no incrementa la dureza del cerámico pero incrementa la resistencia a la fractura inicial.

Varias técnicas son usadas para incrementar la resistencia a la fractura y se pueden enunciar las siguientes: dispersión en segunda fase y reforzamiento de fibra. Como ejemplo de la dispersión en segunda fase se encuentra la manufactura de los cerments, que son composición metal-cerámicos, tales como WC-Co y TiC-Ni. Las pequeñas adiciones de aleaciones dúctiles como Co y Ni permiten la redistribución de una carga aplicada y minimiza la concentración por esfuerzo (stress) que normalmente causa iniciación de fractura y propagación en el cerámico quebradizo. Sin embargo los cerments no son apropiados para algunas aplicaciones debido a la corrosión u oxidación de la fase metal. El cerámico dual de composición particular se ha venido desarrollando para satisfacer estas aplicaciones. Las partículas finas de un cerámico son dispersadas en un cerámico matriz teniendo diferente módulo elástico y expansión térmica.

RESISTENCIA QUIMICA

La mejor característica que hace a un cerámico atractivo para plantas de proceso químico es la estabilidad química en un amplio rango de temperatura. Los cerámicos que tienen fuertes enlaces iónicos y covalentes y alta pureza son más resistentes al ataque químico. Estos cerámicos generalmente

no se encuentran en la corteza terrestre, en lugar de ello debe ser sintetizado o cuidadosamente procesado, por ejemplo el óxido de aluminio.

6.3. TIPOS MAS COMUNES DE CERAMICOS

OXIDOS DE METALES

Oxido de aluminio. Este es probablemente el de mayor uso en la industria. Muestra comportamiento de corrosión anfotérico y puede ser susceptible de un ataque ácido y alcalino.

Dióxido de Silicio. Este material es más frecuentemente usado como silicio amorfo fundido para mayor resistencia a la corrosión ácida a alta temperatura. Es dióxido de silicio también es usado en conjunción con muchos otros óxidos de metales, por ejemplo con óxido de aluminio para formar la mullite y con óxido de zirconio para formar zircón.

Oxido de zirconio. Este es un cerámico más caro que los anteriores porque debe ser estabilizado con calcio, magnesio o itrium para prevenir la degradación térmica. Esto da una excelente protección térmica.

Oxido de cromo. Con el óxido de silicio y aluminio el óxido de cromo es usado como un componente en capas resistentes a la corrosión a altas temperaturas. Se usa también en ladrillos ácidos.

Oxido de magnesio. Este es un ceramico con buena protección térmica que --

muestra alta reflectividad, desafortunadamente tiene pobre resistencia ácida.

CARBUROS Y NITRUROS DE METAL

CARBUROS DE METAL: Excepto para carburos de silicio, pocos carburos de metal son usados para resistencia a la corrosión. Muchos, tales como el carburo de tungsteno y tantalio son usados para resistencia al desgaste.

CARBURO DE SILICIO: Este es un material único debido a la fuerza de enlace interactiva entre el silicio y el carbón y a su estructura cristalina compacta. La estructura lo hace extremadamente resistente al ataque químico erosivo en ambientes reductores. Ofrece beneficios excepcionales en altas temperaturas y aplicaciones donde requieran resistencias al desgaste, tales como intercambiadores de calor, componentes de recuperadores, sellos mecánicos y superficies-resistentes a la abrasión.

CARBUROS DE SILICON-ALFA: Este material no contiene libre silicio o carbono-grafito, de esta forma la resistencia a la oxidación se mejora significativamente. Este cerámico tiene buena resistencia al choque térmico, un bajo coeficiente de fricción, estabilidad térmica a 3000 F en aire, buenas propiedades físicas, excepcional resistencia química y buena conductividad térmica.

NITRUROS DE METAL: Los nitruros de metal especialmente del boro y silicio, se usan como capas debido a su resistencia al desgaste. Sin embargo, tiene buena resistencia a la corrosión con estabilidad térmica. Por su bajo coeficiente de fricción son usados extensivamente en cojinetes.

6.4. APLICACIONES DE LOS CERAMICOS

Los cerámicos Al_2O_3 y SiC (carburo de silicio) son usados en la industria minera como revestimientos de bombas, canales, ciclones y depósitos de almacenaje. La dureza y la estabilidad química de estos cerámicos proveen un incremento sustancial en la vida de servicio comparado con los metales y cermets.

Se usan también en la perforación de aceite y gas, esto debido a la alta abrasividad del lodo y los desechos de los barrenos y las altas temperaturas con ácido sulfhídrico que se encuentran en los pozos profundos. Aquí, el óxido de aluminio y el carburo de silicio se usan para componentes tales como revestimientos de bombas de lodos, lanzalodos, émbolos de bombas de salmuera y válvulas de compuerta. Los cerámicos se usan como materiales no reactivos para una amplia variedad de reactivos químicos, desde corrosivos a bajas temperaturas o fluidos erosivos hasta gases corrosivos a altas temperaturas.

Se usan en procesos petroquímicos como en las unidades de craqueo catalítico, reformadores catalíticos y reformadores secundarios. Las unidades de craqueo catalítico generalmente operan en el rango de 540 a 760°C con variación de la atmósfera desde oxidante a reductora en diferentes secciones de la unidad.

Los refractarios han resistido y trabajado bien en la zona de reacción. La resistencia a la erosión de la alúmina para refractario se ha usado para las líneas de transfer y ciclones. También trabajan en los reformadores catalíticos que operan alrededor de 540°C. Los cerámicos se usan también como componentes -

de máquinas caloríficas, intercambiadores de calor, mecanismo de control electrónico en estado sólido, sensores y una variedad de otros mecanismos en plantas de proceso. Los carburos y nitruros de silicio (Si_3N_4 y SiC) están siendo desarrollados para aplicaciones en intercambiadores de calor y máquinas caloríficas debido a su excelente resistencia a choques térmicos y a la oxidación a altas temperaturas y corrosión. La razón para usar cerámicos es para incrementar la eficiencia por incremento de la temperatura a la cual la máquina o el intercambiador puede operar.

Por otra parte, un uso bien establecido de los cerámicos son las juntas, especialmente las juntas superficiales (face seals). Los sellos están hechos de carburos de silicio, óxido de aluminio y una variedad de composiciones basadas en el grafito.

C A P I T U L O VII

PLASTICOS

Los plásticos se encuentra incluidos en el grupo de los altos polímeros - que abarcan las grandes moléculas biológicas, base de la vida y los alimentos y los polímeros para la Ingeniería. A medida que se enlazan en número creciente átomos de carbono se van obteniendo desde gases hasta grasas y sólidos cerosos para llegar finalmente a los plásticos, formados -- por más de mil átomos de carbono. Estos combinan propiedades tales como - resistencia, flexibilidad y tenacidad. Estos fenómenos se deben al punto básico de que a medida que la longitud de las moléculas aumenta, la fuerza total de adhesión entre las moléculas aumenta. Existen fuerzas de Van der Waals entre las moléculas y entrelazamientos mecánicos entre las cadenas.

El origen de la palabra polímero proviene de la forma de obtenerlos, que - es a través de unidades pequeñas de moléculas llamadas monómeros con enlaces carbono-carbono susceptibles de abrirse para formar otras moléculas -- más grandes cuyas características varían dependiendo del número de carbonos unidos.

Hay tres grupos de materiales plásticos orgánicos:

- a) Termoplásticos
- b) Elastómeros naturales o sintéticos
- c) Termoestables

En los materiales termoplásticos las cadenas tienen estructuras lineales largas y como resultados de ello los materiales se ablandan y fluyen al calentarlos.

Los elastómeros naturales o sintéticos tienen sus cadenas moleculares unidas por pocos enlaces primarios (electrones compartidos) cuando se calientan llegan a ser muy elásticos, pero sus enlaces de unión no se rompen. Un ejemplo de estos son: el isopreno combinado con el 10% de azufre para dar el caucho blando, la ebonita y el caucho semiduro con un 20 ó 30 % de azufre. En elastómeros sintéticos se usan muchos como monómero básico el butadieno e isobuteno.

Las resinas termoestables se forman en un proceso irreversible generalmente una reacción de condensación entre un líquido de bajo peso molecular o sólido dentro de un sólido de alto peso molecular estable por la acción de calor y/o catalizador. Los termoestables tienen sus cadenas unidas por muchos enlaces primarios. Son física y químicamente estables y no pueden ser reformadas o fundidas cuando la polimerización es completa. Comparando a los termoplásticos y los termoestables como clase, los termoestables tienen una temperatura de uso mucho más alta y un amplio espectro de resistencia química.

7.1 PROPIEDADES FISICAS DE LOS PLASTICOS

Más allá de su buena resistencia química generalmente, los plásticos tienen una multitud de propiedades físicas que entre otras cosas proveen el

factor decisivo en su selección sobre los metales como las siguientes:

- Poco peso
- Transparencia
- Resistencia a la abrasión y fricción
- Flexibilidad y elasticidad
- Aislamiento térmico
- Absorción de vibración, choque y sonido
- No conducción eléctrica
- Alta resistencia al impacto
- Alta resistencia a la tensión
- Bajo coeficiente de fricción
- Autolubricación
- Pigmentación de color
- Bajo costo

Generalmente los plásticos, a diferencia de muchos metales no requieren de relevado de esfuerzos por tratamiento de calor porque se fabrican dentro de una estructura rígida. Aunque esto no siempre es así porque algunos ambientes inducen a un esfuerzo de ruptura de los termoplásticos (particularmente el polietileno y polipropileno) cuando son acompañados por cargas de tensión.

No conducción eléctrica: La baja conductividad de los plásticos hacen de ellos lo ideal para disminuir la corrosión galvánica o corrosión por corriente aislada.

Flexibilidad y elasticidad: La flexibilidad de algunos plásticos resultan invaluable en su uso como el acoplamiento entre el acero revestido de vidrio, pirex, cerámicos, resina impregnada de grafito o entre carbón, asbesto fenólico o furano y fundiciones de metales quebradizos, todos de los cuales no pueden someterse a cargas de tensión. Similarmente, los plásticos sirven como conectores sin ligadura entre las básculas de peso en la alimentación de tanques y reactores y para amortiguar el esfuerzo vibracional en líneas de efluentes de las centrifugas.

Pigmentación: La pigmentación del color de los plásticos ahorra considerable dinero en el mantenimiento por pintura y retocado departamental. La pigmentación incluida mantiene una calidad estética mucho mejor y para mucho más tiempo que la pintura. También la identificación del producto y los códigos de seguridad son posibles con la pigmentación del color.

7.2. APLICACIONES DE LOS PLASTICOS.

La cantidad de plásticos para aplicaciones en materiales de construcción se ha multiplicado tanto en años recientes que no se puede cubrir todas las aplicaciones corrientes en detalle. Por simplicidad los equipos comúnmente encontrados en una planta química, se divide en las siguientes categorías:

- 1) Equipos de proceso mayor
- 2) Intercambiadores de calor
- 3) Equipo de ventilación y control de la contaminación del aire

- 4) Absorbedores
- 5) Columnas
- 6) Bombas
- 7) Tuberías

Los recipientes y tanques consumen una gran porción de plásticos y resinas (posiblemente la mayor) como materiales de construcción en la industria química. Algunas de las muchas aplicaciones de los plásticos en tanques y recipientes incluyen: tanques de almacenamiento (como materia prima, intermedios y buenos acabados), alimentación y báculos de tanques, recipientes de alambiques recibidores de vacío, carros tanques. Entre las variedades de plásticos que han provisto los servicios mencionados se incluyen:

- Fibras de asbestos reforzados con fenol y fibras reforzadas de asbesto con furano.
- Vidrio reforzado con poliéster
- Escamas de vidrio revestido de poliéster
- Carbón y fibra de vidrio reforzado con furano
- Tanques de acero revestidos con termoplásticos
- Recubrimientos fenólicos cocidos
- Fenólicos modificados, epóxidos y recubrimientos de uretano

El uso de plásticos y resinas reforzadas para condensadores e intercambiadores de calor es limitado por sus pobres propiedades de transferencia de calor. Las fibras de vidrio reforzadas con poliéster sobre las tapas de -

los intercambiadores de calor de acero en enfriamiento de agua es una de las más prácticas aplicaciones de los plásticos, por otro lado el ataque agresivo del oxígeno sobre torres de enfriamiento de agua sin tratar o - impropias, causa perforación de los baffles longitudinales y consecuentemente el bypaseo de los tubos, para evitar esto las tapas se han fabricado con baffles longitudinales de fibra de vidrio reforzadas con poliester que son completamente resistentes a tales ataques.

En las columnas de destilación y rectificación también se usan los plásticos y resinas como en las de absorción y lavado. Algunos de los plásticos usados para la fabricación de corazas de columnas, platos con capuchas y otros accesorios son:

- Haveg 41 (asbestos fenólicos reforzados)
- Haveg 61 (asbestos reforzados con furano)
- Permanita (fibra de vidrio reforzado con furano)
- FRP (epóxidos y poliester)
- PVC
- Polipropileno
- Polietileno
- Cloruro de polivinilideno (SARAN)
- Fluoruro de polivinilideno (KYNAR)
- Poliether (PENTON)
- Teflón

C A P I T U L O VIII

CRITERIOS GENERALES EN LA SELECCION DE MATERIALES

La selección de materiales es uno de los temas más atacados desde varios puntos de vista en las sesiones técnicas referentes al empleo de materiales y aún así se encuentra numerosas dudas por parte de los Ingenieros - de proyecto, principalmente cuando no es posible obtener en el mercado - la primera opción que generalmente es la que por tradición se emplea; - esto nace básicamente de un total desconocimiento de varios aspectos en los cuales se encuentran: los procesos de fabricación de los productos - elaborados o semielaborados con los que se construirá un equipo y la relación de estos procesos con las propiedades; estas mismas en relación con la composición química; el manejo de espesores para tal o cual tipo de material y los requisitos con respecto a relevado de esfuerzos y/o problemas de soldabilidad. La factibilidad de conseguir en el mercado y/o la diferencia de costos de uno y otro material obliga al Ingeniero a hacer uso de su capacidad de elección y ésta no será adecuada en tanto desconocen - detalles finos de la calidad de un producto y sólo se concreta a seleccionarlos en base a factores gruesos como son su resistencia mecánica y resistencia a la corrosión o simplemente por composición química.

Otro factor importante al seleccionar materiales en general, es la experiencia o capacidad técnica con que cuente el Ingeniero, de esta forma -- si tien facultades limitadas, siempre incluirá en sus cálculos factores -

de seguridad demasiado elevados y a la postre su equipo tendrá un costo mayor que otro igual diseñado por un técnico de mayor capacidad, y al final ambos operarán normalmente sin problemas.

LINEAMIENTOS PARA LA SELECCION DE UN MATERIAL

Una secuencia propuesta a seguir para ayudar a seleccionar el material adecuado es la siguiente:

1. Definir las condiciones de servicio. Definir cual es el problema a resolver, es frecuentemente el paso difícil; no se puede aceptar una simple descripción verbal de un servicio corrosivo. Un servicio es frecuentemente más complicado cuando se tiene una descripción simple.
2. Considerar que equipo es necesario. Las condiciones y los materiales disponibles suelen diferir con los requerimientos de los equipos. Un impulsor tiene distintos requerimientos que un tanque de almacenamiento.
3. Considerar restricciones prácticas. Ninguna decisión debe ser tomada en vacío. Existen restricciones importantes que pueden ayudar a la selección final del material.
4. Pruebas de corrosión. Una prueba de corrosión de unas cuantas horas de duración puede resolver el problema, aunque esto no siempre es posible.
5. Reporte de resultados. Se debe elaborar acompañado al desarrollo del trabajo.

DEFINICION DE LAS CONDICIONES DE SERVICIO

Para hacer una buena selección se deben definir las condiciones lo más exactamente posible. Es recomendable usar un diagrama de flujo de proceso o la descripción escrita del proceso, si es posible. Deben tomarse en cuenta todo el tipo de contingencias como arranques, paros probables, condiciones de peligro y operaciones de limpieza. Estas condiciones extremas frecuentemente pueden ocasionar atascamiento de productos químicos, presiones y temperaturas elevadas y con esto causar fallas a los materiales.

Para definir adecuadamente las condiciones de servicio es recomendable cubrir los siguientes puntos:

- a) Corrosividad del fluido
- b) Residuos y productos químicos de limpieza
- c) Temperatura, presión y vacío
- d) Características del fluido:
 - d.1) pH
 - d.2) Sales
 - d.3) Condiciones de oxidación-reducción
 - d.4) Velocidad
 - d.5) Abrasividad
 - d.6) Vibración o Golpe de ariete
 - d.7) Condiciones de estancamiento

- a) Corrosividad del Fluido.

En este punto se debe de auxiliar de tablas y datos sobre velocidades de

corrosión para distintas sustancias. Para estar completamente seguros es necesario hacer pruebas de corrosión. Por ejemplo en una prueba para aleaciones en base níquel y acero inoxidable, el ácido sulfúrico al 33% y de 90 a 105°F, fue seis veces más corrosivo cuando se mezcló con cloruro de potasio y derivados del ácido naftolsulfonado que cuando fue probado en soluciones acuosas.

b) Residuos y productos de limpieza químicos.

Deben escribirse todas las condiciones de proceso antes de especificar el material, puesto que pequeñas cantidades de compuestos químicos pueden causar falla a los materiales. Pequeñas cantidades (ppm) de cloruros en soluciones acuosas pueden excluir el uso del acero inoxidable 304 y 316.

c) Temperaturas; Presión y Vacío.

Se debe considerar en el diseño del equipo las condiciones de operación máximas, las operaciones de arranque y de paro. Si no se consideran, el vacío puede destruir el equipo, especialmente los recubrimientos de plásticos. La condensación de vapores por el descenso de la temperatura en la noche puede crear un excesivo vacío si el venteo es inadecuado.

d) Características del Fluido:

d.1) pH. Las soluciones acuosas pueden hacer vulnerable al acero al carbón cuando el pH es aproximadamente cinco. La oxidación de ácidos puede ser una excepción.

d.2) Sales. Los aceros inoxidables de la serie 300 en pequeñas concentraciones

de cloruros y haluros pueden sufrir de falla por corrosión bajo esfuerzo, especialmente a elevadas temperaturas.

d.3) Condiciones de Oxidación-Reducción. Algunos metales como el acero inoxidable o titanio requieren oxígeno para ser resistentes a la corrosión. Las superficies de estos metales forman una capa absorbida de oxígeno que los protege. Estas aleaciones son beneficiadas por las aleaciones de níquel-cobre como Monel (Ni-Cu) . Aleación B (Ni-Mo) y coproniquel se ven favorecidas por las condiciones de reducción. Por ejemplo en una prueba a 90°C cupones de Aleación B fueron desintegrados completamente por una solución orgánica sulfonada y contaminada (altamente oxidantes). La velocidad de corrosión fue superior a 600 mpy.

Para evaluar las condiciones hay que considerar el contenido de iones oxidantes (ferríticos o cúpricos). oxígeno, sales oxidantes (p.e. cromatos), o ácidos oxidantes (ácido nítrico o ácido sulfúrico concentrado).

d.4) Velocidad. Incrementar la velocidad de una solución puede incrementar la corrosión, ya sea erosionando el material o desprendiendo la capa protectora producto de la corrosión, la cual es una barrera para la difusión de iones activos. El acero al carbón es un material estándar para ácido sulfúrico concentrado a temperatura ambiente, pero únicamente a velocidades abajo de 2 a 4 ft/s, a velocidades más altas, la capa protectora de sulfato es desprendida con la consecuente degradación del metal.

d.5) Abrasividad. Los plásticos de fibra de vidrio reforzados pueden no -

resistir algunos servicios abrasivos. Los recubrimientos de caucho suave o neopreno pueden dar buen resultado.

d.6) Vibración o Golpe de Ariete. El equipo construido de material no adecuado o con un pobre espesor puede ser afectado. Las bridas y uniones pueden ser dañadas por vibración o golpe de ariete.

d.7) Condiciones de Estancamiento. Celdas con concentración de oxígeno pueden acelerar la corrosión debajo de sedimentos.

FACTORES CONSTRUCTIVOS

La Resistencia Mecánica:

De esta propiedad de los materiales se derivan toda una secuencia de consideraciones de tipo constructivo que necesariamente deben tomarse en cuenta para el diseño ya que se verá afectada por las temperaturas de operación, si es que son elevadas, y su efecto se verá reflejado en la presión que se puede soportar de acuerdo al espesor de pared de los diferentes componentes del equipo lo que a su vez determina el peso y dimensiones de todo el conjunto, impidiendo en ciertas ocasiones el lograr la capacidad deseada o motivando el empleo de otras soluciones de tipo constructivo como por ejemplo el uso de recubrimientos metálicos como son el "cladding", el "overlay" y el "lining", en donde la resistencia mecánica es aportada por un material de bajo costo mientras que el aspecto de orden metalúrgico se complementa con otro material aunque sea de condición suave.

En algunos equipos las condiciones de trabajo obligan al uso frecuente de materiales con la adición de elementos de aleación sin embargo, como ya se dejó establecido, los aceros al carbón son muy empleados pues los demás factores en varias situaciones no son críticos. La importancia puede juzgarse a partir del hecho de que en la mayoría de las normas comunes a los aceros al carbón se les denomina por grados cuya designación se deriva de alguna de las características de resistencia.

Finalmente es conveniente señalar algunos criterios aplicados a este respecto:

Los equipos se diseñan para una vida útil de cuando menos 10 años. Cuando la temperatura de operación del equipo se encuentra entre 30°C y 350°C, el diseño se hace en base a esfuerzos permisibles, que no rebasen el valor de una cuarta parte de la resistencia a la ruptura del material.

LA SOLDABILIDAD

Aún cuando este factor tiene sus orígenes en aspectos metalúrgicos, su influencia se siente principalmente sobre el aspecto instructivo puesto que puede ser una limitante para el uso de algunos materiales o bien el empleo, sin problemas, de espesores de pared más allá de cierto valor.

FACTORES METALURGICOS

Las consideraciones de tipo metalúrgico que deben hacerse durante la selección de materiales son numerosas y complejas puesto que deben analizarse

individualmente y luego en forma conjunta, por tal razón resulta casi imposible recomendar alguna solución sin un estudio minucioso de todas las condiciones del proceso. Algunos factores que con mayor frecuencia se presentan, así como sus características principales se describen a continuación:

TERMOFLUENCIA

Cuando la combinación de temperatura y presión dentro de un equipo durante su operación resulta un tanto elevada, por el criterio de selección de materiales debe normarse principalmente por el factor de termofluencia -- juzgado bajo dos aspectos diferentes: el de menor esfuerzo que provoca la fractura en 100,000 hs., o por el mínimo para causar 1.0% de termofluencia en 100 000 hs, este último estimado generalmente por el menor esfuerzo que ocasiona una velocidad de termofluencia de 0.01% en 1,000 hs., durante la segunda etapa de dicho fenómeno.

Los elementos de aleación modifican la respuesta de los materiales a la termofluencia y como ejemplo está el de aceros aleados con molibdeno por su mejor resistencia a este fenómeno que los aceros al carbono simples.

FATIGA

Aún cuando la fatiga es una de las principales causas de fallas en los materiales metálicos, en el caso particular de reactores o torres el problema no es común; sin embargo se llegan a dar las condiciones para este -- fenómeno sobre todo en el caso de fatiga térmica debido a las fluctuaciones

de la temperatura ya sea por el proceso mismo o por lo paros que necesariamente se van a presentar a lo largo de la operación de los equipos.

Este proceso ocasiona la fractura, generalmente catastrófica de los equipos sujetos a esta acción, de ahí que deba tenerse muy presente durante la selección de los materiales para disminuir su efecto; esto se consigue mediante el empleo de materiales más dúctiles y cambios en el diseño que permitan absorber los esfuerzos que originan el daño.

CHOQUE TERMICO

Es el efecto que se produce por el cambio súbito de temperatura y mediante el cual se pueden producir fracturas en las partes de los equipos, Si la probabilidad de que se presente esta contingencia es alta, habrá que preverla usando materiales que soporten mejor estos cambios bruscos.

DIFERENCIA EN COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA

Este es otro factor a considerar cuando se usan uniones entre los aceros ferríticos y como consecuencia disuelve mayor cantidad de este elemento sin fracturarse.

LA TEMPERATURA

Independientemente de los efectos que la temperatura induce por termo --fluencia a los materiales metálicos, se deben considerar los efectos por pérdidas de resistencia mecánica y oxidación.

Los aceros con microestructuras ferríticas a temperaturas bajas tienen una mayor resistencia mecánica que los de microestructuras austeníticas, sin embargo, a temperaturas por arriba de los 550C los aceros inoxidables austeníticos permiten esfuerzos mayores que los aceros de menor aleación con lo que es posible aligerar la estructura para compensar el costo. A temperaturas superiores a los 650 C los aceros austeníticos tienen más alta resistencia mecánica y soportan las condiciones ambientales para operar adecuadamente pues su contenido de cromo mayor al 17% les imparte resistencia a la oxidación y el contenido de níquel por arriba de 8% ayuda a estabilizar la estructura austenítica. Además, en algunas se nota la presencia de contenido hasta del 3.0% en molibdeno para mejorar aún más su resistencia mecánica a altas temperaturas.

Cuando el medio es corrosivo, además de la temperatura elevada, se emplean aceros inoxidables austeníticos estabilizados con columbio (acero 347) o titanio (acero 321) los cuales inhiben la precipitación de carburos de cromo, que a su vez, son la causa de la corrosión intergranular.

Para temperaturas que exceden los 800 C se emplean aceros considerados como refractarios cuyo contenido de cromo está entre 25 y 35% y el de níquel en 20% en ocasiones también se usan aleaciones base níquel del tipo incoloy.

Resulta evidente que a temperaturas entre la ambiente y los 350C los aceros al carbono, por su estructura ferrítica, son los adecuados, siempre y cuando el ambiente no les sea agresivo; más allá de esa temperatura

se requiere cierta protección contra la oxidación y por ello se usan aceros con contenidos de cromo hasta del 8.0% y 1.0% de molibdeno, de este tipo - uno de los más comunes es el conocido como 4-6 Cr-1/2Mo (AISI-502).

Por último se debe considerar como otro factor determinante en la selección de materiales el correcto empleo de tablas y gráficas de corrosión.

Una de las tablas de corrosión de mayor uso es la del Manual para Ingenieros químicos por John H. Perry que aparece en su cuarta edición. Esta tabla contempla los fluidos más corrosivos de uso frecuente y basada en el manual Corrosión Data Survey proporciona índices de corrosividad que se clasifican en la siguiente forma:

Corrosión menor	0.005 pulg. por año
Corrosión ligera	0.005 a 0.02 pulg. por año
Corrosión media	0.02 a 0.05 pulg. por año
Corrosión severa	0.05 pulg. por año

Nos proporciona también los materiales comerciales resistentes a la corrosión, tanto metálicos como no metálicos a una temperatura de 300 °F con diferentes valores en porcentajes de la concentración del fluido a manejar.

Como material auxiliar, en el anexo se encuentran diferentes tablas y gráficas que pueden ser de utilidad en un determinado caso. Por ejemplo se encuentran dos gráficas de los rangos de corrosión causados por sulfuros y ácidos nafténicos muy común en la Industria Petrolera, a temperaturas superiores de 350 °F.

Estas tablas y gráficas solo son una guía de selección primaria de los materiales. La selección final de los materiales estará en función de lo especificado por los códigos de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) quien determina los requisitos generales, materiales y fabricación, composición química, chequeos, esfuerzos de tensión, pruebas mecánicas requeridas, etc. y por los códigos del Instituto Americano.

CONCLUSIONES

Después de haber desarrollado los temas que conforman este trabajo, resalta en general los siguientes puntos:

La diversidad de materiales existentes, constituye todo un universo, de tal forma que para llevar a cabo una selección adecuada es necesario recurrir a la literatura ya sea en códigos tal como el ASTM que en su volumen 1 de Normas cubre todo lo relacionado con tuberías, conexiones y accesorios, por ejemplo: el ASTM en donde existen, por decir algo, 40 normas referentes a materiales para construir recipientes a presión, dentro de las que se incluyen los materiales para construir recipientes atmosféricos. El API que ha desarrollado una serie de especificaciones para tanques atmosféricos tal como el API STD 12A, Oil Tanks With Riveted Shells, API STD 12B, Bolted Production Tanks, etc. Asimismo cubren diversas aplicaciones para líneas de tuberías, por ejemplo la norma 5L que abarca tuberías de líneas con varios grados de material y con o sin costura; la 5LX que contempla presiones de operación mayores, etc.

Por otra parte el Código ASME, que en una de sus partes la dedica a regular las características y procesos de diseño, fabricación e inspección de los recipientes a presión y calderas.

Es importante hacer notar que la selección de materiales no sólo se basa en las condiciones propias a las que estará operando sino también desde -

ANEXOS

CORROSIVIDAD DE ALGUNOS MATERIALES COMUNES POR DIFERENTES SUBSTANCIAS

MEJOR CORROSIVO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
AC. NITRICO + SALAS DE AMONIO								•	•	•												
ACIDUL. SULFURICAS				•																		
CLORURO DE ALUMINIO				•	•																	
SULFATO DE ALUMINIO				•																		
AMONIACO			•						•	•												
DIFOSFATO DE BORATO				•	•																	
CLORURO DE BORATO				•	•																	
FLUOROSILICATO DE BORATO													•									
HIPOCLORITO DE AMONIO								•	•	•												
NITRATO DE AMONIO			•																			
ANILINA										•												
CLORURO DE BARIO				•	•																	
NITRATO DE BARIO			•																			
ESMILTO								•											•			
HIPOCLORITO DE CALCIO				•	•																	

MEDIO CORROSIVO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
CLORURO DE CALCIO				•																		
TETRACLORURO DE CARBONO				•	•																	
CLORO				•	•																	
CLORANILINAS										•												
CLOROBENCENO				•	•								•									
CLOROFORMO				•	•																	
CLOROTOLUENO										•												
AC. CROMICO			•							•				•								
TETRAMIN DE COBRE										•												
DICLOROPENOL			•	•																		
ETANOL																						•
ETILAMINA			•																			
ETIL CLORO				•	•																	
CLORURO FERRICO			•							•												•
NITRATO DE CALCIO			•																			

MEDIO CORROSIVO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
AC. ACETICO CLORURO PERSICO				•	•															•		
GASOLINA				•																		
ACIDO GLUTANICO				•	•																	
GLICEROL				•																		
HEXACLORIDATO				•	•																	
AC. CLORURO																			•			
CIANURO DE HIDROGENO				•		•																
ACIDO FLUORHIDRICO													•									
HIDROGENO				•																		
CROMATO DE HIDROGENO			•	•																		
SULFATO DE HIDROGENO				•															•			
ACETATO DE PLOMO																				•		
BROMURO DE PLOMO				•																		
LITIO			•						•	•												
CLORURO DE LITIO				•	•																	

MEDIO CORROSIVO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
CLORURO DE MAGNESIO			•	•	•	•			•	•			•									
CLORURO DE CALCIO				•																		
FLUOROSILICATO DE MAGNESIO												•	•									
SULFATO DE MAGNESIO																•	•					
CLORURO DE MANGANESO				•	•																	
CLORURO DE MANGANESO				•	•			•	•	•	•		•					•				
NITRATO DE MERCURIO													•									
NITRATO MERCUROSO				•				•	•	•			•									
MERCURIO				•					•	•		•	•	•				•				
METANOL																					•	
CLORURO DE NIQUEL				•																		
NITRATO DE NIQUEL			•																			
ACIDO NITRICO			•																			
ACIDO FOSFORICO					•																	
CARBONATO DE POTASIO			•																			

1-1-9-

MEDIO CORROSIVO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
CLORURO DE POTASIO				•	•			•	•	•												
LRONATO DE POTASIO										•												
HIPOXIDO DE POTASIO			•	•	•								•									
PERMANGANATO DE POTASIO										•									•			
NITRATO DE PLATA			•																			
ALUMINATO DE SODIO			•																			
BISULFATO DE SODIO				•	•																	
BISULFITO DE SODIO				•	•																	
CARBONATO DE SODIO				•	•																	
CLORURO DE SODIO				•	•																	•
FLUORURO DE SODIO			•	•																		
HIPOXIDO DE SODIO	•	•	•	•	•	•						•	•	•		•						
NITRATO DE SODIO			•									•	•									
FOSFATO DE SODIO			•	•																		
SULFATO DE SODIO			•																			

CLAVES DE LA TABLA

ALEACIONES FERROSAS

1. Hierro fundido gris (1-2.8 Si)
2. Hierro fundido (14 - 32 Ni)
3. Acero al carbón bajo
4. AISI Tipo 302; 304/304L; 321; 347
5. AISI Tipo 316/316L (0.03 C máx)
6. Alloy 20 (19, 20 Cr, 28-30 Ni, 0.75 Mn, 2Mo, 4.45 Cu)
7. AISI Tipo 405, 410

ALEACIONES BASE COBRE

8. Copper No. 100-150; CA 210, 220, 230, 502-546
9. CA 240, 260, 442, 445
10. CA 268, 270, 280, 464-467, 612, 687
11. CA 706; 710/715

ALEACIONES BASE NIQUEL

12. 200/200L (99.5 Ni-0.25 Mn, 0.15 Fe, 0.05 Si, 0.05 Cu, 0.06 C Alloy - 200)
0.02 C (Alloy 200 L)
13. Monel 400 (66 Ni, 31.5 Cu, 1.4 Fe)
14. Inconel 600 (76 Ni, 15.8 Cr, 7.2 Fe)
15. Incoloy Alloy 800
16. Hastelloy Alloy B
17. Hastelloy Alloy C

METALES

18. Aluminio

19. Oro

20. Plomo

21. Titanio

22. Zirconio

*** Indica el medio que es corrosivo para un material dado.**

	H ₂ SO ₄ CONC	H ₂ SO ₄ DIL	HNO ₃ SOL	HNO ₃ SOL	HCl CONC	HCl DIL	HNO ₂ CONC	HNO ₂ DIL	HF 50%	NaOH 50%	PARAFINAS	CETONAS	AMINAS	ALCOHOL	AROMATICOS
PLASTICOS															
FIBRA DE VIDRO/ POLYESTER	X	A	A	A	A	A	B	A	X	B	B	X	X	A	X
KYGNAR ²	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	B	A	A
EPOXI	C	A	A	A	A	A	C	A	B	A	A	C	-	A	A
NYLON	X	X	X	X	X	X	C	A	X	A	A	A	A	A	A
PLASTIC PVC 3 (P.BJ. TYGON)	C	A	A	A	B	A	X	C	B	C	A	X	X	A	X
GARAN ⁴	C	A	A	A	A	A	C	A	C	X	A	X	X	A	C
TEFLON ⁵	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ELASTOMERO															
VITON	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	X	X	B	B
NEOPRENO	X	C	A	A	X	C	X	C	B	B	B	X	B	A	C
BUNA N	X	C	A	A	X	C	X	C	C	B	A	X	X	B	C
ETILENO- PROPILENO	X	B	A	A	C	A	C	B	B	A	B	A	B	A	B
HYPALON ⁵	B	A	A	A	B	A	B	A	A	A	B	B	A	A	X
BUTYL	X	C	A	A	C	B	C	B	B	B	X	B	B	A	X
SILICON	X	C	A	A	X	X	X	C	X	B	X	X	B	A	B

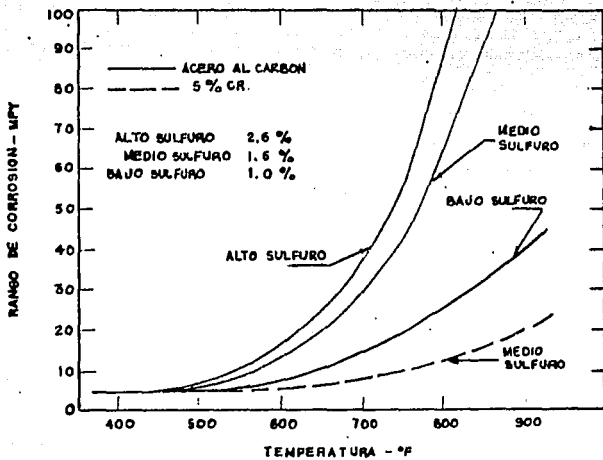
RESISTENCIA QUIMICA DE ALGUNOS MATERIALES COMUNES

METALES	H ₂ SO ₄ CONC	H ₂ SO ₄ DIL	H ₂ SO ₄ 30%	H ₂ SO ₄ 50%	HCl CONC	HCl DIL	HNO ₃ CONC	HNO ₃ DIL	HF 50%	NaOH 90%	PARAFINAS	CETONAS	AMINAS	ALCOHOLES	AROMATICOS
TANTALIO	A	A	A	A	A	A	A	A	X	X					
ALCOY 20	A	A	A	A	X	X	A	A	B	B					
HASTELLOY B	A	B	B	C	A	B	X	X	B	A					
HASTELLOY C	A	B	A	A	B	A	B	A	A	B					
AC. INOX 304	C	C	C	C	X	X	A	A	X	A					
AC. INOX 316	B	B	B	B	X	X	A	A	C	A					
DURICLOR 1 AC Cr-Si	A	A	A	X	B	A	B	B	X	C					
ACERO AL CARBON	B	X	X	X	X	X	X	X	X	A					
LATON O BRONCE	X	C	C	C	X	X	X	X	X	C					
COBRE	C	B	B	B	X	C	X	X	B	B					
ALUMINIO	C	C	C	B	X	X	C	X	X	X					
PLASTICOS															
POLIETILENO	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	C	C	A	C
POLIPROPILENO	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	B	B	A	C
PVC(TIPO I & II)	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	C	C	A	X

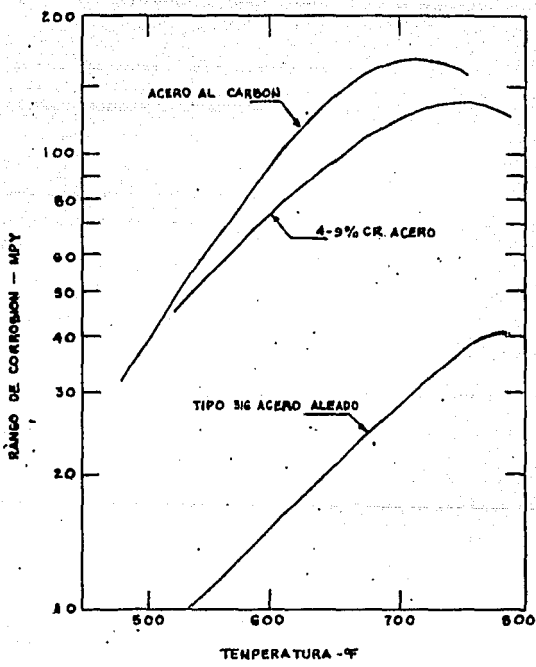
CLAVES :

- A EXCELENTE
- B BUENO (ACEPTABLE CON POCAS LIMITACIONES)
- C REGULAR (SATISFACTORIO BAJO CONDICIONES LIMITADAS)
- X NO SATISFACTORIO
- NO HAY DATOS

- 1.- DURICLOR ES MARCA DE DURICON CO. INC.
- 2.- KYNOR ES MARCA DE PENWALL CORP.
- 3.- TYGON ES MARCA DE NORTON CO. PLASTICS AND SYNTHETICS DIVISION
- 4.- SARAN ES MARCA DE DOW CHEMICAL CO
- 5.- MARCAS DE DU PONT CO.



CORROSIVIDAD DE CRUDOS



CORROSION POR ACIDO NAFTENICO EN CRUDOS

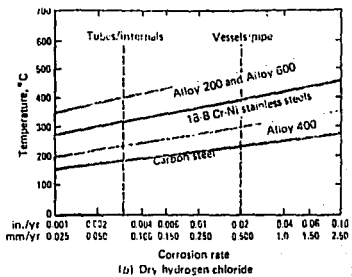
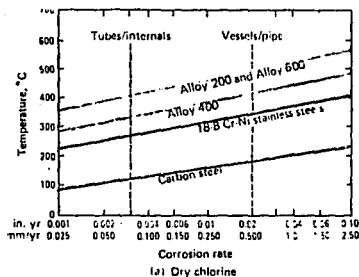
MAXIMAS TEMPERATURAS DE SERVICIO PARA ALEACIONES COMUNES

Alloy (composition)	Manufacturers' data		ASME Code, Section VIII, Div. 1			Other limitations on service temperature	
	Temperature for rupture strength of 1,000 psi, °F (Rupture at 10,000 h)		Form	ASME		Temp., °F	Limitation
				Spec.	Max. design temp., °F		
Carbon steel (0.20 - 0.28% C)	1,200	Plate	SA-285	900	800	Graphitization	
			SA-515	1,000			
			SA-516	1,000			
			Pipe	SA-53			900
			SA-106	1,000			
C-Mn Steel (0.5% Mn)	1,300	Plate	SA-204	1,000	875	Graphitization	
			Pipe	SA-369			1,000
Cr-Mo Steel (1.25 Cr - 0.5 Mo)	1,300	Plate	SA-387	1,200	1,050	Oxide scaling	
	1,400	Plate	SA-387	1,200	1,150	Oxide scaling	
304 Stainless steel (18 Cr - 8 Ni)	1,600	Plate	SA-240	1,500	900	Carbide precipitation	
304 L Stainless steel (18 - 8, low carbon)	1,600	Plate	SA-240	800	1,650	Oxide scaling	
321 Stainless (18 - 8 Ti)	1,600	Plate	SA-240	1,500	1,650	Oxide scaling	
316 Stainless (25 Cr - 20 Ni)	1,800	Pipe	SA-312	1,500	2,100	Oxide scaling	
Alloy 800H (21 Cr - 32.5 Ni)	1,800	Plate	SB-409	1,500	1,800	Oxidation	
Alloy B (72 Ni - 28 Mo)		Plate	SB-333	800	1,400	Oxide scaling	
Alloy C-276 (159 Ni - 16 Cr - 16 Mo)		Plate	SB-575	850	2,000	Oxide scaling	
Nickel 200 (Regular carbon)		Plate	SB-162	800	600	Graphitization	
Nickel 201 (low carbon)		Plate	SB-162	1,200	1,450	Oxidation stress	
Alloy 400 (65 Ni - 32 Cu)		Plate	SB-127	900	1,000	Oxidation stress	

*TEMPERATURAS LIMITE SUPERIOR PARA
MATERIALES COMUNES NO METALICOS*

<u>Material</u>	Upper temperature limit (approx.)	
	<u>°C</u>	<u>°F</u>
Mortars		
2-Component potassium silicate (refractory filler)	1,370	2,500
2-Component silica	1,093	2,000
2-Component potassium silicate	900-1,010	1,650-1,850
Sodium silicates	400	750
Furans	177-220	350-428
Phenolics	177-190	350-375
Polyester or epoxy	107	225
Sulfur	93	200
Ceramics		
Porcelain	815	1,500
Coatings and linings		
Gun-applied cement linings	538	1,000
Inorganic zinc primer (silicate)	538	1,000
Silicone aluminum paint	538	1,000
Silicone-acrylic or silicone-alkyd paint	260	500
	260	500
Organic polymers		
PTFE	260	500
FEP	205	400
FRP (polyester)	150-177	300-360
FRP (epoxy)	150-260	300-500
Polyvinylidene fluoride	121-135	250-275

TEMPERATURAS MAXIMAS LIMITES DE DISEÑO PARA VARIAS ALEACIONES EN Cl_2 Y HCl



RESISTENCIA DE VARIOS METALES Y
ALEACIONES AL AZUFRE

	H ₂ S	S	SO ₂
Corrosion resistance ↑ Poor ↓ Good	Ni, Co Low-carbon steel	Ni, Cu Low-carbon steel	Ni Fe
	Fe	Fe	430 stainless steel
	Fe - Mn	420 stainless steel	(Fe - 15 Cr)
	Alloy 600 (Ni - 15 Cr - 8 Fe)	(Fe - 14 Cr) Cu - Mn	Ta Cu, brass
	Cu	Alloy 600 (Ni - 15 Cr - 8 Fe)	Al alloys Mo, W
	420 stainless steel (Fe - 16 Cr)	Mn	304 stainless steel
	448 stainless steel (Fe - 25 Cr)	Cr	Alloy 600 (Ni - 15 Cr - 3 Fe)
	Cr	430 stainless steel (Fe - 16 Cr)	Cu - 12 Al Zr
	304 stainless steel	304 stainless steel	
	Fe - 12 Al, Ni - 15 Al	Alloy X (Ni - 22 Cr - 18 Fe - 9 Mo)	
	Ta, Mo, W		
	Al, Mg	Al, Mg	

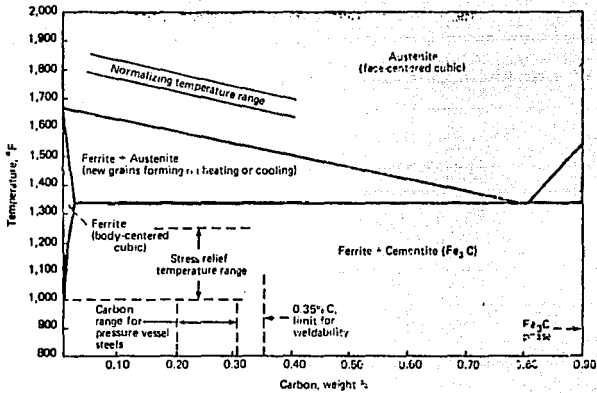
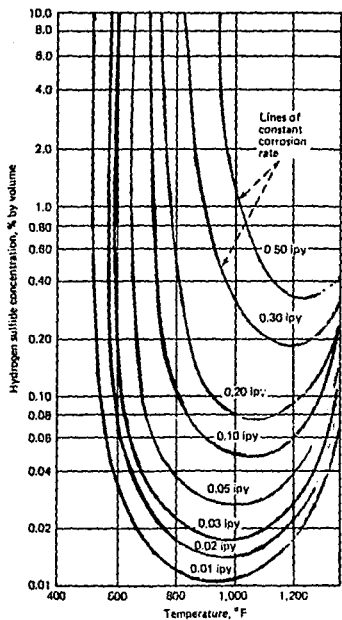
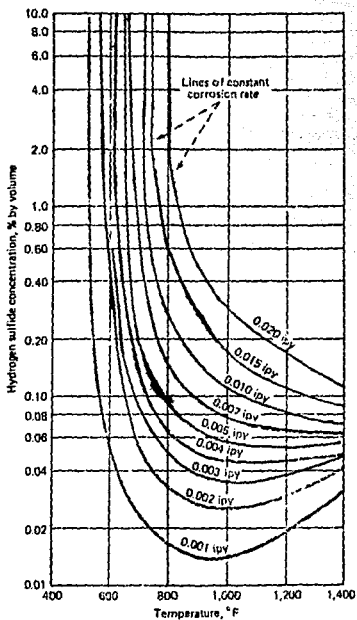


DIAGRAMA DE FASE FERRO-CARBON

RESISTENCIA AL H_2S DE ACEROS AL CR Y CR-NI



(a) 0.5% Cr steels



(b) Cr-Ni Series 300 stainless steels

BIBLIOGRAFIA.

1. BAUMAN C.T., OVERSTREET T. L.
"CORROSION AND PIPING MATERIALS IN THE CPI"
ABRIL, 1978 CHEM. ENG.
2. BENZER C. W.
"TRENDS IN MATERIALS APPLICATIONS: STEELS"
OCTUBRE 1970 CHEM. ENG.
3. DAVISON M.R., MISHA K. H.
"STAINLESS-STEEL HEAT EXCHANGER-I"
FEBRERO, 1979 CHEM. ENG.
4. HENTHORNE M.
"UNDERSTANDING CORROSION"
DICIEMBRE, 1972 CHEM. ENG.
5. HENTHORNE M.
"METALS SELECTION FOR CORROSION CONTROL"
CHEM. ENG. MARZO 1972
6. IMP
PRINCIPIOS METALURGICOS DE LA SOLDADURA
PUBLICACION No. 78HG/256A 1978

7. IMP
METALURGIA APLICADA
PUBLICACION No. 79 HF/270-C 1979
8. KIRBY N. G.
"CORROSION PERFORMANCE OF CARBON STEEL"
CHEM. ENG. MARZO 1979
9. MOORE E. ROBERT
"SELECTING MATERIALS TO MEET ENVIRONMENTAL CONDITIONS"
CHEM. ENG. JULIO 1979
10. MOORE E. R.
"SELECTING MATERIALS TO RESIST CORROSIVE CONDITIONS"
CHEM. ENG. JULIO 1979
11. PERRY R. H., CHILTON H. C.
MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO
Mc GRAW-HILL 5a. EDIC. 1973
12. PITCHER H. J.
"STAINLESS STEELS: CPI WORKHORSES"
NOVIEMBRE 1976
13. TESMEN B. A.
"MATERIALS OF CONSTRUCCION FOR PROCESS PLANTS-I, II"
FEBRERO 1973

- 14.- HENTHORNE. M
"FUNDAMENTALS OF CORROSION"
MAYO 77, 1971, CHEM. ENG.
- 15.- KIRBY, N. GARY
"HOW TO SELECT MATERIALS"
NOVIEMBRE 3, 1980, CHEM. ENG.
- 16.- RICHERSON, DAVID
"WHAT ARE CERAMICS"
SEPTIEMBRE 20, 1982, CHEM. ENG.
- 17.- DE CRERCK, DONALD
"MATERILS OF CONTRUCCION"
NOVIEMBRE 24, 1986, CHEM. ENG.
- 18.- HENTHORNE M.
"STRESS CORROSION"
SEPTIEMBRE 20, 1971, CHEM. ENG.
- 19.- HENTORNE, M.
"ELECTROCHEMICAL CORROSION"
JUNIO 14, 1971, CHEM. ENG.
- 20.- HUHEEY E. JAMES
" QUIMICA INORGANICA "
KARLA 2da. EDIC., 1978
- 21.- REDMOND D. JAMES
"THE BASIS OF STAINLESS STEELS"
OCTUBRE 18, 1982, CHEM. ENG.
- 22.- FLINN A. RICHARD ET. AL.
MATERIALES DE INGENIERIA Y SUS
APLICACIONES
MC GRAW HILL, 1979