

9  
20



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



V. N. A. M.

TESIS CON  
FALLA DE CRISIS

"ALTERNATIVAS DE SELECCION DE MATERIALES  
PARA LA TORRE SEPARADORA DE CIANHIDRINAS"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**I N G E N I E R O Q U I M I C O**

**P R E S E N T A :**

**ALFONSO GUZMAN LEDESMA**

ASESOR: I.Q.M. RAFAEL SAMPERE MORALES

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1992



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

## I N T R O D U C C I O N

### C A P I T U L O 1

#### LA SELECCION DE LOS MATERIALES EN INGENIERIA QUIMICA.

1.1 Criterios Generales en la Selección de Materiales.

1.2 Lineamiento para la Selección de un Material.

1.3 Definición de las Condiciones de Servicio.

1.3.1 Corrosividad del Fluido.

1.3.2 Residuos y Productos Químicos de Limpieza.

1.3.3 Temperatura, Presión y Vacío.

1.3.4 Características del Fluido.

a) pH

b) Sales

c) Condiciones de Oxido-Reducción

d) Velocidad

e) Abrasividad

f) Vibración o Golpe de Ariete

g) Condiciones de Estancamiento

1.4 Factores Constructivos.

1.5 Factores Metalúrgicos.

1.5.1 Termofluencia.

1.5.2 Fatiga.

1.5.3 Choque Térmico.

1.5.4 Diferencia en Coeficiente de Expansión Térmica.

1.5.5 La Temperatura.

## C A P I T U L O 2

### CORROSIÓN DE LOS MATERIALES

Introducción.

2.1 Definición.

2.2 Formas de Corrosión.

2.2.1 Corrosión Uniforme y Galvánica.

2.2.2 Corrosión por Erosión.

2.2.2.1 Corrosión por Fricción.

2.2.3 Corrosión por Grieta.

2.2.4 Corrosión por Picadura.

2.2.5 Corrosión por Exfoliación.

2.2.6 Corrosión Intergranular.

2.2.7 Corrosión Bajo Esfuerzos.

2.3 Ensayos de Corrosión.

2.3.1 Prueba de Inmersión.

2.3.2 Corrosión por Tensión.

2.3.3 Método de Resistencia Eléctrica.

2.3.4 Polarización Lineal

## C A P I T U L O 3

### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA ELIMINACIÓN DE CIANHIDRINAS.

Introducción.

3.1 Sección de Purificación.

### 3.1.1 Subsección de Eliminación de Acido Cianhídrico.

3.1.1.1 Preparación de la Carga.

3.1.1.2 Formación de Cianhidrinas.

3.1.1.3 Separación de Lactonitrilo.

### 3.1.2 Subsección de Fraccionamiento.

3.1.2.1 Destilación Azeotrópica.

3.1.2.2 Purificación de Acetonitrilo.

## C A P I T U L O 4

### PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS AGENTES QUE INTERVIENEN EN LA ELIMINACION DE CIANHIDRINAS.

#### 4.1 Tablas de las Propiedades Químicas y Físicas.

## C A P I T U L O 5

### ALTERNATIVAS DE SELECCION

#### 5.1 Plan General de Acción.

#### 5.2 Identificación del problema.

#### 5.3 La Corrosión como Problema Principal.

5.3.1 Corrosión en los Materiales Metálicos.

5.3.2 Corrosión en los Materiales No Metálicos.

#### 5.4 Materiales Específicos como alternativas.

#### 5.5 Guía para una Selección Tentativa.

## 5.6 Criterios y Alternativas para la Selección de Materiales en la Torre Separadora de Cianhidrinas.

5.6.1 Proceso de Separación de Lactonitrilo por Destilación

5.6.2 Agentes Químicos, Composiciones y Condiciones de Operación en la Torre Separadora de Cianhidrinas y Equipo Inherente.

5.6.3 Manejo de Espesores, Relevado de Esfuerzos y Soldabilidad.

5.6.4 La Factibilidad de Conseguir en el Mercado y/o la Diferencia de costo de uno y otro Material.

5.6.5 Experiencias Tomadas en Base a la Práctica para la Torre Separadora de Cianhidrinas.

## CONCLUSIONES

## ANEXOS

## BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCION

## ALTERNATIVAS DE SELECCION DE MATERIALES PARA LA TORRE SEPARADORA DE CIANHIDRINAS

### INTRODUCCION.

En la Industria Petroquímica se plantea que es más económico producir acetonitrilo que adquirirlo. El diseño y construcción de la Planta de acetonitrilo requiere de la resolución de una gran cantidad de problemas: desarrollo o adaptación de tecnología, diseño termodinámico de sistemas de reacción y sistemas de separación, síntesis de redes de intercambio de calor, síntesis de redes de tubería, selección de servicios auxiliares e instrumentación, diseño mecánico de los equipos, selección de materiales de construcción para todos y cada uno de los equipos.

En esta tesis se aborda el problema de selección de materiales, de una etapa del proceso de Purificación de Acetonitrilo correspondiente a la Planta de Acrilonitrilo de la Unidad Petroquímica de PEMEX localizada en Tula, Hidalgo. Dicha etapa es la Subsección de Acido Cianhídrico, el análisis se realiza sobre el diseño de una Columna de Destilación de platos perforados (Torre Separadora de Cianhidrinas) y equipo inherente al mismo.

En la actualidad se expuso que el material más adecuado para la construcción de la Torre Separadora de Cianhidrinas es acero inoxidable 304, por lo que se plantea el estudio de si fué o no la mejor alternativa restringiendo a este equipo el análisis desde el punto de vista de resistencia de los materiales.

La selección del material implica manejar las condiciones de operación y resultados experimentales en el laboratorio.



En ocasiones se nos olvida que el material del equipo está sujeto a diferentes factores como son la corrosión, choques térmicos, etc. A estos factores se ven sometidos cada equipo, así como cada uno de ellos dentro de un proceso específico de producción. Estas condiciones varían de proceso en proceso, pero el fundamento es el mismo en la selección de materiales.

Es por ello que la importancia de la presente tesis, radica en interrelacionar los conocimientos fundamentales que debe tener un ingeniero químico con la selección de los materiales para el diseño del equipo, que en este caso únicamente se refiere a un ejemplo, que se puede suponer aislado, pero es bastante útil para el fin descrito.

## **CAPITULO 1**

# **LA SELECCION DE LOS MATERIALES EN INGENIERIA QUIMICA**

## 1.1 Criterios Generales en la Selección de Materiales.

La selección de los materiales es uno de los temas más atacados desde varios puntos de vista en las secciones técnicas y aún se encuentran numerosas dudas por parte de los ingenieros de proceso, ya que es difícil por la amplitud en el momento del diseño tener una buena elección y por el contrario la primera opción generalmente es la que por tradición se emplea; esto nace básicamente de un total desconocimiento de varios aspectos entre los cuales se encuentran:

- A. los procesos de fabricación de los productos elaborados o semielaborados con los que se constituirá un equipo y la relación de estos procesos con las propiedades.
- B. Las propiedades de los materiales en relación con su composición química.
- C. El manejo de espesores para tal o cual tipo de material y los requisitos con respecto al 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 se desconozcan los detalles de la calidad de un producto y sólo se concrete a seleccionarlo en base a factores gruesos, como puede ser simplemente su composición química.

Otro factor importante al seleccionar materiales en general, es la experiencia o capacidad técnica con que cuenta el ingeniero, de esta forma si tiene 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 ambas operarán normalmente sin problemas.

### 1.2 Lineamiento para la Selección de un Material.

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

1. DEFINIR LAS CONDICIONES DE SERVICIO. Definir cuál es el problema a resolver, es frecuentemente el paso difícil; no se puede aceptar una simple descripción verbal de un servicio corrosivo. Un servicio, por lo común, es 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 PRACTICAS. Ninguna decisión puede ser tomada en vacío. Existen restricciones importantes que pueden ayudar a la selección final del material.
4. PRUEBAS DE CORROSION. Unas pruebas de corrosión de unas cuantas horas de duración pueden resolver el problema, aunque esto no siempre es posible.
5. REPORTE DE RESULTADOS. Se debe elaborar acompañando al desarrollo del trabajo.

### 1.3 Definición 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 de proceso, si es posible. Debe tomarse en cuenta todo 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, provocando de esta manera 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:
  - pH
  - Sales
  - Condiciones de Oxido-Reducción
  - Velocidad
  - Abrasividad
  - Vibraciones o Golpe de Ariete
  - Condiciones de Estancamiento

#### 1.3.1 Corrosividad del Fluido.

En este punto se debe 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, fué seis

Veces más corrosivo cuando se mezcló con cloruro de potasio y derivados del ácido naftolsulfonado, que cuando fue probado en soluciones acuosas.

### 1.3.2 Residuos y Productos Químicos de Limpieza.

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 de acero inoxidable 304 y 316.

### 1.3.3 Temperatura, Presión y Vacío.

Se deben considerar en el diseño del equipo las condiciones de operación máximas, la operación 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.

### 1.3.4 Características del Fluido.

a) pH. Las soluciones acuosas pueden hacer vulnerable al acero al carbón cuando el pH es aproximadamente 5. La oxidación de ácidos puede ser una excepción.

b) 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.

c) Condiciones de Oxido-Reducción. Algunos metales como el acero inoxidable o titanio requieren de oxígeno para ser resistentes a la corrosión. Las superficies de estos metales forman una capa absorbida de oxígeno que los protege. Estas aleaciones son beneficiosas por las aleaciones de níquel-cobre como Monel (Ni-Cu), Aleación B (Ni-Mo), y coproníquel 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 (ferricos o cúpricos), oxígeno, sales oxidantes (p.e. cromatos), o ácidos oxidantes (ácido nítrico o ácido sulfúrico concentrado).

d) 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 pie/s, a velocidades más altas, la capa protectora de sulfato es desprendida con la consecuente degradación del metal.

e) 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.

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

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

#### 1.4 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 al empleo de otras soluciones de tipo constructivo, como por ejemplo el uso de recubrimientos metálicos como son el "Clading", 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 algunas 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.

### 1.5 Factores Metalúrgicos.

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:

#### 1.5.1 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 1000 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.

### 1.5.2 Fatiga.

Aún cuando la fatiga es una de los 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 los 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; ésto se consigue mediante el empleo de materiales más dúctiles y cambios en el diseño que permitan absorber los esfuerzos que originan el daño.

### 1.5.3 Choque Térmico.

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 preveerla usando materiales que soporten mejor estos cambios bruscos.

### 1.5.4 Diferencia en Coeficiente de Expansión Térmica.

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.

### 1.5.5 La Temperatura.

Independientemente de los efectos que la temperatura induce por termofluencia. 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 550°C los aceros inoxidable 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 mayor 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 del 8% ayuda a estabilizar la estructura austenítica. Además, en algunas se nota la presencia del contenido hasta del 3% 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 inoxidable austeníticos estabilizados con columbio (acero 347) o titanio (acero 321) los cuales se inhiben la precipitación de carburos de cromo, que a su vez, son a 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 350°C, los aceros al carbón por su estructura ferrítica, son los adecuados, siempre y cuando el ambiente no les sea agresivo; más allá de esa temperatura se requiere de 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-<sup>1</sup>/<sub>2</sub>Mo (AISA-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 quinta edición. Esta tabla contempla los fluidos más corrosivos de uso frecuente y basada en el manual Corrosion Data Survey que proporciona índices de corrosividad que se clasifican en la siguiente forma:

Corrosión menor	0.005 pulg por año
Corrosión ligera	0.005 a 0.002 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.

Estas tablas y gráficas sólo 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.

## **CAPITULO 2**

# **CORROSION DE LOS MATERIALES**

## Introducción.

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 equipos.

Por lo anterior la corrosión no es el tema favorito de los ingenieros; muchos ingenieros que diseñaron o proyectaron un nuevo componente o proceso con un rendimiento excepcional se encontraron con fallas prematuras debido a la corrosión, por lo que a continuación se plantean diferentes formas y ensayos de corrosión para tener mayor conocimiento y conciencia de este problema.

### 2.1 Definición.

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

Es un factor de suma importancia para toda planta industrial y de una manera más acentuada para aquellas que involucran procesos químicos. La corrosión puede representar la diferencia entre el tiempo y el costo de operación, sin embargo no puede ser resuelta sino se conocen sus principios y las causas que la originan.

La mayoría de los componentes metálicos sufren de un eventual deterioro con su uso debido a la química utilizada en

los diferentes procesos. La corrosión en sí, resulta poco práctico eliminarlo en su totalidad por lo que un secreto generalmente utilizado en la ingeniería es el control y/o la prevención del mismo; sin embargo esto no resulta suficiente para resolver los problemas que ésta ocasiona.

Debido a esto surgen una serie de cuestionamientos que son de utilidad para comprender y resolver de una manera más conciente el problema: reconocer de qué tipo de corrosión se trata, qué la ocasiona, qué técnicas de inspección existen, como medirla en condiciones severas, qué herramientas pueden ser las más viables, a qué variables de diseño afectan, cuál es la mejor selección de material, cómo manejar y aplicar la información sobre corrosión existente y cómo puede auxiliarnos.

## 2.2 Formas de Corrosión.

Debido a los grandes problemas ocasionados por la corrosión, para el uso de los materiales se conocen métodos para su control que de alguna manera minimizan el problema ayudando a seleccionar el material de construcción más adecuado.

La corrosión ocurre en varias formas; la siguiente clasificación usualmente se basa en los siguientes tres factores:

1) Naturaleza de los Compuestos de Corrosión. Esta se presenta en forma "mojada" y "seca"; mojada sólo cuando se tiene un líquido presente, y seca, en presencia de gases y altas temperaturas.

2) Mecanismos de Corrosión. Esta involucra reacciones químicas y electroquímicas.



3) Apariencia del Metal corroído. La corrosión en los metales no sólo se presenta de una manera *uniforme* sobre la superficie, sino también, puede ser *localizada* como pequeñas áreas afectadas.

El factor, Apariencia del Metal Corroído es el de mayor utilidad para una discusión previa del problema debido a las características particulares que presenta el fenómeno en si, por lo que puede ser identificada de una manera visual. La tabla y figuras siguientes muestran las diferentes formas de corrosión, analizando éste último factor, (Ver tabla 1).

#### 2.2.1 Corrosión Uniforme y Galvánica.

El ataque a lo largo de áreas superficiales es de las más comunes en corrosión; ésta puede ocurrir por fenómenos químicos y electroquímicos. La corrosión uniforme puede medirse fácilmente y evitar de esta manera inesperadas averías con una regular inspección.

La corrosión galvánica, ocurre cuando dos metales diferentes son puestos en contacto y existe una diferencia de potenciales eléctricos entre ambos metales, dando como resultado el desgaste de uno de ellos por ser un metal de "actividad" mayor, ésto no ocurre con el metal de menor actividad o "metal noble". Es importante el área de contacto entre metales pues de ello depende la velocidad de corrosión del metal con mayor actividad. Cuando los metales estan sumergidos en una solución conductiva este fenómeno de corrosión se ve acelerado.

Existen cartas llamadas series galvánicas, tabla 2, que contienen el grado de actividad de los metales con la finalidad de utilizar metales con una diferencia mínima en cuanto a

**TABLA 1 DIFERENTES FORMAS DE CORROSION**

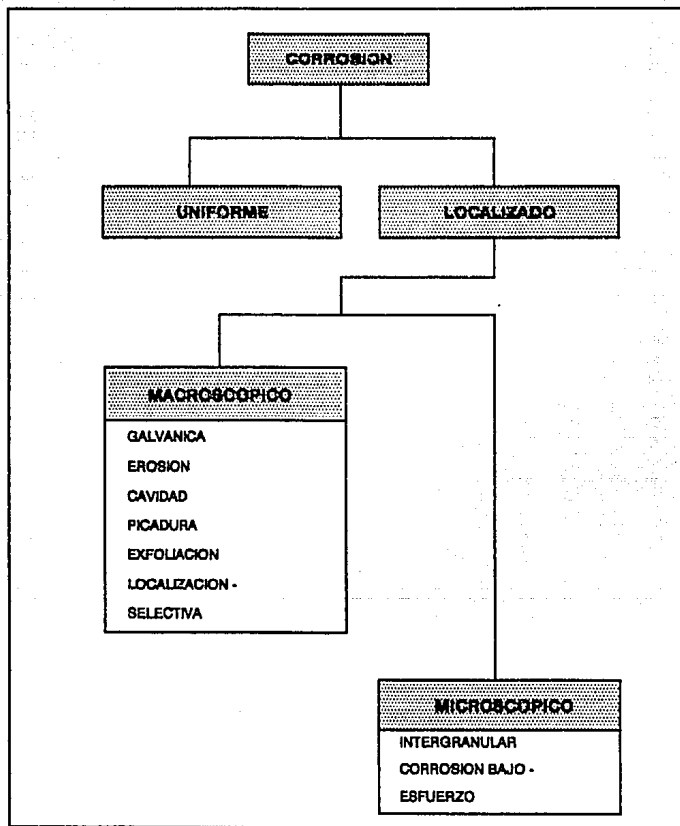


Tabla 2 Serie Galvánica de Metales y Aleaciones en Agua de mar.

NOBLE END
Ptatinum
Gold
Silver
Titanium
316 Stainless Steel (passive)
304 Stainless Steel (passive)
410 Stainless Steel (passive)
Nickel (passive)
Capronickel
Brass
Copper
Brass
Nickel (active)
Tin
Lead
317 Stainless Steel (active)
304 Stainless Steel (active)
Lead-Tin Solder
410 Stainless Steel (active)
Cast Iron
Steel
Cadmium
Aluminum
Zinc
Magnesium
ACTIVE END

FEM de Standard de Metales.

	Metal-metal ion equilibria (unit activity)	Electrode potential vs. normal hydrogen electrode at 25°C, volts
↑ Noble or cathodic	As-As <sup>3+</sup>	+1.498
	Pt-Pt <sup>2+</sup>	+1.2
	Pd-Pd <sup>2+</sup>	+0.987
	Ag-Ag <sup>+</sup>	+0.799
	Hg-Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	+0.783
	Cu-Cu <sup>2+</sup>	+0.337
	H <sub>2</sub> -H <sup>+</sup>	0.000
	Pb-Pb <sup>2+</sup>	-0.126
	Se-Se <sup>2+</sup>	-0.136
	Ni-Ni <sup>2+</sup>	-0.250
	Co-Co <sup>2+</sup>	-0.277
	Cd-Cd <sup>2+</sup>	-0.403
	Fe-Fe <sup>2+</sup>	-0.440
	Cr-Cr <sup>3+</sup>	-0.744
	Zn-Zn <sup>2+</sup>	-0.763
Active or anodic ↓	Al-Al <sup>3+</sup>	-1.662
	Mg-Mg <sup>2+</sup>	-2.363
	Na-Na <sup>+</sup>	-2.714
	K-K <sup>+</sup>	-2.925

Source: A. J. de Bockris and N. A. S. Lond, "Standard Aqueous Electrode Potentials and Temperature Coefficients at 25°C." Clifford A. Hampel, Skokie, Ill., 1964. See also Table 9-1. These potentials are listed in accordance with the Stockholm Convention. See J. O'M. Bockris and A. K. N. Reddy, *Modern Electrochemistry*, Plenum Press, New York, 1970.



CORROSION UNIFORME



CORROSION GALVANICA

potencial se refiere, evitando de esta manera la corrosión por esta causa; es importante también considerar una menor área de contacto para reducir el problema.

### 2.2.2 Corrosión por Erosión.

La corrosión por erosión, existe cuando se encuentra en movimiento un agente corrosivo sobre la superficie del metal incrementando así su deterioro. El papel que juega la erosión es generalmente atribuido a la remoción de la película superficial protectora; por ejemplo, películas de aire, capas protectoras de óxido, productos adherentes corrosivos, etc. Es difícil determinar el grado de corrosión debido a que varía según las circunstancias del problema.

La corrosión por erosión generalmente tiene apariencia de cavidades lisas y profundas; el ataque puede ser explicado por un

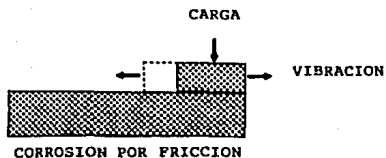


CORROSION POR EROSION

modelo direccional relacionado con el movimiento del agente corrosivo sobre la superficie del metal. Esta se incrementa a condiciones de alta velocidad, turbulencia, etc.; lo anterior se puede observar frecuentemente en bombas, agitadores y tuberías (particularmente en los codos). Este tipo de régimen provoca arrastre de partículas sólidas provocando incrustaciones que pueden dar lugar a serios problemas. La solución radica en hacer algún cambio en el diseño o bien seleccionar un material de mayor resistencia.

#### 2.2.2.1 Corrosión por Fricción.

La corrosión por fricción al igual que el fenómeno de cavitación es causado por la formación y colapso de burbujas de vapor en la superficie del metal. Las altas presiones producidas por este colapso pueden deformar la forma del metal, remover la capa protectora y en condiciones más severas hasta el rompimiento del mismo material. La corrosión por fricción, también sucede cuando los metales se deslizan uno sobre el otro debido a que existe una falla mecánica. Este deslizamiento se da como resultado de las vibraciones existentes por el proceso. El problema puede verse reducido con el uso de productos creados para este fin específicamente; por ejemplo, los lubricantes.



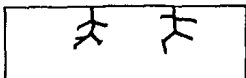
### 2.2.3 Corrosión por Grieta.

Este tipo de corrosión es causado por la presencia de polvo del medio ambiente, por productos corrosivos y el rompimiento de algún recubrimiento. Por las condiciones del medio ambiente una grieta puede con el tiempo, sufrir variaciones en su forma y en un medio más agresivo desarrollarse de una manera más intensa en forma local. La corrosión por grieta generalmente es atribuida a:

- a) cambios en la acidez de la grieta
- b) por falta de oxígeno en la grieta
- c) por la formación de especies iónicas no deseadas en la grieta
- d) la presencia de agentes como catalizadores e inhibidores

Este problema se puede evitar mediante la combinación de metales con agentes corrosivos; algunos materiales son más susceptibles que otros, comúnmente son los que dependen de una capa de óxido para obtener cierta resistencia a la corrosión; por

ejemplo, el titanio y el acero inoxidable. Sin embargo, dichos materiales pueden ser mezclados para mejorar aún más su resistencia; otras alternativas que minimizan este tipo de corrosión, es simplemente mantener limpia la superficie del metal.



CORROSION POR GRIETA



CORROSION POR PICADURA

#### 2.2.4 Corrosión por Picadura.

La corrosión por picadura se presenta por la formación de hoyos en la superficie del metal siendo este el lugar donde sucede el ataque. Estas cavidades se pueden presentar de varias formas, dependiendo de ello el grado de avance de este tipo de corrosión. La corrosión por picadura es provocada por las mismas razones mencionadas para la corrosión por grietas, por lo que una picadura puede considerarse como la formación de media grieta. Para disminuir este problema se recomienda mantener superficies limpias y homogéneas; por ejemplo, las superficies altamente pulidas generalmente son más resistentes que aquellas que tienen superficies rugosas, con incrustaciones o algún defecto sobre ella.

Por lo general las picaduras son procesos de deterioro lento (llevan algunos meses o años para ser visibles), por lo que con frecuencia parecería que el problema que causa las picaduras no avanzara con el tiempo. Para disminuir esta corrosión se recomiendan superficies limpias y la selección de materiales que resistan la picadura provocada por el medio ambiente.

### 2.2.5 Corrosión por Exfoliación.

La exfoliación, es una corrosión superficial que comienza en superficies limpias pero se desarrolla por debajo de ella. Esta difiere de la corrosión por picadura porque su ataque tiene la apariencia de laminados. Las capas del material son corroídas a medida que transcurre el tiempo. El ataque usualmente se reconoce por la formación de ampollas dentro de la superficie; su apariencia al final es como de tarjetas empacadas en la que alguna de ellas puede presentar algún deterioro o desgaste. De esto se conoce bastante en las impurezas que presenta el aluminio. Para combatir esta forma de corrosión se recomiendan tratamientos térmicos y algunas aleaciones.



CORROSION POR EXFOLIACION



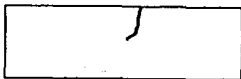
## 2.2.6 Corrosión Intergranular.

Primero consideraremos algunas bases metalúrgicas. Cuando el metal fundido es moldeado y comienza a solidificarse, la distribución de núcleos es muy variada. Cada uno de estos átomos regulares se agrupan para formar granos de una misma estructura molecular; sin embargo, debido a la rareza de la nucleación en los planos del átomo sus vecindades no son iguales. El área entre granos es llamada límite (o frontera) del grano. Es en este lugar donde preferentemente se lleva acabo el ataque de los agentes corrosivos; pues permite la segregación de los mismos provocando dicho efecto. Los agentes corrosivos atacan la interfase grano-frontera y zonas adyacentes a la misma, provocando pérdidas del metal disminuyendo así su resistencia y por ende sus propiedades mecánicas. En algunos casos severos propicia la pérdida de granos completos como consecuencia al deterioro completo de sus fronteras.

La sensibilidad que presenta este fenómeno al calor, sugiere realizar tratamientos térmicos para la resolución del problema, además de utilizar aleaciones de una manera modificada.



CORROSION INTERGRANULAR



CORROSION BAJO ESFUERZO

### 2.2.7 Corrosión Bajo Esfuerzos.

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 (carga mecánica aplicada, vibración, presión, etc.). La acción corrosiva tiene como agentes a varias sustancias para un material específico y no siguen un patrón general.

### 2.3 Ensayos de Corrosión.

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, tuberías, 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 exista 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 prueba 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 muestra sobre el terreno que incluyen muestras de acero, sondas de resistencia eléctrica expuestas al medio corrosivo de la planta o muestras expuestas a la atmósfera, a tierras o 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 debe de considerarse y reportarse los siguientes puntos:

#### MATERIAL

Nombre o Grado.

Análisis Químico.

Forma Original (Placa, Tubo, Barra, etc.).

Condición Metalúrgica (Trat. Térmico, Trat. en Frio, 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.

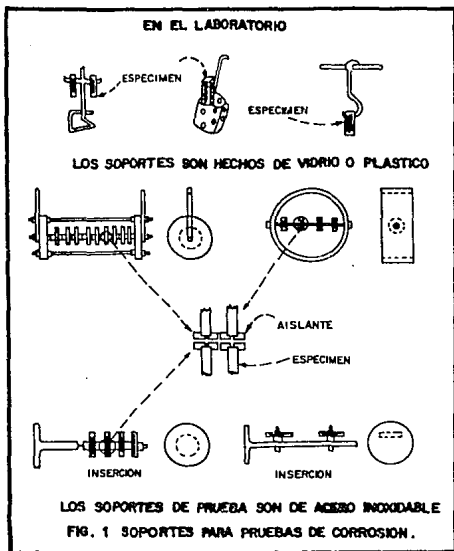
Apariencia de la corrosión.

Algún tipo de corrosión localizada.

#### MUESTRAS DE PRUEBA Y SUS SOPORTES

No existe una medida estándar 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  $\frac{1}{8}$  pulg. de espesor similar al de los cupones rectangulares.

Algunos de los métodos más comunmente utilizados para sostener el espécimen durante la prueba se muestra en la fig. 1. 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 Prueba de Inmersión.

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 materiales que aparentemente se pueden usar, sobre la base del conocimiento de las propiedades de los materiales de que se traten 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 fig. 2a. Para trabajos teóricos precisos se puede construir un dispositivo como el que se muestra en la fig. 2b. El bulbo, D se ajusta a presión constante por medio de la bureta de oxígeno, F, y las trazas de hidrógeno pueden ser eliminadas quemandolas con un arrollamiento de alambre de platino. La muestra por ensayar, A, se coloca en soportes de vidrio.

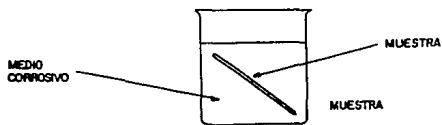


FIG. 2a

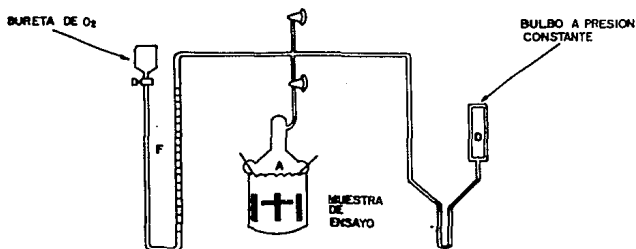
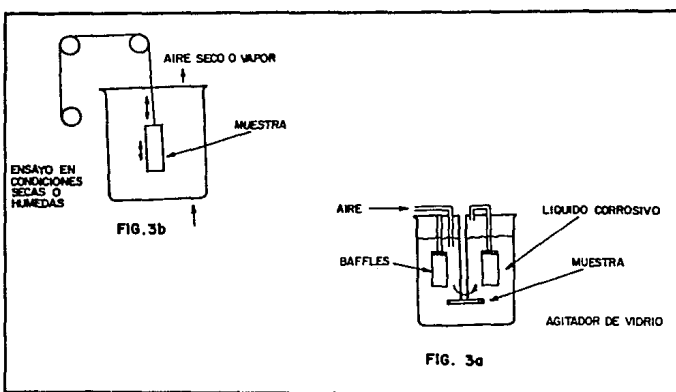


FIG. 2b

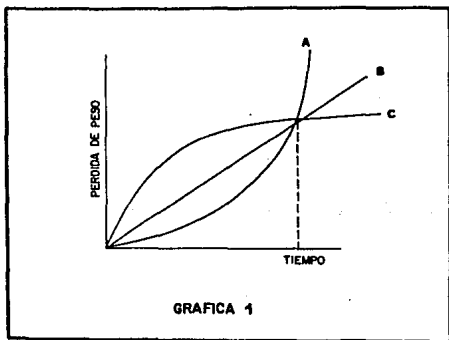
APARATOS USADOS EN ENSAYOS DE CORROSION

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. 3a. 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 se 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 aereación, 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. 3b. 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.



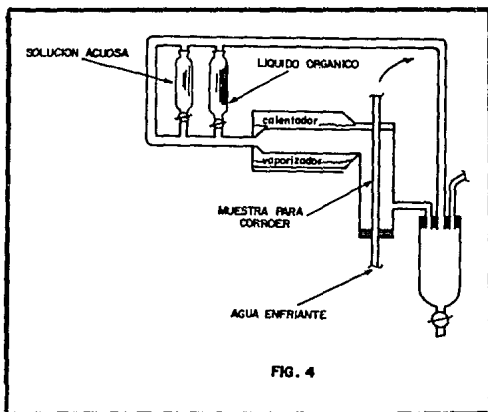
Es vital controlar cuidadosamente la temperatura en todos los ensayos, ajustándola con un termostato a los niveles esperados en el equipo real. Muchas veces se encuentra que la temperatura verdadera de la película de la superficie calentadora está muy por encima del punto de ebullición de la solución 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 gráfica 1. se muestra un ejemplo de alteraciones de este tipo. En estos ensayos los metales A,B y C muestran las pérdidas 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 la 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 constituirlo 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 reales en operación. Se pueden construir pequeños evaporadores y condensadores para ensayo, como los que se ven en la fig. 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 Corrosión por Tensión.

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. 5 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, sólo 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. 6, y exponerla a la corrosión de manera habitual.

### 2.3.3 Método de Resistencia Eléctrica.

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 ésto, una medida periódica y 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.

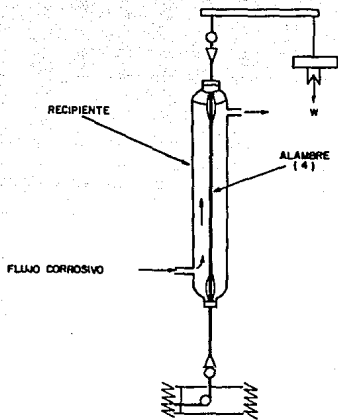
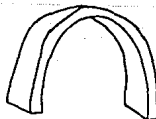


FIG. 5



ENSAYO EN FRIO  
A  
MAYORES CARGAS



FORMA PERMANENTE

FIG. 6

ENSAYOS DE CORROSION POR TENSION

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 uno 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. Pueden dar resultados erróneos si se forman depósitos conductores sobre la muestra.

#### 2.3.4 Polarización 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, 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. ELECTRODOS. Electrodo de referencia y prueba, en algunos casos, un electrodo auxiliar.
2. SONDA. Conecta a los electrodos en el material corroivo, al interior del recipiente, a los conductores eléctricos.
3. CONDUCTORES ELECTRICOS. Van de la sonda a la fuente de corrientes y al tablero de instrumentos. Pueden ser de unos cuantos metros a varios kilometros 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 a bajas velocidades de corrosión (<1 mpy) como a altas velocidades (1000 mpy<sup>‡</sup>).

‡ 1 mpy= 0.001 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 la siguiente manera;  $R = KAI$ , de donde K depende del sistema y se obtiene de cartas de calibración.

## **CAPITULO 3**

### **DESCRIPCION DEL PROCESO PARA LA ELIMINACION DE CIANHIDRINAS**

## **Introducción.**

La planta está dividida fundamentalmente en tres secciones: purificación, agentes químicos y tratamiento de efluentes. Para los alcances pretendidos en esta tesis, sólo será necesario conocer la Sección de Purificación de esta planta.

La sección de purificación considera dos subsecciones, cada una de las cuales está compuesta por diferentes etapas:

1. Subsección de Eliminación de Acido Cianhídrico, la cual consta de las etapas de:

- a) Preparación de la carga
- b) Conversión del acido cianhídrico y
- c) Separación del lactonitrilo

2. Subsección de Fraccionamiento, que está integrada por las etapas de:

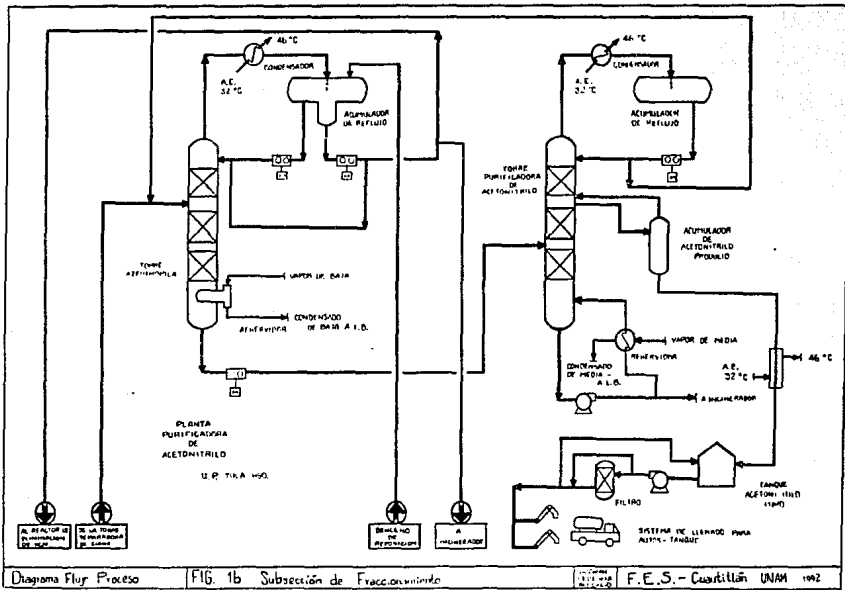
- a) Destilación azeotrópica
- b) Purificación de acetónitrilo por destilación

### **3.1 Sección de Purificación.**

Ver Diagrama de Flujo de Proceso de la Planta Purificadora de Acetonitrilo, figuras 1a y 1b.







### 3.1.1 Subsección de Eliminación de Ácido Cianhídrico.

#### 3.1.1.1 Preparación de la Carga.

La finalidad de esta etapa es reducir los contenidos de HCN y de agua a los valores mínimos económicamente costeables a través de una separación física.

La corriente de acetonitrilo crudo proveniente de Límites de Batería (L. B.) a 3.52 kg/cm<sup>2</sup> man. y 30°C (50 psig, 86 °F) se hace pasar a través del Filtro de Acetonitrilo de Carga, donde son eliminados los sólidos formados en la Planta de Acrilonitrilo por la polimerización del HCN. Este equipo está constituido por dos unidades, de las cuales una sólo se encuentra en operación normal.

De aquí, se mezcla con una corriente de ácido sulfúrico a control de flujo en cascada con un control de pH en la corriente de salida en el Mezclador de Acetonitrilo Crudo-Ácido Sulfúrico, en donde se reduce su pH mediante la neutralización de una parte del hidróxido de amonio existente en la misma, reduciendo el pH de 9-10 a la entrada a 6-7 a la salida del equipo. Esto tiene por objeto inhibir la polimerización del ácido cianhídrico y la presencia de otras reacciones exotérmicas indeseables.

Debido a que la reacción efectuada en el mezclador es muy exotérmica, la temperatura de salida se incrementa hasta 45°C (113 °F).

La corriente de salida es enfriada a 36 °C (97 °F) en el Enfriador de Acetonitrilo Crudo, posteriormente enviada al Tanque de Acetonitrilo Crudo, donde es recibida. Este equipo tiene un tiempo de residencia de 25 minutos para dar flexibilidad a la planta.

Cuando el acetonitrilo crudo contiene más de 3% en HCN y/o 0.5% en acrilonitrilo, son detectados por las alarmas indicadoras de "Acido Cianhídrico y Acrilonitrilo", colocadas en la corriente de acetonitrilo crudo, e inmediatamente es detenido su paso para ser conducido a la succión de la Bomba de Carga a Incinerador, que la enviará a 11 Kg/cm<sup>2</sup>man. y 30 °C (156 psig y 86 °F) a quemarse en el incinerador de la Planta de Acrilonitrilo.

Del Tanque de Acetonitrilo, la corriente de materia prima se hace pasar a través del Filtro de Acetonitrilo Crudo, por medio de la Bomba de Carga, para separar el polímero de HCN formado.

Posteriormente, el acetonitrilo crudo se precalienta hasta 83 °C (181 °F) al ganar calor con los fondos de la Torre Preparadora de Carga en el Enfriador de la Corriente del Fondo de la Torre de Carga, para de aquí pasar como carga a dicha torre alimentándose preferentemente en el plato 42, aunque también podrá hacerse en el plato 47 en caso de tener una carga con un contenido mayor de pesados.

La Torre Preparadora de Carga, la cual es una torre de 54 platos tipo mampara y que opera a 61 °C y 0.11 kg/cm<sup>2</sup> man. (142 °F y 1.42 Psig) en el domo, tiene por objeto eliminar gran parte del ácido cianhídrico y del agua contenidos por la corriente de carga. El ácido cianhídrico junto con los componentes más ligeros que el acetonitrilo se separan por los domos como destilado vapor; el agua y los componentes más pesados se obtienen por los fondos, mientras que el acetonitrilo junto con las demás impurezas que no pudieron ser eliminadas en la destilación se recuperan por una extracción lateral en el plato 17 principalmente, o en el plato 22 para el caso de tener un mayor contenido de ligeros.

A los vapores de la corriente del domo de la torre se les mezcla con una corriente de ácido acético al 50% en peso para

neutralizar parte del amoníaco presente y mantener así un pH ligeramente ácido en la corriente del reflujo a la torre, evitándose de esta manera la polimerización del HCN, así como la condensación de sales de amonio. Los vapores se alimentan al Condensador de la Torre Preparadora de Carga, en donde son parcialmente condensados. La fase líquida a 43 °C (109 °F) es recirculada a la torre como reflujo, mientras que la fase vapor se envía al quemador.

Para lograr lo anterior de manera segura, la línea de gas cuenta con un trazado eléctrico que permite mantener la temperatura en un intervalo de 40-60 °C (104-140 °F), con objeto de evitar la polimerización del HCN, así como la condensación de los cristales de amonio. Además, existe el Eyector de Vapores de Desfogue, que incrementa la presión de la corriente mencionada a 0.7 Kg/cm<sup>2</sup> man. (10 Psig) para poder llegar al quemador. El eyector utiliza como medio motriz gas combustible, a 3.5 Kg/cm<sup>2</sup> man. y 30 °C (50 Psig y 86 °F), el cual también debe calentarse hasta 40-60 °C con una línea de trazado eléctrico antes de alimentarse al eyector.

Los fondos de la Torre Preparadora de Carga constituidos por agua, orgánicos pesados y polímeros de HCN pasan por la Bomba de Fondos de la Torre Preparadora de Carga y por el Filtro de Fondos de Torre Preparadora de Carga, para posteriormente ser divididos. Una parte se manda a tratamiento previa recuperación de calor en el Enfriador de la Corriente de Fondo de la Torre de Carga, tal como ya fue explicado, y la otra parte se pasa al Rehervidor de la Torre Preparadora de Carga para generar los vapores requeridos por la destilación.

El azeótropo acetonitrilo-agua extraído lateralmente es enfriado en el Enfriador de Aceton. extraído de la Torre de Carga y de aquí alimentando a el Tanque de Balance de Acetonitrilo, que opera a 0.91 Kg/cm<sup>2</sup> man. y 37 °C (13 Psig y 99°F).

### 3.1.1.2 Formación de Cianhidrinas.

El azeótropo acetonitrilo-agua efluente del Tanque de Balance de Acetonitrilo con un contenido aproximado un 1% mol de HCN, se mezcla en línea con una corriente de acetaldehído proveniente de la Sección de Agentes Químicos, y posteriormente con la fase acuosa de recirculación procedente del Acumulador de Reflujo de la Torre Azeotrópica. El flujo de alimentación de acetaldehído se regula para tener en la corriente de alimentación al Reactor de Eliminación de HCN una relación molar acetaldehído/Ácido cianhídrico total de 1.

Las tres corrientes mezcladas se unen a continuación con una corriente de sosa al 30% peso (proveniente de la Sección de Agentes Químicos), en proporción suficiente para mantener una relación molar NaOH/HCN total de 2.5, para posteriormente ser alimentadas al Reactor de Eliminación de HCN. Este reactor que opera a una temperatura entre 15 y 20 °C (59 y 68 °F), es de tipo tubular con chaqueta de enfriamiento, con agua helada como medio de enfriamiento, y en él se lleva a cabo la eliminación casi total del ácido cianhídrico mediante su conversión a lactonitrilo, al pasar del 1 % peso en la alimentación a 6 ppm en el efluente del reactor.

### 3.1.1.3 Separación de Lactonitrilo.

El efluente del Reactor se alimenta a 15 °C y 1.3 Kg/cm<sup>2</sup> man. (59 °F y 18.5 Psig) al plato 7 preferentemente ó al 9 de la Torre Separadora de Cianhidrinas, que opera a 0.1 Kg/cm<sup>2</sup> man. y 73 °C (1.4 Psig y 163 °F) en el domo. Con el objeto de controlar la descomposición de lactonitrilo, en la Torre Separadora y evitar así la formación de HCN, se alimenta por los fondos en forma continua condensado de baja presión a 2.1 Kg/cm<sup>2</sup> man. y 138 °C (30 psig y 280 °F).

La descomposición de lactonitrilo puede ser ocasionada por:

- a) Sobre calentamiento de los fondos.
- b) Elevación de la concentración de HCN en los fondos por arriba del 0.5 % (la recomendación es mantener de 0.4 - 0.5 %).

La Torre, es un equipo separador que consta de 34 platos perforados, tiene por objeto separar el lactonitrilo y demás cianhidrinas formadas en el Reactor de la corriente de acetonitrilo.

El acetonitrilo junto con los componentes más asociados a él, como son: HCN libre, benceno, propionitrilo, alcohol alílico, acetona y trazas de agua son separados por los domos, como destilado producto. El agua, el lactonitrilo y otras cianhidrinas junto con la sosa excedente son obtenidos en los fondos. Los vapores salientes del domo con 6 ppm de HCN llegan al Condensador de la Torre Separadora de Cianhidrinas, donde son totalmente condensados a una temperatura de 68.5 °C (155 °F).

La corriente líquida obtenida es recibida en el Acumulador de Reflujo de la Torre Separadora de Cianhidrinas para posteriormente enviarse, una parte como reflujo por medio de la Bomba de Reflujo de la Torre Separadora de Cianhidrinas al domo de la Torre Separadora una presión de 0.1 Kg/cm<sup>2</sup> man. (1.42 psig), mientras que la otra parte de la corriente es enviada como alimentación a 1.22 kg/cm<sup>2</sup> man. y 69 °C (17.3 Psig y 156 °F) a la Torre Azeotrópica. En esta línea existe una derivación en la cual normalmente no existe flujo, sólo cuando la corriente alcanza una concentración mayor a 15 ppm de HCN, que es detectada por una alarma analizadora de alto nivel de HCN, y en ese momento se recircula la corriente al Tanque de Balance para su procesamiento.

La corriente de fondos impulsada por la Bomba de Fondos de la Torre Separadora de Cianhidrinas es filtrada en el Filtro de Fondos de la Torre y después se divide en dos: una corriente es recirculada a la Torre, pero primero es vaporizada parcialmente en el rehedidor de la Torre Separadora de Cianhidrinas, que utiliza como medio de calentamiento vapor de baja presión de 3.2 Kg/cm<sup>2</sup> man y 143 °C (45.5 Psig y 289 °F), y la otra corriente es enviada a la sección de tratamiento de efluentes a 1.06 Kg/cm<sup>2</sup> man. y 37.3 °C (15.1 Psig y 99 °F) previa reducción de su temperatura en el Enfriador de la Corriente de Fondos de la Torre Separadora de Cianhidrinas.

### 3.1.2 Subsección de Fraccionamiento.

La función de esta subsección es purificar el acetónitrilo libre de HCN, separando sus componentes en dos torres de destilación: Torre Azeotrópica y la Torre Purificadora de Acetonitrilo.

#### 3.1.2.1 Destilación Azeotrópica.

La Torre Azeotrópica, cuyas condiciones de operación en los domos son 1.1 Kg/cm<sup>2</sup>man. y 85.7 °C (15.6 Psig y 186 °F), está constituida por tres camas empacadas con anillos minirings No. 2, tienen por objeto separar, básicamente, el agua del azeótropo acetónitrilo-agua, utilizando benceno como agente de ruptura.

La corriente que contiene el azeótropo proviene de la Torre Separadora, es mezclada con la corriente de recirculación de la Torre Purificadora de Acetonitrilo a su temperatura de burbuja, la corriente resultante es alimentada entonces abajo de la cama superior.



El vapor de domos de la columna se condensa totalmente en el Condensador de la Torre Azeotrópica, donde se efectúa la separación de fases, la fase orgánica (principalmente benceno) es retornada totalmente como parte del reflujo a la parte superior de la primera cama empacada de la torre, por medio de la Bomba de Reflujo de la Torre Azeotrópica. La corriente de reflujo (benceno) al descender por la torre rompe el azeótropo acetonitrilo-agua (84 y 16 % peso respectivamente), para formar el azeótropo ternario benceno-acetonitrilo-agua (68.5, 23.3 y 8.2 % peso).

La fase acuosa, y componentes ligeros, impulsada por la Bomba de Recirculación de Agua-Acetonitrilo a la Sección de Reacción es dividida en 3 corrientes: una corriente es recirculada a la corriente de alimentación del Reactor con el objeto de aprovechar el acetaldehído contenido y recuperar el acetonitrilo, otra corriente por medio del control de flujo de la fase acuosa es incorporada como parte del reflujo total a la Torre de Destilación Azeotrópica.

Así, el reflujo total estará constituido por esta corriente más la fase orgánica proveniente del mismo tanque, esta operación se realiza con el fin de cubrir los requisitos de flujo de la torre antes mencionada; la tercera corriente es enviada como purga a control de flujo al Tanque de Carga a Incinerador, previa mezcla con la corriente de fondos de la Torre.

Al Tanque Acumulador se alimenta la corriente de benceno, con el objeto de reponer pérdidas del mismo.

El producto de fondos, formado por acetonitrilo deshidratado y algunos contaminantes ligeros y pesados, a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup> man. y 107 °C (21.3 Psig y 228 °F) son enviados a la Torre Purificadora de Acetonitrilo, por medio de la Bomba de Fondos de la Torre Azeotrópica.

Para generar la cantidad de vapores requerida en los fondos de la torre, se cuenta con el Rehervidor de la Torre Azeotrópica (equipo incorporado en el interior de la torre), que proporciona la carga térmica necesaria, para lo cual utiliza vapor de baja presión a  $3.2 \text{ Kg/cm}^2 \text{ man.}$  y  $143 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $45.5 \text{ Psig}$  y  $289 \text{ }^\circ\text{F}$ ). El vapor requerido es demandado en función de los requerimientos de temperatura detectados en los fondos de la segunda cama de la torre por un control en cascada de temperatura con un control de flujo de vapor.

### 3.1.2.2 Purificación de Acetonitrilo.

La Torre Purificadora de Acetonitrilo, cuyas condiciones de operación en los domos son  $1.1 \text{ Kg/cm}^2 \text{ man.}$  y  $102 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $15.6 \text{ Psig}$  y  $216 \text{ }^\circ\text{F}$ ), esta constituido por tres camas empacadas con anillos minirings No. 2, su finalidad es obtener acetonitrilo puro.

El destilado vapor obtenido en esta torre, contiene contaminantes ligeros, que son condensados totalmente en el Condensador de la Torre Purificadora de Acetonitrilo, la corriente líquida formada es recibida en el Acumulador de Reflujo de la Torre Purificadora de Acetonitrilo, de donde se envía por medio de la Bomba de Reflujo de la Torre Purificadora de Acetonitrilo a dos partes: una se retroalimenta a control de flujo a la primera cama de la misma torre, y la otra parte se recircula a control de nivel a la corriente de alimentación de la Torre Azeotrópica a  $2.0 \text{ Kg/cm}^2 \text{ man.}$  y  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $29 \text{ Psig}$  y  $104 \text{ }^\circ\text{F}$ ).

El producto de fondos de la torre purificadora, constituido por contaminantes orgánicos pesados, principalmente piridina, es impulsado por la Bomba de Fondos de la Torre Purificadora de Acetonitrilo y dividido en dos partes: una, se recircula a la torre, vaporizándose antes parcialmenete en el Rehervidor de Torre Purificadora de Acetonitrilo, el cual utiliza vapor

saturado de media presión de  $9.2 \text{ Kg/cm}^2 \text{ man}$  y  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $131 \text{ Psig}$  y  $356 \text{ }^\circ\text{F}$ ), para proporcionar a esta corriente el calor necesario para el balance térmico de la torre; la otra parte, es mezclada con la corriente de purga de los domos de la torre.

El acetonitrilo producto con una pureza del  $99.5 \%$  mol, es extraído de los fondos de la primera cama empacada de esta torre, para luego ser enviado al Tanque de Balance de Acetonitrilo, y de aquí por medio de un control de nivel es enviado a Almacenamiento al Tanque de Acetonitrilo Puro, reduciendo antes su temperatura a  $37.8 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $100 \text{ }^\circ\text{F}$ ) en el Enfriador de Acetonitrilo Producto.

La presión de las torres de la subsección de Purificación, es controlada por una sistema de control de rango dividido con un "by pass" caliente.

Del Tanque de Acetonitrilo, el acetonitrilo puro es enviado a  $3.5 \text{ Kg/cm}^2 \text{ man.}$  y  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $50 \text{ Psig}$  y  $86 \text{ }^\circ\text{F}$ ) al Filtro de Carga a Llenaderas, donde se elimina la basura o alguna partícula presente en la corriente producto, y finalmente es llevado al Sistema de Llenado para Autos-Tanque.

A la mezcla de las corrientes de domos y fondo de las torres Azeotrópica y Purificadora se les reduce su temperatura de  $116 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $241 \text{ }^\circ\text{F}$ ) a  $36 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $97 \text{ }^\circ\text{F}$ ) en el Enfriador de Purgas, para de aquí ser enviada al Tanque de Carga a Incinerador. En este equipo se colectan las purgas durante un tiempo aproximado de 21 horas, para su posterior envío al Incinerador de la Planta de Acilonitrilo mediante la Bomba de Carga al Incinerador.

## **CAPITULO 4**

### **PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS AGENTES QUE INTERVIENEN EN LA ELIMINACION DE CIANHIDRINAS**

TABLA 3  
PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS

AGENTE	PROPIEDADES	OBTENCION	PELIGROS	USOS
<p>Acido cianhídrico HCN</p>	<p>Líquido blanco acuoso a temperatura por debajo de 26.5 °C, débil olor almendras amargas. El producto comercial es de 90-99.5 % de pureza. P. ebul., 25.8 °C P. a. (líquido), 0.699 (204 °C) P. a., -13.3 °C P. inflamación, -18.0 °C Temp. de autoignición, 538 °C Soluble en agua La solución es débilmente ácida Beneplácida a la luz Cuando no esté totalmente puro o estabilizado polimeriza espontáneamente con violencia explosiva Miscible en todas proporciones con agua, alcohol; soluble en éter</p>	<p>(a) Por reacción catalítica de amoníaco y aire con metano o gas natural. (b) Por recuperación de gases de horno de coque (c) De carbón bituminoso y amoníaco a 1250 °C (d) El HCN se presenta naturalmente en algunas plantas (almendras, sésamo)</p>	<p>muy tóxico por ingestión, inhalación y absorción cutánea peligroso riesgo de incendio límites explosivos en aire: de 6 a 41 % en el aire tolerancia en el aire: 10 ppm</p>	<p>Fabricación de: acrilatos acrílicos adiccionales sales de cianuro colorantes fumigantes para huertos y árboles frutales quelatos</p>
<p>Alcohol Alílico CH<sub>2</sub>CH=CH<sub>2</sub>OH</p>	<p>Líquido incoloro de olor picante semejante al de la mostaza. p.f., -129 °C p.ebul., 66.9 °C p.a., 0.852 Ind. ref., 1.4131 p. inflamación, 32.2 °C Miscible con agua, alcohol, cloroformo, éter y éter de petróleo</p>	<p>(a) Hidrólisis de cloruro de alilo (del propileno) con agua diluida (b) isomerización del óxido de propileno con fosfato de litio como catalizador a 230-270 °C (c) Deshidratación del propilenglicol</p>	<p>muy peligroso por ingestión e inhalación irrita fuertemente los ojos y la piel Inflamable peligroso riesgo de incendio tolerancia en el aire: 2 ppm</p>	<p>Sus ésteres se usan para resinas y plastificantes Fierrocloruro de productos farmacéuticos y otros productos químicos orgánicos Elaboración de glicerol y acroleína Gas venenoso para uso militar Herbicida</p>

**TABLA 4**  
**PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS**

AGENTE	PROPIEDADES	OBTENCION	PELIGROS	USOS
<p><b>Benceno</b> <math>C_6H_6</math></p>	<p>Líquido de color amarillo claro a incoloro, móvil no polar y de naturaleza altamente refractiva; olor aromático; sus vapores arden con una llama humante. p.ab., 80 °C p.L., 5,5 °C p.a., 0,679 Ind. ref., 1,5011 p. inflamación, - 0,11 °C Temp. autoignición, 560 °C Miscible con alcohol, éter, acetona, tetrahidruro de carbono, disulfuro de carbono, éxido acético, ligeramente soluble en agua</p>	<p>(a) Hidrodesulfuración del tolueno o de la gasolina de petróleo (b) Transulfuración del tolueno por desproporción (c) Por reforma catalítica del petróleo (d) Destilación fraccionada del alquitrán</p>	<p>Inflamable peligroso riesgo de incendio límites explosivos en el aire: 1,5 a 8 % en volumen muy tóxico por ingestión, inhalación y absorción cutánea tolerancia en el aire: 25 ppm</p>	<p>Para la obtención del estireno detergentes sintéticos cloroforano para nylon anilina DOT anhídrido málico diclorobeneno hexafluoruro de benceno nitrobeneno difenilo isocianidas fungicidas disolventes elaboración de pinturas papelamiento para caucho y gasolina antidetonante</p>
<p><b>Lactonitrilo</b> <math>CH_2CHOHHCN</math></p>	<p>Líquido color pajizo; color ácido a marfil p.ab., 182,84 °C p.L., -40 °C p.a., 0,9919 p. inflamación, 77 °C Ind. ref., 1,4068 Soluble con agua y alcohol Insoluble en éter del petróleo y sulfuro de carbono Combustible</p>	<p>(a) Del acetaldehído y HCN</p>	<p>muy tóxico después ácido cianhídrico en presencia del alcohol</p>	<p>Disolvente intermedio en la preparación del lactato de etilo y lactato</p>

**TABLA 5**  
**PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS**

AGENTE	PROPIEDADES	OBTENCION	PELIGROS	USOS
<b>Acetona</b> $\text{CH}_3\text{COCH}_3$	Líquido incoloro, volátil, olor algo dulce. p.f., -94.9 °C p.eb., 56.4 °C P.D., 0.791 (20 °C), 1.359 p.A., 0.738 p. inflamación, 2.1 °C Temp. de autoignición, 583 °C Miscible con: agua, alcohol, éter, cloroformo y la mayoría de aceites	(a) Oxidación de cumeno (b) Deshidrogenación u oxidación de alcohol isopropílico con un catalizador metálico (c) Oxidación del butano en fase vapor (d) Subproducto de la elaboración sintética de glicerol	Inflamable Peligroso riesgo de incendio Puntos críticos en el aire de 2.8 a 12.5 % moderadamente tóxico; tolerancia 1000 ppm en aire	Productos químicos: metil lacubul cetona, metil lacubul cetanol, metacrilato metílico, bis-fenol-A Disolvente de: pinturas, barnices y lacas. Acetato de celulosa, especialmente como disolvente. Para lavar y esmer pulseras de equipos de protección. Disolvente de yoduro y permanganato de potasio. Desulfurante para los filtros de acetato de celulosa. Comprobación de las especificaciones de productos de caucho vulcanizado.
<b>Acetonitrilo</b> $\text{CH}_3\text{C} \equiv \text{N}$	Líquido límpido, incoloro, olor amoníaco p.f., -41 °C p. eb., 82 °C p.A., 0.783 p. inflamación, 5.5 °C Soluble en agua y alcohol Constante dieléctrica elevada Gran polaridad Fuertemente reactivo	(a) Subproducto del proceso propileno-amónico en la fabricación de acetonitrilo	muy tóxico inflamable peligroso riesgo de incendio tolerancia en el aire: 40 ppm	Disolvente en los procesos de extracción de hidrocarburos, especialmente butadieno. Disolvente especial; producto intermediario; separación de los ácidos grasos a partir de aceites vegetales. Elaboración de productos farmaciales sintéticos.
<b>Propionitrilo</b> $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$	Líquido incoloro, móvil, olor amoníaco. P.eb., 80 °C P.A., 0.7828 P.D., - 92.9 °C Ind. ref., 1.3604 P. inflamación, 16 °C Soluble en alcohol y agua	(a) Calentamiento súbito de vapor y cloruro potásico, con subsecuente destilación.	muy tóxico por ingestión e inhalación. inflamable. riesgo de incendio peligroso.	Disolvente. Plástico para disolventes intermediario

TABLA 6  
PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS

AGENTE	PROPIEDADES	OBTENCION	PELIGROS	USOS
<p>Agua HOH</p>	<p>Líquido incoloro, inodoro e inapetido. Las formas alotrópicas son: hielo (sólido) y vapor. El agua es un líquido altamente polar con alta constante dieléctrica (81 a -17 °C), lo que explica su poder disolvente. Es un ácido débil que ioniza H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>. A la presión atmosférica tiene: p. e. 100 °C p. a. (4 °C), 1.0 p. a., 0 °C (32 °F) μ, 0.001002 poleas (100 °C) y se dilata aprox. el 10 % cuando se congela. Calor específico, 1 cal/g Presión de vapor (100 °C), 760 mmHg</p>	<p>(1) Obtención del hidrógeno (2) Producto final de combustión (3) Producto final en una reacción ácido-base (4) Producto final de reacciones de condensación</p>		<p>Fabricación de papel procesos industriales disolvente enfriante industrial filtración lavado y purgas hidráulicas cemento Portland sistemas hidráulicos fuente de energía generación de vapor</p>



Es de suma importancia detectar y conocer las zonas que pueden ser deterioradas por corrosión dentro de todo proceso, es por ello que se considera de gran ayuda identificar cada uno de los agentes químicos que en ésta participen. Una vez conocidos, se recomienda en gran medida, tener conocimiento de las propiedades químicas y físicas, con el fin de poder predecir las posibles formas o tipo de corrosión que pueda sucederse.

**CAPITULO 5**

**ALTERNATIVAS DE SELECCION**

### 5.1 Plan General de Acción.

Antes de aventurarse a un terreno desconocido, el marino o explorador experimentado estudia el terreno que va a cubrir y explorar, determina el tiempo y las proviciones que necesita. De esta forma aunque la persona encuentre algunos obstáculos en el camino, continuará la marcha alentado por su objetivo primordial.

De manera similar, la selección apropiada de los materiales implica tomar conciencia de la responsabilidad que tiene el ingeniero químico para tomar la resolución más adecuada a este tipo de decisiones. Por tal motivo una vez detectado el problema y el objetivo que se desea alcanzar, es necesario tener conocimientos de las diferentes alternativas y disponer de esta manera de una variedad de soluciones, teniendo opción así a elegir la mejor de ellas.

### 5.2 Identificación del Problema.

Para ilustrar las responsabilidades de toma de decisiones de los ingenieros químicos, se muestran dos clases de problemas:

(1) problemas de *ciencia de ingeniería*

(2) problemas de *juicios de ingeniería*

Los problemas de ciencia de ingeniería; en los que hay una respuesta única a cada pregunta, se pueden resolver de una manera cuantitativa. Mientras que las soluciones de los problemas de juicios de ingeniería; donde existen varias respuestas, involucran consideraciones del costo relativo, seguridad y producción.

### 5.3 La Corrosión como Problema Principal.

En la selección de materiales de construcción, es de vital importancia considerar las características del sistema, poniendo principal atención a factores extraños que pueden influir en la corrosión y que provocan graves problemas, así como también, los materiales con los que constituirá el equipo. Por tal motivo, es necesario tener conocimiento sobre las características y comportamiento de los materiales cuando se expone a determinados ambientes, por lo que a continuación se hace mención de como puede actuar la corrosión tanto en materiales metálicos como no metálicos.

#### 5.3.1 Corrosión en los Materiales Metálicos.

Los metales puros y sus aleaciones tienden a unirse químicamente con los elementos de un medio corrosivo para formar compuestos estables similares a los que se encuentran en la naturaleza. Cuando se conducen pérdidas de metales de este modo, el compuesto que se forma se denomina productos de corrosión y se dice que la superficie está corroída.

La corrosión es un fenómeno complejo que puede tomar una o varias formas, por lo común se limita a la superficie del metal y esto se conoce como corrosión general; pero hay algunas veces en que tiene lugar a lo largo de límites de granos u otras líneas débiles, por diferencia en la resistencia a los ataques o una acción electrolytica local.

Según el concepto electroquímico, la reacción completa de corrosión se divide en una posición anódica y otra catódica, que se producen simultáneamente en puntos discretos sobre las superficies metálicas. Se puede generar un flujo de electricidad de las zonas anódicas a las catódicas, mediante celdas locales

colocadas ya sea en una superficie metálica simple (por diferencias locales de punto a punto sobre la superficie) o entre metales distintos.

### 5.3.2 Corrosión en Materiales No Metálicos.

El deterioro de los plásticos y otros materiales no metálicos, propensos al inchamiento, el resquebrajamiento, el destemplado, el ablandamiento, etc., es esencialmente fisicoquímico más que electroquímico. Los materiales no metálicos se pueden deteriorar con rapidez cuando se exponen a un ambiente dado, o bien en el otro extremo, se pueden ver prácticamente poco afectados. En ciertas condiciones, un material no metálico puede tener evidencias de deterioro gradual; sin embargo, raramente resulta posible evaluar su resistencia química sólo con mediciones de la pérdida de peso, como lo hacen en general para los metales. (ver capítulo III).

### 5.4 Materiales Específicos como Alternativas.

Para tener alternativas, es necesario conocer algo acerca de los diferentes materiales de mayor uso en los diferentes procesamientos industriales.

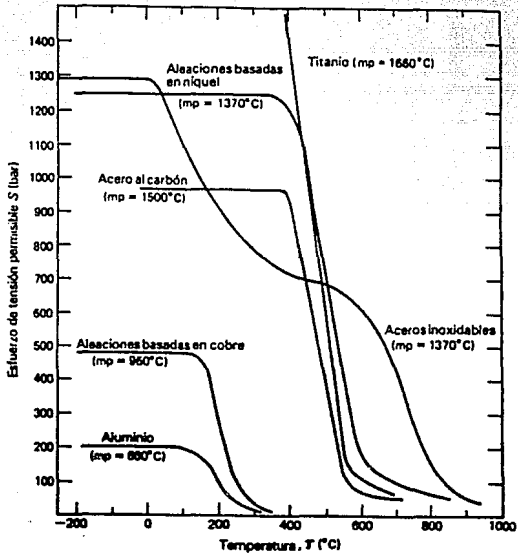
El acero al carbón es asombroso si nos basamos en su resistencia, costo y resistencia a la temperatura. Estas son las razones de su popularidad en la industria de procesos químicos. A menudo se corrige la susceptibilidad a la corrosión atmosférica si se aplica pintura o un recubrimiento similar exterior. Sin embargo, son obvias sus limitaciones en presencia de electrólitos acuosos para cualquiera que tenga un automóvil en las costas marítimas o en climas intensos en donde se aplica sal a las carreteras para controlar la nieve y el hielo. Con el fin de

lograr protección interna más sustancial, frecuentemente se recubre el acero al carbón con caucho, vidrio, acero inoxidable, aleaciones de níquel o titanio. Esto proporciona una resistencia a la corrosión típica del recubrimiento, con la resistencia y ventajas económicas del acero al carbón; por supuesto, la temperatura es limitada para la parte que tenga la menor tolerancia. Generalmente los recubrimientos de tabique son mucho más gruesos que los demás. Estos también proporcionan aislamiento adecuado según el caso, bajando la exposición térmica de la coraza.

A causa de su resistencia inherente a las soluciones iónicas, los plásticos convencionales económicos como el polietileno, polipropileno y ABS se están convirtiendo en los más populares conforme mejoran sus características mecánicas; sin embargo, a causa de su poca resistencia y bajas temperaturas de descomposición, las aplicaciones en los procesos son limitadas. Los compuestos de fibra de vidrio que tienen mayor resistencia y una tolerancia de temperatura razonablemente buena se emplean en algunas aplicaciones, como los tanques de almacenamiento atmosféricos, en competencia con el acero al carbón y otros materiales tradicionales. Como se sabe los plásticos de fluorocarbono tienen una resistencia superior a la corrosión y tolerancia a la temperatura; esto significa un precio de compra alto, que combinado con su alta resistencia restringe considerablemente su uso.

El aluminio es una de las alternativas de precio moderado para el acero al carbón o para los metales basados en el cobre, especialmente en las aplicaciones de transferencia de calor en donde la gran conductividad térmica es una ventaja. El aluminio es superior a bajas temperaturas (-250 a -20 °C) en donde el acero al carbón se vuelve quebradizo inadecuado. Su peso ligero compensa algo su baja resistencia, gráfica 2. La resistencia del aluminio declina en forma notoria.

GRAFICA No. 2



Relaciones de esfuerzo de temperatura y para un proceso importante de metales y aleaciones.

En el equipo de transferencia de calor se han empleado tradicionalmente cobre y aleaciones basadas en él por su buena resistencia a la corrosión y su conductividad térmica superior. Sin embargo, en muchas aplicaciones la resistencia térmica del metal es insignificante comparada con la resistencia de película, y hasta cierto punto se ha sustituido por el acero inoxidable, en especial en la industria del procesamiento de alimentos. Las ventajas del cobre y sus aleaciones en soluciones salinas está confirmado por la importancia de la guarnición del bronce en los barcos. De hecho, el nombre de "almirantazgo" se ha empleado para designar una aleación de cobre que tiene resistencia superior en ambientes marinos.

El advenimiento del acero inoxidable y su disponibilidad moderna a un precio razonable ha hecho que quede en segundo lugar después del acero al carbón en cuanto a su uso en los procesos químicos; casi en forma automática y sistemática se especifica para los platos de las torres, las mallas eliminadoras de niebla y otros artículos donde a menudo resulta más económico la disponibilidad de un material versátil sencillo que proporcionar un espectro de alternativas menos flexibles. Como ya se mencionó, el acero inoxidable está limitado en algunos ambientes, en especial en los que tienen cloruros. También, como pasa en los metales conductores de electricidad, el acero inoxidable no debe estar en contacto directo con un metal diferente en presencia de un electrólito líquido, ya que este crea el equivalente de una celda electroquímica en cortocircuito, lo que conduce a una corrosión rápida en lo que de otra manera podría haber sido una ampliación inocua.

En la tabla 23-5 de Perry se definen 50 variedades de acero inoxidable; esto representa sólo una fracción de los que se encuentran disponibles en el comercio. La elección en una situación particular depende generalmente de una combinación de factores, como la facilidad de maquinado, resistencia al uso, tolerancia a los ácidos y gran eficiencia a la temperatura.



El níquel y sus aleaciones, conocidos por nombres comerciales como Hastelloy, Inconel, Incoloy, Monel y Nimonic, se han desarrollado en un intervalo de composiciones que se acercan a los aceros inoxidable. El acero inoxidable en sí contiene una gran cantidad de níquel y también cromo y hierro. Las llamadas aleaciones con base níquel como principal componente, mejor que hierro. Como se ilustra en la gráfica 2, las propiedades térmicas y la resistencia de los dos tipos de aleaciones son similares. El níquel y sus aleaciones son superior en resistencia a la corrosión, especialmente en los cloruros que atacan al acero inoxidable. Sus aplicaciones en estos ambientes, que son muy comunes, justifican el mayor precio (cerca del acero inoxidable) de las aleaciones basadas en el níquel.

El titanio, otros metales y aleaciones muy solicitados se reservan para aplicaciones en donde predominan intensas condiciones corrosivas, abrasivas o de alta temperatura. En la lista de quipo que se puede obtener fácilmente en titanio y otros metales menos comunes se encuentran los intercambiadores de calor, las bombas y los recipientes de proceso.

### 5.5 Guía para una Selección Tentativa.

Como guía rápida para la elección de materiales se presenta la tabla 7 con los datos de los manuales y de los proveedores. Sólo es para una elección tentativa. (No debe usarse para el diseño formal y el equipo sea corroido). La elección última generalmente la hace un especialista en materiales que consulta a los vendedores. Esto podría incluir las pruebas extensivas de corrosión de una planta piloto o de laboratorio. Sin embargo los lineamientos presentados aquí deben ser adecuados para la definición del material probable de construcción y en el cual pueda basarse la estimación adecuada del costo de prediseño.

La tabla 7 incluye los materiales que se acaban de mencionar: acero al carbon (cs), aleaciones de acero (as), plásticos convencionales (cp), plásticos reforzados con fibra de vidrio (frp), plásticos de fluorocarbono (fp), aluminio y sus aleaciones (Al), cobre y sus aleaciones (Cu), acero inoxidable (ss), aleaciones basadas en níquel (Ni) y titanio (Ti), además de la cerámica, el grafito y algunos recubrimientos comunes.

#### 5.6 Criterios y Alternativas para la Selección de Materiales en la Torre Separadora de Cianhidrinas.

Para poder hacer una adecuada selección del material para dicha torre y su equipo inherente, es conveniente tener en mente una serie de criterios y alternativas, que sirvan de apoyo para tal objetivo. Estos consisten básicamente:

- a) Conocer el proceso de fabricación del producto elaborado o semielaborado con los que constituirá el equipo.
- b) Saber de la relación de estos procesos con los agentes químicos existentes, así como su composición y condiciones de operación.
- c) El manejo de espesores, relevado de esfuerzos y soldabilidad.
- d) La factibilidad de conseguir en el mercado y la diferencia de costos de uno y otro material.
- e) La experiencia con que cuenta el ingeniero.

Tabla N. 7 Guía de corrosión para materiales comunes usados en la construcción de procesos químicos

Equivalente de la temperatura (°C)	Aleaciones de construcción				Materiales de construcción								
	Acero		Otros metales y aleaciones		Plásticos		Acero inoxidable		Refractarios		Refractarios		
	Acero al carbono (A)	Acero inoxidable (B)	Resista en aluminio (C)	Resista en acero (D)	Resista en níquel (E)	Resista en caucho (F)	Comentarios (ver p. referencias en el índice de cada ítem)	Aluminio de flúor (G)	Acero inoxidable (H)	Refractario (I)	Refractario (J)	Refractario (K)	Refractario (L)
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650
700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

CLAVE  
 A Excelente o sin tratamiento; B Limitados tratamientos; C Muestras especiales disponibles a un costo mayor por reducir el riesgo de problemas; D Limitado en esta especie; E Durabilidad limitada en esta especie; X Inapropiado.

### 5.6.1 Proceso de Separación de Lactonitrilo por Destilación.

El Ácido cianhídrico (HCN) remanente, presente en la extracción lateral de la Torre Preparadora de Carga es convertido a lactonitrilo, haciéndolo reaccionar con acetaldehído en presencia de hidróxido de sodio. El producto de reacción se alimenta a la torre separadora de cianhidrinas para eliminar el lactonitrilo y el hidróxido de sodio; de tal manera que el acetónitrilo-agua quede exento de ácido cianhídrico.

En esta columna se controla un contenido máximo de 6 ppm de HCN total en el producto de domo, aun cuando es posible tolerar eventualmente incrementos por periodo cortos, por la tendencia a hidrolizarse del HCN en medio básico. Si se tienen valores alto de HCN por periodos prolongados deberá adicionarse al domo de esta columna una solución de hidróxido de sodio en una décima parte de la proporción que se está alimentando al reactor (ver diagrama 1a), suprimiéndose al estabilizarse la concentración deseada de HCN. El acetónitrilo presente en esta columna tenderá a hidrolizarse si se coloca esta columna a reflujo total por efecto de la temperatura y el pH básico que se tiene; no se recomiendan tiempos de reflujo total mayores de 5 horas.

### 5.6.2 Agentes Químicos, Composiciones y Condiciones de Operación en la Torre Separadora de Cianhidrinas y Equipo inherente.

Es conveniente hacer una representación esquemática del equipo que se quiere estudiar, con la finalidad de facilitar la identificación de las composiciones del proceso, así como sus condiciones de operación.

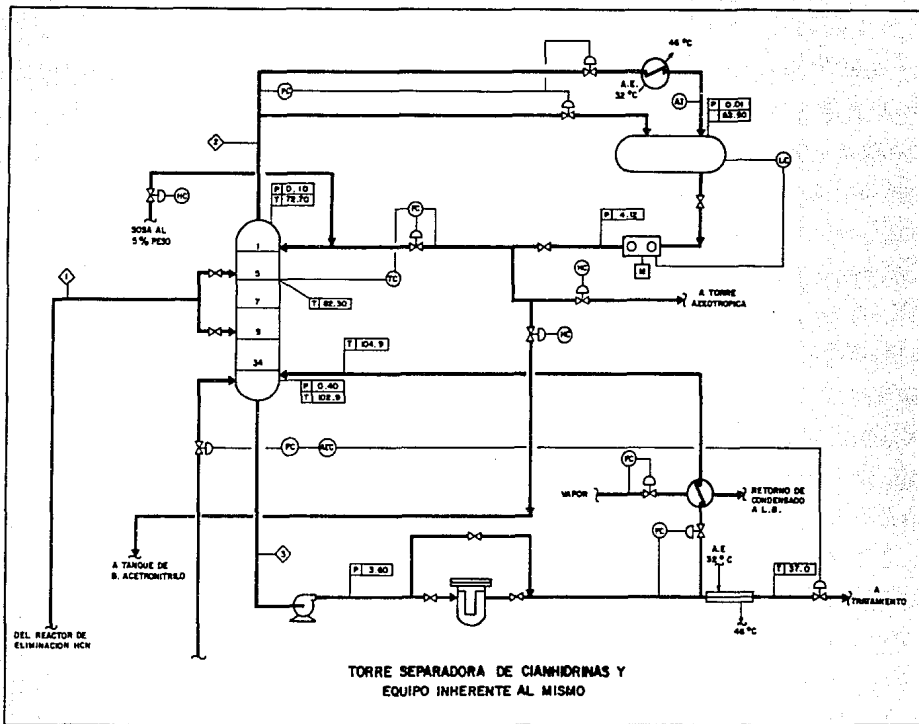
COMPONENTES Y COND. DE OPERACION.	CORRIENTES		
	1 (MMOL)	2 (MMOL)	3 (MMOL)
LACTONITRILO	0.657	0.000	1.379
ACRILONITRILO	0.078	0.040	0.000
BENCENO	0.029	0.091	0.000
ACETONITRILO	41.814	64.948	0.000
PROPIONITRILO	0.342	0.591	0.000
ALCOHOL ALILICO	0.193	0.299	0.000
AGUA	59.239	31.824	99.960
HCN	0.000	0.001	0.000
ACETONA	0.096	0.149	0.000
ACETALDEHIDO	0.157	0.244	0.000
METANOL	0.265	0.303	0.000
SOSA	2.090	0.000	4.661
PIRIDINA	1.046	1.625	0.000
TEMPERATURA, °C	15.000	72.710	102.870
PRESION, Kg/cm <sup>2</sup> m.	1.919	0.100	2.812

### 5.6.3 Manejo de Espesores, Relevado de Esfuerzos y Soldabilidad.

Una de las propiedades esenciales utilizada en la construcción de un equipo es el que sea mecánicamente seguro, de acuerdo a las condiciones de operación y al tipo de material; lo que involucra el seleccionar un espesor adecuado, el cual viene hacer un factor económico importante.

La resistencia de un material, como relevado de esfuerzos es también esencial, pues representa el esfuerzo máximo permisible que puede soportar el elemento a estudiar, ya que involucra la relación entre la carga y el área, y además dependiendo del tipo y dirección de la carga le permita soportar adecuadamente esfuerzos tales como tensión, compresión, corte, flexión, torsión y fatiga.

La soldabilidad, aún cuando tiene sus orígenes en sus aspectos metalúrgicos, su influencia se sienta principalmente



TORRE SEPARADORA DE CIANHIDRINAS Y EQUIPO INHERENTE AL MISMO

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.

#### 5.6.4 La Factibilidad de Conseguir en el Mercado y/o la Diferencia de Costos de uno y otro Material.

Los costos están disponibles en el mercado o directamente con los fabricantes con cierta facilidad para equipos construidos de diferentes materiales como pueden ser: acero al carbon, aleaciones de acero, plásticos convencionales, fibras de vidrio, plásticos de fluorocarbono, aluminio y sus aleaciones, cobre y sus aleaciones, acero inoxidable, aleaciones basadas en níquel y ocasionalmente más exóticos o aleaciones como titanio, tantalio, tungsteno o molibdeno.

La diferencia de costos de uno y otro material se acentúa principalmente en las características que se quiere producir; por ejemplo, si se quiere laborar leche pasteurizada, y tenemos como alternativas una aleación de aluminio y otra de algún acero al carbon con ciertas especificaciones, se tomaría como alternativa más adecuada la aleación de aluminio, pues a pesar de que el acero al carbon cumple con las especificaciones operacionales establecidas para el proceso, dicho producto determinaría tal elección sin ningun preámbulo aunque su valor económico sea mucho mayor. Sin embargo, en otras circunstancias el factor económico, sí, puede ser un elemento de elección importante; basandonos en datos de costos de cuarenta y dos proyectos diferentes, indican que los materiales para instalar un intercambiador de calor de acero al carbon, equivale aproximadamente el 70 % del precio de compra, lo cual hace reflexionar que si se analiza adecuadamente una buena selección del material, ajustándose a las condiciones óptimas que se saben son necesarias, se podría reducir en gran medida el valor monetario total del intercambiador.

### 5.6.5 Experiencias Tomadas en Base a la Práctica para la Torre Separadora de Cianhidrinas.

La necesidad de experiencia y de una guía experta se pone en evidencia rápidamente en los ingenieros químicos que aprenden las fallas que existen a través de la experiencia. Por ejemplo, el principiante podría pensar que el soplador de corriente descendente de un lavador de ácidos fuera de acero al carbón a causa de que los vapores ácidos tienen que ser eliminados en el momento en el que los gases llegan al soplador. El experto (a menudo a causa de malas experiencias) indicará rápidamente que este ambiente de hecho es uno de los más corrosivos porque hay trazas de gases ácidos en la corriente de aire húmedo (sin mencionar los efectos devastadores de desajustes del proceso). Para estar a salvo de esto debemos especificar materiales adecuados para el soplador para la peor situación posible. En otro extremo, si se da una corriente de gas de alta temperatura que contiene aire, cloruro de hidrógeno y agua, un ingeniero consideraría automáticamente las aleaciones costosas basadas en el níquel o la cerámica; sin embargo, sabemos que tal exposición podría ser factible si se utiliza metal de aluminio económico. El aluminio es magnífico (significativamente mejor que el acero inoxidable para este ambiente) siempre y cuando los gases estén por debajo de la temperatura máxima de servicio del metal y por encima del punto de rocío del ácido. Sorpresas como estas son bienvenidas por los gerentes de proyectos, pero las sorpresas a la inversa no lo son. En general, debemos seleccionar un material que haya sido probado por experiencias pasadas o que sea promisorio de acuerdo con los criterios generales de eficiencia.

De esta manera, para la torre separadora de cianhidrinas los materiales anotados se recomiendan considerando los empleados en la planta de Acrilonitrilo, en las que se manejan compuestos similares, así como determinaciones realizadas con testigos al operar en Tula, la planta piloto.



EQUIPO	MATERIAL
Condensador.	Espejo lado corrosivo, Acero Inoxidable 304. tubos de Acero Inoxidable 304. Cuerpo Acero al Carbon.
Acumulador	Acero al Carbon con Relevado de Esfuerzos.
Torre	Cuerpo Acero Inoxidable 304. Platos Acero Inoxidable 304. Lineas de Vapor y reflujo, Acero Inox. 304. Linea al Rehevridor y Retorno, Acero Inox. 304.
Rehevridor	Igual al Condensador.
Bombas	Acero Inoxidable 304.

Otro factor importante que se logra con la experiencia, se analiza por ejemplo, en los datos de velocidad de corrosión obtenidos con testigos ubicados en la planta piloto de la preparadora de carga, (similar a la separadora de cianhidrinas), determinados al operar en la línea con la Planta Industrial de Acrilonitrilo de Tula, Hgo.

UBICACION DEL TESTIGO	VELOCIDAD DE CORROSION (577hr, MILPULO/ANO)	
	ACERO 316 INOXIDABLE	ACERO AL CARBON
Domo de la Columna	0.026	1.232
Arriba Seccion de Carga	0.005	0.099
Abajo Seccion de Carga	0.016	1.232
Rehevridor	0.129	13.944
FACTOR RECOMENDABLE DE VELOCIDAD DE CORROSION MILPULO/ANO $\leq$ 2		

Con esta información, se puede decidir fácilmente, que la mejor alternativa para la selección del material de esta torre y su equipo inherente es el acero inoxidable; pues a pesar que ambos cumplen con el criterio de selección estudiados y aunque el acero inoxidable tenga un valor monetario inicial mayor que el acero al carbón, el periodo de vida que proporciona el material elegido por su resistencia de corrosión existentes provoca con el tiempo una disminución del precio original, y como consecuencia su evidente elección.

## **CONCLUSIONES**

Es importante el destacar que no sólo se tienen que tomar en cuenta planteamientos que nos lleven a construir equipos, cuya operabilidad del proceso mismo permitan obtener la producción de la materia o materias con la calidad adecuada y con una alta eficiencia. Esto desde la etapa de diseño y generación del diagrama de proceso, donde se engloba a todo el equipo interconectado para un proceso específico.

Es de vital importancia, también, considerar las características del fluido, corrosividad, choques térmicos, etc. de cada uno de los equipos ya que no es posible construir cada uno de éstos del mismo material, debido a la función específica de cada uno de ellos, sin menospreciar la seguridad que se debe contemplar al seleccionar su material y sin perder de vista la globalización del proceso.

Dado que únicamente se consideró a la Torre Separadora de Cianhidridas, no quiere decir que el diseño y selección de materiales no se tomó en cuenta al proceso como vía interrelación de equipo. Por lo que para este caso en particular, finalmente las alternativas planteadas no son las últimas y probablemente las mejores, pero si una de las más adecuadas para el fin perseguido.

La diferencia en propiedades del acero inoxidable 304 y el acero al carbón se incrementan considerando su costo, pero desde el punto de vista químico, la alternativa más factible es la construcción tanto de la torre separadora como del tanque acumulador de acero inoxidable 304.

Sin embargo, es muy importante mantener la inquietud de plantear más alternativas que traigan consigo analizar con mayor detalle la etapa de procesamiento, conocer aún más las corrientes presentes mediante las propiedades químicas y físicas de cada una

de las sustancias existentes en dicho proceso; y si el problema es la corrosión que los componentes provocan, atacar el fenómeno auxiliandonos de información existente para un mayor entendimiento y tener la bases para poderla atacar de la manera más acertada; una vez realizado lo anterior y tomando en cuenta otros aspectos como el relevado de esfuerzos, espesor del material, la soldabilidad, el costo de los diferentes materiales así como la factibilidad de conseguir en el mercado.

Tener en consideración todo lo anterior, permite contemplar un diseño más completo que haga que el ingeniero de proceso tenga una mayor confianza de que su equipo, llamese reactor, torre de destilación, intercambiadores de calor, red de tuberías, etc., tenga, además de una adecuada funcionalidad, un periodo de vida más prolongado y un factor de seguridad más propio. Obviamente esto involucra, realizar un esfuerzo extra, pues es necesario recurrir y profundizar aún más en aspectos que en primera instancia resulten fuera de nuestro contexto como ingeniero químico, pero debido a la magnitud de problemas por resolver, es y será de vital importancia aumentar aún más los conocimientos que ya se tienen.

## **ANEXOS**

**Tabla I Series galvánicas de algunos metales comerciales y aleaciones en agua de mar.**

↑ Noble or cathodic                       Active or anodic ↓	Platinum
	Gold
	Graphite
	Titanium
	Silver
	Chlorimet J (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
	Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
	Ti-8 Mo stainless steel (passive)
	Ti-8 stainless steel (passive)
	Chromium stainless steel 11-30% Cr (passive)
	Ti-conel (passive) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
	Nickel (passive)
	Silver solder
	Ti-conel (70 Ni, 30 Cu)
	Cupronickels (60-90 Cu, 40-10 Ni)
	Bronzes (Cu-Sn)
	Copper
	Brasses (Cu-Zn)
	Chlorimet J (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)
	Hastelloy B (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)
Ti-conel (active)	
Nickel (active)	
Tin	
Lead	
Lead-tin solders	
Ti-8 Mo stainless steel (active)	
Ti-8 stainless steel (active)	
Ni-Resist (high Ni cast iron)	
Chromium stainless steel, 13% Cr (active)	
Cast iron	
Steel or iron	
2024 aluminum (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)	
cadmium	
commercially pure aluminum (1100)	
Zinc	
Magnesium and magnesium alloys	

78

**Tabla II Agentes que causan corrosión por tensión en los metales y aleaciones.**

Material	Environment	Material	Environment
Aluminum alloys	NaCl-H <sub>2</sub> O solutions	Ordinary steels	NaOH solutions
	NaCl solutions		NaOH-Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> solutions
	Seawater		Calcium, ammonium, and sodium nitrate solutions
Copper alloys	Air, water vapor	Mixed acids	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> )
	Ammonia vapors and solutions		HCl solutions
	Ammonium		Acidic H <sub>2</sub> S solutions
Gold alloys	Water, water vapor	Stainless steels	Molten Na-Pb alloys
	FeCl <sub>3</sub> solutions		Acid chloride solutions such as MgCl <sub>2</sub> and
	Acetic acid salt solutions		Seawater
Inconel	Ceonic soda solutions	Titanium alloys	Red fuming nitric acid, seawater, N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , methanol-HCl
Lead	Lead acetate solutions		
Magnesium alloys	NaCl-N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> solutions		Titanium alloys
	Rural and coastal atmospheres		
	Distilled water		
Monel	Fused caustic soda	Titanium alloys	
	Hydrofluoric acid		
	Hydrobromic acid		
Nickel	Fused caustic soda	Titanium alloys	

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Tabla III Resistencia a la fricción de varios metales.

Poor	Average	Good
Aluminum on cast iron	Cast iron on cast iron	Laminated plastic on cast iron plate
Aluminum on stainless steel	Copper on cast iron	Hard tool steel on tool steel
Magnesium on cast iron	Brass on cast iron	Cold-rolled steel on cold-rolled steel
Cast iron on chrome plate	Zinc on cast iron	Cast iron on cast iron with phosphate coating
Laminated plastic on cast iron	Cast iron on silver plate	Cast iron on cast iron with coating of rubber cement
Bakelite on cast iron	Cast iron on copper plate	Cast iron on cast iron with coating of tungsten sulfide
Hard tool steel on stainless steel	Cast iron on amalgamated copper plate	Cast iron on cast iron with rubber gasket
Chrome plate on chrome plate	Cast iron on cast iron with rough surface	Cast iron on cast iron with Molykote lubricant
Cast iron on tin plate	Magnesium on copper plate	Cast iron on stainless with Molykote lubricant
Cast iron on cast iron with coating of shellac	Zirconium on zirconium	

Source: J. R. McDowell, ASTM Special Technical Publication No. 144, p. 24, American Society for Testing Materials, Philadelphia, 1952.

Tabla IV Problemas causados por la corrosión por el contenido de carbono.

Corrosives	Plants
Acetic acid	Adipodinitrile
Acetic + formic acid	Electroplating
Chromic acid	Metal refining
Fluoboric acid	Nitric acid
Metal plating solutions	Phosphoric acid
Nitric acid	Plutonium recovery
Nitric + adipic acid	Sulfuric acid
Nitric + hydrofluoric acid	Synthetic fiber
Phosphoric acid	Wet-process phosphoric acid
Phosphoric + sulfuric acid	Xylene
Sulfuric acid	
Sulfuric acid + copper sulfate	



**Tabla V**  
**Velocidades de corrosión en metales**  
**por el agua de mar en movimiento.**

Material	Typical corrosion rates, mdd*		
	1 ft sec†	4 ft sec‡	27 ft sec§
Carbon steel	34	72	254
Cast iron	45	—	270
Silicon bronze	1	2	343
Admiralty Brass	2	20	170
Hydraulic bronze	4	1	339
G bronze	7	2	280
Al bronze (10% Al)	5	—	236
Aluminum brass	2	—	105
90-10 Cu Ni (0.8% Fe)	5	—	99
70-30 Cu Ni (0.05% Fe)	2	—	199
70-30 Cu Ni (0.5% Fe)	<1	<1	39
Monel	<1	<1	4
Stainless steel type 316	1	0	<1
Hastelloy C	<1	—	3
Titanium	0	—	0

\* Milligrams per square decimeter per day.  
† Immersed in tidal current.  
‡ Immersed in seawater flume.  
§ Attached to immersed rotating disk.  
Source: International Nickel Co.

**Tabla VI Agentes corrosivos que inducen**  
**la corrosión intergranular en el acero**  
**inoxidable austenítico.**

Acetic acid	Oxalic acid
Acetic acid + salicylic acid	Phenol + naphthenic acid
Ammonium nitrate	Phosphoric acid
Ammonium sulfate	Phthalic acid
Ammonium sulfate + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Salt spray
Beet juice	Seawater
Calcium nitrate	Silver nitrate + acetic acid
Chromic acid	Sodium bisulfate
Chromium chloride	Sodium hydroxide + sodium sulfide
Copper sulfate	Sodium hypochlorite
Crude oil	Sulfamic acid
Fatty acids	Sulfite cooking liquor
Ferric chloride	Sulfite digester acid
Ferric sulfate	(calcium bisulfite + sulfur dioxide)
Formic acid	Sulfite solution
Hydrocyanic acid	Sulfur dioxide (wet)
Hydrocyanic acid + sulfur dioxide	Sulfuric acid
Hydrofluoric acid + ferric sulfate	Sulfuric acid + acetic acid
Lactic acid	Sulfuric acid + copper sulfate
Lactic acid + nitric acid	Sulfuric acid + ferrous sulfate
Malic acid	Sulfuric acid + methanol
Natric acid	Sulfuric acid + nitric acid
Nitric acid + hydrochloric acid	Sulfurous acid
Nitric acid + hydrofluoric acid	Water + starch + sulfur dioxide
	Water + aluminum sulfate

**Tabla VII Efecto de la corrosión por picadura en aleaciones de acero inoxidable.**

Element	Effect on pitting resistance
Chromium	Increases
Nickel	Increases
Molybdenum	Increases
Silicon	Decreases, increases when present with molybdenum
Titanium and columbium	Decreases resistance in FeCl <sub>3</sub> , other mediums no effect
Sulfur and selenium	Decreases
Carbon	Decreases, especially in sensitized condition
Nitrogen	Increases

Source: N. D. Greene and M. G. Fontana, *Corrosion* 15: 25r (1959)

**Tabla VIII Aleaciones de aluminio vs. medio ambiente.**

	Cl <sup>-</sup>		NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	S <sup>-2</sup>	S <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Sea-water	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cd	Al	Bi	Hg	Li	Pb	Ga	Sn	**
	Neutr.	OH <sup>-</sup>																	
1100	1	X	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5	5
2024	5	X	1	1	1	1	1	5	X	5	1	1	1	1	5	1	1	5	5
3003	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
5052	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
5083	3	X	1	1	1	1	1	3	X	3	1	1	1	1	5	1	1	5	5
5154	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
6061	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
6063	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
7075	5	X	1	1	1	1	1	5	X	5	1	1	1	1	5	1	1	5	5
242	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
295	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
A332	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
A356	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
B443	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
514	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5
920	1	X	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	5	1	1	5	5

Notes: \* High purity H<sub>2</sub>O.  
 \*\* Alkali metals.  
 1 Resistant.  
 3 Resistant in some cases.  
 5 Nonresistant.  
 X Not recommended for this environment-rapid general attack or pitting.

Tabla IX Aleaciones de cobre vs. medio ambiente.

CTIA Number	Cl <sub>2</sub>	Cr(O <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	H <sub>2</sub> Pt <sub>4</sub> <sup>2</sup>	HCl <sub>2</sub> <sup>2</sup>	OH	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup> /Cl	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub> <sup>2</sup>	SO <sub>2</sub> <sup>2</sup>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	Sea					Atmosf. +O <sub>2</sub>	
														Steam	water	Br	Ig	Li		Pb
110 FTP Copper	1				1	1							2	1	5	5	5	1	1	2
122 DHP Copper	1				1	1	X						2	1	5	5	5	1	1	2
220 Bronze	1				1	1							5	1	5	5	5	1	1	5
230 Red Brass	1				4	1		1	4	5	5	5	5	1	5	5	5	5	1	5
260 Cartridge Brass		4	4	4	1			5	4	5	5	5	5	1	5	5	5	5	1	5
270 Yellow Brass	4	4	4	4	1				4	5	5	5	5	2	5	5	5	5	1	5
280 Munz Metal	4	4	4	4	1				4	5	5	5	5	2	5	5	5	5	1	5
443 Admiralty Brass	1	1	1	1	4	1		5	4	5	5	5	5	1	5	5	5	5	1	5
687 Inh Al Brass	1				4	1		5	4	5	5	5	5	1	5	5	5	5	1	5
664 Naval Brass	1				4	1			4	5	5	5	5	1	5	5	5	5	1	5
510 Phosphor Bronze	1				1	1		1					5	1	5	5	5	1	1	5
613 Al Bronze	1				1	1							5	5	1	5	5	5	1	5
614 Al Bronze D	1				1	1							5	1	5	5	5	1	5	5
630 Ni-Al Bronze	1				1	1							5	1	5	5	5	1	5	5
653 High-w Bronze	1				1	1							2	5	1	5	5	5	1	2
675 Mn Bronze	3*				1	1							5	3*	5	5	5	1	5	5
70690-10 Cu-Ni	1				1	1	X	1	1	1	1	4	1	1	5	5	5	1	2	2
715 70-30 Cu-Ni	1				1	1	X	1	1	1	1	4	1	1	5	5	5	1	2	2
836 Ounce Metal	1				1	1							5	1	5	5	5	1	5	5
865 Mn Bronze	1				1	1							5	3*	5	5	5	1	5	5
905 G Bronze	1				1	1							5	1	5	5	5	1	5	5
922 M Bronze	1				1	1							5	1	5	5	5	1	5	5
957 Ni-Al-Mn Bronze	1				1	1							5	1	5	5	5	1	5	5
958 Ni-Al Bronze	1				1	1							5	1	5	5	5	1	5	5
964 Copper Nickel	1				1	1	X					4	1	1	5	5	5	1	2	2
770 Nickel Silver					1	1		5				5	5	5	5	5	5	1	5	5

Tabla X Bajas aleaciones de acero vs. medio ambiente.

	Cl <sup>-</sup> Acid	Cl <sup>-</sup> Neutr.	Cl <sup>-</sup> Oxid.	Sea- water	High- Purity				Carbon- ates	
					H <sub>2</sub> O	OH <sup>-</sup>	HCN	S <sup>2-</sup>		
A516 Gr. 70 C-M	X	1	1	1	A	5	2	2	2	4
A106B C-Mn	X	1	1	1	A	5	2	2	2	4
A285 Gr. C C-Mn	X	1	1	1	A	5	2	2	2	4
A242 HSLA	X	1	1	1	5	2	2	2	2	4
A517 Gr. F HSLA	X	1	1	1	5	5	5	5	5	4
A387(22)2 1/4 Cr-1Mo	X	1	1	1	5	2	2	2	2	4
AISI 4140	X	3	3	3	3	5	5	5	5	4
AISI 4340	X	3	3	3	3	5	5	5	5	4

	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	CrO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	CO-CO <sub>2</sub>		Amines	HF	Cd	Al	Bi
						-H <sub>2</sub> O						
A516 Gr. 70 C-M	1	A	1	5	4	4	4	4	1	5	X	1
A106B C-Mn	1	A	1	5	4	4	4	4	1	5	X	1
A285 Gr. C C-Mn	1	A	1	5	4	4	4	4	1	5	X	1
A242 HSLA	1	A	1	5	4	4	4	4	1	5	X	1
A517 Gr. F HSLA	1	A	1	5	4	4	4	4	1	5	X	1
A387(22)2 1/4 Cr-1Mo	4	A	1	5	4	4	4	4	5	5	X	1
AISI 4140	4	A	1	5	4	4	4	4	5	5	X	1
AISI 4340	4	A	1	5	4	4	4	4	5	5	X	1

	Hg	Li	Pb	Sn	Zn	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
A516 Gr. 70 C-M	1	5	1	1	5	4
A106B C-Mn	1	5	1	1	5	4
A285 Gr. C C-Mn	1	5	1	1	5	4
A242 HSLA	1	5	1	1	5	4
A517 Gr. F HSLA	1	5	1	1	5	5
A387(22)2 1/4 Cr-1Mo	1	5	1	1	5	5
AISI 4140	1	5	1	1	5	5
AISI 4340	1	5	1	1	5	5

Notes: 1 Resistant  
 2 Resistant unless cold-worked or hardened above R<sub>22</sub>  
 3 Resistant unless hardened above R<sub>33</sub>  
 4 Resistant except at certain temperature-concentration ranges - see text.  
 5 Nontoxic.  
 X Not recommended for this environment - rapid general attack or pitting.  
 A Resistant unless anodically polarized.

Tabla XI Listado parcial de aleaciones y especies conductoras para ambiente cracking.

Aleación	Stress Corrosion Cracking	Hydrogen Cracking	Liquid Metal Cracking
Magnesium	Aqueous Cl <sup>-</sup> plus oxidants	Na (125 C), Zn (450 C)	No information
Aluminum	Aqueous Cl <sup>-</sup> plus oxidants	No information	Hg (20 C), Ga (50 C), In (180 C), Na (125 C), Sn (280 C), Zn (460 C), Cu, Zn (400 C), In (180 C), U (510 C), Cd (550 C), Cu, Cd
Carbon steels	NaOH, NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , CN <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , COCO, H <sub>2</sub> O	Hardened or cold-worked	
High Strength Steels	See Carbon steels above	Yes	
18% Maraging Steel	No information	No information	50-50 Pb-Sn
Martensitic S.S.	NaOH, NaCl	Hardened	No information
Ferritic S.S.	NaOH, Marine tropical atmospheres	Cathodic protection > - 850 mv to Cu/Cu <sub>2</sub> O	No information
Austenitic S.S.	Cl <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> /H <sub>2</sub> S, NaOH, H <sub>2</sub> S/O <sub>2</sub> , supercritical water plus O <sub>2</sub> , Cl <sup>-</sup> , NaOH	Severely cold-worked	Zn, Cd, Al, Cu
Precipitation-Hardening S.S.		Hardened	Zn, Cd, Al (Cu?)
Superaustenitics	NaOH	Severely cold-worked	Zn, Cd, Al (Cu?)
Lead, Tin, Zinc	No information	No information	No information
Copper alloys	NH <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , Steam vs. S <sup>2-</sup> , Bronze	Impressed current C.P.	Hg
Nickel N02200	HF plus O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	No information	S, Hg, Bi, Li, Pb, Sn,
Monel N04400	HF plus O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	Galvanic couples in alk. surfaces	S, Hg, Bi, Li, Pb, Sn
Alloy B, N10001	Azo dyes, Supercritical water plus O <sub>2</sub>	No information	Al, Cd, U
Inconel N06000	NaOH (300°C), AlCl <sub>3</sub> , Supercritical water plus O <sub>2</sub>	Cold-worked plus H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	S, Zn, Cd, Al
Alloy C N10002	FeCl <sub>3</sub> , Supercritical water plus O <sub>2</sub>	Cold-worked plus H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> with galvanic couple	S, Zn, Cd, Al
Alloy C276 N10276	Supercritical water plus O <sub>2</sub>	Cold-worked plus H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> with galvanic couple	S, Zn, Cd, Al
Vitallium (Cobalt)	Magnesium chloride, NaOH	Cold-worked	No information
Titanium	NaCl (275°C), 15% HCl, Chlorinated or fluorinated solvents, methanol	Does Not Apply	Hg (20 C), Cd (250 C), Ag
Zirconium	FeCl <sub>3</sub> , I <sub>2</sub> , HCl + Fe <sup>3+</sup> (250 ppm)	Does Not Apply	No information
Silver, gold, platinum	No identified species	No information	No information



Tabla XIII Evaluación de métodos de corrosión. *			
Observation or measurement	Alloys and metals	Thermoplastic resins	Thermosetting resins
Weight change:			
As mils per year penetration (loss in thickness)	Yes	No	No
% weight change	Rarely used	Yes	Yes
Permeation	Special gases (hydrogen blistering)	Yes	Yes
Change in hardness	Relatively few instances (graphitization, desincification, etc.)	Yes	Yes
Dimensional changes	Yes (losses)	Yes (losses or gains)	Yes
Tensile properties	Special case: usually not done	Yes	Generally no
Compressive properties	Special case: usually not done	Generally no	Yes
Flexural properties	Special case: usually not done	Generally no	Yes
Elongation	No	Yes	No
Appearance change of test sample	Yes	Yes	Yes
Surface attack (pitting, craters, crevices, blistering, etc.)	Yes	Yes	Yes
Laminar-wall attack	Yes	Yes	Yes
Color	Yes	Yes	Yes
Deleterious effects to environment	Yes	Yes	Yes

\*Otto H. Fenner, Chemical and Environmental Properties of Plastics and Elastomers, in Charles A. Harper, ed., *Handbook of Plastics and Elastomers*, p. 4-4, McGraw-Hill Book Company, New York, 1975

Tabla XIV Potencial galvánico en flujos de agua de mar. vel = 13 pies/seg		
Metal or alloy	Temperature, C	Volt* vs. saturated calomel
Zinc	26	-1.03
Mild steel	24	0.61
Gray cast iron	24	0.61
Austenitic cast iron†	14	0.47
Copper	24	0.36
Admiralty brass	24.6	0.36
Gunmetal	24	0.31
Aluminum brass	24.6	0.29
Admiralty brass	11.9	0.30‡
Lead-tin solder (50-50)	17	0.28
90-10 Cu-Ni (1.4 Fe)	6	0.24
90-10 Cu-Ni (1.4 Fe)	17	0.29
90-10 Cu-Ni (1.5 Fe)	24	0.22
70-30 Cu-Ni (0.51 Fe)	6	0.22
70-30 Cu-Ni (0.51 Fe)	17	0.24
70-30 Cu-Ni (0.51 Fe)	26.7	0.20
Ni-Mo § alloy 400	22	0.11
Nickel	25	0.10‡
Titanium	27	-0.10
Graphite	24	+0.25
Platinum	18	+0.26‡

\*All values negative vs. saturated calomel reference electrode except those for graphite and platinum.  
†Ni-Resist § ductile cast iron type D-2 (3.0 C, 1.5-3 Si, 0.7-1.25 Mn, 1S-22 Ni, 1.75-2.75 Cr)  
‡Seawater velocity = 7.8 ft/sec.  
§INCO trademark

Tabla XV Ejemplos recomendados por el M.T.I.  
(Corrosión dada en mpy = micrometros por año).

Test solution	Alkorr	Hastelloy + C-276	Hastelloy + B-2	Inconel + 625	Incoloy + 825	Carpenter 20Cb3 + + +	316 Stainless
90°C = 194 F*	0-6	0-6	0-6	12-24	12-24	24-60	24-60
1% HCl	(0-150)	(0-150)	(0-150)	(300-600)	(300-600)	(600-1,500)	(600-1,500)
100°C = 212 F*	0-6	12-24	0-6	24-60	12-24	12-24	> 200
10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	(0-150)	(300-600)	(0-150)	(600-1,500)	(300-600)	(300-600)	(> 5,000)
100°C = 212 F*	0-6	0-6	0-6	6-12	0-6	12-24	12-24
50% H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	(0-150)	(0-150)	(0-150)	(150-300)	(0-150)	(300-600)	(300-600)
122°C = 251 F*							
Boiling	6-12	60-200	>>> 200	24-60	6-12	24-60	12-24
65% HNO <sub>3</sub>	(150-300)	(1,500-5,000)	(>>> 5,000)	(600-1,500)	(150-300)	(600-1,500)	(300-600)
118°C = 243 F*							
Boiling							
100% Acetic Acid	0-6	0-6	0-6	0-6	60-200	6-12	0-6
100°C = 212 F*	(0-150)	(0-150)	(0-150)	(0-150)	(1,500-5,000)	(150-300)	0-150)
50% Formic Acid	0-6	0-6	0-6	6-12	12-24	6-12	6-12
100°C = 212 F*	(0-150)	(0-150)	(0-150)	(150-300)	(300-600)	(150-300)	(150-300)
10% Oxalic Acid	0-6	6-12	0-6	0-6	12-24	12-24	24-60
50°C = 122 F*	(0-150)	(150-300)	(0-150)	(0-150)	(300-600)	(300-600)	(600-1,500)
9-10% FeCl <sub>3</sub>	0-6	0-6	> 200	12-24	> 200	> 200	> > 200
Boiling	(0-150)	(0-150)	(> 5,000)	(300-600)	(> 5,000)	(> 5,000)	(> > 5,000)
5% FeCl <sub>3</sub> + 10% NaCl	0-6	0-6	> > 200	> > 200	> 200	> > 200	> > 200
Boiling	(0-150)	(0-150)	(> 5,000)	(> 5,000)	(> 5,000)	(> > 5,000)	(> > 5,000)
50% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 3% Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>							
ASTM A262 Solution	6-12	> 200	> 200	24-60	12-24	12-24	24-60
Boiling	(150-300)	(> 5,000)	(> 5,000)	(600-1,500)	(300-600)	(300-600)	(600-1,500)
50% NaOH*	0-6	12-24	0-6	0-6	12-24	24-60	> 200
	(0-150)	(300-600)	(0-150)	(0-150)	(300-600)	(600-1,500)	(> 5,000)

\*Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries, Inc.

†Crevice corrosion, but reported as average corrosion rate.

Trademark Acknowledgements

\*Hastelloy—Registered Trademark of Cabot Wrought Products Division

\*\*Incoloy, Inconel—Registered Trademarks of The Inco Family of Companies

\*\*\*20Cb3—Registered Trademark of Carpenter Technology

NOTE: Data presented here are average values and are not a guarantee of maximum or minimum values. They are based on laboratory and field test data from a number of sources and are representative only of the results obtained in such tests and should not be considered as maximums or minimums. Information presented here is for reference only.



Tabla XVI Efecto de varios componentes químicos sobre los plásticos.

Material	Acids		Alkalis		Organic solvents	Water absorption, %/24 hr	Continuous heat resistance, °F
	Weak	Strong	Weak	Strong			
ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene)	N	AO	N	N	A	0.4	190-230
Acetals (copolymers)	V	A	N	N	R	0.2	185-220
Acrylic							
Methyl methacrylate	R	AO	R	A	A	0.3	140-200
MMA alpha-methylstyrene copolymer	R	AO	R	R	A	0.2	200-230
Acrylic-PVC alloy	N	N	N	N	A	0.1	
Allyl resins							
Allyl diglycol carbonate	N	AO	N	SA	R	0.2	212
Diallyl phthalate (mineral-glass-filled)	N	SA	SA	SA	N	0.3	300-400
Cellulosic compounds							
Ethyl cellulose	SA	A	N	SA	A	1	115-185
Cellulose acetate, nitrate, propionate, and acetate butyrate	SA	A	SA	A	A	1-7	140-220
Chlorinated polyether	N	AO	N	N	R	0.01	290
Epoxy resins							
Cast	N	V	N	SA	R	0.1	250-550
Glass-fiber-filled molding compounds	N	R	N	N	N	0.1	300-500
Fluoroplastics							
Polychlorotrifluoroethylene	N	N	N	N	R	0.0	350-390
Polytetrafluoroethylene	N	N	N	N	N	0.0	550
FEP fluoroplastic	N	N	N	N	N	0.01	400
Polyvinylidene fluoride	N	R	N	R	R	0.04	300
Furan (asbestos-filled)	R	AO	N	N	R	0.1	265-330
Metamine-formaldehyde							
Asbestos filler	R	A	R	SA	N	0.1	250-400
Glass-fiber filler	N	A	N	R	N	0.1	300-400
Methyl-pentene polymer	N	AO	N	R	A	0.01	230-320
Nylons							
Type 6, cast	R	A	N	R	R	1.0	180-250
Type 12, unfilled	N	A	N	N	R	0.3	175-260
Phenol-formaldehyde, -furfural compounds	R	AO	SA	A	R	0.2	250
Phenylene oxides	N	N	N	N	A	0.07	175-220
Polyallomer	N	AO	N	R	R	0.01	
Polyaryl ether	N	V	N	N	A	0.3	250-270
Polyarylsulfone	N	N	N	N	R	2.0	500
Polybutylene	R	AO	R	R	R	0.01	225
Polycarbonates							
Unfilled	N	SA	V	A	A	0.1	250
ABS-polycarbonate alloy	N	AO	N	SA	A	0.3	220-250
Polyesters							
Linear aromatic allyl, asbestos filled	SA	SA	SA	A	R	0.02	600
Unfilled	N	SA	N	SA	N	0.1	450
Polyethylenes (low-, medium-, high-density)	R	AO	R	R	R	0.01	180-250
Polyimides	R	R	SA	A	R	0.3	500
Polyphenylene sulfides	N	AO	N	N	R	—	400-500
Polypropylenes	N	AO	N	R	R	0.01	190-300
Polystyrenes	N	AO	N	N	A	0.1	150-300
Poly sulfone	N	N	N	N	R	0.2	300-345
Silicones	R	V	R	V	V	0.1	500-600
Urea-Formaldehyde	A	A	V	A	R	0.5	170
Urethanes (cast)	SA	A	SA	V	V	1.0	190-250
Vinyl polymers and copolymers							
Vinyl chloride & vinyl chloride-acetate	N	R	N	N	V	0.5	150-175
Vinylidene chloride	N	R	R	R	R	0.1	160-200
Chlorinated polyvinyl chloride	N	N	N	N	N	0.1	230

Code: N = no effect; R = resistant, generally; SA = slightly attacked; A = attacked; AO = attacked by oxidizing acids; V = variable behavior, depending on specific media.

Source: *Modern Plastics Encyclopedia*, McGraw-Hill, New York, 1970, 1974, 1975.

Tabla XVII Comparación de propiedades de elastómeros.

Material	Chemical name	Physical properties										Resistance to:									
		Adhesion to metals	Tear resistance	Abrasion resistance	Resistance to gas diffusion	Dilute acids	Concentrated acids	Aliphatic hydrocarbons	Aromatic hydrocarbons	Ketones, etc.	Laquer solvent	Oil and gasoline	Axial, vegetable oils	Water absorption	Oxidation	Ozone	Swallow aging	Heat aging	Low temperature	Flame	
Natural rubber	Polysoprene	E	VG	E	F	F/G	F/G	P	P	G	P	P	F/G	VG	G	F	F	F	VG	P	
Buna S (SBR, GR-S)	Butadiene styrene	E	F	G/S	F	F/G	F/G	P	P	G	F	P	F/G	G/VO	F	F	F	F/G	VG	P	
Butyl	Isobutylene-isoprene	G	G	G	E	E	G	P	P	G	F/G	P	VG	VG	E	E	VG	VG	G	F	
Nitrile (Buna N)	Butadiene-acrylonitrile	E	F	G	G	G	G	E	G	P	F	E	VG	G	G	F	F	G	F/G	P	
Neoprene	Chloroprene	E	F	G	G	E	G	F/G	F	F/F	P	G	G	G	VG	VG	VG	G	G	G	
Silicone	Siloxane polymer	E	F	P	F	E	F	P	F	F	F	G/S	E	VG	E	E	G	O	G	F/G	
Hypalon	Chlorosulfonated polyethylene	E	F	E	O/E	E	G	F/G	F	F/F	F	G	G	E	G	O	O	VG	G	G	
Nordel (EDPM)	Ethylene propylene	F	F	G/E	F	E	G	P	F	E	F/G	P	G/E	E	E	O	O	E	E	F/G	
Hydri	Epichlorhydrin Chlorinated polyethylene	F/G	F/G	F/G	F/G	F/G	F	E	G	P	F	E	E	G	G	O	O	VG	G/VO	F/F	
Viton	Fluoroelastomer	F/G	F/G	G	E	G/E	E	E	E	P	F/F	E	E	VG	G	G	G	G	F/G	E	
Adiprene, Estane	Urethane rubber	E	E	G	F	F	P	F/G	P	P	P	G	G	VG	E	E	VG	F/G	E	F/G	
Nyrel	Polyester elastomer	G	G	E	E	G	P	E	G	G	G	VG	G	VG	E	E	VG	VG	G	F/G	

RATINGS: u = outstanding; e = excellent; VG = very good; G = good; F = fair; P = poor.  
 \* Dupont Elastomers Handbook, p. 189, (April 1974), E. I. duPont de Nemours, Wilmington, Delaware.

Tabla XVIII Nombres comerciales y químicos de algunos polímeros.

Generic or trade name	Chemical name or composition
Epoxy, Epox	Epoxide, epoxy
Phenolic	Phenol-formaldehyde
ABS	Acrylonitrile-butadiene styrene
Silicone	Siloxane
Kal-F	Monochloroorthofluorethylene
PFA	Polytetrafluoroethylene
Teflon (TFE)	Polytetrafluoroethylene
Teflon (FEP)	Fluorinated ethylene propylene
Tecite	Cellulose acetate butyrate
Marlex, Hi-Fax	Polyethylene (linear or high density)
Geon, PVC, Tygon	Polyvinyl chloride
Teslar, Tedlar, PVF	Polyvinyl fluoride
Kynar	Polyvinylidene fluoride
Acrylic, Plexiglas, Lucite	Polymethyl methacrylate
Lexan	Polycarbonate
Irrathene	Irradiated polyethylene
Saran	Polyvinylidene chloride, polyvinyl chloride (copolymers)
Nylar	Polyethylene terephthalate
Dacron fiber	Polyethylene terephthalate
Orlon fiber, Acrilan	Polyacrylonitrile
Nylon (66)	Hexamethylene adipamide
Hi-Film, HT-1 Fiber	Polyimide
Delna	Polyacetal
TAC	Triallyl cyanurate
DAP	Diallylphthalate

Tabla XIX Corrosión provocada por ácidos orgánicos.

Acid	Concentration	Temperature, °F	Aluminum*	Copper & bronze†	Type 304	Type 316	Durimet 20	Duriron
Acetic	50%	75	●	●	○	●	●	●
Acetic	50%	212	x	○	□	●	●	●
Acetic	Glacial	75	●	●	●	●	●	●
Acetic	Glacial	212	○	x	x	○	○	●
Citric	50%	75	○	□	○	○	○	●
Citric	50%	212	□	□	x	○	○	●
Formic	80%	75	○	○	○	●	●	●
Formic	80%	212	x	○	x	○	○	●
Lactic	50%	75	○	○	○	●	●	○
Lactic	50%	212	x	○	x	○	○	○
Maleic	50%	75	○	□	○	○	○	●
Maleic	50%	212	x	—	○	○	○	○
Naphthenic	100%	75	○	○	●	●	●	—
Naphthenic	100%	212	○	x	●	●	●	—
Tartaric	50%	75	○	□	●	●	●	●
Tartaric	50%	212	x	—	○	●	●	●
Fatty	100%	212	●	□	○	●	●	●

Legend: ● Less than 2 mpy, ○ less than 20 mpy, □ from 20 to 50 mpy, x over 50 mpy  
 \*More than 1% water for naphthenic and fatty acids.  
 †Aeration greatly increases corrosion rate.  
 Source: Corrosion Data Survey, NACE.

Tabla XX Tolerancia de algunos materiales a la corrosión por grieta debida a la inmersión en agua de mar estancada.

Inert	Useful resistance			Crevice tend to initiate deep pitting
	Best	Neutral	Less	
Hastelloy® "C"	90/10 copper nickel 1.5 Fe	Aus. nick el cast iron	Incoloy† alloy 825	Type 316
	70/30 copper nickel 0.5 Fe	Cast iron	Alloy 20	Nickel-chromium alloys
Titanium	Bronze	Carbon steel	Nickel-copper alloy Copper	Type 304 Series 400 S/S
	Brass			

®Trademark Union Carbide Corporation.  
 †INCO trademark.

**Tabla XXI Resistencia a la cavitación.**

Based on field experience	Based on laboratory test
Stellite*	1 Stellite*
17-7 Cr-Ni stainless steel weld	2 Two layers 17-7 Cr-Ni stainless steel weld
18-8 Cr-Ni stainless steel weld	3 18-8 Cr-Ni stainless steel weld
Ampeco <sup>†</sup> No. 10 weld	4 Ampeco <sup>†</sup> No. 10 weld
25-20 Cr-Ni weld	5 Cast Ampeco <sup>†</sup> No. 18 bronze
Eutectic-Xyron 2-24 weld	6 Nickel-aluminum bronze
Ampeco <sup>†</sup> bronze castings	7 18-8 Cr-Ni cast stainless
18-8 Cr-Ni cast stainless	8 13% Cr, cast stainless
Nickel-aluminum bronze, cast	9 Manganese bronze, cast
13% Cr cast	10 Cast steel
Manganese bronze, cast	11 Bronze
18-8 stainless spray metallizing	12 Cast iron
Cast steel	13 Sprayed stainless 18-8 Cr-Ni
Bronze	14 Rubber
Rubber	15 Aluminum
Cast iron	16
Aluminum	17

\* Trademark Union Carbide Corporation.  
<sup>†</sup> Trademark Ampeco Metals, Inc.

**Tabla XXII Resistencia a la suciedad de agua de mar.**

Arbitrary rating scale of fouling resistance	Materials
Best 90-100	Copper 90-10 copper-nickel
Good 70-90	Brass & bronze
Fair 50	70-30 copper-nickel, aluminum bronzes, zinc
Very slight 10	Nickel-copper alloy
Least 0	Carbon and low-alloy steels, stainless steels, Hastelloy <sup>‡</sup> —C— Titanium

\* Above 3 ft/sec continuous velocities (about 1.8 knots) fouling organisms have increasing difficulty in attaching themselves and clinging to the surface unless already attached securely.

<sup>‡</sup> Trademark Union Carbide Corporation

Tabla XXIII Composición química de aceros inoxidables.

AISI type	UNS number	%C	%Cr	%Ni	% other elements	Remarks
Group I Martensitic chromium steels						
410	S 41000	0.15 max	11.5-13.5	—	—	Turbine blades, valve trim
416	S 41600	0.15 max	12-14	—	Se, Mo, or Zr	"Free" machining
420	S 42000	0.35-0.45	12-14	—	—	Cutlery
431	S 43100	0.2 max	15-17	1.25-2.5	—	Improved ductility
440A	S 44002	0.60-0.75	16-18	—	—	Very hard; cutters
Group II Ferritic nonhardenable steels						
405	S 40500	0.08 max	11.5-14.5	0.5 max	0.1-0.3 Al	Al prevents hardening
430	S 43000	0.12 max	14-18	0.5 max	—	Auto trim, tableware
442	S 44200	0.25 max	18-23	0.5 max	—	Resists O and S at high temperatures
446	S 44600	0.20 max	23-27	0.5 max	0.25N max	}
Group III Austenitic chromium-nickel steels						
201	S 20100	0.15 max	16-18	3.5-5.5	3.0-7.5 Mn 0.25N max	Mn substitute for Ni
202	S 20200	0.15 max	17-19	4-6	7.5-10 Mn 0.25N max	Mn substitute for Ni
301	S 30100	0.15 max	16-18	6-8	2 Mn max	Strain hardens
302	S 30200	0.15 max	17-19	8-10	2 Mn max	Architectural uses
302B	S 30215	0.15 max	17-19	8-10	2-3 Si	Si for high-temp. oxidation
304	S 30400	0.08 max	18-20	8-12	1 Si max	Continuous 18-8S
304L	S 30403	0.03 max	18-20	8-12	1 Si max	Very low carbon
308	S 30800	0.08 max	19-21	10-12	1 Si max	"High" 18-8
309	S 30900	0.2 max	22-24	12-15	1 Si max	25-12, best resistance
309S	S 30908	0.08 max	22-24	12-15	1 Si max	Lower carbon
310	S 31000	0.25 max	24-26	19-22	1.5 Si max	25-20, best resistance
310S	S 31008	0.08 max	24-26	19-22	1.5 Si max	Lower carbon
314	S 31400	0.25 max	23-26	19-22	1.5-3.0	Si for high-temp. oxidation
316	S 31600	0.10 max	16-18	10-14	2-3 Mo	18-8S Mo
316L	S 31603	0.03 max	16-18	10-14	2-3 Mo	Very low carbon
317	S 31700	0.08 max	18-20	11-14	3-4 Mo	Higher Mo
321	S 32100	0.08 max	17-19	8-11	Ti 4 x C(min)	Ti stabilized
347	S 34700	0.08 max	17-19	9-13	Cb + Ta 10 x C(min)	Cb stabilized
Alloy 20*	J95150	0.07 max	29	20	3.25 Cu, 2.25 Mo	Best corrosion resistance
Group IV Age-hardenable steels*						
322	—	0.07	17	7	0.07 Ti, 0.2 Al	
17-7PH†	S 17700	0.07	17	7	1.0 Al	
17-4PH†	S 17400	0.05	16.5	4.25	4.0 Cu	
14-8MoPH†	S 13500	0.05 max	14	8.5	2.5 Mo, 1% Al	
AM350†	S 35000	0.10	16.5	4.3	2.75 Mo	
CD4MCu‡	—	0.03	25	5	3.0 Cu, 2.0 Mo	

\*Typical compositions

†Commercial designations

‡Cast form only

Tabla XXIV Propiedades mecánicas nominales del acero inoxidable.

Material	Condition	Tensile strength, lb/in. <sup>2</sup>	Yield point, lb in. <sup>2</sup> 0.2% offset	Elongation, % in 2 in.	Hardness	
					Rockwell	Brinell
Type 410	Annealed	75,000	40,000	30	B82	155
Type 410	Hardened, tempered at 600 F	180,000	140,000	15	C39	375
Type 410	Hardened, tempered at 1000 F	145,000	115,000	20	C31	300
Type 420	Annealed	95,000	50,000	25	B92	195
Type 420	Hardened, tempered at 600 F	230,000	195,000	25	C50	500
Type 440A	Annealed	105,000	60,000	20	B95	215
Type 440A	Hardened, tempered at 600 F	260,000	240,000	5	C51	510
Type 430	Annealed	75,000	45,000	30	B82	155
Type 446	Annealed	80,000	50,000	23	B86	170
Type 301	Annealed	110,000	40,000	60	B85	165
Type 301	Cold-worked, 1/2 hard	150,000	110,000	15	C32	320
Type 304	Annealed	85,000	35,000	55	B80	150
CF-8	Annealed (15% ferrite)	87,000	47,000	52	—	150
Type 304L	Annealed	80,000	30,000	55	B76	140
Type 310	Annealed	95,000	40,000	45	B87	170
Type 347	Annealed	92,000	35,000	50	B84	160
Alloy 20	Annealed	85,000	35,000	50	B84	160
17-7PH	Annealed	130,000	40,000	35	B85	165
17-7PH	Aged at 950 F	235,000	220,000	6	C48	480
17-7PH	aged at 900 F	200,000	175,000	12	C44	420
14-8Ni-PH	Annealed	130,000	50,000	30	B85	162
14-8Ni-PH	Cold-rolled, aged at 900 F	280,000	270,000	2	C52	520
AM350	Annealed	160,000	55,000	40	B95	215
AM350	Aged at 950 F	220,000	190,000	13	C45	450
CD4MCu	Annealed	105,000	85,000	20	C25	240
CD4MCu	Aged at 950 F	140,000	120,000	15	C31	310

Figura I Diagrama de equilibrio del acero al carbón.

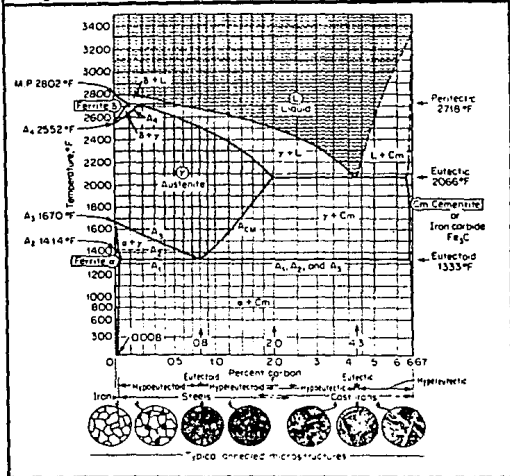


Figura II Curvas que ilustran la resistencia relativa a esfuerzo - corrosión - rompimiento sobre aceros inoxidables comerciales que contienen un 42 % de MnCl.

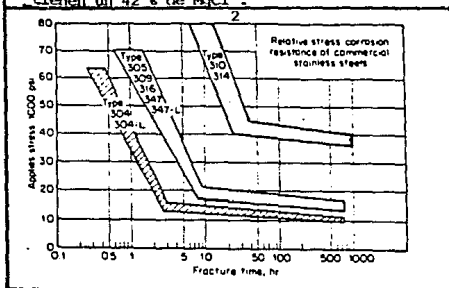
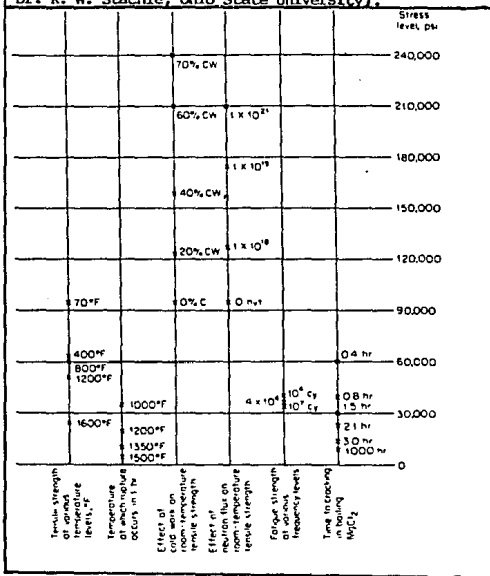


Figura III Comparación de niveles de esfuerzo vs. diferentes mecanismos de corrosión por tensión. Material : Acero inoxidable tipo 304. (Courtesy Dr. R. W. Stachle, Ohio State University).





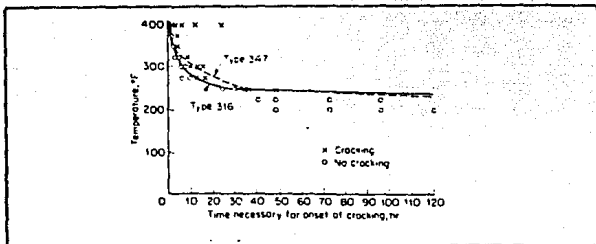


Figura IV Efecto temperatura - tiempo sobre el rompimiento inicial de los aceros inoxidable tipo 316 y 347 en agua que contiene 875 ppm de NaCl. (W.W. Kirk, F.H. Beck, M.G. Fontana. Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steels in High Temperature Chloride Waters, in T. Rhodin (ed.) Physical Metallurgy of Stress Corrosion Fracture, Interscience Publishers, Inc., New York, 1959.)

Body material	Trim		
	Brass or bronze	Nickel copper alloy	Type 316
Cast iron	Protected	Protected	Protected
Austenitic nickel Cast iron	Protected	Protected	Protected
M or G bronze 70/30 copper nickel	May vary (1)	Protected	Protected
Nickel copper alloy	Unsatisfactory	Neutral	May vary (2)
Alloy 20	Unsatisfactory	Neutral	May vary (2)

(1) Bronze trim commonly used. Trim may become anodic to body if velocity and turbulence keep stable protective film from forming on seat.

(2) Type 316 is so close to nickel-copper alloy in potential that it does not receive enough cathodic protection to protect it from pitting under low velocity and crevice conditions.

Figura V Compatibilidad galvánica - válvulas y bombas nuevas.



Figura VII Efecto de la velocidad de agua de mar sobre la corrosión en tuberías.

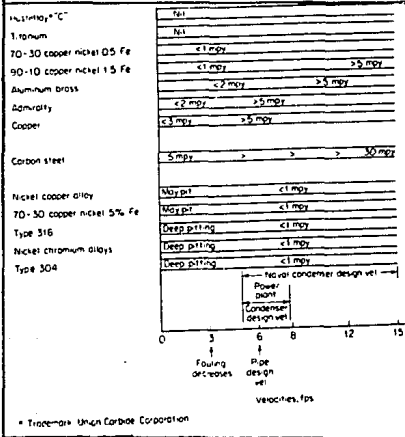
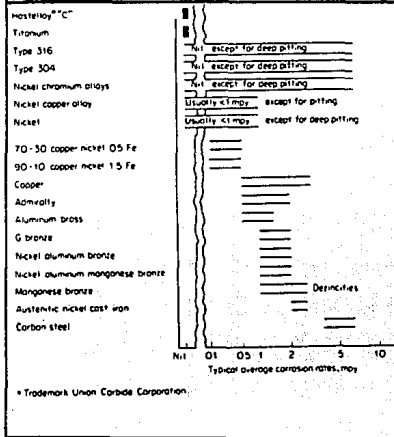


Figura VIII Corrosión de metales y aleaciones en agua de mar estancada, menos de 2 pies/año



Solid metal	Liquid metal and melting point in °C													
	Hg (-38)	Pb (327)	Ga (29.8)	In (15.7)	Sn (231.9)	B (27.3)	Pb (327)	In (15.7)	Li (180)	Tl (303)	Cd (321)	Zn (419.5)	Sb (630.5)	Mg (650)
Ferrous metals at °C														
Pure iron	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Carbon steel (soft or mild)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Gray cast iron	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
12 to 20% Cr irons	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2 to 9 Cr steel (T, Mn, Si)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Low-Cr steel (V, Mn, Si)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	(b)
Cr-Ni austenitic stainless	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
High-speed toolsteel	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
High-nickel steel	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Nonferrous metals														
Aluminum	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
B, Co, Cd, Pb, Sb, Sn	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Beryllium	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Chromium	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Copper (± Sn, Be)	(c)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aluminum bronze	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Brass, In-bronze	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Manganese	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Molybdenum	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Nickel	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Hastelloys A, B, C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
High-Ni and Ni-Cr alloys	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Niobel and Ni-Cu alloys	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Columbium	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Platinum, gold, silver	(d)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Silicon	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Co-Cr alloys (Stellite)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tantalum	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Titanium	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tungsten	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Zirconium	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Degree of resistance:  Good  Fair  Poor

Attack, % by wt:  <10  10 to 100  >100

Truncated or special shapes indicate that data are for melting point of liquid metal.

(a) Vanadium steel, limited resistance of 660°C  
 (b) Beryllium-copper, good at 500 and 600°C  
 (c) Platinum, good at 300 and 600°C  
 (d) No data for these temperatures

(a) Data are for static systems, ferrous cast alloys by melting metal in contact with (1% or Mg)

Figura IX Sumario condensado de la resistencia de materiales en metales líquidos a 300, 600 y 800 °C.

Tabla XXVI Composición típica de algunos materiales.

Material	C, %	Cr, %	Cu, %	Fe, %	Mn, %	Mo, %	Ni, %	Si, %	Other Elements, %
Admiralty metal.....	—	—	70	—	—	—	—	—	Zn, 29; Sn, 1
Aluminum 25.....	—	—	—	—	—	—	—	—	Al, 99.5+
Aluminum 35.....	—	—	0.1	0.5	1.25	—	—	—	Al, 97.7
Brass, admiralty.....	—	—	71	—	—	—	—	—	Zn, 28; Sn, 1
Brass, aluminum.....	—	—	76	—	—	—	—	—	Al, 2; Zn, 22
Brontze, silicon.....	—	—	96	—	—	—	—	3	—
Carpenter 20 alloy.....	—	20	4	44	—	—	3	29	—
Copper, arsenical.....	—	—	99.9+	—	—	—	—	—	As, 0.04
Croloy 2% alloy.....	0.15	2.25	—	96.1	—	1.0	—	0.5	—
Cupro-nickel, 70-30.....	—	—	69.3	0.75	—	—	30	—	—
Cupro-nickel, 90-10.....	—	—	88.8	1.25	—	—	10	—	—
Duimet 20 alloy.....	0.07	20	3.5	45.7	—	1.75	29	—	—
Duiron.....	0.85	—	—	84.7	—	—	—	—	14.5
Hastelloy B alloy.....	0.1	—	5	—	28	62	—	—	—
Hastelloy C alloy.....	0.1	16	—	5	—	16	55	—	W, 4
Incoloy alloy 800.....	0.04	21	0.3	45.3	1	—	32	—	0.4
Inconel alloy 600.....	0.04	15.8	0.1	7	0.20	—	76	20	—
Iron, cast.....	3.4	—	—	94.3	0.5	—	—	—	1.8
Lead.....	—	—	—	—	—	—	—	—	Pb, 99.95
Monel alloy 400.....	0.12	—	31.5	1.4	1	—	66	—	0.15
Monel alloy K-500.....	0.15	—	29.5	1.0	0.60	—	65	—	0.15
Nickel 200.....	0.06	—	0.05	0.15	0.25	—	99.4	—	—
Nickel silver, 18%.....	—	—	65	—	—	—	18	—	Zn, 17
Ni-Hard alloy.....	3.4	1.5	—	89.5	0.5	—	4.5	0.6	—
Ni-Resist, Type I.....	2.8	2.5	6.5	69.6	1.3	—	15.5	1.8	—
Ni-Resist, Type II.....	2.8	2.5	—	71.9	1.0	—	20.0	1.8	—
Steel, carbon-molybdenum.....	0.15	—	—	99.4	—	0.5	—	—	—
Steel, low-carbon, electric-resistance-welded, ASTM A587-68.....	0.1	—	—	99.5	0.4	—	—	—	P, 0.01; S, 0.02; Al, 0.05
Steel, mild (SAE 1020).....	0.2	—	—	99.1	0.45	—	—	—	0.25
Steel, Ni-Cr (SAE 3140).....	0.4	0.65	—	96.7	0.8	—	1.25	0.25	—
Steel, stainless									
AISI Type 30, or ASTM A312-64, Gr. TP-304.....	0.06	18	—	72	—	—	10	—	—
AISI Type 316, or ASTM A312-64, Gr. TP-316.....	0.07	18	—	67.4	—	2.5	12	—	—
AISI Type 347.....	0.07	18	—	70.2	—	—	11	—	Cb, 0.7
Tantalum.....	—	—	—	—	—	—	—	—	Ta, 99.9+
Titanium (Ti-50A).....	0.08	—	—	0.20	—	—	—	—	N, 0.05 max.; H, 0.015 max.
max.									
Worthite alloy.....	0.07	20	1.75	46.7	—	3	25	3.5	—

Tabla XXVII Corrosiones Típicas y Prevenciones.

Solvent	Type*	Condi- tions, <sup>b</sup> °C	Components, impurities	Metal corroded	Type of attack <sup>c</sup>	Prevention
<b>Alcohols</b>						
Methanol	p: 1C	BP	< 0.05% H <sub>2</sub> O	Al	Uniform + pitting	Add 1% H <sub>2</sub> O
Methanol	p: 2C	RT	Chlorides	Ti	SCC + HE	Eliminate Cl, add H <sub>2</sub> O
Methanol	p: 2C	RT	Methyl formiate	Carbon steel, Zn	Uniform	Eliminate methyl formiate
Ethanol	p: 2C	RT	20% HCl	Ti	5 mm/yr Pitting	9-30% H <sub>2</sub> O Add 1% H <sub>2</sub> O
Ethanol	p: 1C	BP	< 0.05% H <sub>2</sub> O	Al	Uniform, pitting	Deaeration, eliminate chlorides
Ethanol	p: 3C	RT-BP	Halogenides, oxygen	Steel, cast iron	Uniform, pitting	Deaeration, eliminate chlorides
Glycol monomethyl ether	p: 1C	40	—	Al	Pitting	Add 1% H <sub>2</sub> O
Ethylene glycol, glycerol	p: 3C	140	NaCl, H <sub>2</sub> O	AISI 304, 316	Pitting, crevice, corrosion	Use Monel, Inconel, nickel
Phenol	p: 2C	120-180	< 0.3% H <sub>2</sub> O	Al	Pitting	Add > 0.3% H <sub>2</sub> O
Cresole	p: 2C	180	Na phenolate	Carbon steel	Uniform	Use AISI 304
	ap: 3C	125	H <sub>2</sub> O + HCl	Monel, Si bronze	Uniform	Enamel, porcelain, glass
<b>Acids and compounds</b>						
Formic acid	p: 2C	RT-BP	Oxygen	Cu, Cu alloys	Uniform	Deaeration, temperature decrease, use Carpenter 20
Formic acid	p: 2C	BP	3-10% H <sub>2</sub> O	AISI 304, 316	Uniform	Hastelloy C < 0.1% H <sub>2</sub> O
Formic acid + acetic acid	p: 3C	110	27% acetic acid 3% H <sub>2</sub> O	Ti	1 mm/yr Uniform + HE	Hastelloy C
Acetic acid	p: 2C	BP	Acetic anhydride	Al, Ti	Uniform	Hastelloy C, add H <sub>2</sub> O
Acetic acid	p: 2C	RT-BP	Oxygen	Cu, Cu alloys	Uniform 7 mm/yr	Deaeration, temperature decrease
Acetic acid	p: 2C	BP	H <sub>2</sub> O	AISI 316, 317, Inconel	Uniform	Ti Hastelloy C
Acetic acid	p: 2C	-BP	Chlorides, inorganic, organic	AISI 316	SCC	Ta; eliminate Cl; tempera- ture decrease
Acetic acid + CO	p: 2C	250	Co acetate; KI	AISI 316	Uniform	Ti, Zr, Ta, Hastelloy B
Acetic acid	p: 3C	RT-90	1% Chloride 1% H <sub>2</sub> O	AISI 304	Pitting	Ti; Eliminate Cl
Acetic acid Phthalic acid anhydride	p: 2C p: 3C	RT-BP 210	Fluorides Maleic acid, H <sub>2</sub> O	Ti AISI 304	Uniform Uniform	Hastelloy C AISI 316
Formic acid + acetic acid + ethyl acetate	p: 3C	90	H <sub>2</sub> O, HCOOH propionic acid	AISI 316 Monel	Uniform	Hastelloy C, Ti

continuación ...

Acids and compounds (continued)						
Acetic acid + toluene	p: 3C	90	Oxygen	C or 17% Cr steel	0.5 mm.yr 0.2 mm.yr	AISI 316 Silicon iron
Mono- + trichloroacetic acid	p: 2C	RT		AISI 316 Ti, Zr	Uniform	
Mono- + di- + trichloroacetic acid	p: 5C	150	Cl <sub>2</sub> + HCl	All metals	Uniform	Enamel coating
42% Butylacetate + 30% acetic acid + 18% propionic acid + 9% propylacetate	p: 4C	BP		AISI 316	Pitting	Ti
Cyanogen chloride + dichloromethane	ap: 4C	20	Cl <sub>2</sub> + HCl	AISI 316	4 mm.yr	Nickel plating
Dimethylformamide	ap: 4C	100	H <sub>2</sub> O + formic acid + dimethylamine	Carbon steel	Uniform	Eliminate H <sub>2</sub> O < 0.1% H <sub>2</sub> O
Aldehydes, esters, amides, mercaptans						
Butyric aldehyde	ap: 3C	RT	Air + butyric acid	Cu	Discoloration	Eliminate air + acid
Benzaldehyde	ap: 2C	RT	Chlorides	Al, Al alloys	Uniform	Eliminate Cl
Benzaldehyde	ap: 2C	BP	Chlorides	AISI 316	Pitting	Eliminate Cl
Methyl ethyl ketone	ap: 2C	RT	H <sub>2</sub> O	Carbon steel, steel, cast iron	Discoloration	Deaeration, Drying, use galvanized steel
Ethyl acetate	ap: 2C	RT	Acetic acid	Carbon steel, cast iron	Discoloration	Deaeration drying, use galvanized steel
Methylamines	p: 2C	RT	Oxygen	Al, Cu, Cu alloys	Uniform ISCC	Carbon steel, cast iron
Triethanolamine	p: 2C	RT	Oxygen	Cu, Cu alloys	Uniform ISCC	Carbon steel, cast iron
Aniline	p: 2C	BP	Oxygen	Al, steel	Uniform	AISI 316, eliminate air
Pyridine sulfate	ap: XC	102	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + carbolic oil	AISI 304, 316	Pitting, crevice corrosion	Nionet, Carpenter 20
Ethylene oxide	ap: 1C	RT		Cu, Cu alloys	Explosive	AISI 304
Ethyl mercaptan	p: 1C	100		Steel, cast iron, Cu, Cu alloys, Ni, Pb, Ag	Uniform, voluminous products	Al, Al alloys, Cr plating
Mercaptan in naphtha	p: XC	RT	H <sub>2</sub> O, oxygen	Cu, Cu alloys, Ni, Ni alloys, Ag	Uniform	Al, Al alloys, Cr plating

continuación . . .

Hydrocarbons, halogenated hydrocarbons						
Chloroform	ap: 3C	BP	H <sub>2</sub> O + HCl	Al, Al alloys, AISI 304, 316	Pitting tSCC	Stabilization (0.1% aniline, < 0.05% H <sub>2</sub> O)
Epichlorhydrin	ap: 3C	RT	H <sub>2</sub> O + HCl	Cu alloys, AISI 304, 316	Pitting tSCC	Enamel coating
Ethyl ether	ap: 2C	RT-BP	Acids + H <sub>2</sub> O	Steel, cast iron	Discoloration	Galvanized steel
Carbon tetra- chloride	ap: 3C	BP	H <sub>2</sub> O + HCl	Al, Cu, Cu alloys, steel 304, 316, Ti	Explosive, pitting, SCC, HE	Stabilization, inhibition, neutralization, drying
Ethylene dibromide	ap: 3C	BP	H <sub>2</sub> O + HBr	Al, steel, Cu, 304, 316, Ni, Hastelloy B, C	Explosive, uniform pitting	< 0.02% H <sub>2</sub> O stabilization, neutralization, 17% Cr steel
Dichloroethane + ethylene	ap: 4C	150	H <sub>2</sub> O + HCl	Ni, Ni alloys, AISI 316	Uniform tSCC	Ta plating
Hexachloro- ethane + perchloro- ethylene + Cl <sub>2</sub>	ap: 4C	RT	H <sub>2</sub> O + FeCl <sub>3</sub>	Steel, alloys, cast iron, Ni, Ni alloys, Hastelloy C	9 mm yr 3.5 mm yr 1.3 mm yr 2 mm yr	Lead plating, enamel coating
Dichloro- benzene	ap: 3C	BP	H <sub>2</sub> O + HCl	17% Cr steel, AISI 304	11 mm yr Pitting tSCC	Stabilization, eliminate H <sub>2</sub> O and HCl
Benzene	ap: 3C	RT	Butyric acid, oxygen	Carbon steel	0.7 mm/yr	Eliminate oxygen
Hydrocarbons	ap: 3C	RT	H <sub>2</sub> O + HCl	Carbon steel	Uniform	Eliminate HCl, H <sub>2</sub> O < 0.3 H <sub>2</sub> O sat.
Hydrocarbons + aqueous solution	p: 4C 2P	RT	H <sub>2</sub> O + NaCl + oxygen	Carbon steel	Uniform, crevice- corrosion	Inhibition
Crude oil	ap: XC	220	Naphthenic acids	Steel, 6% Cr steel, AISI 304	Uniform, pitting, erosion corrosion	Neutralization of acids + AISI 316, Cr 25 Ni 20 steel Ni alloys
Diphenyl	ap: 3C	230	H <sub>2</sub> O + chlorides	AISI 304	Rusting, pitting, tSCC	Eliminate Cl and H <sub>2</sub> O

\*Key: p, protic; ap, aprotic; IC, one component; 2C, two components; 3C, three components; XC, components unknown; 2P, two phases.

\*RT, room temperature; BP, boiling point.

\*HE, hydrogen embrittlement; tSCC, intergranular stress corrosion cracking; tSCC, transgranular stress corrosion cracking.

Monel: 63-70% Ni, max. 2.5% Fe, 0.3% C, remainder Cu.

Inconel 600: min. 72% Ni, 14-17% Cr, 6-10% Fe, max. 0.15% C.

Carpenter 20: 20% Cr, 29% Ni, 2% Mo, 3% Cu, 1% Si.

Hastelloy C: 14.5-15.5% Cr, 15-17% Mo, 4-7% Fe, max. 0.08 C, remainder Ni.

Hastelloy B: 26-30% Mo, 4-6% Fe, max. 0.05% C, max. 1% Cr, remainder Ni.

Source: Ewald Heitz, Corrosion of Metals in Organic Solvents, in *Advances in Corrosion Science and Technology*, vol. 4, pp. 226-229, Plenum Press, New York, 1974.



## BIBLIOGRAFIA

1. A. S. Krisher  
"Metals Testing"  
Chemical Engineering, October 12, 1970, pp. 47-51
2. Cecilia Husen et. al.  
"Metals"  
Chemical Engineering, October 12, 1970, pp. 15-22
3. C. P. Dillon-Editor  
"Forms of Corrosion, Recognition and Prevention"  
An Official Nace Publication
4. Donald R. Askeland  
"La Ciencia e Ingeniería de los Materiales"  
Grupo Editorial Iberoamericano, México, 1987
5. Gutiérrez Jacinto, Abel et. al.  
"Selección de los Materiales en Ingeniería Química"  
F.E.S.-Cuautitlán
6. Hebert H. Ulrich  
"Procesos de Ingeniería Química"  
Edit. Interamericana, México, 1986
7. HF. Rase and M. H. Barrow  
"Ingeniería de proyectos para Plantas de Proceso"  
C.E.C.S.A., México, 1984
8. James A. Sayer  
"Brittle Materials"  
Chemical Engineering, December 4, 1972, pp. 51-56
9. Mars G. Fontana  
"Corrosion Engineering"

10. Michael Henthorne  
"Fundamentals of Corrosion"  
Chemical Engineering, May 7, 1971, pp. 127-132
11. Michael Henthorne  
"Materials Selection for Corrosion Control"  
Chemical Engineering, March 6, 1972, pp. 113-118
12. Michael Henthorne  
"Measuring Corrosion in the Process Plant"  
Chemical Engineering, August 23, 1971, pp. 89-94
13. Michael Henthorne  
"Stress Corrosion"  
Chemical Engineering, September 20, 1971, pp. 159-164
14. D. J. Britton et. al.  
"Linings"  
Chemical Engineering, October 12, 1970, pp. 127-135
15. Richard Flinn and Paul K. Trojan  
"Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones"  
Mc. Graw Hill, México, 1989
16. Robert H. Perry  
"Chemical Engineers Handbook"  
Mc. Graw Hill, USA, 1980
17. Sydeney H. Avner  
"Introducción a la Metalurgia Física"  
Mc. Graw Hill, México, 1979

18. W. P. Long et. al.

"Economics"

Chemical Engineering, October 12, 1970, pp. 41-46