

6

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"CUAUTITLAN"



## ACEROS INOXIDABLES

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
MARINA EDELMIRA ESQUIVEL GOMEZ

DIRECTOR DE TESIS: I. Q. M. RAFAEL SAMPERE

**FALLA DE ORIGEN**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. MEX.

1989





## **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.

# TITULO

## " ACEROS INOXIDABLES "

INTRODUCCION.

CAPITULO	I	CLASIFICACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES.
CAPITULO	II	CORROSION DE LOS ACEROS INOXIDABLES.
CAPITULO	III	PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES.
CAPITULO	IV	SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE.
CAPITULO	V	EJEMPLO DE APLICACION DEL ACERO INOXIDABLE: INDUSTRIA EMBOTELLADORA.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

# I N D I C E

	PAG.
Introducción . . . . .	1

## CAPITULO I

Clasificación de los aceros inoxidables . . .	3
1.1 Generalidades . . . . .	3
1.2 Microestructura de los aceros inoxidables . . . . .	4
1.3 Clasificación general de los aceros inoxidables . . . . .	8
1.4 Clasificación según su estructura metalográfica . . . . .	18
Aceros Martensíticos . . . . .	18
Aceros Ferríticos . . . . .	21
Aceros Austeníticos . . . . .	22
1.5 Clasificación en base norma A.I.S.I. . . . .	28
1.6 Clasificación de productos de acero inoxidable por tamaño, forma y acabado . . . . .	28
1.7 Aceros inoxidables más utilizados en la Industria nacional . . . . .	33
1.8 Disponibilidad en el mercado nacional . . . . .	45

## CAPITULO II

Corrosión de los aceros inoxidables . . . . .	46
2.1 Generalidades . . . . .	46
2.2 Influencia de los elementos de aleación en la resistencia a la corrosión . . . . .	47
2.3 Principios químicos de la corrosión . . . . .	49
2.4 Tipos de corrosión en los aceros inoxidables . . . . .	56
Corrosión uniforme . . . . .	56
Corrosión por picaduras . . . . .	56
Corrosión por contacto . . . . .	57

	PAG.
Corrosión bajo tensión . . . . .	58
Corrosión intergranular . . . . .	59
Corrosión galvánica . . . . .	60
2.5 Influencia de los ácidos y bases orgánicos e inorgánicos en los aceros inoxidables . . . . .	66
2.6 Inhibición y protección de la corrosión en los aceros inoxidables . . . . .	74
2.7 Prevención de la corrosión . . . . .	78

### CAPITULO III

Propiedades mecánicas de los aceros inoxidables . . . . .	80
3.1 Propiedades mecánicas . . . . .	80
3.2 Métodos de determinación de las propiedades mecánicas . . . . .	82
Ensayo de tensión . . . . .	82
Ensayo de dureza . . . . .	86
Ensayo de resiliencia . . . . .	91
Ensayo de fatiga . . . . .	93
Ensayo de flexión . . . . .	94
Ensayo de torsión . . . . .	94
3.3 Propiedades mecánicas de los aceros inoxidables . . . . .	95

### CAPITULO IV

Soldadura del acero inoxidable . . . . .	98
4.1 Generalidades . . . . .	98
4.2 Procesos de soldadura para acero inoxidable . . . . .	100
Soldadura con soplete oxiacetilénico . . . . .	100
Soldadura eléctrica por arco . . . . .	100
Soldadura por resistencia . . . . .	103
Soldadura por puntos . . . . .	104
Soldadura fuerte . . . . .	105
Soldadura blanda . . . . .	106
4.3 Clasificación de barras y electrodos . . . . .	107

	PAG.
4.4 Electroodos revestidos de acero al cromo y al cromo-niquel resistentes a la corrosión . . . . .	111
4.5 Barras y electrodos sencillos para soldadura de aceros al cromo y al cromo-niquel resistentes a la corrosión . . . . .	114

CAPITULO V

Ejemplo de aplicación del acero inoxidable: Industria embotelladora . . . . .	116
5.1 Descripción del proceso . . . . .	116
5.2 Tratamiento de aguas . . . . .	117
5.3 Producción de jarabes . . . . .	120
5.4 Proceso de embotellado . . . . .	124
5.5 Equipos que utilizan acero inoxidable . . . . .	131
 Conclusiones . . . . .	 132
 Bibliografía . . . . .	 134

## INTRODUCCION.

El desarrollo original de lo que son actualmente los aceros inoxidables, aconteció en los albores de la primera guerra mundial. En forma independiente y casi simultánea, en Inglaterra y Alemania se des cubrieron los aceros inoxidables tal como los conocemos ahora.

Las propiedades y composiciones de los aceros inoxidables se mantuvieron en secreto por los países beligerantes mientras duró la primera guerra mundial. Posteriormente, a partir de las pocas aleaciones experimentadas en 1920, y de un limitado número de grados comercialmente disponibles en 1930, la familia de aceros inoxidables ha crecido en forma impresionante.

Para el Ingeniero Químico si se dedica a proceso, proyectos o cualquier rama dentro de su desarrollo profesional, no se puede decir que sea indispensable el conocimiento sobre este tipo de materiales, - pero sí de gran utilidad.

Primero, conociendo sus propiedades y clasificación, para posteriormente si es necesario el profundizar en su comportamiento químico y mecánico en un medio determinado.

El presente trabajo no tiene como objetivo el dar una guía para un uso específico. El objetivo principal es el de dar una introducción sobre las características y usos de los aceros inoxidables para una mejor comprensión de los mismos por los Ingenieros Químicos y profesionistas afines y así tener una visión para su selección y aplicación.

Es indudable que los altos costos y la cada vez mayor utilización de los aceros inoxidables en la actualidad nos debe conducir a tener que establecer un cuerpo de conocimientos de estos materiales práctico y útil, para los fines deseados.

Las industrias que emplean este tipo de materiales, ven en ellos la mejor opción para obtener los productos finales sin contaminación, esto dentro de la industria alimenticia, resistencia a la corrosión para fluidos de la industria química, o bien, procesos a altas - temperaturas en ciertas industrias de transformación.

Los ejemplos que se pudieran dar, se antojan infinitos, pero - no es el caso de este trabajo. A modo de ilustrar un ejemplo representativo de la utilización de los aceros inoxidables, se mencionará el

de la industria embotelladora de bebidas carbonatadas.

Debemos también de considerar que el presente trabajo es solo una introducción a los aceros inoxidables, ya que existe una gran variedad de ellos a nivel internacional, y que, solo se mencionarán los más empleados en nuestro ámbito nacional y disponibles en el mercado.



## CAPITULO I.

## CLASIFICACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

## 1.1 GENERALIDADES.

El acero inoxidable es un material cuyas propiedades intrínsecas le proporcionan infinidad de aplicaciones. El acero inoxidable no es una aleación particular que tenga una composición química definida.

El acero inoxidable es el término utilizado para identificar a un gran grupo de aleaciones especiales a base del elemento hierro. Generalmente se entiende por acero inoxidable una aleación a base de hierro que contiene como mínimo 11% de cromo. Esta definición es la más frecuentemente usada.

Por otra parte, los aceros inoxidables mantienen una composición uniforme. Este atributo es el resultado del óxido de cromo no reactivo que de manera natural se forma al contacto con el oxígeno y provoca un proceso de autoregeneración constante en su superficie, con los admirables resultados de autoconservación conocidos.

Todos los aceros inoxidables contienen algo de carbón. Esto es virtualmente inevitable. A mayor contenido de carbón en el acero se requiere, de igual manera, una cantidad mayor de cromo para lograr su anticorrosividad. Sin embargo, el carbón proporciona al acero mayor resistencia a la tensión, en muchos casos necesaria en grado máximo.

Otros elementos se adicionan para mejorar la anticorrosividad, lograr una variada gama en la resistencia del acero o para alcanzar niveles óptimos en el soldado, formado y troquelado del material. Sobre salen como elementos adicionales el molibdeno, el manganeso, cobre, aluminio, selenio, titanio, azufre, fósforo y níquel. Particularmente éste último aumenta considerablemente las cualidades anticorrosivas del acero.

Combinados los atributos mencionados y siendo susceptibles a ser ajustados para cumplir con las necesidades de infinidad de usos, hacen que el acero inoxidable sea útil para fabricar todo tipo de utensilios y aparatos tanto de empleo doméstico como comercial o industrial.

Como ya se mencionó, el acero inoxidable pertenece a un gran

grupo de aleaciones especiales a base del metal hierro. Debido a esta característica es necesario un estudio previo del diagrama Hierro-Carbono para entender las diferentes microestructuras que presentan los aceros inoxidables.

## 1.2 MICROESTRUCTURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

El hierro y el acero son tan ampliamente utilizados y tan baratos, que al principio parecen poco llamativos comparadas con las aleaciones de cobre llenas de colorido y las aleaciones livianas con aplicaciones poco comunes en las industrias de la aviación y espacial. Sin embargo, algunos de los materiales más avanzados tales como los aceros inoxidables especiales para resistencia a la corrosión, las aleaciones para servicio en altas temperaturas en turbinas de gas y el hierro dúctil para fundiciones, están basadas en el metal hierro.

En las aleaciones, son la composición y la disposición de los cristallitos resultantes de la solidificación las que deciden las propiedades del material. La especie cristalina de una aleación dependerá tanto del modo de formarse en la solidificación y enfriamiento ulterior, como de la temperatura a la que se encuentra el material. Es importante por tanto, el proceso de formación. La especie cristalina y el proceso de formación de una aleación se deducen de su diagrama de estado.

### DIAGRAMAS DE ESTADO.

Estos diagramas se usan por lo general, para aleaciones binarias. En el caso de tres y más componentes las relaciones son más difíciles de representar, pero existen también bases para hacerlo.

En un diagrama de estado se representa en las ordenadas la temperatura y en las abscisas la composición de la aleación en equilibrio la cual se expresa casi siempre en porcentaje en peso. Las líneas que indican la temperatura a la que comienza la solidificación se denominan curvas de "liquidus"; por encima de ellas, las aleaciones son fluidas. Aquellas otras por debajo de las cuales las aleaciones son sólidas se denominan curvas de "solidus". Entre ambas se encuentra la zona del metal mezclado con cristales.

## DIAGRAMA HIERRO-CARBONO.

Mientras que la mayoría de los metales y aleaciones conservan su constitución reticular, ordenada y definida, hasta su punto de fusión, algunos otros, como el hierro o el zinc, son capaces de cambiar de estructura cristalina a ciertas temperaturas. Tales metales sufren por tal motivo, por calentamiento o por enfriamiento, procesos de transformación en los que varían sus propiedades.

El hierro se presenta en modificaciones alotrópicas, siendo polimorfo. El paso de una estructura a otra va acompañado, a determinadas temperaturas, por efectos térmicos, que se manifiestan, en el enfriamiento o calentamiento, por cesión o absorción de calor.

Las curvas de enfriamiento y de calentamiento del hierro puro en estado sólido muestran, por consiguiente, diferentes puntos críticos.

Basándonos en el diagrama de la figura no. 1 se describirán las características de las estructuras más comunes de los aceros en general.

Primero se examinarán las fases individuales. Comenzando con el hierro puro, a la izquierda vemos tres fases sólidas: alfa ( $\alpha$ ), gama ( $\gamma$ ) y delta ( $\delta$ ). Si comenzamos con alfa a 20°C y calentamos lentamente, alfa se transforma en gama a 910°C, se continúa el calentamiento y gama se transforma en delta a 1393°C y delta se funde finalmente a 1538°C.

### -- FERRITA.

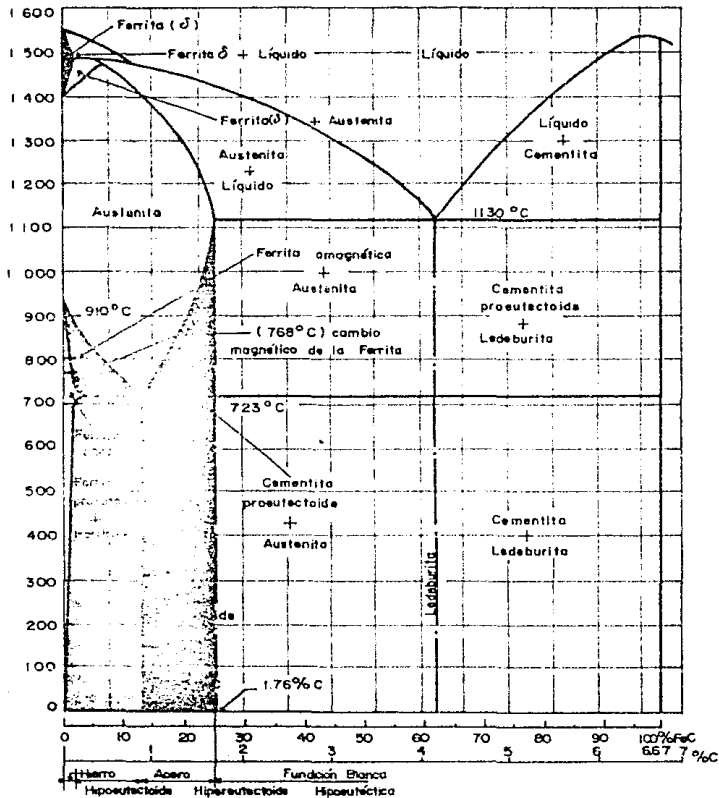
Es el hierro alfa ( $\alpha$ ) o hierro casi puro. Es el constituyente más blando (resistencia a la tensión=R=28 rg/mm<sup>2</sup>; Alargamiento=A=35%). Resulta muy dúctil, maleable y magnético. Se encuentra libre en los aceros de menos de 0.89% de carbono. En los aceros con carbono superior a 0.89% forma la matriz de los carburos de hierro (cementita) después de un recocido oscilante a temperaturas próximas al punto crítico (723°C). El contorno de los granos es ligeramente curvilíneo.

### -- AUSTENITA.

Es solución sólida de carbono en hierro gama ( $\gamma$ ). Resulta ---

Figura no. 1

## DIAGRAMA HIERRO - CARBONO



blanda, dúctil, tenaz y amagnética. El contorno de los granos es rectilíneo. Es estable por encima del punto crítico (723°C). Es el constituyente de los aceros inoxidables y refractarios a temperatura ambiente. Su resistencia varía de 60 a 90 kg/mm<sup>2</sup>.

--MARTENSITA.

La martensita puede considerarse como una solución sólida de carbono en ferrita sobresaturada y distorsionada. Su dureza oscila entre 50 y 68 Dureza Rockwell C y es uno de los constituyentes más duros de los aceros. Se consigue por enfriamiento rápido de la austenita y está constituida por agujas que forman ángulos de aproximadamente 60°C.

-- CEMENTITA.

Matriz ferrítica y glóbulos de cementita. Es carburo de hierro (Fe<sub>3</sub>C) y es el constituyente más duro de los aceros (68 HRC, Dureza Rockwell C). Tiene propiedades magnéticas por debajo de los 210°C y amagnéticas a temperaturas superiores. Se forma en los aceros con C > 0.89% como cementita proeutectoide y junto con la ferrita en la perlita. Y como cementita terciaria en los aceros con C < 0.25%. Se caracteriza -- por alargamiento = A=0% y DB = Dureza Brinell = 700.

--PERLITA.

La perlita es un constituyente eutectoide que forma láminas de ferrita y cementita. Aparece junto con granos de ferrita en los aceros con C > 0.89%, R = 80 kg/mm<sup>2</sup> y A = 15%.

--SORBITA.

Es un constituyente formado por ferrita y cementita en láminas muy finas cuya resistencia es superior a la de los otros constituyentes: R = 875 a 1375 N/mm<sup>2</sup> (88 a 140 kg/mm<sup>2</sup>) y A = 10 a 20%. Aparece -- frecuentemente en los aceros normalizados y recocidos en forma vernicular o de granos blancos. También se forma en casi todos los aceros forjados y laminados. Es posible obtenerla por enfriamiento de la austenita a velocidad inferior a la crítica de temple o por calentamiento de la austenita o martensita entre 400 y 700°C.

## --LEDEBURITA.

Es una mezcla eutéctica de cementita y cristales mixtos hierro-carbono saturados con el 0.85 al 1.7% de carbono.

Los componentes texturales señalados solo aparecen cuando las aleaciones hierro-carbono se enfrían tan lentamente que en cada caso se establece el equilibrio y se desarrollan modificaciones estables. Por el contrario, el enfriamiento rápido conduce a otro resultado, originándose desequilibrio de textura o de estructura.

### 1.3 CLASIFICACION GENERAL DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

La clasificación de los aceros inoxidable parte de su contenido de cromo, de níquel y de manganeso, debido a que son los principales elementos de aleación en esos tipos de aceros. Aquellos que contienen únicamente cromo se les conoce como aceros inoxidables al cromo y a los que contienen cromo y níquel se les conoce como aceros inoxidables al cromo-níquel y a los que contienen los tres elementos, aceros al cromo-níquel-manganeso. En la actualidad esta clasificación no es suficiente por la gran cantidad de aceros inoxidables que se han desarrollado, sobre todo, cuando se trata de aceros en que intervienen otros elementos aleados.

Otra clasificación de estos aceros está basada en la estructura metalúrgica: Martensíticos, Austeníticos y Ferríticos. Esta clasificación da una indicación del rango general de propiedades mecánicas, características de fabricación, cualidades de endurecimiento y propiedades físicas. Esta clasificación es usada particularmente por los metalurgistas y en ella los aceros inoxidables al cromo-níquel son llamados austeníticos porque su estructura metalúrgica es normalmente austenítica.

Sin embargo, algunas nuevas clases de aceros son excepciones, tales como los aceros endurecibles por precipitación. Los aceros que contienen cromo como elemento esencial de aleación, son clasificados como ferríticos o martensíticos. Los aceros modernos de esta clase, por su contenido de carbono y el balance de sus elementos aleados son aceros inoxidables que pueden endurecerse por un enfriamiento normal y tratamiento térmico de templeado. Los aceros al cromo-níquel-manganeso son todos austeníticos y no son endurecibles sino por el trabajo en frío.

Este método de clasificación es ampliamente usado para describir los aceros inoxidable, pero su uso debe ser muy cuidadoso para no aplicar las propiedades generales atribuidas a una estructura, a todos los aceros de su clase.

Esta forma de clasificación puede observarse en el siguiente cuadro:

ELEMENTO DE ALEACION	ESTRUCTURA METALURGICA	CUALIDAD DE SER TRATADO TERMICAMENTE	
ACERO INOXIDABLE	CROMO	MARTENSITICO	ENDURECIBLE TIPOS 410, 416, 420. NO ENDURECIBLE TIPO 405.
		FERRITICO	NO ENDURECIBLE TIPOS 409, 430, 442.
	CROMO-NIQUEL	AUSTENITICO	NO ENDURECIBLE EXCEPTO POR TRABAJO EN FRIO TIPOS 301,302,304,316. AUMENTO DE RESISTENCIA POR ENVEJECIMIENTO TIPOS 314, 17-7-P.
		SEMI-AUSTENITICO	ENDURECIBLE POR PRECIPITACION. TIPOS PH-15-7-Mo, 17-7-PH.
CROMO-NIQUEL-MANGANESO	MARTENSITICO	ENDURECIBLE POR PRECIPITACION. TIPOS 15-5-PH, PH-3-8-Mo.	
	AUSTENITICO	NO ENDURECIBLE EXCEPTO POR TRABAJO EN FRIO. TIPOS 201, 21-6-9.	

## INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION.

Los aceros inoxidable varían en su composición desde una aleación simple de, esencialmente hierro con 11% de cromo, hasta aleaciones complejas que incluyen 30% de cromo, cantidades substanciales de níquel y media docena de otros elementos efectivos. Estos pueden estar presentes en cantidades residuales a causa del proceso o pueden ser adicionados deliberadamente.

### CROMO.

Concentraciones más bajas del 11% de cromo son suficientes en algunos casos para retardar el ataque corrosivo, pero es solamente con esta cantidad que se forma espontáneamente una película pasiva, transparente, estable y la aleación puede ser considerada como acero inoxidable. Cantidades más altas de cromo causan un marcado incremento en la resistencia a la corrosión fortaleciendo la película y provocando - que ésta se repare rápidamente si es rota. Adiciones de 30% de cromo son usadas en algunos aceros inoxidables.

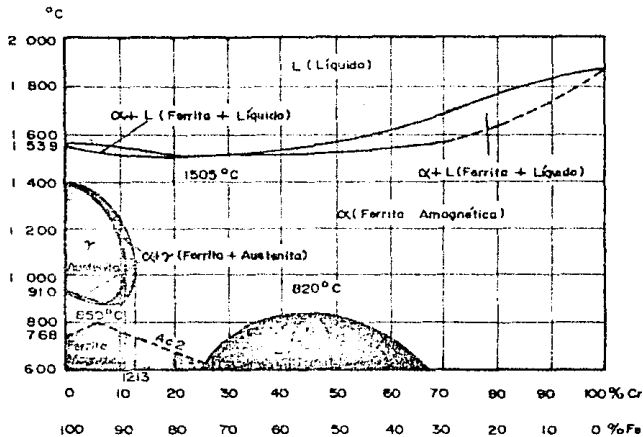
El cromo es llamado formador de ferrita porque éste tiende a suprimir la transformación de ferrita-austenita observada durante el calentamiento del hierro o acero al carbón.

Del diagrama de la figura no. 2 para aleaciones con contenido de carbono  $C < 0.1\%$ , se deduce lo siguiente.

- La ferrita de todas las aleaciones hierro-cromo cuyo contenido de cromo oscila entre 0-12% Cr, se transforma por calentamiento, en austenita o fase gama ( $\gamma$ ). Por enfriamiento rápido hasta la temperatura ambiente conseguiremos transformar la austenita en martensita.
- Los aceros con cromo arriba del 13% caen en la región de la ferrita o fase alfa ( $\alpha$ ), independientemente de la temperatura a la cual se calientados. Estas aleaciones serán ferríticas y no sufren ningún cambio, aún con calentamiento no existe transformación de la fase alfa ( $\alpha$ ) en fase gama ( $\gamma$ ).
- Las aleaciones hierro-cromo con contenidos de cromo entre 12 y 13% forman a elevadas temperaturas estructuras bifásicas ( $\alpha + \gamma$ ), que en friadas rápidamente a temperatura ambiente presentarán una estructura formada por ferrita y martensita (aceros martensítico-ferrítico).



Figura no. 2  
**DIAGRAMA HIERRO - CROMO**



- Las aleaciones hierro-cromo con contenidos de cromo de 25 a 42% y de 48 a 65% a temperaturas bajas, de 600 a 820°C aparece una fase intermetálica llamada fase Sigma ( $\sigma$ ) que coexiste con la ferrita.
- Aleaciones con contenidos de cromo de 42 a 48%, toda la ferrita puede transformarse en fase sigma ( $\sigma$ ). Esta fase es muy dura y frágil. Se puede disolver en la ferrita calentando por encima de los 820°C.

Por consecuencia, el cromo es un elemento favorecedor de la fase alfa ( $\alpha$ ), luego entonces, forma parte de los elementos alfégenos.

El contenido de carbono en las aleaciones hierro-cromo también influye y a continuación se dan algunas deducciones.

- Cuando el contenido de carbono aumenta en las aleaciones hierro-cromo, aumenta el límite de la fase gama. Por consiguiente, el carbono es un elemento gamágeno favorecedor de la fase gama ( $\gamma$ ).
- Con carbono de 0.6% el límite de la fase gama queda en un contenido aproximado de cromo del 18%. Con carbono  $C > 0.6\%$ , ya no se amplía el límite y el exceso de carbono queda en el acero formando distintos tipos de carburos de hierro y cromo que dependen de la temperatura, del contenido de cromo y del contenido de carbono.
- La fase alfa ( $\alpha$ ) pura desaparece en las aleaciones hierro-cromo --- con carbono de 0.1% y superiores.
- Jugando con los contenidos de cromo y carbono se pueden conseguir aleaciones hierro-cromo-carbono que formando a elevadas temperaturas estructuras bifásicas ( $\alpha + \gamma$ ) se transformen por enfriamiento rápido en estructuras compuestas de ferrita y martensita (aceros martensítico-ferríticos).

#### NIQUEL.

El níquel está presente en muchos aceros inoxidable. En contraste con el cromo, éste promueve y amplía el campo de estabilidad de la austenita (elemento gamágeno) y por consiguiente es llamado un formador de austenita.

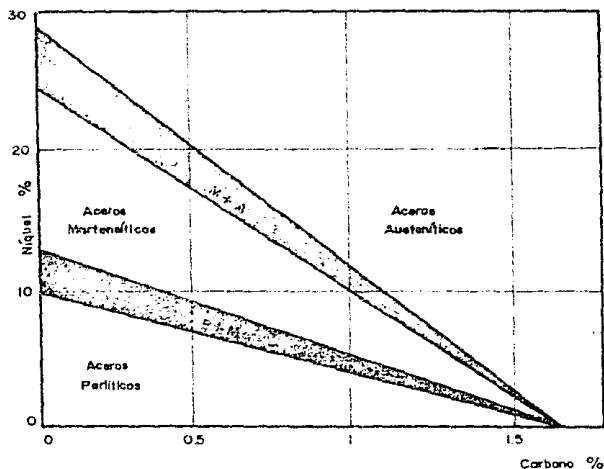
- La presencia de níquel rebaja la temperatura a la que ocurre la -- transformación  $\alpha - \gamma$  (alfa en gama), de tal manera que la aleación -- hierro-níquel con 25% de níquel presenta una estructura austenítica a temperatura ambiente.

En el diagrama de Guillet representado en la figura no. 3 se pueden comprobar las cantidades necesarias de níquel para conseguir aleaciones hierro-níquel-carbono martensíticas y austeníticas. Además de que se pone de manifiesto lo siguiente:

- La presencia de níquel aumenta la capacidad de temple de los aceros -- al carbono porque reduce la velocidad crítica de enfriamiento.
- De igual forma se deduce que cuanto mayor es el contenido de carbono, menor es el níquel necesario para conseguir estructuras austeníticas. ya que el carbono es también un elemento gamágeno.

Figura no. 3

## DIAGRAMA DE GUILLET



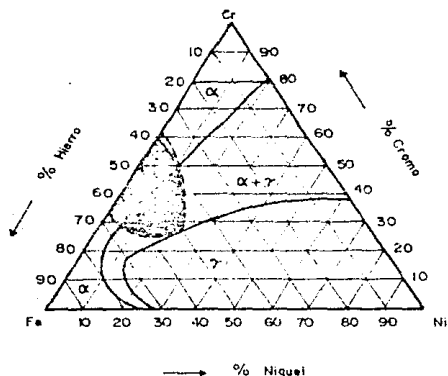
Wever y Jellinghaus trazaron un diagrama hierro-cromo-níquel, (Figura no. 4) en el que se indica la formación a temperatura ambiente de las distintas estructuras de dichas aleaciones según el contenido de hierro, cromo y níquel. De este diagrama se puede deducir:

- Que la fase sigma ( $\sigma$ ) se forma con mayor lentitud en las aleaciones Fe-Cr-Ni que en las aleaciones Fe-Cr.
- Que en las aleaciones Fe-Cr-Ni el límite superior de estabilidad de la fase sigma ( $\sigma$ ) es cercano a los 920°C y, por consiguiente, superior al que corresponde a las aleaciones Fe-Cr (820°C).

En general podemos decir que la formación de la fase sigma pue

Figura no. 4

## DIAGRAMA Fe - Cr - Ni DE WEVER Y JELLINGHAUS



de producirse en casi todos los aceros inoxidables austeníticos comerciales, incluido el de 15% de Cr y 35% de Ni. En este acero no se ha identificado claramente esta fase aún después de calentado durante largo tiempo a 650 C, pero si se ha comprobado una sensible disminución de la resiliencia, únicamente atribuible a la formación de la fase sigma ( $\sigma$ ).

FASE SIGMA ( $\sigma$ ).

Una de las razones de la formación de la fase sigma en los aceros inoxidables puede ser la presencia de la ferrita en los mismos. Cuando a éstos se les mantiene durante largo tiempo a temperaturas comprendidas entre los 600 y los 820 C, la ferrita se transforma en un compuesto intermetálico de hierro y cromo.

Esta fase se caracteriza fundamentalmente por su pérdida de

ductilidad y resiliencia y sus características principales son:

- a) Dureza Vicker superior a 900
- b) Una gran fragilidad que, unida a que la transformación de la fase alfa ( $\alpha$ ) en fase sigma ( $\sigma$ ) se hace con contracción, hace que aparezcan en el acero grietas muy finas.
- c) Hasta hace poco tiempo se le consideraba no magnética pero según varios trabajos posteriores que estudian la cinética de transformación de esta fase, se ha comprobado la existencia de un notable paramagnetismo.

La fase sigma no solamente se forma en los aceros altos en cromo, ya que puede darse en los aceros ferríticos con contenidos de cromo desde el 14%. Los elementos silicio, molibdeno, niobio y titanio, al favorecer la formación de la fase alfa ( $\alpha$ ), favorecen la formación de la fase sigma ( $\sigma$ ). La precipitación de la fase sigma también aumenta cuando el acero ha sido sometido previamente a una transformación en frío.

Su influencia es notable en las características mecánicas, en la resistencia a la corrosión y en las propiedades de la soldadura. A temperaturas bajo cero, reduce sensiblemente la resiliencia en los aceros inoxidables austeníticos.

La fase sigma ( $\sigma$ ) es perjudicial en la mayoría de los casos. Con un tratamiento térmico podemos disolverla en la austenita, transformándola de nuevo en ferrita delta ( $\delta$ ).

Se puede concluir lo siguiente respecto a la influencia del níquel:

- El níquel amplía el campo de formación de la austenita y aumenta la estabilidad.
- En las aleaciones al cromo que poseen estructuras mixtas martensítico-ferríticas a temperatura ambiente, al calentarlas disminuye la cantidad de ferrita y aumenta la de austenita, facilitando con enfriamiento la transformación de ésta última en martensita.
- En las aleaciones de cromo se aumenta la capacidad de temple con pequeñas cantidades de níquel.
- Las aleaciones de cromo se transforman en austeníticas a temperatura ambiente con grandes cantidades de níquel.

- Según la proporción de cromo y níquel, se consiguen aleaciones con estructura bifásica ( $\alpha+\gamma$ ) a temperatura ambiente.

#### MANGANESO.

Este elemento más que favorecer la formación de la austenita, lo que hace es aumentar su estabilidad. Se considera un elemento gamágeno. Su influencia en los aceros con cromo es la mitad de la del níquel.

- Favorece la formación de la fase sigma en los aceros ferríticos de 25 a 30% de cromo.
- Con contenidos superiores al 10% conseguimos aceros austeníticos.
- Inhibe la fragilidad en caliente al formar sulfuro de manganeso.

#### MOLIBDENO.

Es un elemento alfégeno. Aumenta la resistencia mecánica en caliente de los aceros austeníticos. Favorece la pasividad y la resistencia química en presencia de ácidos reductores y de iones cloro. Aumenta la resistencia de los aceros ferríticos en los ácidos orgánicos.

Los aceros de 17% de cromo y 2% de molibdeno resisten el ataque del ácido acético hirviendo y de las soluciones tartáricas y cítricas hirvientes y están protegidos de la corrosión por picaduras.

En los aceros austeníticos, cuando el contenido de molibdeno pasa de 1 a 3% para un mismo contenido de cromo, el de níquel debe aumentarse en un 4% aproximadamente para que se mantenga una estructura completamente austenítica.

#### SILICIO.

Es un elemento alfégeno ya que favorece la formación de la ferrita y, por consiguiente, la formación de la fase sigma en los aceros ferríticos de 25 a 30% de cromo, y en los austeníticos con cromo superior a 19%. Amplía los intervalos de composición y temperatura en que resulta estable la fase sigma. Favorece la formación de estructuras bifásicas ( $\alpha+\gamma$ ). Aumenta la resistencia en caliente.

Además del cromo, que es el elemento base de los aceros inoxidables y los elementos anteriores, pueden intervenir otros: volframio, aluminio, titanio, niobio, cobre, vanadio, cobalto, nitrógeno, etc., que según en las cantidades que se encuentren en los aceros, adquieren éstas distintas estructuras.

#### PRECIPITACION DE CARBUROS.

Cuando los aceros inoxidables se hallan a temperaturas comprendidas entre los 450 y 900°C durante cierto tiempo, o se les enfría lentamente en dicho intervalo de temperaturas se origina en ellos una precipitación, fundamentalmente de "carburos de hierro y cromo". Esta precipitación es más intensa en el intervalo de los 600 a los 850°C.

Por lo general estos carburos se precipitan en las uniones de los granos disminuyendo la cohesión de los mismos y haciendo que las zonas contiguas queden empobrecidas de cromo, con lo que pierden su carácter de inoxidables en esas zonas y, por consiguiente, su resistencia a la corrosión. De esta manera, en ciertos medios corrosivos se puede producir un ataque intergranular, cuya intensidad dependerá de la temperatura a que han estado expuestos y del tiempo transcurrido, así como de la composición química y del tratamiento previo realizado en el acero.

Esta precipitación se produce preferentemente en los aceros inoxidables austeníticos y es típico en las zonas cercanas a los cordones de soldadura. Los carburos precipitados son del tipo  $C_6(Cr, Fe)_{23}$ .

Se evita esta precipitación de carburos en las uniones de los granos fabricando los aceros con un contenido máximo de carbono de 0.03%.

#### 1.4 CLASIFICACION SEGUN SU ESTRUCTURA METALOGRAFICA.

La estructura metalográfica de estos grupos determina las propiedades finales del producto y la diferencia principal entre ellos es su respuesta al tratamiento térmico.

##### ACEROS MARTENSITICOS.

Los aceros inoxidables martensíticos tienen una estructura austenítica a temperaturas elevadas que puede ser transformada en martensita mediante enfriamiento a temperatura ambiente, de esta forma tienen la facultad de adquirir gran dureza.

Esta familia de aceros contiene cromo (10-18%) como su principal elemento de aleación y carbono, como el siguiente elemento aleante más importante. Como ya se mencionó, la principal característica de estas aleaciones, que las distingue de las otras, es su habilidad para aumentar su resistencia y su dureza mediante tratamiento térmico. Esta propiedad se debe fundamentalmente, a sus altos contenidos de carbono y a sus mayores contenidos de cromo.

Mientras que las características mecánicas de suministro en estado de recocido de los aceros austeníticos y ferríticos no son susceptibles de ser mejoradas por procesos de temple posteriores, las de los aceros martensíticos sí lo son. Responden a los tratamientos térmicos casi de la misma forma que los aceros al carbono y los de baja aleación. El grado al cual pueden ser templados depende de su contenido de carbono.

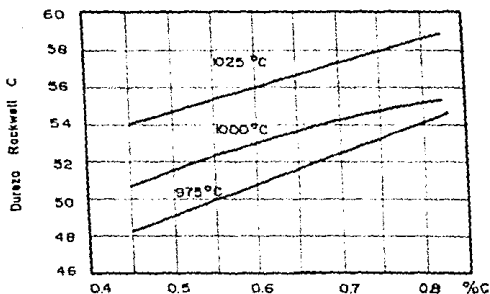
Los aceros inoxidables martensíticos son magnéticos, resistentes a la corrosión en medios ambientes suaves y tienen convenientemente buena ductibilidad.

Por su alta dureza y propiedades antioxidantes, a los aceros inoxidables de este grupo se les emplea extensivamente en la fabricación de: cuchillería de mesa, accesorios de bombas, válvulas para motores, navajas de afeitarse, equipos para la industria petrolera y alimenticia, tuercas, tornillos, muelles, instrumentos dentales y quirúrgicos, etc.



En la Figura no. 5 se determinan las durezas después de un temple en función del carbono y de la temperatura de temple, en los aceros martensíticos con cromo de 15.5 a 16%.

Figura no. 5



En las tablas no. 1 y no.2 se indica la composición química de los aceros martensíticos de uso más general.

En el grupo de aceros inoxidable martensíticos de fácil mecanización quedan incluidos todos los aceros inoxidable martensíticos - en cuya composición intervienen elementos favorecedores de la maquinabilidad, como el azufre, el selenio, etc., en cantidades mayores a 0.15%.

La mayor resistencia a la corrosión de estos aceros, la presentan cuando han sido templados y pulidos, además de que, si el máximo contenido de carbono que poseen es inferior a 0.08% pueden soldarse fácilmente.

Los aceros de 16 a 18% de cromo y contenido de carbono de 0.06 a 1.20% adquieren por temple, elevadas durezas y son resistentes a la

Tabla no. 1

- ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.

AISI	COMPOSICION QUIMICA								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros
410	0.09 0.15	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	11.50 14.00	-	1.00 máx	-
420	0.16 0.25	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	12.00 14.00	-	1.00 máx	-
420	0.26 0.35	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	12.00 14.00	-	1.00 máx	-
420	0.36 0.45	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	12.50 14.50	-	1.00 máx	-
431	0.10 0.20	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	15.00 18.00	-	1.50 3.00	-
440A	0.60 0.75	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	16.00 18.00	0.75 máx	-	-
440B	0.75 0.95	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	16.00 18.00	0.75 máx	-	-
440C	0.95 1.20	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	16.00 18.00	0.75 máx	-	-

Tabla no. 2

- ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS DE FACIL MECANIZACION.

AISI	COMPOSICION QUIMICA								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros
416	0.08 0.15	1.00 máx	1.50 máx	0.06 máx	0.15 0.35	12.00 14.00	0.60 máx	1.00 máx	-
416Se	0.15 máx	1.00 máx	1.25 máx	0.06 máx	0.06 máx	12.00 14.00	-	-	Se 0.15
420F	0.30 0.40	1.00 máx	1.25 máx	0.06 máx	0.15 mín	12.00 14.00	0.60 máx	-	-

corrosión y al desgaste. Los aceros con cromo de 16 a 18% y níquel de 2 a 4% se emplean en ejes y hélices marinos, palas de turbina a vapor, etc. También se fabrican rodamientos con los aceros cuyo contenido de carbono es superior a 0.60%.

## ACEROS FERRITICOS.

Estos aceros se caracterizan por su estructura ferrítica a cualquier temperatura y, por consiguiente, no hay transformación de la ferrita en austenita en el calentamiento ni transformación martensítica en el enfriamiento. Por esta razón no hay posibilidad de regeneración del grano y la recristalización solo es posible mediante una deformación plástica en frío, previo recocido o mediante una deformación en caliente.

Esta familia de aceros contiene cromo (11-30%) como su principal elemento de aleación. Contenidos limitados de carbono y otras adiciones menores de elementos de aleación que no promueven la formación de martensita, por lo que su microestructura es predominantemente ferrítica. Algunas veces se les menciona como aceros inoxidables al cromo o como aceros inoxidables no endurecibles. Estos aceros son magnéticos en todas las condiciones en que se presenten.

A esta familia pertenecen los aceros con cromo de 15-18% y carbono máximo de 0.12% que tienen una resistencia a la corrosión superior a los aceros martensíticos.

Del mismo modo están incluidos en esta familia los aceros al cromo con contenidos de aluminio de hasta 4%, que son más resistentes a la oxidación y tienen una gran aplicación en la fabricación de resistencias, por su gran resistividad. Muchas de las propiedades físicas de estos aceros son similares a las de los martensíticos.

A veces se añade nitrógeno en proporciones de 0.10 a 0.25% para reducir a temperaturas elevadas la velocidad de crecimiento de los granos.

En estos aceros cuando el contenido de cromo aumenta, la resistencia disminuye debido a la baja resistencia al efecto de entalla.

En los aceros ferríticos con un contenido elevado de cromo puede aparecer la fase sigma cuando se les mantiene durante mucho tiempo a temperaturas comprendidas entre 500 y 900°C. Para disolver esta fa-

se es necesario calentar de nuevo por encima de los 900°C. Las deformaciones en frío y la adición de elementos como el níquel, manganeso y silicio aceleran la formación de la fase sigma.

Los aceros inoxidable ferríticos por lo general son difíciles de soldar.

Los aceros de 25 a 30% de cromo presentan una buena resistencia a la oxidación y a las atmósferas sulfurosas en caliente. Son más resistentes en el ácido nítrico, en los ácidos orgánicos y en el agua de mar, que los de menor contenido de cromo.

Debido a sus propiedades para el conformado, el estampado medio y el embutido semiprofundo, estas aleaciones son de las más utilizadas entre los aceros inoxidable, además de ser (relativamente) las menos costosas.

En las tablas no. 3 y no.4 se indica la composición química de los aceros inoxidable ferríticos de uso más general.

En el grupo de aceros inoxidable de fácil mecanización quedan incluidos todos los aceros inoxidable ferríticos en cuya composición intervienen elementos favorecedores de la maquinabilidad como el azufre, el selenio, etc., en cantidades mayores al 0.15%.

#### ACEROS AUSTENITICOS.

Como su nombre lo indica, su estructura metalográfica es en base a cristales de austenita. No presentan transformación alguna en el calentamiento porque su estructura es austenítica a cualquier temperatura.

Estos aceros contienen cromo (18-30%) y níquel (4-22%) como principales elementos de aleación y su contenido de carbón se mantiene siempre muy bajo. A medida que se incrementa el contenido de cromo, se requiere también aumentar también el de níquel, para conservar la estructura austenítica. Aunque generalmente se denomina a estos aceros como austeníticos, también se les conoce como aceros inoxidable 18-8, aceros al cromo-níquel o aceros endurecibles por trabajo en frío.

Estos aceros son esencialmente no magnéticos en su condición de recocido, pero pueden ser magnéticos después de que son trabajados en frío. El grado de magnetismo que desarrollan después del trabajo en frío depende del tipo de aleación de que se trate.

Tabla no. 3

- ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS.

AISI	COMPOSICION QUIMICA								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros
403	0.08 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	11.50 14.00	-	0.50 máx	-
405	0.08 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	11.50 14.00	-	0.50 máx	0.10 0.30
409	0.08 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.045 máx	0.045 máx	10.50 11.75	-	0.50 máx	6xC 0.75
430	0.10 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	16.00 18.00	-	0.50 máx	-
430Ti	0.10 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	16.00 18.00	-	0.50 máx	5xC 0.80
430Cb	0.10 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	16.00 18.00	-	0.50 máx	Nb 8xC
434	0.08 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.04 máx	0.03 máx	16.00 18.00	0.90 1.20	0.50 máx	-

Tabla no. 4

- ACEROS INOXIDABLES DE FACIL MECANIZACION.

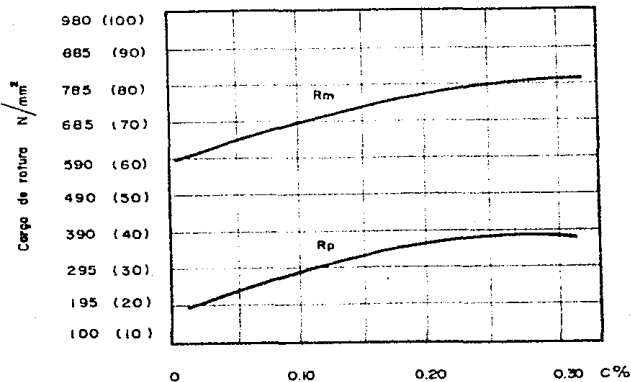
AISI	COMPOSICION QUIMICA								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros
430F	0.12 máx	1.00 máx	1.50 máx	0.06 máx	0.15 0.35	16.00 18.00	0.60 máx	0.50 máx	-
430FSe	0.12 máx	1.00 máx	1.50 máx	0.06 máx	0.06 máx	16.00 18.00	-	0.50 máx	Se 0.15

Estos aceros engrasan el grano a temperaturas elevadas o con permanencias largas, pero la fragilidad que adquieren no es tan peligrosa como en los aceros ferríticos.

La precipitación de los carburos de cromo en las uniones de los granos hace que se produzca una pérdida de cromo en las inmediaciones de dichas uniones. Las zonas en las que se produce la decromización pierden inoxidableidad, quedando sensibilizadas a la corrosión intergranular. Para evitar la precipitación de carburos puede disminuirse el contenido de carbono ( $C < 0.03\%$ ) o bien adicionando al acero otros elementos como el titanio o niobio, más ávidos de carbono que de cromo. Los aceros con carbono superior a  $0.03\%$  deben ser sometidos a un temple austenítico (hipertemple) con el objeto de disolver los carburos precipitados.

En la figura no. 6 se muestran las variaciones de la carga de rotura y del límite elástico del tipo de acero 10% de cromo y 6% de níquel con temple austenítico, en función del contenido de carbono.

Figura no. 6



En estos aceros y en general en todos los inoxidables y refractarios, el tiempo de permanencia a la temperatura de tratamiento térmico deberá ser como mínimo el doble que en los aceros al carbono, debido a su baja conductividad térmica.

El carbono y el nitrógeno hacen aumentar la dureza y por consiguiente el límite elástico.

El crecimiento del grano en estos aceros no tiene influencia en las características mecánicas, pero tiene el inconveniente de la aparición en los aceros embutidos, de lo que se denomina vulgarmente como "piel de naranja" que dificulta las operaciones de pulido.

La maleabilidad de estos aceros es muy grande, por eso se emplean en embutición (operación de prensado que permite obtener piezas huecas).

Una de las buenas propiedades de los aceros austeníticos es la ausencia de fragilidad a las bajas temperaturas, todo lo contrario de lo que sucede en los martensíticos y ferríticos. Mantienen resiliencias excelentes a temperaturas cercanas al cero absoluto. Por el contrario, el resto de las propiedades mecánicas varía notablemente: aumentan la carga de rotura y el límite elástico y disminuye el alargamiento.

Con transformación en frío conseguimos mejorar la carga de rotura y el límite elástico, pero se vuelven ligeramente magnéticos al transformarse parte de la austenita en martensita. No debe olvidarse que las piezas fabricadas de esta manera experimentan aumento de volumen, causa de problemas cuando las tolerancias exigidas son muy estrechas.

A los aceros austeníticos con contenidos de carbono superior a 0.03%, que se hayan mantenido a temperaturas comprendidas entre 400 y 900°C es necesario someterlos a un temple austenítico para disolver los carburos precipitados y así dejarlos insensibles a la corrosión intergranular. Todos los aceros austeníticos son amagnéticos (no les atrae el imán).

Es común que se encuentre el término "recocido" en lugar de "temple austenítico" o "hipertemple". Esto es debido a que el tratamiento para la disolución de los carburos recibía el nombre de "recocido de solubilización" y que por comodidad se expresaba con la palabra recocido.

En las tablas no. 5 y no. 6 se indica la composición química de los aceros inoxidables austeníticos de uso más general.

Tabla no. 5  
- ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

AISI	COMPOSICION QUIMICA								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros
304L	0.03 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	18.00 20.00	-	8.00 12.00	-
304	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	18.00 20.00	-	8.00 10.50	-
304N	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	18.00 20.00	-	8.00 10.50	0.10 0.16 N
302	0.12 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	17.00 19.00	-	8.00 10.00	-
305	0.10 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	17.00 19.00	-	11.00 13.00	-
301	0.15 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	16.00 18.00	-	6.00 8.00	-
321	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	17.00 19.00	-	9.00 12.00	5x C ≤ Ti ≤ 0.80
347	0.06 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	17.00 19.00	-	9.00 12.00	10x C ≤ Nb ≤ 1.00
316L	0.03 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	16.00 18.00	2.00 3.00	10.00 14.00	-
316	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	16.00 18.00	2.00 3.00	10.00 14.00	-
316N	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	16.00 18.00	2.00 3.00	10.00 14.00	0.10 0.16 N
316Ti	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	16.00 18.00	2.00 3.00	10.00 14.00	5x C ≤ Ti ≤ 0.80 N
316Cb	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	16.00 18.00	2.00 3.00	10.00 14.00	Nb <sub>max</sub> 8x C
317	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.03 máx	18.00 20.00	3.00 4.00	11.00 15.00	-
201	0.15 máx	1.00 máx	5.50 7.50	0.06 máx	0.03 máx	16.00 18.00	-	3.50 5.50	N ≤ 0.25
202	0.15 máx	1.00 máx	7.50 10.00	0.06 máx	0.03 máx	17.00 19.00	-	4.00 6.00	N ≤ 0.25



Tabla no. 6

## - ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS DE FACIL MECANIZACION.

AISI	COMPOSICION QUIMICA								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros
303	0.12 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.20 máx	0.15 0.35	17.00 19.00	0.60 máx	8.00 10.00	-
303Se	0.12 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.20 máx	0.06 máx	17.00 19.00	-	8.00 10.00	Se $\leq$ 0.15
316F	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.20 máx	0.15 mín	16.00 18.00	1.75 2.50	10.00 14.00	-

En el grupo de aceros inoxidable de fácil mecanización están incluidos todos los aceros inoxidable austeníticos en cuya composición intervienen elementos favorecedores de la maquinabilidad, como el azufre, el selenio, etc., en cantidades mayores al 0.15%.

La acritud producida por una deformación en frío no solo endurece el acero, sino que aumenta su permeabilidad magnética y el límite de fatiga.

Los aceros inoxidable austeníticos se utilizan profusamente en elementos para decoración de interiores, en recubrimientos exteriores, carrocerías de autobuses, accesorios para baños y cocinas, maquinaria para la industria embotelladora, equipos para la destilación de cerveza y para procesamiento y empaque de alimentos.

Industrialmente en México, como en los países altamente industrializados, los aceros austeníticos son los más ampliamente usados.

## 1.5 CLASIFICACION EN BASE NORMA A.I.S.I.

Los aceros inoxidable se producen para cubrir un amplio rango de posibles aplicaciones de acuerdo a sus propiedades particulares, y por ello se subdividen en varias series y tipos.

Inicialmente estos aceros fueron denominados de acuerdo a su contenido de cromo. Así, uno de los primeros tipos desarrollados que fue el de 18% de cromo y 8% de níquel, se le llamó acero inoxidable 18-8. Pero a medida que se desarrollaron más y más aceros inoxidables, esta nomenclatura se hizo insuficiente y el Instituto Americano del Hierro y del Acero (AISI: American Iron and Steel Institute) estableció un sistema numérico de tres dígitos para clasificar y normalizar a los aceros inoxidables; clasificación que es aceptada prácticamente en todo el mundo.

El primer dígito indica la serie o el grupo al que pertenece - el acero, mientras que los dos últimos dígitos indican el tipo específico.

En el sistema AISI a los aceros al cromo (ferríticos) se les asignan números en la serie del 400 y a los aceros al cromo-níquel (austeníticos) se les asignan números en la serie del 300. Así, el antiguo 18-8 es designado como el 304 y el de 17% de cromo fue designado como el 430.

A las variaciones que haya sobre la clasificación normalizada, se les asignan letras adicionales después del tercer dígito. Por ejemplo, las variantes al extra-bajo carbono de los tipos 304 y 316 tienen una L siguiendo a los números, esto es: tipo 304L y tipo 316L.

## 1.6 CLASIFICACION DE PRODUCTOS DE ACERO INOXIDABLE POR TAMAÑO, FORMA Y ACABADO.

Tradicionalmente los productos siderúrgicos se dividen en planos y no planos. Los aceros inoxidables y refractarios planos son fabricados normalmente en forma de productos acabados como chapa gruesa o placa, chapa media o lámina y flejes, siendo la clasificación establecida por las normas nacionales vigentes, la siguiente:

**PLACA (PLATE).**- Se define la placa como el producto plano laminado o forjado con un espesor mayor a 3/16" (4.76 mm) y un ancho mayor a 10" (254 mm).

Los acabados comunes para placa después de laminado en caliente y recocido o tratado térmicamente son:

- sin decapar
- decapada o granallada
- con superficie limpia y pulida.

**LAMINA (SHEET).**- Este producto también denominado como chapa se define como el material con un espesor menor de 3/16" y su ancho de 24" (609.6 mm) o mayor.

Este producto puede ser surtido en forma de rollo o cortado transversalmente, es decir, en hojas. Los acabados más comunes para lámina son los siguientes:

- acabado no. 1
- acabado no. 2D
- acabado no. 2B
- acabado no. 3 (P3).
- acabado no. 4 (P4).

**FLEJE (STRIP).**- Este es un material laminado en frío cuyo espesor es menor de 3/16" (4.76 mm) y anchos menores a 24".

Al igual que la chapa o lámina, puede ser surtido en forma de rollo o cortado a longitud (banda en tramos). Los acabados en que se fabrican los flejes son dos y están ampliamente afectados por las operaciones de acabado empleados en su manufactura y son:

- acabado no. 2D
- acabado no. 2B

Dentro de la fabricación de flejes existe lo que se denomina:

**ESTADOS DE DUREZA POR ACRIDUD**, es decir, que los flejes de todos los aceros inoxidable pueden fabricarse con un endurecimiento por relaminación en frío, obteniendo así un fleje de alta resistencia.

Este fleje de alta resistencia es generalmente de acero tipo AISI-301 y puede fabricarse en los grados estándar de endurecimiento que se muestran en la tabla no. 7.

Tabla no. 7

GRADO DE ENDURECIMIENTO	1/4 DURO	1/2 DURO	3/4 DURO	FULL HARD
RESISTENCIA A LA TRACCION (MPa)	862	1034	1206	1275
LIMITE ELASTICO (MPa)	576	758	930	965
ELONGACION %	25	18	12	9
DUREZA (*) (HRC)	25	32	37	41

(\*): Valores típicos, ya que no garantiza la dureza.

#### ACABADO DE LOS LAMINADOS PLANOS.

Los tipos de acabado normalmente disponibles son los siguientes:

##### ACABADO No. 1

Se produce en el proceso de laminación en caliente a un espesor especificado, seguido de un recocido y un decapado. Generalmente, se usa en aplicaciones industriales donde la rugosidad superficial no es particularmente importante.

##### ACABADO No. 2D

Es un acabado deslustrado o mate que resulta de un proceso de laminación en frío a un espesor especificado, seguido de un recocido y un decapado. Su acabado opaco puede ser el resultado de las operaciones de recocido y decapado, o puede también desarrollarse por un ligero laminado en frío con rodillos opacos. Este acabado es conveniente cuando se requiere retener lubricantes en la superficie de las láminas que van a ser sujetas a operaciones de embutido profundo. Este acabado se utiliza generalmente en la conformación de artículos embutidos que han de pulirse después de su fabricación. La letra D proviene de la palabra "Dull" que en el español significa "opaco".

PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES MAS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL									
ACERO TIPO		A U S T E N I T I C O S							
		301	302	304	304L	310	316	316L	321
ANALISIS QUIMICO		PORCENTAJE							
Cromo		16.00	17.00	18.00	18.00	24.00	16.00	16.00	17.00
		18.00	19.00	20.00	20.00	26.00	18.00	18.00	19.00
Níquel		6.00	8.00	8.00	8.00	19.00	10.00	10.00	9.00
		8.00	10.00	10.50	12.00	22.00	14.00	14.00	12.00
Carbono, máximo		0.15	0.15	0.08	0.03	0.08	0.08	0.03	0.08
Molibdeno						2.0-3.0	2.0-3.0		
Manganeso, máximo		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Silicio, máximo		1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00
Azufre, máximo		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Fósforo, máximo		0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.04	0.045	0.045
Otros elementos									Ti5xC
PROPIEDADES FISICAS									
Densidad kg/dm <sup>3</sup>		7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	8.0	8.0	7.9
Calor especifico cal/g°C de 0-100°C		0.36	0.39	0.29	0.29	0.33	0.36	0.36	0.36
Conductividad térmica a 100°C		0.035	0.029	0.033	0.033	0.029	0.033	0.032	0.036
cal/cm <sup>2</sup> /seg/°C/cm a 500°C		0.046	0.039	0.044	0.044	0.039	0.042	0.042	0.052
Coefficiente de expansión 0-100°C		17.0	17.3	17.3	17.3	14.4	16.0	16.0	16.7
térmica m/m/°Cx10 <sup>-6</sup> 0-650°C		18.7	18.7	18.7	18.8	17.5	18.5	18.5	19.3
Temperatura de fusión intervalo °C		1398 1420	1398 1420	1398 1454	1398 1454	1398 1454	1371 1398	1371 1398	1398 1427
PROPIEDADES ELECTRICAS									
Permeabilidad magnética a 200 Hz		1.02	1.008	1.008	1.008	1.006	1.008	1.008	1.003
Resistividad eléctrica específica microhoms-cm, a 20°C		72	70	70	70	86	73	73	72

PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES MAS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL.

ACERO TIPO	A U S T E N I T I C O S							
	301	302	304	304L	310	316	316L	321
PROPIEDADES MECANICAS (RECOCIDO)								
Resistencia a la tensión $\text{kg/mm}^2$	73	62	58	55	67	59	56	60
Resistencia de fluencia $\text{kg/mm}^2$	28	30	27	27	28	30	29	30
Alargamiento en 50.8 mm, %	60	55	57	57	45	50	50	52
Reducción de área, %	65	68	60	50	65	50	50	60
Dureza Rockwell DRB	85	85	80	77	78	81	79	80
Resistencia al impacto $\text{kg-m}$	15.21	15.21	15.21	15.21	14.86	12.86	14.93	14.93
RESISTENCIA A ELEVADAS TEMPERATURAS $\text{kg/mm}^2$								
A 700°C		26.0	25.3		35.2	33.8	27.0	10.0
A 820°C		16.0	15.5		22.5	19.7	16.0	3.5
A 925°C		10.0	9.5		12.7	12.7	12.0	2.1
TRATAMIENTO TERMICO °C								
Forja temperatura inicial	1200	1200	1200	1200	1177	1200	1200	1200
Temperatura de recocido (intervalo)	1000 1120	1000 1120	1000	982 1093	1040 1150	982 1093	982 1093	732 816
Forja temperatura final	mas de 925	mas de 925	mas de 925	mas de 927	mas de 982	mas de 927	mas de 927	mas de 927
TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACION °C								
Servicio continuo	900	900	926	926	1120	926	926	900
Servicio intermitente	815	815	844	844	1040	843	843	816
RESISTENCIA A LA TERMOFLUENCIA $\text{kg/mm}^2$ 10,000 hrs con 1% de alargamiento								
A 540°C		11.95	11.95	11.95	11.95	15.47	15.47	12.66
A 600°C		8.44	8.44	8.44	9.14	11.81	11.81	9.14
A 650°C		4.93	4.93	4.93	6.33	7.88	7.88	5.62

Tabla no. 3

PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES MAS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL

		FERRITICOS		MARTENSITICOS	
		405	430	410	420
ANALISIS QUIMICO	PORCENTAJE				
Cromo		11.50	16.00	11.50	12.00
		14.50	16.00	13.50	14.00
Niquel		0.50	0.50	0.50	0.50
Carbono, máximo		0.08	0.12	0.15	0.15
Molibdeno					
Manganeso, máximo		1.00	1.00	1.00	1.00
Silicio, máximo		1.00	1.00	1.00	1.00
Azufre, máximo		0.030	0.030	0.030	0.030
Fósforo, máximo		0.040	0.040	0.040	0.040
PROPIEDADES FISICAS					
Densidad	kg/dm <sup>3</sup>	7.8	7.6	7.7	7.7
Calor específico	cal/g/°C de 0-100°C	0.36	0.36	0.36	0.36
Conductividad térmica	a 100°C	0.064	0.049	0.059	0.055
	cal/cm <sup>2</sup> /seg/°C/cm a 500°C	0.051		0.063	0.059
Coeficiente de expansión térmica	de 0-100°C	10.80	10.40	9.90	10.30
	de 0-650°C	13.50	11.90	11.70	12.20
Temperatura de fusión		1483	1427	1483	1454
intervalo °C		1532	1510	1532	1510
PROPIEDADES ELECTRICAS					
Permeabilidad magnética	a 200 Hz		600-1100	700-1000	
Resistividad eléctrica específica	microhms-cm, a 20°C	61	60	57	55

Tabla No. 10

PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES MAS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL

ACERO TIPO	FERRITICOS		MARTENSITICOS	
	405	430	410	420
PROPIEDADES MECANICAS (RECOCIDO)				
Resistencia a la tensión kg/mm <sup>2</sup>	48	53	60	72
Resistencia de fluencia kg/mm <sup>2</sup>	33	35	42	42
Alargamiento en 50.8 mm. %	28	28	28	23
Reducción de área. %		65	72	60
Dureza Rockwell DRB	77	80	80	92
Resistencia al impacto, kg-m	3.80	6.90	12.16	9.68
RESISTENCIA A ELEVADAS TEMPERATURAS, kg/mm <sup>2</sup>				
A 700°C	11.0	9.1	9.1	18.3
A 820°C	5.6	3.5	3.5	9.5
A 925°C	3.5	2.1	2.1	6.3
TRATAMIENTO TERMICO °C				
Forja temperatura inicial	1093	1066	1093	1200
Forja temperatura final	mas de 760	mas de 650	mas de 760	mas de 816
Temperatura de recocido (intervalo)	732 816			
TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACION °C				
Servicio continuo	700	843	700	650
Servicio intermitente	790	900	788	760
RESISTENCIA A LA TERMOFLUENCIA, kg/mm <sup>2</sup> 10,000 hrs con 1% de alargamiento				
A 540°C	5.63	5.91	8.43	
A 600°C		3.45	3.87	
A 650°C		1.55	1.83	

Tabla no. 11



A continuación se desglosarán las propiedades y las características más importantes de algunos de los aceros mencionados en las tablas no. 8 y no. 10.

-- AISI-304 (Acero Inoxidable Austenítico).

#### GENERALIDADES.

Cuando se le mantiene a temperaturas comprendidas entre 450 y 900°C se provoca una precipitación de carburos que lo hacen sensible a la corrosión intergranular. Estos carburos precipitados se pueden disolver con un hipertemple.

Este problema aparece en las soldaduras, precipitándose los carburos en las zonas cercanas al cordón donde la temperatura está entre 450-900°C. Por ello, su empleo queda limitado a aquellas piezas que posteriormente pueden recibir un temple austenítico.

La soldadura es posible con todos los procedimientos. Puede realizarse bajo llama oxiacetilénica y por resistencia. Para espesores pequeños puede emplearse la soldadura al arco sin metal de aportación y bajo atmósfera de argón puro. Para espesores grandes, el mismo procedimiento con hilo de aportación o con electrodos revestidos. Las soldaduras deberán ser decapadas y pasivadas para evitar focos de corrosión.

La estructura de este acero es austenítica a todas las temperaturas. Es amagnético.

#### TRANSFORMACIONES EN CALIENTE.

De 1175 a 850°C con enfriamiento en aire. La temperatura dependerá del grado de deformación. Para grandes reducciones puede elevarse la temperatura inicial hasta 1250°C. Por su baja conductividad térmica es necesario darle mayores permanencias que en el caso de los aceros comunes.

#### TRATAMIENTOS TERMICOS.

Con un temple austenítico entre 1030 y 1100°C disolveremos los carburos precipitados. El enfriamiento será en agua. Cuando las piezas a tratar sean de acero moldeado es conveniente aumentar en unos 50°C - la temperatura del temple austenítico. Con este tratamiento la estruc-

tura estará formada básicamente por austenita, aunque pueden aparecer pequeñas cantidades de ferrita. Esto dependerá de la composición química, de la temperatura del tratamiento y del enfriamiento.

Este tipo de aleación es la más frecuentemente utilizada. Este inoxidable es usado extensivamente para equipos de procesos químicos y en las industrias alimenticias y de bebidas. Este tipo tiene buena resistencia a la corrosión atmosférica y a menudo se usa en aplicaciones para arquitectura.

-- AISI-316 (Acero Inoxidable Austenítico).

#### GENERALIDADES.

Comparándolo con el acero AISI-304 y debido al contenido de molibdeno, su resistencia a la corrosión es superior, sobre todo frente al ácido sulfúrico, a los cloruros y a los ácidos orgánicos. También es más resistente en presencia de agua de mar y en medios atmosféricos pero es menos resistente frente al ácido nítrico en ebullición. Es menos sensible a la corrosión por picaduras ante los vapores del ácido acético y soluciones de cloruros, ioduros y bromuros.

A temperaturas comprendidas entre 450 y 900°C se provoca una precipitación de carburos que lo hacen sensible a la corrosión intergranular. Estos carburos se disuelven con un nuevo temple austenítico.

La soldadura es posible con todos los procedimientos. Las soldaduras deberán ser decapadas y pasivadas para evitar focos de corrosión.

Mantiene buenas resiliencias a temperaturas bajo cero. La estructura de este acero es austenítica a todas las temperaturas. Es amagnético.

#### TRANSFORMACIONES EN CALIENTE.

De 1150 a 900°C con enfriamiento en aire. La temperatura inicial dependerá del grado de deformación. Para grandes reducciones puede elevarse la temperatura inicial hasta 1225°C, pero las permanencias deben ser cortas para que la formación de ferrita sea la menor posible ya que ésta dificulta la transformación en caliente. Por su baja conductividad térmica es necesario darle mayores permanencias que en el caso de los aceros comunes.

## TRATAMIENTOS TERMICOS.

Con un temple austenítico entre 1050 y 1120°C disolveremos los carburos precipitados. El enfriamiento se hará en agua. Con este tratamiento la estructura estará formada básicamente por austenita aunque pueden aparecer pequeñas cantidades de ferrita. Esto dependerá de la composición química, de la temperatura del tratamiento y de su enfriamiento.

-- AISI-301 (Acero Inoxidable Austenítico).

## GENERALIDADES.

Comparándolo con el acero AISI-304, el elevado contenido de carbono, unido al menor contenido de cromo y níquel, hacen que se consiga un endurecimiento mayor por deformación en frío y por consiguiendo un mayor límite elástico. Por ello, y entre otras razones, tiene gran aplicación en la fabricación de muelles.

La resistencia a la corrosión de este acero es inferior a la del acero AISI-304.

La sensibilidad a la precipitación de carburos durante la soldadura hace que su empleo quede limitado a aquellas piezas que posteriormente pueden recibir un temple austenítico. La soldadura es posible con todos los procedimientos.

Mantiene buenas resiliencias a temperaturas bajo cero. La estructura de este acero es austenítica a todas las temperaturas. Es a magnético.

## TRANSFORMACIONES EN CALIENTE.

De 1175 a 850°C con enfriamiento en aire. La temperatura inicial dependerá del grado de deformación. Para grandes reducciones puede elevarse la temperatura inicial hasta 1260°C. Por su baja conductividad es necesario darle mayores permanencias que en el caso de los aceros comunes.

## TRATAMIENTOS TERMICOS.

Con un temple austenítico entre 1050 y 1120°C disolveremos los carburos precipitados. El enfriamiento se hará en agua. Cuando las pie

zas a tratar sean de acero moldeado es conveniente aumentar en unos 50°C la temperatura del temple austenítico. Con este tratamiento la estructura será básicamente austenítica, aunque pueden aparecer cantidades variables de ferrita.

-- AISI-321 (Acero Inoxidable Austenítico).

#### GENERALIDADES.

Este acero por su contenido de titanio, está protegido contra la corrosión intergranular. Se recomienda su aplicación en piezas fabricadas mediante soldadura y en piezas que van a ser utilizadas a temperaturas comprendidas entre 450 y 900°C.

Las soldaduras deberán ser decapadas y pasivadas para evitar focos de corrosión. Posee buenas resiliencias a temperaturas bajo cero. La estructura de este acero es austenítica a todas las temperaturas. Es amagnético. Cuando se trabaja en frío se hace ligeramente magnético.

#### TRANSFORMACIONES EN CALIENTE.

De 1180 a 875°C con enfriamiento en aire. La temperatura inicial dependerá del grado de deformación. Para grandes reducciones puede elevarse la temperatura inicial hasta 1250°C.

#### TRATAMIENTOS TERMICOS.

Con un temple austenítico entre 1000 y 1050°C eliminaremos la acritud creada durante la transformación en caliente. El enfriamiento puede hacerse en agua o en aire.

Con este tratamiento la estructura estará formada básicamente por austenita aunque pueden aparecer pequeñas cantidades de ferrita. - Esto dependerá de la composición química, de la temperatura del tratamiento y del enfriamiento.

-- AISI-405 (Acero Inoxidable Ferrítico).

#### GENERALIDADES.

La resistencia a la corrosión de este acero es algo superior

a la de los aceros inoxidable martensíticos con el mismo contenido de cromo.

Es propenso a engrosar el grano a temperaturas elevadas y ad-- quiere cierta fragilidad con permanencias prolongadas entre 450 y 500° centígrados (fragilidad 475°C).

El bajo contenido de carbono y la adición de aluminio favore-- cen la soldadura. Es soldable con todos los procedimientos. En la soldadura por arco puede utilizarse como metal de aportación, una calidad similar a la del acero o aleaciones austeníticas del tipo 18-8 y 25-20. En el transcurso de la soldadura es posible la precipitación de algo de martensita siempre en menor cantidad que en el caso del acero AISI-403, ya que el aluminio, elemento fuertemente alfégeno, tiende a evitar que se forme austenita en el calentamiento y en consecuencia, martensita en el enfriamiento. Aún así, si las piezas lo permiten, se aconseja realizar un "recocido de distensión" entre 700 y 750°X, seguido de un enfriamiento en aire, para eliminar tensiones y recuperar la plasticidad perdida. Se aconseja que antes de la soldadura se precalienten las piezas entre 200 y 300°C.

La aptitud para la embutición profunda se puede considerar mediana. Es ferromagnético.

#### TRANSFORMACIONES EN CALIENTE.

De 1100 a 750°C con enfriamiento en aire. Para conseguir un tamaño de grano fino, es necesario que las reducciones finales se realicen por debajo de 800°C.

#### TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

Para conseguir una baja dureza se recomienda un recocido entre 750 y 800°C con enfriamiento en el horno hasta 550°C.

No se admite el temple, pero es posible mejorar su límite elástico si se le calienta entre 900 y 950°C y se enfría en aire.

-- AISI-430 (Acero Inoxidable Ferrítico).

#### GENERALIDADES.

Resiste bien a la oxidación hasta temperaturas de 850°C y es

más resistente a la corrosión con un pulido brillante. En general, este acero presenta una resistencia a la corrosión intermedia entre los aceros martensíticos y los austeníticos. Resiste bien a los ácidos oxidantes diluidos.

Es propenso a engrosar el grano a temperaturas elevadas y adquiere una fragilidad acusada con permanencias prolongadas entre 450 y 500°C (fragilidad a 475°C). En consecuencia, aumenta la carga de rotura y desciende sensiblemente la resiliencia.

Después de la soldadura es aconsejable realizar un "recocido - de distensión", ya que puede quedar reducida la resistencia a la corrosión en las zonas afectadas por las temperaturas superiores a 900°C y que se han enfriado en aire. Además, en estas zonas aumenta el tamaño del grano, disminuyendo su tenacidad.

Se mejora su ductibilidad con contenidos de carbono inferiores a 0.06%. A temperaturas inferiores a la del ambiente decae rápidamente la resiliencia. La aptitud para la embutición profunda es aceptable. - Es ferromagnético.

#### TRANSFORMACIONES EN CALIENTE.

De 1050 a 700°C con enfriamiento en aire. Para conseguir un tamaño de grano fino es necesario que las reducciones finales que se realicen sean por debajo de 800°C.

#### TRATAMIENTOS TERMICOS.

Para conseguir una dureza baja y una buena ductibilidad se recocerá el acero entre 775 y 850°C, con enfriamiento en aire.

Al ser ferrítico no admite el temple. Con contenidos de carbono próximos al 0.10% y calentándolo por encima de 980°C y enfriado en aceite, se mejora su resistencia mecánica.

La resiliencia de este acero varía con el espesor del material, a mayor espesor, menos resiliencia.

La resistencia media a la fatiga es el 40% de la carga de rotura.

-- AISI-410 (Acero Inoxidable Martensítico).

#### GENERALIDADES.

Dentro de los aceros inoxidable martensíticos es de los más dúctiles y maleables en el estado de recocido y es apropiado para la transformación en frío.

Es resistente a la oxidación hasta los 650°C y su mejor resistencia a la corrosión la presenta cuando ha sido templado y pulido. Resiste bien los ácidos orgánicos diluidos en frío y a los productos aliménticos en general, pero no a los ambientes salinos o al agua de mar.

La influencia que ejerce el níquel en la templabilidad es muy importante. Con contenidos de níquel comprendidos entre 0.50 y 1.00%, la templabilidad será sensiblemente superior que con contenidos inferiores a 0.50%.

Es soldable con ciertas precauciones. Se recomienda precalentar las piezas antes de la soldadura así como un tratamiento entre 700 y 750°C con enfriamiento en aire después de realizada. Es ferromagnético.

#### TRANSFORMACIONES EN CALIENTE.

De 1150 a 850°C con enfriamiento lento.

#### TRATAMIENTOS TERMICOS.

Se consigue una dureza muy baja calentando el acero entre 700 y 870°C y enfriándolo lentamente en el horno hasta 600°C. Para su mejor mecanización se recomienda un tratamiento posterior entre 700 y 780°C con enfriamiento en aire.

Temple: de 950 a 1000°C con enfriamiento en aire.

Revenido: puede hacerse por debajo de 250°C (revenido duro) o por encima de 600°C (revenido tenaz). En ambos casos con enfriamiento en aire. La temperatura de revenido dependerá de las características mecánicas que pretendamos obtener.

-- AISI-420 (Acero Inoxidable Martensítico).

#### GENERALIDADES.

Dentro de los martensíticos es un acero semisuave pero que adquiere muy buena dureza con el temple.

Su mayor resistencia a la corrosión la presenta cuando ha sido templado y pulido. Resiste bien a los ácidos orgánicos fríos, a los hidróxidos: sódico, potásico, cálcico y amónico, a los nitratos, a los productos alimenticios en general, al vapor de agua, al aire contaminado, etc. No debe emplearse en ambientes salinos o en contacto con el agua de mar.

La influencia del níquel en la templabilidad es bastante importante. Con contenidos de níquel comprendidos entre 0.50 y 1.00% la templabilidad será superior que con contenidos inferiores a 0.50%. Es ferromagnético.

#### TRANSFORMACIONES EN CALIENTE.

De 1150 a 850°C con enfriamiento lento.

#### TRATAMIENTOS TERMICOS.

Se consigue una dureza muy baja calentando el acero entre 300 y 880°C y enfriándolo lentamente en el horno hasta 600°C.

Temple: de 980 a 1030°C con enfriamiento en aceite.

Revenido: puede hacerse por debajo de 250°C o por encima de -600°C. En ambos casos, con enfriamiento en aire. La temperatura del revenido dependerá de las características mecánicas que pretendamos obtener.



## 1.8 DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO NACIONAL.

A causa del continuo desarrollo del país en los últimos años, se han venido operando cambios trascendentales, tanto en la industria nacional, como en los hábitos de consumo de su población. Las técnicas de producción masiva, el acceso de la población a productos sofisticados y las propias necesidades de la industria en general, que la conducen a producir más y en mejor calidad, han marcado la pauta del desarrollo del mercado del acero inoxidable, hasta niveles muy importantes.

Todos los aceros inoxidables mencionados como los más utilizados en la industria nacional en la sección 1.7, tablas no. 8 y no. 10, se fabrican aquí en México. Se producen aceros austeníticos de la serie 300 y ferríticos de la serie 400, de los cuales los más frecuentes en orden de importancia son los tipos: 304, 316, 301, 304L, 316L, 302 y 321.

La producción nacional en 1987 fue de 12,820 toneladas repartidas en la forma siguiente:

	Toneladas
Laminación	3504
Piezas vaciadas	1980
Forja	1249
Barras	3869
Laminado en caliente	387
Rectificadas	1831
Total	<u>12820</u>

Las importaciones alcanzaron en 1987 las 9,908 toneladas repartidas de la siguiente manera:

	Toneladas
Barras	208
Planos	9700
Total	<u>9908</u>

## CAPITULO II.

## CORROSION DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

## 2.1 GENERALIDADES.

A la hora de elegir un acero inoxidable, deberá tenerse en cuenta:

- a) La naturaleza, composición y variaciones desarrolladas con el tiempo de los agentes corrosivos a los que se someterá el acero.
- b) La temperatura y presión de dichos agentes corrosivos.
- c) Los esfuerzos que deberá soportar, la estructura adecuada y el estado superficial más idóneo del acero, además de otras condiciones que aún considerándolas no fundamentales en ciertos casos, pueden ser causa de verdaderos desastres.

**DEFINICION:** La palabra corrosión denota la destrucción o pérdida del material por la interacción de éste con el medio ambiente. Dicha interacción puede ser de naturaleza química o electroquímica.

El término corrosión se aplica a una alteración destructiva de materiales por reacción química con una sustancia cualquiera, sólida, líquida, gaseosa o una combinación de éstas. Además del estado físico del ambiente, deben considerarse otros factores que están en juego en el mecanismo de la corrosión tales como: temperatura, presión, tiempo, impurezas, fuerza erosiva, si el ambiente es estático o dinámico, etc.

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables se debe a la formación, en la superficie de los mismos, de una película de óxido muy delgada y resistente que recibe el nombre de película pasiva. Esta película se forma siempre que el medio que rodea el acero es capaz de ceder oxígeno.

El hierro, níquel y cromo son los tres elementos base de estos aceros, siendo el cromo el elemento que mayor influencia tiene, ya que todas las aleaciones de este metal adquieren su propiedad de "pasividad estable". No todos los investigadores están de acuerdo en cuanto a la composición de la película pasiva, pero en general se acepta que se trata de óxidos formados por el oxígeno y el metal base.

Uno de los problemas más serios de la industria lo constituye la corrosión, que produce daños cuantiosos al año. Es un problema complejo del cual se conoce mucho, sin embargo, a pesar de la extensa investigación y experimentación, todavía hay mucho que aprender. En algunos casos, como en el ataque químico directo, la corrosión es altamente obvia, pero en otros, como la corrosión intergranular, es menos -- obvia pero igualmente dañina.

## 2.2 INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION EN LA RESISTENCIA A LA CORROSION.

A continuación se presenta un breve resumen de la influencia en la resistencia a la corrosión de los distintos elementos que intervienen en los aceros inoxidable.

### CARBONO.

La influencia del carbono en la resistencia a la corrosión depende del estado en que se encuentre dentro del acero. Si está uniformemente repartido en la estructura del acero su influencia será menos nociva que si se encuentra en forma de carburos. Se considera que los carburos y el resto de la matriz pueden formar pares galvánicos al ser de distinta composición. Además los carburos hacen que la película pasiva sea discontinua.

### CROMO.

Como ya se ha expresado anteriormente, el cromo es el elemento de mayor importancia respecto a la resistencia a la corrosión.

### NIQUEL.

El níquel es el elemento más importante que interviene en estos aceros, después del cromo. En general (salvo excepciones muy raras) aumenta la resistencia a la corrosión al reforzar el efecto pasivante del cromo.

**MANGANESO.**

El manganeso en cantidades inferiores al 1.00% tiene muy poca influencia en la resistencia a la corrosión, pero en cantidades de 8 a 10% hace que en los aceros se consigan estructuras austeníticas que favorecen sensiblemente la resistencia a la corrosión.

**SILICIO.**

Adiciones de silicio de 0.5 a 1.0% mejoran la resistencia a la corrosión en ciertos ácidos, pero su mayor influencia radica en la resistencia a la oxidación a elevadas temperaturas que confiere a los aceros inoxidables y refractarios.

**MOLIBDENO.**

El molibdeno tiene una influencia similar pero menos intensa - que la del cromo. Reduce la corrosión por picaduras en soluciones cloradas.

**COBRE.**

Mejora la resistencia a la corrosión de los aceros altos en cromo y de algunos austeníticos frente a algunas soluciones corrosivas (soluciones cloradas, soluciones de ácido sulfúrico, etc.). Interviene en los aceros cuando se encuentra en pequeñas cantidades, ya que dificulta la transformación en caliente y los hace propensos a las fisuras.

**ALUMINIO.**

En los aceros con cromo, cantidades de 3 a 4% de aluminio hace que presenten una buena resistencia a la oxidación en caliente, al formarse una película de alúmina en la superficie de los mismos. Su influencia es superior a la del silicio.

## NITROGENO.

El poder austenizante del nitrógeno es 30 veces superior al del níquel y hace que su influencia en la resistencia a la corrosión de los aceros con cromo de 20 a 23% sea muy similar a la del tipo 18-8. Nunca interviene en porcentaje superior a 0.25%, por su baja solubilidad en el acero.

## TITANIO, NIOBIO Y TANTALO.

La finalidad que tienen estos elementos en los aceros inoxidables y refractarios es evitar la corrosión intergranular, al impedir la precipitación de carburos de cromo en las uniones de los granos.

## AZUFRE, SELENIO Y FOSFORO.

Los elementos citados reducen la resistencia a la corrosión en los aceros inoxidables.

## 2.3 PRINCIPIOS QUIMICOS DE LA CORROSION.

Al hablar de corrosión, generalmente la referimos a los metales, ya que éstos constituyen prácticamente la totalidad de los materiales sujetos a este problema. Los metales constituyen el grupo más importante de materiales de uso común.

Su aplicación se apoya en la gran variedad de propiedades que pueden lograrse de ellos, por medio de aleaciones adecuadas (caso particular de los aceros inoxidables) o tratamientos térmicos que son particularmente útiles por sus propiedades de resistencia, ductibilidad, maleabilidad, etc. Desafortunadamente la casi totalidad de dichos materiales son susceptibles de ser atacados por el medio ambiente y sufrir la corrosión.

## POTENCIALES DE CELDA.

Cada metal tiene una fuerza impulsora diferente para solubilizarse, la cual puede medirse como voltaje. Esto se muestra en la tabla no. 12.

Tabla no. 12

	Reacción de corrosión	Potencial, voltios vs. electrodo normal de hidrógeno
Más cátódica	$Au \rightarrow Au^{3+} + 3e^{-}$	+ 1.498
	$O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O$	+ 1.229
	$Pt \rightarrow Pt^{2+} + 2e^{-}$	+ 1.200
	$Pd \rightarrow Pd^{2+} + 2e^{-}$	+ 0.987
	$Ag \rightarrow Ag^{+} + e^{-}$	+ 0.799
	$2Hg \rightarrow Hg_2^{2+} + 2e^{-}$	+ 0.788
	$Fe^{3+} + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}$	+ 0.771
	$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$	+ 0.401
	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^{-}$	+ 0.337
	$Sn^{4+} + 2e^{-} \rightarrow Sn^{2+}$	+ 0.150
$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$	0.000	
Más anódica	$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e^{-}$	- 0.126
	$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^{-}$	- 0.136
	$Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2e^{-}$	- 0.250
	$Co \rightarrow Co^{2+} + 2e^{-}$	- 0.277
	$Cd \rightarrow Cd^{2+} + 2e^{-}$	- 0.403
	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$	- 0.440
	$Cr \rightarrow Cr^{3+} + 3e^{-}$	- 0.744
	$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$	- 0.763
	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^{-}$	- 1.652
	$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^{-}$	- 2.363
$Na \rightarrow Na^{+} + e^{-}$	- 2.714	
$K \rightarrow K^{+} + e^{-}$	- 2.925	

De un lado vemos que elementos tales como el zinc tienen un -- fuerte voltaje negativo con respecto al hidrógeno, indicando que el metal se solubiliza y se desprende el hidrógeno. Por otro lado, con los metales nobles tales como el oro, plata y cobre no hay potencial impulsor para reemplazar el hidrógeno.

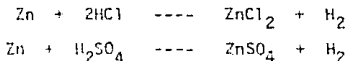
#### LA CORROSION COMO UNA REACCION QUIMICA.

Para poder comprender el fenómeno corrosivo como resultado de una reacción química, es necesario disponer de algunos principios elementales de la química, los cuales se enunciarán brevemente.

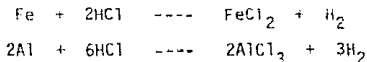
### - CORROSION EN ACIDOS.

Una de las formas de obtener hidrógeno en el laboratorio, es - colocar un pedazo de zinc metálico dentro de un vaso conteniendo un ácido diluido como el clorhídrico o el sulfúrico.

El zinc se ataca rápidamente desprendiendo el hidrógeno:



Otros metales como lo son el hierro y el aluminio también son corroídos o disueltos por el medio ácido, liberando hidrógeno:

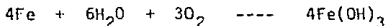


### - CORROSION EN SOLUCIONES NEUTRAS Y ALCALINAS.

La corrosión de los metales también puede presentarse en agua limpia, agua de mar, soluciones salinas y soluciones alcalinas o básicas.

En la mayoría de estos sistemas, la solución solamente ocurre cuando éstas contienen oxígeno disuelto.

La corrosión más familiar de este tipo, es la oxidación del -- hierro al exponerlo a atmósferas húmedas o al agua.

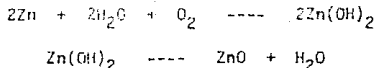


El hierro al combinarse con el agua y el oxígeno nos da una -- sustancia insoluble de color café rojizo, que es el hidróxido férrico.

Durante la oxidación en la atmósfera, existe la oportunidad de que el producto de la reacción se seque, por lo que el hidróxido férrico se deshidrata y forma el óxido café rojizo que es tan familiar.



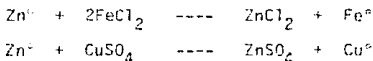
Reacciones similares se presentan cuando el zinc se expone al aire húmedo o al agua.



El óxido de zinc resultante es el depósito blanco que se observa en los equipos galvanizados.

#### - CORROSION EN OTROS SISTEMAS.

Los metales también pueden ser atacados en soluciones que no contengan oxígeno o ácidos. Las soluciones típicas para este proceso son aquellas soluciones denominadas oxidantes que contienen sales férricas y compuestos cúpricos en los que la corrosión se presenta de acuerdo con las siguientes reacciones:



Estas reacciones y las similares a éstas reciben el nombre de sustitución metálica.

#### ELECTROQUIMICA DE LA CORROSION.

Considerando como generalmente aceptada la teoría electroquímica de la corrosión, ésta implica la oxidación de un ánodo y reducción de un cátodo, o sea, pérdida o ganancia de electrones de los átomos del metal a otros átomos o iones.

Al ser un proceso electroquímico, implica que la destrucción química va acompañada de circulación de electricidad, por lo tanto, dicho proceso obedece a la ley de Faraday.

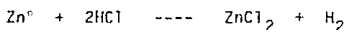
La circulación de electrones del ánodo al cátodo a través del metal es función de la diferencia de potencial entre las zonas anódicas y catódicas. La diferencia de potencial puede originarse a causa de la heterogeneidad de la superficie respecto a la variación de las películas sobre el metal de los diferentes componentes metalúrgicos, de la forma de impurezas, esfuerzos, del gradiente de temperatura, etc.

Como la corrosión metálica es casi siempre un proceso electroquímico, es muy importante comprender la naturaleza básica de las reacciones electroquímicas.



REACCIONES ELECTROQUIMICAS. Una reacción electroquímica se define como una reacción química que comprende el fenómeno de oxidación y reducción. En el cual hay una transferencia de electrones.

Una reacción química como lo es:

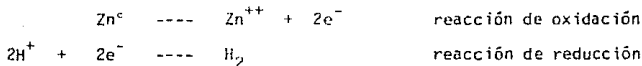


en forma electroquímica se reduce a:



ya que el ión cloruro no cambia de valencia.

Durante esta reacción el zinc es oxidado y el hidrógeno reducido, por lo que tenemos:



En términos de corrosión, una reacción de oxidación recibe el nombre de reacción anódica y la de reducción se denomina reacción catódica. Todo proceso de oxidación necesita por lo menos una reacción de oxidación y una de reducción, por lo que podemos resumir que las reacciones de corrosión son electroquímicas en naturaleza y debido a esto es posible dividir el proceso de corrosión en reacciones anódicas y catódicas que permiten simplificar la presentación de la mayoría de los procesos.

#### - REACCIONES ANODICAS.

Durante el ataque corrosivo la reacción anódica siempre es la oxidación del metal a un estado superior de valencia.

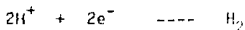


es decir, la corrosión del metal da por resultado su oxidación para formar iones con valencia n y la liberación de n-electrones.

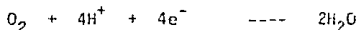
## - REACCIONES CATODICAS.

Hay varias reacciones catódicas, dependiendo de las condiciones que se encuentran durante la corrosión de los metales, tales como las que se enlistan a continuación:

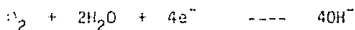
Desprendimiento de hidrógeno:



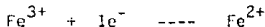
Reducción de oxígeno (en solución ácida):



Reducción de oxígeno (en solución neutra o alcalina):



Reducción de iones metálicos:



Depósitos de metal:



En agua pura no ocurrirá la corrosión del hierro en ausencia de oxígeno disuelto.

Para que la corrosión continúe es esencial tener tanto reacciones anódicas como catódicas; de otra forma la carga aumenta, suspendiendo la corrosión. La reacción anódica generalmente consiste en la solución de un metal, pero hay una gran variedad de reacciones catódicas (como las enlistadas anteriormente), dependiendo de las condiciones.

Obsérvese que en todas las reacciones catódicas los electrones son absorbidos.

Hay varios puntos que se deben recalcar; en el ánodo los electrones se depositan en el metal a medida que los iones metálicos se desprenden. En esta región el metal se carga negativamente. En el cátodo los electrones están siendo absorbidos por iones. Esta región es positiva porque los iones con carga positiva se acumulan para recibir electrones.

## PRODUCTOS DE LA CORROSION.

El término corrosión se refiere a las sustancias obtenidas durante las reacciones de corrosión y éstas pueden ser solubles, como en el caso del cloruro de zinc y el sulfato de zinc o insolubles como en el caso del óxido de hierro e hidróxido de hierro III.

La presencia de los productos de la corrosión es una de las formas por las cuales se detecta ésta, por ejemplo, el óxido.

Sin embargo, es conveniente notar que los productos insolubles de la corrosión, no siempre son visibles, por ejemplo, al exponer una pieza de aluminio al aire, se forma una película de óxido casi invisible porque es extraordinariamente delgada, siendo esta la razón del uso extensivo del aluminio en la construcción de ventanas, cancelas y molduras automotrices.

La importancia de los productos de la corrosión, como factor - que disminuye la intensidad del proceso corrosivo depende del lugar -- donde precipitan. Si se depositan en contacto íntimo con la superficie del metal, constituyen un revestimiento protector. Si precipitan a una cierta distancia de la superficie del metal, más no en contacto íntimo con aquélla, la dejan sin protección alguna.

## FENOMENO DE POLARIZACION.

A continuación se presenta, en forma breve, el concepto de polarización, el cual es muy importante para comprender el comportamiento corrosivo y las reacciones electroquímicas de la corrosión.

**POLARIZACION.** Es el cambio de potencial de un electrodo, al fluir una corriente hacia él o desde él.

La velocidad de una reacción electroquímica está limitada por varios factores físico-químicos y ambientales que la retardan, diciéndose en este caso, que está polarizada. La polarización se puede clasificar en forma conveniente en dos tipos diferentes:

- a) Polarización por activación.
- b) Polarización por concentración.

La polarización por activación es un proceso electroquímico -- controlado por la secuencia de la reacción en interfase metal-electro-

lito, que se puede fácilmente ilustrar, considerando la reacción del zinc con el ácido clorhídrico con desprendimiento de hidrógeno.

La polarización por concentración es un proceso controlado -- por las concentraciones en contacto, esto es, la concentración existente entre la interfase con el electrodo y la concentración de la solución en que está sumergido. Como ejemplo tenemos un metal de hierro sumergido en agua. Si el oxígeno está en exceso se forma el óxido de hierro, el cual se deposita en la superficie metálica, provocando una caída de potencial.

## 2.4 TIPOS DE CORROSION EN LOS ACEROS INOXIDABLES.

Se distinguen varias formas de corrosión, según la distribución del ataque y el efecto de los factores internos y externos que modifican la distribución y la rapidez.

### 1. CORROSION UNIFORME.

Es la que se extiende en toda la superficie del material produciendo una pérdida de espesor por la acción química o electroquímica y, por consiguiente, una disminución en la resistencia mecánica.

La corrosión de este tipo es uniforme respecto al tiempo; el metal es convertido a productos solubles de la corrosión con un ritmo constante y el ataque puede predecirse y en cierto grado controlarse.

Las superficies rugosas son más propensas a este tipo de corrosión que las que tienen un acabado pulido brillante.

### 2. CORROSION POR PICADURAS.

Ni las superficies de los metales, ni el medio externo que los rodea son homogéneos. Toda esta serie de condiciones hacen que desaparezca la pasividad de algunos puntos de la superficie de un acero inoxidable, dichos puntos se transforman en ánodos, dando origen a la creación de pares galvánicos.

Por lo general se manifiesta con picaduras muy finas que se de sarrollan rápidamente en profundidad y en longitud.

Caso típico de esta corrosión es la producida por agua de mar en casi todos los aceros y es sumamente peligrosa porque no es fácil detectarla. Los cloruros, bromuros e hipocloritos son los que presen--tan mayor agresividad.

Si sobre la superficie de un acero inoxidable se acumula suciedad, se evita el acceso del oxígeno en las zonas cubiertas, formándose picaduras como consecuencia de la pérdida de pasividad.

Los aceros austeníticos con molibdeno manifiestan buena resistencia y ésta se ve mejorada si lleva aleación de cobre. El nitrógeno reduce también la tendencia a la corrosión por picaduras.

Los aceros inoxidables de cuchillería que se han pulido y que aparentemente están bien, pueden padecer dicha corrosión por no haber eliminado totalmente en los desbastes la cascarilla formada en los calentamientos.

### 3. CORROSION POR CONTACTO.

Hay ciertos casos en que se produce una corrosión localizada en las zonas de contacto de un acero con productos sólidos, cuando estos están humedecidos con agua u otro medio corrosivo. Es decir, cuando una sustancia sólida o semisólida se adhiere a la superficie metálica del metal que se encuentra bañado por una solución electrolítica, la pasividad del metal debajo de esta sustancia es destruida y no puede rehacerse, por la imposibilidad del oxígeno o de los agentes oxidantes, de venir en contacto con el metal, para reformar la película protectora de óxido.

En estos puntos de contacto pueden formarse celdas galvánicas de concentración, produciendo la corrosión por puntos. La violencia del ataque depende del electrolito y de la resistencia del metal a la corrosión. Si los medios corrosivos que humedecen a los productos sólidos en contacto con el acero son soluciones con presencia de radicales ácidos como son sulfatos o los cloratos, o la de los ácidos, como el láctico y el acético, aumentan la velocidad e intensidad del ataque corrosivo, especialmente si se trata de aceros inoxidables con bajo contenido de cromo o de aquellos con poco o nada de molibdeno.

Este tipo de corrosión es muy frecuente en el almacenamiento

de los aceros inoxidable al cromo. Las empaquetaduras más peligrosas son las grafitadas.

La corrosión por contacto puede reducirse o hasta puede evitarse empleando los tipos de aceros inoxidables más resistentes a la corrosión y diseñando los equipos en forma racional para tal propósito.

Se deberá evitar la superposición de superficies metálicas que puedan retener entre ellas depósitos de sustancias sólidas o semisólidas y deberá cuidarse que los líquidos puedan circular libremente. No se deben dejar depósitos sólidos de ninguna clase sobre la superficie del acero inoxidable, sobre todo si hay humedad sobre la misma.

#### 4. CORROSION BAJO TENSION.

Cuando en los aceros quedan tensiones residuales o se crean estas por efecto de esfuerzos exteriores (tales como los esfuerzos de tracción, deformación en frío, soldadura, etc.) y se les somete a determinadas soluciones, especialmente las cloradas, pueden producirse pequeñas fisuras si las zonas expuestas están a tracción, dando origen a la corrosión bajo tensión. El metal que contiene tensiones es ligeramente anódico con respecto al mismo metal libre de tensiones.

Este tipo de corrosión se presenta sobre todo en el caso de los aceros inoxidables austeníticos cuando los mismos se hallan bajo tensiones y sujetos al ataque de agentes corrosivos, siendo los más peligrosos las sales halógenas.

Para prevenir este tipo de corrosión es necesario eliminar las tensiones residuales de los equipos sometidos al ataque corrosivo intenso; uno de los medios más eficaces es el de someter a los aceros a un "tratamiento de eliminación de tensiones". Para los aceros austeníticos será suficiente conseguir una temperatura superior a los 880°C, siempre que vayan a ser expuestos a los medios clorados más normales.

Del mismo modo que las tensiones residuales pueden ser causantes de la corrosión de los aceros inoxidables en ciertos medios, las tensiones que se producen en el material durante la operación del equipo, también pueden ocasionar corrosión por fatiga. Las tensiones pueden ser originadas por cargas estáticas o intermitentes. Las condiciones más favorables para el ataque corrosivo son producidas por los cambios en la amplitud y duración de las cargas intermitentes, ya sea a baja o a alta frecuencia. Cuando la tendencia normal a la fatiga del material se agrega el ataque corrosivo, puede producirse el desgaste -

prematureo de dicho material.

Las grietas producidas por la corrosión bajo tensión son generalmente transgranulares, pero se dan casos en que son intergranulares.

En los aceros martensíticos aparece este tipo de corrosión -- cuando están en contacto con el aluminio. El aluminio hace de ánodo, dando lugar a que los iones de hidrógeno se descarguen sobre la superficie del acero, entrando hidrógeno en la red cristalina provocando -- tensiones. Si en estas condiciones sometemos al acero a medios clorados se provocará su corrosión.

En la tabla no. 13 se enlistan algunas soluciones cloradas que pueden producir agrietamiento por corrosión bajo tensión en los aceros inoxidables.

Tabla no. 13

SAL	CONCENTRACION % PESO	TEMPERATURA °C
Cloruro amónico	30	Ebullición
Cloruro cálcico	37	Ebullición
Cloruro de cobalto	Saturado	100
Cloruro de litio	30	Ebullición
Cloruro de magnesio	40 (pH 4)	104
Cloruro de magnesio	60 (pH 4.4)	106
Cloruro de magnesio	42	154
Cloruro mercúrico	10	Ebullición
Cloruro de zinc	54	Ebullición
Cloruro sódico	Saturado	100

## 5. CORROSION INTERGRANULAR.

La corrosión intergranular o intercrystalina se produce sobre los granos o cristales del metal, debilitando o destruyendo la cohesión entre los mismos y causando por ende, la desintegración del metal, siendo el efecto parecido a la desintegración del cemento en una pared de ladrillos. Este tipo de corrosión se da fundamentalmente en los aceros austeníticos. Si a un acero inoxidable austenítico se le -- mantiene durante cierto tiempo a temperaturas comprendidas entre 450 y 900°C se provoca una precipitación de carburos en los límites de los granos que empobrecen de cromo las zonas contiguas a los mismos y por consiguiente lo hace más vulnerable al ataque corrosivo. La precipita-

ción del carburo de cromo es la más grave, ya que el elemento principal en la pasividad del acero inoxidable es justamente el cromo.

Pueden ser causa de precipitación: tratamientos térmicos mal realizados, calentamientos o enfriamientos defectuosos durante la transformación del acero, los calentamientos sufridos en las zonas cercanas al cordón de soldadura, etc.

Un ejemplo típico de este tipo de corrosión es el que se presenta a lo largo de las soldaduras, no en las costuras, sino en las zonas adyacentes a las mismas, pudiendo ser la intensidad del ataque tal que produzca la destrucción del metal.

Es muy peligroso que un acero quede sensibilizado a la corrosión intergranular, ya que en ocasiones, después de dicho ataque parece que está sano, pero en un exámen detallado pone de manifiesto que posee muy poca resistencia.

En general en un acero se manifiesta la corrosión intergranular por su pérdida de brillo y sonoridad, transformándose en quebradizo.

En la tabla no. 14 que se presenta a continuación se incluyen algunos medios que favorecen la corrosión indicada cuando los aceros han sido sensibilizados. En los casos en que se presenta el asterisco, no se indica el tratamiento específico, pero varía entre 1 y 1000 hr a temperaturas entre 540 y 760°C.

## 6. CORROSION GALVANICA.

La corrosión adicional directamente relacionada con el paso de la corriente en una pila se denomina corrosión galvánica.

Su fundamento es la formación de zonas catódicas y anódicas. Al ser éstas de menor potencial que aquéllas, se crean pares galvánicos - que son la causa de la rápida destrucción del metal que forma las zonas anódicas.

Esto es:

Si se sumerge un pedazo de metal en un recipiente que contenga agua (figura no. 7), el metal tiende a disolverse en forma de iones metálicos con una carga positiva que pasan a la solución con carga



Tabla no. 14

## - MEDIOS QUE FAVORECEN LA CORROSION INTERGRANULAR.

MEDIO	% PESO	TEMPERATURA °C	DURACION DE LA EXPOSICION	ACERO INOXIDABLE	METODO DE SENSIBILIZACION
Ac. Acético	99.6	118	2 años	316	Bruto de moldeo
Ac. Acético con Ac. Salicílico	55-75 0.2-3	104	-	316	Bruto de soldadura
Ac. Acético	20	Ebullición	503 hr	316	2 hr a 677°C
Ac. Crómico	10	Ebullición	110 hr	304,316	*
Ac. Cítrico	20	Ebullición	1082 hr	316	2 hr a 677°C
Cloruro Férrico	5	Ebullición	110 hr	304,316	*
Cloruro Férrico	25	Frío	-	316	*
Ac. Fórmico	10	Ebullición	2400 hr	304	*
Ac. Fluorhídrico y Sulfato Férrico	1.8-2 6-8	77	15 min	302	Recocido a la llama
Ac. Láctico	50	Ebullición	240 hr	304	*
Ac. Láctico	85	Ebullición	96 hr	304	*
Ac. Nítrico	65	Ebullición	240 hr	316	2 hr a 677°C
Ac. Nítrico	12.5	Ebullición	96 hr	302	*
Ac. Nítrico	55	Ebullición	144 hr	304	*
Ac. Nítrico	70	99	2400 hr	302,304	*
Ac. Nítrico y Ac. Fluorhídrico	10-12 1.5	60	5-16 mes	304,316	Bruto de soldadura
Ac. Oxálico	10	Ebullición	120 hr	316	2 hr a 677°C
Ac. Fosfórico	607080	Ebullición	96 hr	304,316	*
Ac. Fosfórico	50	Ebullición	264 hr	316	2 hr a 677°C
Bisulfato Sódico	10	Ebullición	2400 hr	304	*
Ac. Sulfámico	10	Ebullición	2400 hr	304	*
Ac. Sulfúrico	0.5	Ebullición	72 hr	302,316	*
Ac. Sulfúrico	3	Ebullición	15 hr	316	*
Ac. Sulfúrico	10	70	96 hr	316,317	*
Ac. Sulfúrico y Ac. Nítrico	0.6 0.4	100	-	309	Enfriado muy lentamente mediante aspersión.
Ac. Sulfúrico y Sulfato Ferroso	9 7	18	21 días	304	Soldado y eliminación de tensiones 2 hr a 677°C

negativa con respecto a la solución. Si se conecta un voltímetro lo suficientemente sensible, se observará que se ha establecido una corriente eléctrica.

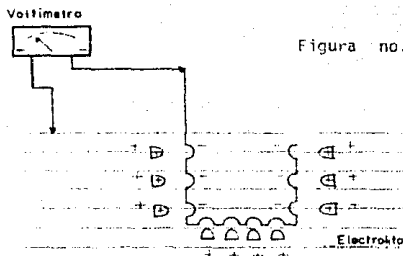
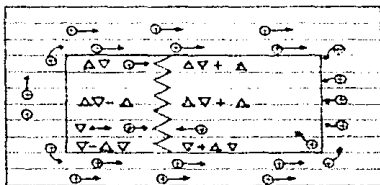


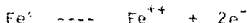
Figura no. 7

Generalmente la superficie del metal tiene distinta composición: causa suficiente para formar diferencias de potencial, que al tener contacto el metal con un electrolito, forma una pila galvánica, -- tendiendo así a disolverse a estas zonas. En estos lugares se desarrollarán potenciales eléctricos negativos, dichos potenciales se transmitirán a las zonas que tienen mayor tendencia a disolverse y que al adquirir un potencial tan negativo invierten el sentido del flujo iónico y por lo tanto reciben cargas positivas en lugar de cedérselas, formando -- así áreas catódicas (figura no. 8).

Figura no. 8



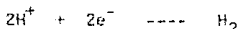
Se forma entonces el circuito galvánico, ya que se tienen los componentes necesarios: ánodo, cátodo, electrolito y conductor metálico, que conecta eléctricamente el ánodo y el cátodo; y mientras prevalezcan las mismas condiciones, las regiones catódicas seguirán recibiendo iones positivos y las áreas aniónicas continuarán perdiéndolos, consumiéndose paulatinamente. La explicación química en el caso de la descomposición del hierro cuando éste entra en solución es:



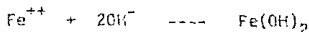
en el agua tenemos



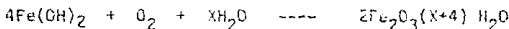
el ion  $\text{H}^{+}$  se neutraliza con los electrones libres produciendo moléculas de hidrógeno que se desprenden en forma de gas:



mientras los iones ferrosos se neutralizan con los iones  $\text{OH}^{-}$  produciendo hidróxido ferroso que es insoluble:



y con la acción del agua y del oxígeno, este hidróxido ferroso se convierte en óxido férrico hidratado:



Es necesario tener presente este tipo de corrosión al proyectar instalaciones o estructuras que estén constituidas de materiales diferentes y es de señalar que no es necesario que los distintos materiales estén en contacto, ya que es suficiente que estén próximos, como en los casos donde existen las siguientes condiciones:

- soluciones distintas separadas o no por una membrana
- superficies con irregularidades
- soluciones similares de concentraciones distintas
- distintas velocidades de aereación o agitación en la solución o distintas velocidades en la circulación del fluido.

Cualquiera de estas condiciones pueden encontrarse en equipos de grandes dimensiones, intercambiadores de calor, tanques mezcladores etc., ya sea una a la vez o simultáneamente, dando lugar a que se formen celdas galvánicas, con el consecuente ataque corrosivo al metal que entra en la construcción del equipo. También puede darse dentro

del mismo material, ya sea por heterogeneidades de éste, o bien, por heterogeneidades del medio que le rodea.

Los aceros inoxidable pueden ser atacados con intensidades variables, de acuerdo al tipo de electrolito constituido por la solución que lo baña. En soluciones ácidas o en las que presenten un alto grado de ionización, el ataque será más intenso que en las soluciones alcalinas, aún cuando éstas últimas presenten un alto grado de ionización, puesto que los elementos que constituyen las aleaciones inoxidables son inatacables en soluciones alcalinas.

Los daños causados por una corrosión del tipo galvánico pueden ser muy grandes y en periodos de tiempo muy cortos, caracterizándose por mostrar grandes pérdidas de material que se pueden localizar en áreas clave. Algunas veces estas zonas son muy reducidas, como en el caso de un remache, una junta de soldadura, una unión entre trabe y columna, etc., que comparada con la masa total es muy pequeña, permaneciendo casi intacto el resto del material. La causa de esto es uqe debido a la consistencia porosa que tiene el óxido, éste absorbe humedad observándose en algunos casos, corrosiones hasta de un centímetro de profundidad.

El grado de nobleza de los metales, en el caso del ataque por agua salada, es determinado por sus posiciones respectivas en la serie galvánica mostrada en la tabla no. 15, donde el material colocado más arriba actúa de ánodo electropositivo y el más bajo de cátodo electro-negativo. De la misma tabla se puede ver que la pasivación de los aceros inoxidable hace que sean trasladados hacia la posición catódica en la serie galvánica. Se puede predecir de este modo, la mayoría de las reacciones de corrosión entre metales diferentes. Es conveniente evitar el contacto de los metales muy distantes uno del otro en la serie galvánica.

En resumen, vemos que las condiciones necesarias para evitar la corrosión galvánica son: uniformar los tipos de metales o aleaciones que entran en la construcción del equipo, uniformar las condiciones de la superficie bañada, uniformar las soluciones contenidas en el equipo, así como la temperatura, la agitación y la concentración de las mismas. Cuando es necesario emplear metales muy diferentes en la construcción de equipos, se puede evitar la acción galvánica aislando los eléctricamente, o separándolos entre sí.

En muchos casos no puede realizarse la uniformidad de las condiciones de trabajo y se debe preveer un cierto ataque corrosivo, cuya importancia sin embargo puede ser disminuida, limpiando cuidadosamente el equipo cada vez que no está en operación. Esto permite que las superficies atacadas y por consiguiente activadas, vuelvan a pasivarse -

en contacto con el aire.

Tabla no. 15  
- POSICION DE LOS ACEROS INOXIDABLES EN LA SERIE GALVANICA  
(EN AGUA SALADA)

Anodo (Electropositivo)

Magnesio  
Aleaciones de magnesio  
Zinc  
Aluminio 2S  
Cadmio  
Aluminio 17 ST  
Acero dulce  
Hierro maleable  
Hierro colado  
Acero al cobre  
Acero con 4%-6% cromo  
Acero inoxidable 410  
Acero inoxidable 430  
Acero inoxidable 446  
Acero inoxidable 301  
Acero inoxidable 302  
Acero inoxidable 309  
Acero inoxidable 310  
Acero inoxidable 316  
Plomo  
Estaño  
Niquel (activo)

Activos

Inconel (activo)  
tatonos  
Cobre  
Bronce  
Aleaciones cobre-niquel  
Metal Monel  
Niquel pasivo  
Acero inoxidable 410  
Acero inoxidable 430  
Acero inoxidable 446  
Acero inoxidable 301  
Acero inoxidable 302  
Acero inoxidable 309  
Acero inoxidable 310  
Acero inoxidable 316  
Plata  
Grafito  
Oro  
Platino

Pasivos

Cátodo (Electronegativo)

Siempre que sea posible la elección de dos metales de mínima - diferencia de potencial, en circuito abierto, se reducirá la fuente -- primaria de corriente galvánica y con ello la corrosión producida por ésta.

## 2.5 INFLUENCIA DE LOS ACIDOS Y BASES ORGANICOS E INORGANICOS EN LOS ACEROS INOXIDABLES.

Desde que se conoció el primer acero inoxidable, se han fabricado una serie de ellos según las exigencias de la industria dando lugar a una extensa gama, que como se ha visto ha sido necesario agrupar los por familias.

Según el medio en que se encuentre cada uno de ellos, son más o menos resistentes a la corrosión. Se considera que, si la pérdida de peso es inferior a 0.1 g/m en una hora, la resistencia es excelente; si la pérdida está comprendida entre 0.1 y 1 g/m en una hora, la resistencia es buena, si la pérdida está comprendida entre 1 y 10 g/m en una hora, la resistencia es regular. Por último si la pérdida de peso es superior a 10 g/m en una hora, la resistencia a la corrosión se considera muy mala.

Esto es:

PERDIDA	RESISTENCIA
< 0.1 g/m	E - Excelente
0.1 - 1 g/m	B - Buena
1 - 10 g/m	R - Regular
> 10 g/m	M - Mala

Para que se tenga una orientación, se expresa en la tabla no. 16 el comportamiento de las distintas familias de aceros en algunos medios corrosivos.

Tabla no. 16

## RESISTENCIA A LA CORROSION DE LOS ACEROS INOXIDABLES EN ALGUNOS MEDIOS COPROSIVOS

Medio corrosivo	Concentración	Temperatura	Acero de austenita	Acero ferrítico	Acero austenítico sin Ni (18-8)	Acero austenítico con Ni (18-8-2)
Acetato de aluminio	—	20°	E	E	E	E
Acetato de cobre	—	20°	E	E	E	E
Acetato de mercurio	Saturado	—	E	E	E	E
Acetato de plomo	—	20°	E	E	E	E
Acetato de potasio	C.C.	20°	E	E	E	E
Acetato de sodio	—	20°	E	E	E	E
Acetato de sodio	—	Ebullición	E	E	E	E
Aceites minerales	C.C.	TT	E	E	E	E
Aceites vegetales	C.C.	TT	E	E	E	E
Acetona	C.C.	20°	E	E	E	E
Acido acético	5%	20°	E	E	E	E
Acido acético	5%	Ebullición	E	E	E	E
Acido acético	50%	20°	R	R	R	R
Acido acético	50%	Ebullición	R	R	R	R
Acido acético	100%	20°	R	R	R	R
Acido acético	100%	Ebullición	R	R	R	R
Acido benzoico	C.C.	20°	E	E	E	E
Acido benzoico	C.C.	Ebullición	E	E	E	E
Acido bórico	C.C.	20°	E	E	E	E
Acido bórico	C.C.	Ebullición	E	E	E	E
Acido butírico	Concent	20°	E	E	E	E
Acido butírico	Concent	Ebullición	E	E	E	E
Acido cítrico	5%	20°	E	E	E	E
Acido cítrico	10%	20°	R	R	R	R
Acido cítrico	10%	Ebullición	R	R	R	R
Acido cítrico	50%	20°	R	R	R	R
Acido cítrico	50%	Ebullición	R	R	R	R
Acido cromoico	10%	20°	E	E	E	E
Acido cromoico	10%	Ebullición	R	R	R	R
Acido cromoico	50%	20°	R	R	R	R
Acido cromoico	50%	Ebullición	M	M	M	M
Acido clorhídrico	1%	20°	M	M	R	B
Acido clorhídrico	1%	60°	M	M	M	M
Acido clorhídrico	3%	20°	M	M	M	M
Acido clorhídrico	20%	20°	M	M	M	M
Acido fórmico	1%	20°	R	E	M	E
Acido fórmico	1%	Ebullición	M	M	E	B
Acido fórmico	10%	20°	R	M	R	B
Acido fórmico	10%	Ebullición	M	M	E	B
Acido fórmico	100%	20°	E	M	M	R
Acido fórmico	100%	Ebullición	R	R	E	B
Acido fosfórico	10%	20°	B	B	E	E
Acido fosfórico	10%	Ebullición	B	B	E	E
Acido fosfórico	50%	20°	R	E	E	E
Acido fosfórico	50%	Ebullición	R	B	E	E
Acido fosfórico	85%	20°	B	B	E	E
Acido fosfórico	85%	Ebullición	M	R	B	M
Acido fosfórico	100%	20°	—	B	M	B
Acido fosfórico	100%	Ebullición	M	M	M	M
Acido fluorhídrico	10%	20°	M	M	M	M
Acido fluorhídrico	10%	Ebullición	M	M	M	M
Acido gálico	Saturado	20°	E	E	E	E
Acido gálico	Saturado	Ebullición	E	E	E	E
Acido nítrico	—	20°	E	E	E	E
Acido nítrico	—	100°	E	E	E	E
Acido láctico	10%	20°	E	E	E	E
Acido láctico	10%	Ebullición	M	M	E	E

CONTINUA...

Medio termalve	Concentración	Temperatura	Actos de penetración	Actos termales	Actos que realizan un día (18-8)	Actos que realizan por día (18-2)
Acido láctico	100 %	20°	B	B	E	E
Acido láctico	100 %	Ebullición	R	R	E	B
Acido nítrico	10 %	20°	R	R	E	B
Acido nítrico	10 %	Ebullición	E	E	E	B
Acido nítrico	20 %	20°	R	R	E	B
Acido nítrico	20 %	Ebullición	E	E	E	B
Acido nítrico	50 %	20°	R	R	E	B
Acido nítrico	50 %	Ebullición	E	E	E	B
Acido nítrico	90 %	20°	R	R	E	B
Acido nítrico	90 %	Ebullición	R	M	E	M
Acido oxálico	10 %	20°	R	B	R	R
Acido oxálico	10 %	Ebullición	M	R	R	R
Acido oxálico	50 %	20°	R	R	R	R
Acido oxálico	50 %	Ebullición	M	R	M	R
Acido picrico	10 %	T. T.	E	E	E	E
Acido pícrico	C.C.	20°	E	E	E	E
Acido salicílico	10 %	T. T.	E	E	E	E
Acido salicílico	C.C.	20°	E	E	E	E
Acido sulfúrico	Sol. Saturado	20°	E	E	E	E
Acido sulfúrico	5 %	20°	R	R	R	R
Acido sulfúrico	5 %	Ebullición	M	M	M	M
Acido sulfúrico	10 %	20°	M	M	M	M
Acido sulfúrico	10 %	Ebullición	M	M	M	M
Acido sulfúrico	50 %	20°	M	M	M	M
Acido sulfúrico	50 %	Ebullición	M	M	M	M
Acido sulfúrico	Concentrado	Ebullición	E	R	E	R
Acido sulfúrico	Saturado	20°	R	R	R	R
Acido tánico	10 %	20°	R	E	E	E
Acido tánico	10 %	Ebullición	E	E	E	E
Acido tánico	50 %	20°	E	E	E	E
Acido tánico	50 %	Ebullición	E	E	E	E
Acido tartárico	10 %	20°	E	E	E	E
Acido tartárico	10 %	Ebullición	E	R	R	R
Acido tartárico	50 %	20°	R	R	R	R
Acido tartárico	50 %	Ebullición	R	R	R	R
Acido tricloroacético	10 %	20°	S	B	B	B
Acido tricloroacético	50 %	20°	B	B	M	M
Acido tricloroacético	Concentrado	20°	B	B	M	M
Agua destilada	—	T. T.	E	E	E	E
Agua potable	—	T. T.	E	E	E	E
Agua de mar	—	20°	E	B	E	E
Agua de mar	—	T. T.	E	E	E	E
Agua oxigenada	—	20°	M	B	E	E
Agua regia	—	20°	B	M	E	E
Aguardiente	—	20°	B	E	M	E
Alcanfor	—	20°	E	E	E	E
Alcohol etílico	—	20°	E	E	E	E
Alcohol metílico	—	T. T.	E	E	E	E
Alumina	—	T. T.	E	E	E	E
Amoníaco gasificado	—	Fundido	M	E	M	M
Amoníaco gasificado	—	20°	E	E	E	E
Amoníaco gasificado	—	100°	E	E	E	E
Antrácido acético	—	20°	E	E	E	E
Antrídrido acético	—	20°	M	E	E	E
Antrídrido fosfórico	—	Ebullición	R	B	E	B
Antrídrido sulfuroso	—	20°	R	B	E	B
Antrídrido sulfuroso	—	100°	E	E	E	E
Antrídrido sulfuroso	—	300°	E	E	E	E
Antrídrido sulfuroso	—	500°	E	E	E	E



Continúa...

Medio portativo	Concentración	Temperatura	Acero de pasivación	Acero ferrítico	Acero austenítico con Ni (18-8-5)	Acero austenítico con Ni (18-8-10)
Antimonio	—	Fundido	M	M	M	M
Azúfre	—	130°	E	E	E	E
Azúfre	—	445°	E	E	M	E
Azúcar	C.C.	T.T.	E	—	E	E
Barriles	—	—	E	—	—	—
Benzol	—	20°	E	E	E	E
Bicarbonato amónico	C.C.	Ebullición	E	E	E	E
Bicarbonato sódico	C.C.	20°	E	E	E	E
Bicromato potásico	25 %	20°	E	E	E	E
Bicromato potásico	25 %	Ebullición	M	E	E	E
Bisulfito sódico	50 %	20°	B	E	E	E
Bisulfito sódico	50 %	Ebullición	M	E	E	E
Borax	Saturado	20°	E	E	E	E
Borax	Saturado	Ebullición	E	E	E	E
Bromo	—	20°	M	E	E	E
Bromuro de plata	—	20°	E	E	E	E
Bromuro potásico	—	20°	E	B	E	E
Bromuro sódico	—	20°	E	B	E	E
Carbonato amónico	C.C.	T.T.	E	E	E	E
Carbonato potásico	C.C.	20°	E	E	E	E
Carbonato potásico	C.C.	Ebullición	B	E	E	E
Carbonato potásico	—	Fundido	M	E	M	E
Carbonato sódico	C.C.	20°	E	E	E	E
Carbonato sódico	C.C.	Ebullición	E	E	E	E
Carbonato sódico	—	Fundido	E	E	M	E
Cebolla	—	20°	E	E	E	E
Carveza	—	—	E	E	E	E
Chocolate	—	—	E	E	E	E
Cianuro de cobre	C.C.	T.T.	—	—	E	E
Cianuro de mercurio	5%	20°	—	—	E	E
Cianuro de potasio	C.C.	20°	E	E	E	E
Cianuro de potasio	C.C.	Ebullición	—	—	E	E
Cianuro de potasio	—	Fundido	—	—	E	E
Cianuro sódico	C.C.	—	E	E	E	E
Cianuro sódico	—	Fundido	—	—	E	E
Cinc	—	Fundido	M	E	M	E
Cloro gaseoso	Seco	20°	E	E	E	E
Cloro gaseoso	Seco	100°	—	—	E	E
Cloro gaseoso	Humedo	20°	M	M	M	E
Clorato potásico	—	Ebullición	—	—	M	E
Clorato sódico	35 % ClNa	100°	M	M	M	E
Carboceno	—	Ebullición	M	E	M	E
Cloro forma	—	T.T.	E	E	E	E
Cloruro de aluminio	10%	20°	M	M	E	M
Cloruro amónico	10%	Ebullición	—	—	M	E
Cloruro amónico	20%	20°	—	—	B	E
Cloruro amónico	20%	Ebullición	—	—	M	E
Cloruro amónico	50%	20°	B	B	E	E
Cloruro amónico	50%	Ebullición	—	—	M	E
Cloruro de bario	Saturado	Ebullición	—	D	E	B
Cloruro de calcio	Seco	20°	M	M	M	E
Cloruro de calcio	Humedo	20°	M	M	E	B
Cloruro de cinc	—	20°	R	B	M	E
Cloruro de cinc	—	Ebullición	M	M	E	R
Cloruro de cobre	1%	20°	—	B	M	R
Cloruro de cobre	1%	60°	—	B	E	R
Cloruro de cobre	5%	20°	—	M	M	M

Continúa...

Medio corrosivo	Concentración	Temperatura	Aceros de normalizado	Aceros forjados	Aceros que- ritizados en Ace (150-3)	Aceros que- ritizados en Ace (100-2)
Cloruro de cobre	sol. en frío	20°	—	—	M	M
Cloruro de estaño	25%	20°	—	M	B	B
Cloruro de estaño	25%	Ebullición	—	M	B	B
Cloruro de estibio	—	20°	E	E	E	E
Cloruro de estibio	—	Ebullición	E	E	E	E
Cloruro ferroso	Saturado	20°	—	—	—	E
Cloruro férrico	1%	20°	—	M	B	R
Cloruro férrico	5%	20°	—	M	B	M
Cloruro magnésico	5%	20°	—	M	B	M
Cloruro magnésico	5%	Ebullición	M	M	B	F
Cloruro magnésico	Saturado	20°	M	M	B	F
Cloruro de manganeso	10%	20°	B	B	B	F
Cloruro de manganeso	50%	20°	B	B	B	F
Cloruro de mercurio	0.1%	20°	B	B	E	F
Cloruro de mercurio	0.1%	Ebullición	M	M	B	F
Cloruro de mercurio	0.7%	20°	R	R	B	F
Cloruro de mercurio	0.7%	Ebullición	M	M	B	F
Cloruro níquel	—	20°	—	—	—	E
Cloruro de nitrato	—	20°	E	E	E	E
Cloruro de nitrato	—	Ebullición	E	E	E	E
Cloruro potásico	Saturado	20°	B	B	B	E
Cloruro sódico	Saturado	20°	B	B	B	E
Cola	—	20°	B	B	E	E
Cola	—	Ebullición	E	B	E	E
Coca - Cola	—	—	B	B	E	E
Coles	—	—	—	—	E	E
Colonias	—	—	—	—	E	E
Confituras	—	—	—	—	E	E
Cafec	—	—	—	—	E	E
Detergentes	—	90°	—	—	E	E
Estaño	—	<400°	R	M	E	E
Estaño	—	>400°	M	M	E	E
Eter	—	—	—	—	E	E
Eter de petróleo	—	—	—	—	E	E
Ferricianuro potásico	C.C.	T.T.	E	E	E	E
Ferrocianuro potásico	C.C.	T.T.	E	E	E	E
Fosfato amónico	C.C.	T.T.	E	E	E	E
Fosfato de hierro	—	98%	B	B	E	E
Fosfato potásico	C.C.	T.T.	B	B	E	E
Fosfato sódico	C.C.	T.T.	B	B	E	E
Fosfato insódico	—	T.T.	E	E	E	E
Fósforo	—	95°	E	E	E	E
Fenol puro	—	Ebullición	R	B	B	E
Fenol bruto	—	20°	E	E	B	E
Fenol bruto	—	Ebullición	M	B	B	E
Gasolina	—	20°	E	E	B	E
Gasolina	—	Ebullición	E	E	B	E
Glicerina	—	20°	E	E	E	E
Glicerina	—	Ebullición	E	E	E	E
Hidróxido de bario	—	20°	B	B	E	E
Hidróxido de calcio	—	20°	B	B	E	E
Hidróxido de calcio	—	Ebullición	—	—	B	F
Hidróxido potásico	20%	20°	—	—	E	F
Hidróxido potásico	20%	Ebullición	E	E	E	F
Hidróxido potásico	50%	20°	E	E	E	F
Hidróxido potásico	50%	20°	E	E	E	F
Hidróxido potásico	50%	Ebullición	M	M	E	F
Hidróxido potásico	—	3 50°	M	M	E	F
Hidróxido sódico	30%	20°	E	E	E	F

Continúa...

Medio normal	Concentración	Temperatura	Abres de cualquiera	Abres Por-Ynos	Abres de tercera de Ma (10-3)	Abres de tercera de Ma (10-2)
Hidróxido sódico	30%	Ebullición	B	B	E	E
Hidróxido sódico	50%	20°	E	E	E	E
Hidróxido sódico	50%	Ebullición	M	M	E	E
Hidróxido sódico	—	320°	M	M	B	B
Hipoclorito cálcico	C.C.	20°	M	M	M	M
Hipoclorito potásico	C.C.	20°	M	M	M	M
Hipoclorito sódico	C.C.	20°	M	M	M	M
Jabones	—	T.T.	M	M	R	R
Jugo de tomate	—	20°	R	B	B	E
Jugos de la mayor parte de las frutas	—	—	—	—	E	E
Leche	—	20°	E	E	E	E
Leche fermentada	—	T.T.	E	E	E	E
Licorres	—	T.T.	E	E	E	E
Licorres	—	Ebullición	E	E	E	E
Licorres	—	20°	E	E	E	E
Manteca	—	Ebullición	E	E	E	E
Molazco	—	20°	E	E	E	E
Mercurio	—	20°	B	E	E	E
Mercurio	—	20°	B	E	E	E
Mercurio	—	30°	E	E	E	E
Mentol	—	20°	E	E	E	E
Nofatina	—	—	—	—	E	E
Nitrato amónico	Saturado	20°	E	E	E	E
Nitrato amónico	Saturado	Ebullición	B	E	E	E
Nitrato de aluminio	C.C.	20°	E	E	E	E
Nitrato bórico	C.C.	20°	E	E	E	E
Nitrato cúprico	50%	20°	E	E	E	E
Nitrato cúprico	50%	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato férrico	C.C.	20°	E	E	E	E
Nitrato férrico	C.C.	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato mercurio	Sat en frío o caliente	20°	E	E	E	E
Nitrato mercurio	Sat en frío o caliente	—	—	—	E	E
Nitrato de plata	10%	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato de plata	10%	20°	E	E	E	E
Nitrato de plata	—	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato de plomo	—	250°	E	M	E	E
Nitrato de plomo	—	20°	E	E	E	E
Nitrato de plomo	—	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato potásico	25%	20°	E	E	E	E
Nitrato potásico	60%	20°	E	E	E	E
Nitrato potásico	Concent.	20°	E	E	E	E
Nitrato potásico	Concent.	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato potásico	Concent.	550°	R	M	E	E
Nitrato sódico	25%	20°	E	E	E	E
Nitrato sódico	50%	20°	E	E	E	E
Nitrato sódico	Concent.	20°	E	E	E	E
Nitrato sódico	Concent.	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato sódico	—	380°	E	E	E	E
Nitrato amónico	C.C.	T.T.	E	E	E	E
Nitrato sódico	Saturado	20°	E	E	E	E
Nitrato sódico	Saturado	Ebullición	E	E	E	E
Novocaina	—	20°	E	E	E	E
Orina	—	20°	E	E	E	E
Oxalato amónico	5%	Ebullición	E	E	E	E
Oxalato potásico	C.C.	20°	E	E	E	E
Oxalato potásico	C.C.	Ebullición	E	E	E	E

Continúa...

Modo corrosivo	Concentración	Temperatura	Aceros de estabilizado	Aceros ferríticos	Aceros aus- teníticos en Mo (18-8)	Aceros aus- teníticos en Mo (18-8-2)
Oxalato sódico	C. C.	20°	E	E	E	E
Oxiduro de calcio seco	—	20°	—	—	E	E
Oxiduro de calcio húm.	—	20°	—	—	R	R
Oxiduro de calcio	Sat. en frío	40°	—	M	R	R
Oxiduro de fosforo	—	—	—	M	E	E
Parafina	—	100°	E	E	E	E
Perborato sódico	Saturado	20°	E	E	E	E
Perborato amónico	10%	20°	E	E	E	E
Perclorato amónico	10%	Ebullición	E	R	E	E
Perclorato sódico	10%	20°	E	M	E	E
Perclorato sódico	10%	Ebullición	E	M	E	E
Perclorato potásico	C. C.	20°	E	E	E	E
Perdioxetileno (vapor)	—	—	E	E	E	E
Perranganato potásico	C. C.	20°	E	E	E	E
Perranganato potásico	C. C.	Ebullición	M	B	E	E
Perranganato sódico	C. C.	T. T.	—	B	E	E
Peróxido de sodio	10%	20°	M	R	E	E
Peróxido de sodio	10%	100°	M	R	E	E
Petróleo	—	T. T.	E	E	E	E
Pirogal	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Potasa	25%	Ebullición	—	M	R	R
Potasa	50%	Ebullición	—	M	R	R
Potasa	—	Fundido	E	M	E	E
Potasa	10%	20°	—	M	R	M
Potasa	50%	20°	—	M	R	M
Revelador fotográfico	—	20°	E	B	E	E
Sal de prusia	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Sangre	—	20°	E	E	E	E
Silicato sódico	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Soda	—	T. T.	E	E	E	E
Sodio	25%	Ebullición	—	—	E	E
Sodio	35%	100°	—	—	B	M
Sodio	35%	Ebullición	—	—	B	M
Soda	—	120°	—	—	B	M
Soda	50%	Fundido	—	—	M	E
Soda caustica	Ver hidróxido sódico	Ver hidróxido sódico	—	—	—	—
Sulfato de aluminio	10%	20°	M	—	B	B
Sulfato de aluminio	10%	Ebullición	M	—	B	M
Sulfato de aluminio	Sat. en frío	20°	M	—	B	M
Sulfato de aluminio	Sat. en frío	Ebullición	M	—	B	M
Sulfato de Aly potasio	10%	20°	—	—	B	M
Sulfato de Aly potasio	10%	Ebullición	—	—	E	M
Sulfato de Aly potasio	Sat. en cal.	Ebullición	—	—	M	M
Sulfato amónico	C. C.	T. T.	R	—	R	E
Sulfato de cobre	C. C.	T. T.	—	—	E	E
Sulfato de cinc	C. C.	T. T.	—	—	R	R
Sulfato ferroso	C. C.	T. T.	—	—	R	E
Sulfato ferrico	C. C.	—	—	—	R	E
Sulfato de magnesio	10%	20°	—	—	B	B
Sulfato de magnesio	Saturado	20°	—	—	B	B
Sulfato de manganeso	C. C.	T. T.	R	—	E	E
Sulfato de níquel	C. C.	T. T.	—	—	E	E
Sulfato potásico	C. C.	T. T.	—	—	E	E
Sulfato sódico	C. C.	T. T.	—	—	E	E
Sulfato amónico	Saturado	20°	E	—	E	E
Sulfato amónico	Saturado	Ebullición	E	—	E	E
Sulfato sódico	50%	Ebullición	R	—	E	E

Continúa...

Mادة سائلة	Concentración	Temperatura	Aerosol de estufa	Aerosol ferriteo	Aerosol sulfato (10-8)	Aerosol sulfato (10-8-2)
Sulfuro de carbono	Puro	T.T.	E	E	E	E
Sulfuro de cloro en agua	—	20°	—	—	—	—
Sulfuro de sodio	10%	T.T.	E	E	E	E
Sulfuro de sodio	50%	90°	—	—	—	—
Sulfuro de sodio	50%	160°	—	—	—	—
Sulfuro de sodio	Sal en cal.	20°	—	—	—	—
Sulfuro de sodio	Sal en cal.	100°	—	—	—	—
Tetraóxido de sodio	Saturado	Ebullición	E	E	E	E
Tetraóxido de sodio	Saturado	Fundido	M	M	M	M
Tetracloruro de carbono seco	—	T.T.	E	E	E	E
Tetracloruro de carbono húmedo	—	—	—	—	—	—
Tintas	—	—	E	M	M	M
Tiosulfato sódico	25%	T.T.	E	E	E	E
Toleno	Ver manteca	—	—	—	—	—
Tolueno	—	T.T.	E	E	E	E
Trametes (apuros)	—	35°	E	E	E	E
Tricloroetano (vap)	—	T.T.	E	E	E	E
Tricloruro de antimonio	—	20°	—	—	—	—
Tricloruro de teluro	—	—	—	—	—	—
Urea	—	20°	M	M	M	M
Vapor de agua	—	300°	M	M	M	M
Vapor de agua	—	650°	M	M	M	M
Vaselina	—	T.T.	E	E	E	E
Vinagre	—	20°	E	E	E	E
Vinagre	—	Ebullición	M	M	M	M
Vinos blanco y tinto	—	T.T.	—	—	—	—
Whisky	—	—	—	—	—	—
Yodo seco	—	20°	—	—	—	—
Yodo húmedo	—	20°	—	—	—	—
Yodoforno (vapores)	—	20°	E	E	E	E
Yodoforno (vapores)	—	60°	E	E	E	E
Yoduro pódico	Saturado	T.T.	M	B	M	M
Mezclas sulfúricas						
No <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O						
%	%	%				
2	98	0	—	—	—	—
2	98	0	—	—	—	—
25	75	0	—	—	—	—
25	75	0	—	—	—	—
25	60	15	—	—	—	—
25	60	15	—	—	—	—
50	50	0	—	—	—	—
50	50	0	—	—	—	—
33.33	33.33	33.33	—	—	—	—
33.33	33.33	33.33	—	—	—	—
15	35	50	—	—	—	—
15	35	50	—	—	—	—
5	30	65	—	—	—	—
5	30	65	—	—	—	—
			—	—	—	—

## 2.6 INHIBICION Y PROTECCION DE LA CORROSION EN LOS ACEROS INOXIDABLES.

Los métodos de control de la corrosión se basan en la interposición de una película protectora entre el metal y el medio en el que se encuentra, o sea, que el control de la corrosión se basa en la inhibición de las reacciones químicas que conducen a la destrucción del estado metálico. El carácter y extensión de las medidas preventivas adoptadas en tal sentido dependen de la naturaleza del metal y del medio ambiente a que éste se expone.

Los recubrimientos protectores pueden formarse por medios naturales o sintéticos o por ambos a la vez. Los recubrimientos protectores naturales son productos de la corrosión de determinadas características que pueden obtenerse mediante la introducción de un agente protector en el metal. Los recubrimientos protectores sintéticos o artificiales son de una gran variedad. Los tipos más corrientes son los metálicos, que suelen utilizar cualquier metal no ferroso con exclusión de los alcalinos y alcalino-térreos, y los orgánicos representados por las pinturas, las lacas, los esmaltes, los aceites, las ceras o los betunes. Los recubrimientos de sustancias inorgánicas, tales como los esmaltes vítreos, el cemento, el hormigón y los productos arcillosos se emplean cada vez más para ciertos fines, aunque son de una importancia relativamente menor.

### MÉTODOS PARA COMBATIR LA CORROSION.

Existen varias formas para combatir la corrosión siendo indispensable hacer un análisis racional para encontrar el método más rápido y económico en cada caso. Tanto para un problema existente como para un proyecto, conociéndose los agentes que concurren en él, se puede conocer y cuantificar la naturaleza del ataque corrosivo. Generalmente con cualquiera de los métodos citados a continuación se obtiene una protección bastante eficiente.

#### - ELIMINACION DE AGENTES CORROSIVOS.

En algunos casos se obtienen sustancias corrosivas, como productos de un proceso, que con alguna variación en el mismo, como temperatura, presión, humedad, cambio de combustible, etc., se pueden eliminar sin necesidad de modificar básicamente dicho proceso. Por ejemplo.

en el caso de la combustión de gases contaminados con ácido sulfhídrico que al contacto con las paredes frías del equipo existe el riesgo de corrosión; al eliminar el ácido sulfhídrico desaparece el riesgo.

- ELIMINACION DE AREAS DONDE PUEDAN ACUMULARSE SUSTANCIAS QUE FAVOREZCAN LA CORROSION.

La acumulación de polvo, de gases, suciedad, etc., en algunos lugares, representan zonas expuestas a la corrosión, que generalmente rigen los costos de mantenimiento y determinan la vida útil de un equipo. Con un poco de cuidado al hacer los diseños del equipo, sin aumentar notablemente el costo inicial, pueden evitarse a tiempo daños muy costosos.

- PROTECCION CATODICA.

La corrosión es en muchos casos un fenómeno electroquímico, en el cual las áreas aniónicas en contacto con el electrolito se corroen y las áreas catiónicas permanecen intactas. Esto equivale a una pila galvánica, lo cual se puede compensar con otra pila para invertir el sentido del flujo. Si se alteran con dispositivos externos las características eléctricas del objeto que se desea proteger impartándole potenciales eléctricos muy negativos que impiden el desprendimiento de iones positivos, las áreas que eran anódicas invierten la corriente iónica, se vuelven áreas catiónicas recibiendo los iones positivos del electrolito sin perder más partículas del metal.

- AISLAMIENTO ENTRE EL MEDIO AMBIENTE Y SUPERFICIE POR PROTEGER.

En algunos metales este aislamiento se produce por medios naturales, por ejemplo en el plomo, el zinc, el aluminio, el cobre, etc., que forman óxido en algunos casos rápidamente y en otros lentamente según la tendencia que tenga el metal a oxidarse y dependiendo también de las condiciones del medio. En el caso del aluminio, al formarse su hidróxido, se oxida rápidamente y se adhiere a la superficie inhibiendo la corrosión.

Se puede obtener el aislamiento de un metal, cuyo óxido no sea impermeable a los agentes productores de la corrosión, al recubrirlo con otro metal en que su óxido sí lo sea. Un ejemplo conocido es la lámina galvanizada en donde el hierro se ha recubierto de zinc, ya que

su óxido es impermeable a la humedad y al oxígeno, no permitiéndoles llegar al hierro e iniciar la corrosión.

#### - APLICACION DE RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS (PINTURAS).

Existen otros medios para aislar las superficies susceptibles de corroerse y son las capas orgánicas impermeables o semi-permeables a la humedad. Uno de los más conocidos y que más versatilidad ofrece es la pintura. Estos recubrimientos son películas delgadas ( de 50 micrones hasta 1 mm) que aplicadas convenientemente sobre una superficie la protegen y le dan una apariencia agradable.

La acción protectora de los recubrimientos puede ser por uno o más de los tres mecanismos siguientes:

- Como barreras que eviten el contacto con el agua, oxígeno e iones con el metal; o aumentando la resistencia de la batería de corrosión al paso de la corriente eléctrica, debido a la misma barrera.
- Inhibiendo la corrosión en ánodos o cátodos por la acción de ingredientes solubles y/o básicos del pigmento; o por acción polarizante.
- Protegiendo catódicamente a base de un metal más electronegativo que el acero, y que además forma una barrera aislante.

Es muy importante que una película de pintura cubra perfectamente toda la superficie y tenga un espesor lo suficientemente grueso para evitar el paso de la humedad y el oxígeno.

#### - PIGMENTOS INHIBIDORES.

Su acción general es la de aumentar artificialmente la polarización del ánodo o del cátodo, según el caso, pero es más común la anódica. Esto se efectúa por una disolución muy lenta del pigmento que produce iones inhibidores en la humedad que atraviesa la película.

Teóricamente cualquier metal más noble que el hierro puede ser un inhibidor de éste si se usa como pigmento en un primario (sustancia que se adhiere al sustrato y que inhibe la corrosión); el magnesio el aluminio y el zinc son algunos metales que llenan estos requisitos. Las pinturas a base de polvos metálicos deben tener un alto contenido de éstos para asegurar la continuidad eléctrica entre las partículas y el hierro.



#### - ADICION DE INHIBIDORES.

Se llaman inhibidores de la corrosión las sustancias que, añadidas en pequeñas cantidades al medio, disminuyen eficazmente la rapidez de la corrosión. Los inhibidores se clasifican, con arreglo al electrodo en el que su acción es predominante, en anódicos y catódicos y como seguros o peligrosos, según su efecto sobre la distribución de la corrosión.

La acción de los inhibidores depende del metal y del medio. Por consiguiente, es necesario poseer algunos conocimientos sobre el mecanismo de la corrosión para elegir un inhibidor: de otro modo, es posible que se estimule la corrosión en lugar de inhibirla, o bien la adición puede no ser eficaz. Los inhibidores y los pasivadores anódicos son eficientes, pero peligrosos, ya que, si se añaden en cantidad insuficiente a un sistema con control catódico, puede aumentarse la intensidad del ataque. Por lo general los inhibidores catódicos son seguros, pero no muy eficientes. La concentración necesaria depende de la naturaleza del medio corrosivo y de la concentración de otros iones en especial cloruros.

Como ejemplos típicos de los inhibidores utilizados para minimizar la corrosión del hierro y del acero en soluciones acuosas, se tienen los cromatos, los fosfatos y los silicatos. Estos materiales minimizan la corrosión, al hacer aumentar la polarización anódica y reciben el nombre de inhibidores anódicos. Los materiales de sulfuros orgánicos y amidas resultan con frecuencia eficaces para minimizar la corrosión del hierro y del acero en solución ácida. En este caso controlan la polarización catódica y reciben el nombre de inhibidores catódicos.

#### - ALEACIONES O MATERIALES RESISTENTES A LA CORROSION.

En muchos casos la estructura metalográfica de las aleaciones puede reducir el ataque corrosivo. Esto es, el empleo del cromo y del níquel en aleaciones con el acero. Estos metales que se agregan al acero tienen la característica de que adquieren la propiedad de pasividad estable lo que les confiere su gran resistencia a la corrosión.

Al utilizar materiales resistentes a la corrosión como el acero inoxidable, aluminio u otros, solamente el sacrificio de las propiedades físicas como resistencia, fatiga, etc. y el factor económico determinará el material más conveniente.

Todas las medidas protectoras anteriores pueden utilizarse ventajosamente en diversas áreas particulares de las plantas industriales comunes y corrientes. Sin embargo, el medio de control de la corrosión que, en virtud de su versatilidad y eficacia ha logrado la mayor aceptación, es la aplicación de pinturas. Estas barreras de pintura tienen a su cargo la protección de la mayor parte de las superficies de metal. Son indiscutiblemente, los principales medios para la conservación y mantenimiento de las plantas.

## 2.7 PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN.

Para proteger a los aceros inoxidables contra la corrosión se pueden adoptar las siguientes medidas:

- Que el contenido de carbono sea igual o inferior a 0.03%. De esta manera se elimina la posibilidad de formación de carburos de cromo, que empobrecen de cromo algunas zonas, quedando éstas susceptibles de ataques corrosivos.
- Adicionando al acero estabilizantes ávidos de carbono, tales como el niobio y el titanio, para que se formen carburos de dichos elementos y no de cromo. Se puede considerar que un acero está totalmente estabilizado cuando el contenido de titanio es superior a 5 veces el contenido de carbono, o bien, si el contenido de niobio es 8 veces superior al de carbono.
- Variando la composición del acero de tal manera que la suma de elementos alógenos, tales como el cromo y el molibdeno, exceda la posición de equilibrio y forme una estructura bifásica austeno-ferrítica. La presencia de la ferrita en la matriz austenítica evita la corrosión intergranular, así como la corrosión bajo tensión.
- Cuando ya se tiene la precipitación de carburos de cromo, será necesario someter el acero a un temple austenítico (hipertemple) con el objeto de disolver dichos carburos.
- La adición de nitrógeno reduce la tendencia a la corrosión por picaduras debido al poder austenizante del nitrógeno. Se adiciona en un porcentaje no mayor al 0.25%.
- Tratar de que las superficies tengan un acabado pulido brillante ya que las superficies rugosas son más propensas a la corrosión uniforme.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- Eliminar las tensiones residuales sometiendo los aceros a un tratamiento de relevación de esfuerzos. Para los aceros austeníticos será suficiente conseguir una temperatura mayor a 380°C, siempre que vayan a estar expuestos en los medios clorados más normales.

## CAPITULO III.

## PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

El comportamiento de los materiales viene condicionado por sus micropropiedades. Las alteraciones que tienen lugar en su interior, en su constitución y en su textura son decisivas en los trabajos a los que se les somete.

En el empleo de los materiales, además de su comportamiento -- frente a la acción del producto manejado, denominado resistencia a la corrosión o bien a los agentes químicos (estabilidad química), es también esencial el cómo se "conducen mecánicamente" o soportan los trabajos mecánicos. Se precisa sobre todo buenos valores de resistencia -- cuando se lleven a cabo reacciones a presión y temperatura altas. Dado que los esfuerzos de tracción, presión y vibraciones se presentan en mayor o menor medida, en cualquier dispositivo de la tecnología química, el comportamiento mecánico de los materiales dependerá del tipo e intensidad de tales esfuerzos.

## 3.1 PROPIEDADES MECANICAS.

La mera mecánica de los materiales prescinde por el momento de sus micropropiedades y de las alteraciones de estructura y textura, y tiene en cuenta tan solo lo que se manifiesta a grosso modo en los esfuerzos mecánicos. Esta pura mecánica del material, o mecánica tecnológica se limita a comprobar como se conduce una materia determinada en condiciones de deformación totalmente establecidas. Considerando el material como un cuerpo homogéneo e isótropo, determina, por lo tanto, con sus mediciones los valores medios del comportamiento de las formaciones policristalinas. Basándose en experiencias técnicas adquiridas en la práctica, las características obtenidas se utilizan en el diseño de piezas solicitadas mecánicamente.

Las propiedades mecánicas comprenden las de resistencia y las superficiales. A las primeras pertenecen los "esfuerzos límite" hasta la aparición de deformaciones permanentes o hasta la rotura, las "deformaciones límite", también hasta la rotura y, finalmente el comportamiento elástico. Las propiedades mecánicas superficiales son la dureza y la resistencia a la abrasión. La conformabilidad o plasticidad de un material está en estrecha relación con la "resistencia a la deformaci-

on" tanto en caliente (forja o laminación), como también la deformación en frío (por ejemplo, estiraje o embutición profunda).

La resistencia de un cuerpo es la máxima oposición que puede presentar a su destrucción.

El comportamiento mecánico de un material en forma de barra, - por ejemplo, depende del tipo y dirección de las fuerzas que sobre él actúan. Hay que distinguir entre "resistencia a la tensión", en la que dos fuerzas iguales y opuestas actúan, tirando sobre la pieza; la "resistencia a la compresión", en la que dos fuerzas iguales oprimen en sentido contrario una pieza de corta longitud; la "resistencia al corte" en la cual dos fuerzas contrarias actúan en una sección pudiendo producir cizallamiento de la pieza; la "resistencia a la flexión", con una o varias fuerzas actuando de modo que pueden curvar la pieza y por último, la "resistencia al giro o a la torsión" en la que actúan fuerzas en el sentido rotatorio en diferentes secciones de la pieza. También pueden, naturalmente, coincidir al mismo tiempo dos o varios de estos esfuerzos, entrando entones en juego la "resistencia compuesta".

Las tensiones existentes en una pieza solicitada mecánicamente son las fuerzas que en cualquier sección de la pieza están en equilibrio con la fuerza que opera desde el exterior (se supone que están eliminadas las tensiones internas o propias, procedentes de la confección de la pieza, por tratamiento térmico o relajación).

Según el tipo de estas fuerzas tenemos: la tensión por tracción que se aplica perpendicularmente a un plano imaginario a través de la pieza es una "tensión normal"; si se aplica en la dirección del mismo, se trata de una "tensión tangencial o transversal". La que ocasiona la destrucción del material es la "tensión de rotura".

Las propiedades mecánicas son características esenciales de un material, pero no bastan siempre para su evaluación.

### 3.2 METODOS DE DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS.

Para determinar los valores comparativos necesarios se utiliza una serie de métodos convencionales, algunos de ellos más usuales y, por lo tanto, más importantes. Las principales pruebas son las siguientes:

- Ensayo de Tensión.
- Ensayo de Dureza.
- Ensayo de Resiliencia (Impacto).
- Ensayo de Fatiga.
- Ensayo de Flexión.
- Ensayo de Torsión.

Si se desea ampliar la información acerca de estos métodos pueden consultarse la Norma Oficial Mexicana "NOM-B-172-1987" o la norma de la American Society for Testing and Materials "ASTM-A-370-1985".

#### ENSAYO DE TENSIÓN.

Después de la prueba de dureza, la prueba de tensión es la realizada más frecuentemente para determinar ciertas propiedades mecánicas.

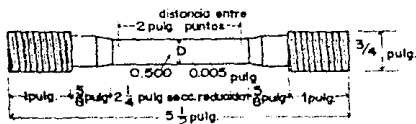
Una muestra o probeta preparada específicamente se coloca en las cabezas de la máquina de prueba y se somete a una carga axial por medio de un sistema de carga de palanca, mecánico o hidráulico. La fuerza se indica en un disco calibrado. Si se conoce el área transversal original de la muestra, puede calcularse el esfuerzo desarrollado a cualquier carga. La deformación o alargamiento se mide en una longitud establecida, generalmente 2 pulgadas, por un disco llamado extensómetro. En la figura no. 9 se muestra un esquema de la probeta usada en el ensayo de tensión y el corte transversal de una máquina para ensayos de tensión.

Las propiedades que se pueden determinar con una prueba de tensión son las siguientes.

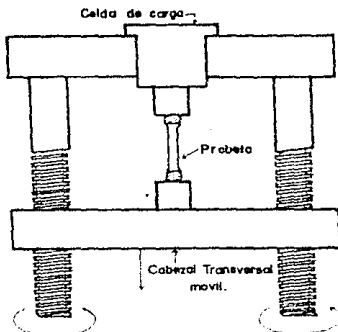
#### Límite Proporcional.

Para muchos materiales estructurales se ha encontrado que la parte inicial de la gráfica esfuerzo-deformación (fig. no. 10), el es-

Figura no. 9



DISEÑO DE UNA PROBETA PARA ENSAYO DE TRACCION.



CORTE TRANSVERSAL DE UNA MAQUINA PARA ENSAYOS DE TRACCION.

fuerzo y la deformación son proporcionales entre sí, de manera que cualquier incremento en esfuerzo resultará de un aumento proporcional a la deformación.

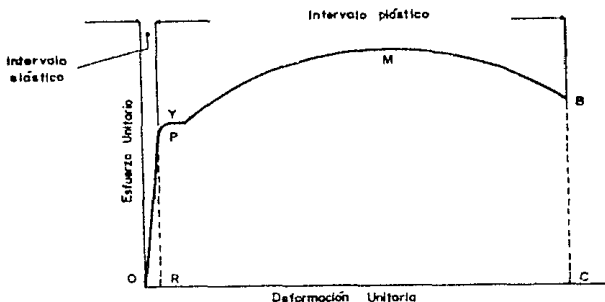
El esfuerzo en el límite del punto P de la figura no. 10, se conoce como Límite de Proporcionalidad.

Límite Elástico.

Si se retira una pequeña parte de la carga aplicada sobre la pieza de prueba, la aguja del extensómetro regresará a cero, indicando que la deformación producida por la carga es elástica. Si la carga se

Fig. no. 10

## GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION PARA UN ACERO DUCTIL



aumenta continuamente, se libera después de cada incremento y se revisa el extensómetro, entonces se alcanzará un punto en el que la aguja no regresará a cero. Esto indica que ahora el material tiene una deformación permanente; por lo tanto, el límite elástico puede definirse como el esfuerzo mínimo al que ocurre la primera deformación permanente. Para la mayoría de los materiales estructurales, el límite elástico tiene casi el mismo valor numérico que el límite de proporcionalidad.

## Punto de Cedencia o Fluencia.

Conforme la carga en la pieza a prueba aumenta más allá del límite elástico, se alcanza un esfuerzo al cual el material continúa deformándose sin que haya incremento en la carga. El esfuerzo en el punto Y de la gráfica esfuerzo-deformación (fig. no. 10) se conoce como Punto de Cedencia o Fluencia. Este fenómeno ocurre solo en ciertos materiales dúctiles. Como el punto de cedencia es relativamente fácil de determinar y la deformación permanente es pequeña hasta el punto de cedencia, constituye un valor muy importante de considerar en el diseño de muchas partes para maquinaria cuya utilidad se afectará si ocurrese una gran deformación permanente. Una deformación plástica del 0.2% puede tolerarse en la mayoría de los usos de ingeniería.



### Resistencia Límite.

Conforme aumenta la carga sobre la pieza a prueba, el esfuerzo y la deformación se incrementan como lo indica la porción de la curva Y-M de la fig. no. 10 para un material dúctil, hasta que se alcanza el esfuerzo máximo en el punto M; por lo tanto, la resistencia límite o la resistencia de tensión es el esfuerzo máximo desarrollado por el material, basado en el área transversal original. Un material frágil se rompe cuando es llevado hasta la resistencia límite, en tanto que el material dúctil continuará alargándose.

### Resistencia a la Ruptura.

Para un material dúctil, hasta el punto de resistencia límite, la deformación es uniforme a lo largo de la longitud de la barra. Al esfuerzo máximo, la muestra experimenta una deformación localizada o formación de cuello y la carga disminuye conforme el área decrece. Esta elongación en forma de cuello es una deformación no uniforme y ocurre rápidamente hasta el punto en que el material falla. La resistencia a la ruptura (punto B de la fig. no. 10) determinada al dividir la carga de ruptura entre el área transversal original, es siempre menor que la resistencia límite. Para un material frágil, la resistencia límite y la ruptura coinciden.

### Módulo de Elasticidad o Módulo de Young.

Considerando la porción recta de la curva esfuerzo-deformación de la fig. no. 10, se tiene que la pendiente de esa recta es  $m = dy/dx$  es decir, igual a esfuerzo/deformación. La pendiente es realmente la constante de proporcionalidad entre esfuerzo y deformación cuando se está abajo del límite de proporcionalidad y se conoce como Módulo de Young o módulo de elasticidad. El módulo de Young indica la rigidez de un material y se mide en libras por pulgada cuadrada. El módulo de elasticidad es una propiedad muy útil de la ingeniería y aparecerá en fórmulas relacionadas con el diseño de vigas y columnas, en las que la rigidez es importante.

La prueba convencional de tensión descrita antes dará valiosa información hasta aproximarse y llegar al punto de cedencia. Más allá de este punto, los valores de esfuerzo son ficticios, ya que el área transversal real se reducirá considerablemente.

El porcentaje de alargamiento en la fractura tiene varios propósitos. Es, posiblemente, un mejor índice de la calidad que la resistencia a la tensión, porque si hay inclusiones o porosidades, el alargamiento disminuye drásticamente. Por otra parte, el alargamiento multiplicado por la resistencia a la tensión nos da un índice de tenacidad a bajas tasas de deformación.

La resistencia a la tensión es un índice de la calidad de un material. No se utiliza mucho en el diseño de materiales dúctiles, ya que éstos han sufrido una deformación plástica considerable cuando se alcanza esta capacidad máxima de soportar carga. Sin embargo, es una buena forma de hallar defectos, ya que si existen fallas o inclusiones nocivas, la barra no alcanzará el mismo esfuerzo máximo.

#### ENSAYO DE DUREZA.

El ensayo de dureza es en sí, el control de una propiedad superficial.

Por dureza de un material se entiende "la resistencia que opone a ser penetrado por un cuerpo más duro". No existe todavía una definición física satisfactoria de este concepto. La dureza no es una propiedad fundamental de un material, sino que está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas. El valor de dureza obtenido en una prueba determinada sirve solo como comparación entre materiales o tratamientos. La prueba de dureza se utiliza ampliamente para inspección y control.

La determinación de la dureza de los materiales es importante para su cualificación, ya que calculando el índice de Dureza se tiene la posibilidad de derivar conclusiones sobre otras propiedades. Indudablemente estas correlaciones no son rigurosas, porque en la resistencia a la penetración de un cuerpo, intervienen factores variados como, resistencia elástica, resistencia plástica sin deformación en frío y resistencia a la deformación en frío. La relación entre estos tres efectos varía de metal a metal e incluso de acero a acero. Con todo, el control de la dureza ofrece buenos valores comparativos y permite, sobre todo en el caso del acero, calcular con cierta exactitud la resistencia a la tensión.

Para determinar la dureza existen diferentes métodos de ensayo tanto estáticos como dinámicos.

## 1. METODOS ESTATICOS.

Entre los métodos estáticos tenemos los de Brinell, Rockwell y Vickers.

### ENSAYO BRINELL.

Es uno de los ensayos más antiguos y todavía es la norma más utilizada.

En el ensayo Brinell se mide, con la ayuda de un dispositivo a apropiado, la resistencia del material a la penetración de una bola (pe-netrador) de acero templado o de carburo de tungsteno que se estampa - en la pieza investigada. Así se obtiene el Índice de Dureza HB (Dureza Brinell) en kilogramo por milímetro cuadrado, que es el cociente de la carga P (en kg) y la superficie de la huella expresada en  $\text{mm}^2$ . El diámetro de la impresión se lee por medio de un microscopio de baja resolución con un ocular de filamento (de medición). El observador lee luego en una tabla, de acuerdo con la carga utilizada, el número de dureza Brinell para ese diámetro de impresión. La carga oscila entre 15.6 y 3000 kg, según la dureza previsible del material y según el diámetro de la bola, que es de 2.5, 5 ó 10 mm. La duración de la carga asciende para cualquier tipo de acero a 15 seg. La carga más liviana se utiliza para los metales blandos no ferrosos tales como cobre y aluminio y la carga más pesada se utiliza para el hierro, acero y aleaciones duras.

En este método de ensayo tiene lugar, al igual que en los de--mas, un endurecimiento en frío del material, o sea, un aumento de la resistencia al cambio de forma, motivado por la deformación de los --cristales. Se sobreentiende que el lugar está liso, plano y exento de herrumbre, cascarilla de laminación, etc.

En los aceros inoxidables (al cromo, cromo-molibdeno y cromo-níquel) a partir del índice de dureza HB puede calcularse la resistencia a la tensión en  $\text{kg/mm}^2$ , multiplicándolo por un factor de conver--sión que es 0.34. En primera aproximación, la resistencia a la ten--sion equivale a un tercio de la dureza Brinell.

## ENSAYO VICKERS.

Este constituye una mejora del ensayo de Brinell.

Cuando se determina la dureza de capas superficiales delgadas, ha de operarse con profundidades de penetración más pequeñas que en el procedimiento Brinell. En tal caso es más conveniente el método Vickers, que no solo se limita a capas superficiales y que se realiza con ayuda de aparatos adecuados o durómetros Vickers, determinando la dureza del material como la resistencia a la penetración de una pirámide de diamante de base cuadrada que se comprime perpendicularmente contra la pieza probada. El ángulo en el vértice piramidal agudo entre caras opuestas es de  $136^\circ$  y la duración de la carga de 15 seg.

Las cargas que se aplican en el método Vickers son por lo general 5, 10, 30 ó 50 kg; sin embargo, la dureza hallada es prácticamente independiente de la carga ya que la pirámide proporciona, a diferentes profundidades de penetración, huellas geoméricamente análogas. Esto supone una ventaja frente al ensayo de penetración con bola, puesto que la carga puede adaptarse mejor a la finalidad del ensayo y a la forma de la pieza. En esta determinación se obtiene el índice de Dureza HV (Dureza Vickers) en  $\text{kg/mm}^2$ .

La dureza Vickers coincide con la dureza Brinell hasta un valor de  $300 \text{ kg/mm}^2$ .

Este procedimiento es el método de control más conveniente, pues proporciona una escala de dureza continua y uniforme, desde el material más blando hasta el más duro.

## ENSAYO ROCKWELL.

La principal ventaja del ensayo Rockwell está en que se lee la dureza directamente en una escala.

La dureza Rockwell se determina midiendo con un aparato especial la profundidad de penetración de un cuerpo comprimido en la pieza examinada; dicho cuerpo es, en el método Rockwell C un cono de diamante, y en el Rockwell B una esfera de acero. El primero se utiliza principalmente con el acero templado y el segundo con el resto de los materiales. Los valores obtenidos se expresan como Índice de Dureza Rockwell HRC o bien, HRB. El penetrador esférico (Rockwell B) es de acero templado y tiene un diámetro de  $1/16"$  (aprox. 1.59 mm). El cono de dia

mante solo debe usarse para valores superiores a HRC = 20 y la bola de acero solo para valores HRB = 35 a 100. En primer lugar se aprieta el penetrador con una carga inicial de 10 kg contra la muestra y luego se aplica una carga adicional de 140 kg (cono RC) o bien 90 kg (esferaRB).

En materiales blandos solo es posible determinar la dureza Brinell, desde el momento en que el método Rockwell solo es aplicable a materiales de dureza HB 200.

La determinación de la dureza Rockwell se recomienda en particular cuando hay que probar capas superficiales delgadas como las que se originan por temple o en la preparación de recubrimientos metálicos.

#### MACRODUREZA Y MICRODUREZA.

No existe una definición física rigurosa de la dureza, por lo que todos estos métodos de control estático dan únicamente valores relativos. La profundidad, así determinada a que se hunde un cuerpo más duro en la muestra, calculada como presión superficial, da por resultado la dureza de penetración que con los métodos descritos conducen a la macrodureza.

Se trata, por tanto, de una integración de la resistencia a la deformación plástica de un gran número de cristales contiguos, ya que la superficie de huella en el material investigado es relativamente -- grande. Como ya se ha indicado, la resistencia de un material a la penetración de otro cuerpo más duro consta en realidad de tres componentes que son: resistencia elástica, resistencia plástica sin deformación en frío y resistencia a la deformación en frío. En este tipo de ensayos interviene además, el comportamiento de los cristalitas aislados, su influencia mutua o interacción, en el caso que se produzca deformación plástica del material metálico.

En contraste con este método, el ensayo de la microdureza permite determinar la dureza de cristalitas aislados y, al mismo tiempo, también de sus diferentes componentes texturales. Así pues, mientras que la macrodureza indica la dureza policristalina, la microdureza corresponde a la dureza monocristalina.

#### ENSAYO DE MICRODUREZA.

Para llevar a cabo esta medición existen diversos dispositivos como el aparato Diritest (Zeiss), el microdurómetro de Hanemann o los de Reichert y Bergsman.

En estos métodos, al igual que en la determinación de la dureza Vickers, se oprime contra el material una pirámide de diamante con ángulos laterales de  $136^\circ$  y ángulo de elevación de  $22^\circ$ . Como es lógico el diamante es proporcionalmente menor. Las huellas obtenidas tienen una longitud diagonal de unas 12 micras. El aparato está montado además en un microscopio normal, en cuyo ocular se encuentra la escala del indicador de carga y un retículo ocular con el que se mide la huella de la pirámide para calcular así la microdureza. El límite de error fluctúa sobre un 10%.

La determinación de la microdureza puede servir también, entre otros fines, como método para estudiar procesos de difusión en materiales metálicos o para reconocer deformaciones permanentes de los mismos, así como para determinar la composición química aproximada de una capa superficial.

## 2. METODOS DINAMICOS.

En estos métodos se utiliza, al igual que en los estáticos, una esfera o punta comprobadora que se introduce en el material investigado. Ahora bien, es esencial de los métodos dinámicos el aprovechamiento de la energía cinética de la esfera o punta en su colisión con la muestra. Dicha energía impartida se distribuye en la siguiente forma: en trabajo de deformación para producir una huella en el material; en energía de rebote para el retroceso del peso utilizado y, por último, en energía disipada, bien como calor, como roce o como trabajo vibratorio. Por lo tanto, la estimación del efecto producido puede hacerse tanto por la intensidad de la huella como por la altura del rebote.

De acuerdo con lo anterior, hay que distinguir entre el ensayo de dureza por caída, en el cual la esfera se clava en la muestra con ayuda de un peso que cae (ensayo de Hult y Bardenheuer, o de M. - Von Schwars), el ensayo de dureza por choque, en el que se impulsa una esfera dentro de la muestra mediante un muelle que se suelta bruscamente (durómetros por choque de Baumann-Steinruck, Wilk, Graven-Werner), o bien un golpe de martillo (martillo Poldi, esclerómetro Brinnell) y finalmente el ensayo de dureza por rebote. En este último se utiliza un pequeño martillo provisto de una punta de diamante redondeada que se deja caer sobre la pieza desde una altura determinada, midiendo luego la altura del rebote que sirve como medida de la dureza. Cuanto mayor sea esta última altura, más duro será el material. En esta medición se utiliza, entre otros aparatos, el escleroscopio, con el que se determina la dureza Shore.

## ENSAYO DE RESILIENCIA (TENACIDAD AL IMPACTO).

Aunque la tenacidad de un material puede obtenerse calculando el área bajo la curva del diagrama esfuerzo-deformación, la prueba de impacto indicará la tenacidad relativa.

Los materiales pueden fallar en la práctica cuando tienen propensión a la rotura con separación por sacudidas y en casos en que la deformación se vea entorpecida. Especialmente cuando existe efecto de entalla, pueden presentarse roturas con pequeño consumo de trabajo y sin deformación que sirva de aviso.

Cuanto más fina y regular sea la textura del material metálico mayor será su capacidad de oponerse a dichos esfuerzos. Así, por ejemplo, el acero moldeado puede mejorarse en este sentido por recocido o añadiéndole pequeñas cantidades de elementos de aleación como 1 a 2% de níquel.

La tendencia de los materiales metálicos a romperse con separación se mide determinando la resiliencia, mejor denominada en ocasiones "tenacidad al choque de entalla". En este ensayo se rompe una probeta, entallada en el centro, con un solo golpe, midiéndose el trabajo de percusión consumido.

La resiliencia  $K$ , en  $\text{kg-m/cm}^2$  es entonces el cociente del trabajo de percusión consumido y el diámetro en el lugar entallado de la probeta.

Los martinetes o martillos de péndulo, aparatos de ensayo utilizados en esta determinación, están normalizados, así como las dimensiones de las probetas y demás condiciones experimentales.

Por lo general para la prueba de impacto se utilizan muestras tipo muesca. Dos tipos de muesca del tipo general se utilizan en pruebas de flexión por impacto: la muesca ojo de cerradura y la muesca en V.

En Alemania y en Suiza por ejemplo, se utiliza mucho el martillo de péndulo de Charpy, y en los países anglosajones, el de Izod, - con la muestra sujeta por un solo lado.

La muestra Charpy se coloca en un tornillo de banco de manera semejante a una viga sencilla soportada en ambos extremos, en tanto que la muestra Izod se coloca en el tornillo de banco de modo que un extremo quede libre y sea, por tanto, una viga volada.

## ENSAYO DE IMPACTO DE CHARPY

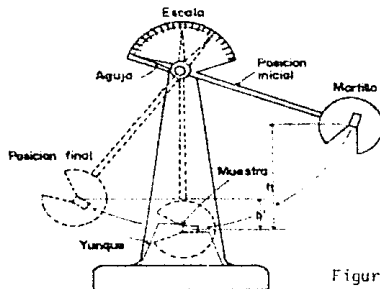


Figura no. 11

La máquina de impacto ordinario tiene un péndulo oscilante de peso fijo, que es elevado a una altura estándar, dependiendo del tipo de muestra que se pretende probar. A esa altura, con referencia al tornillo de banco, el péndulo tiene una cantidad definida de energía potencial. Cuando el péndulo se libera, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea la muestra. La muestra Charpy (figura no. 11) se golpeará atrás de la muesca en V, en tanto que la muestra izod, colocada con la muesca en V de cara al péndulo, se golpeará arriba de la muesca en V.

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

De la descripción de la prueba, es obvio que la prueba de impacto a la cual se sujetó la barra mellada, no da la tenacidad verdadera, sino su comportamiento en función de una muesca en particular; sin embargo, los resultados son útiles para propósitos de comparación.

La prueba de la barra mellada se utiliza en las industrias ae-



ronáutica y automotriz, que han encontrado, por experiencia, que la prueba de alta resistencia al impacto generalmente garantizará un servicio satisfactorio de las piezas que pueden experimentar cargas de choque o impacto.

#### ENSAYO DE FATIGA.

El comportamiento de los materiales frente a cargas estáticas es muy diferente que frente a sollicitaciones que varían repetida y frecuentemente entre una tensión máxima y otra mínima. El mayor de estos esfuerzos que un material resiste de modo permanente sin romperse es su resistencia a la fatiga.

Las pruebas de fatiga son pruebas de tipo dinámico que determinan el comportamiento relativo de los materiales cuando se les somete a cargas repetidas y fluctuantes. Procura simular las condiciones de esfuerzo desarrolladas en las partes de una máquina por la vibración - que producen las cargas cíclicas. La magnitud del esfuerzo puede establecerse con la máquina, y el tipo de esfuerzo (tensión, compresión, flexión o torsión) lo determinan la máquina y el tipo de muestra probada.

El esfuerzo al que se somete la muestra durante la prueba varía continuamente entre dos valores, de los cuales el máximo suele ser menor que el de la resistencia de cedencia del material. Los ciclos de esfuerzo se aplican hasta que se alcanza la falla de la muestra o un número de ciclos límite.

El problema de la escasa resistencia a la fatiga de los materiales metálicos ha sido ya muy estudiado. Con referencia a esto se ha indicado que una rotura por fatiga se inicia en los defectos más importantes de la microestructura, que por influencia de la sollicitación alterna se constituyen por acumulación de las vacantes reticulares propias del material.

Ahora bien, la rotura no se presenta hasta que la "capacidad de amortiguamiento" del material no basta ya para absorber los esfuerzos alternos. Por amortiguación se entiende la parte de trabajo que un material absorbe en cada cambio del esfuerzo alterno y que se transforma en calor.

De gran importancia en relación a la resistencia a la fatiga es la buena calidad superficial de las piezas sometidas a un esfuerzo prolongado. Las superficies lisas y pulidas dan valores considerable-

mente mayores que las que tienen rugosidades o entallas. Razón por la cual existe también una importante vinculación con la corrosión de los materiales metálicos.

Así, las corrosiones de una pieza sometida, por ejemplo, a un esfuerzo vibratorio, reducen la resistencia a la fatiga del material correspondiente. Esto es fácil de comprender si se tiene en cuenta que la superficie de un material metálico se hace rugosa con los agentes -corrosivos y que así puede producirse una considerable acción de entalla.

Las pruebas de fatiga se utilizan ampliamente para estudiar el comportamiento de los materiales, no solo para observarlos bajo distintos tipos e intensidades de cargas fluctuantes, sino también para determinar el efecto de la corrosión, las condiciones de la superficie, la temperatura, el tamaño y la concentración de esfuerzos.

#### ENSAYO DE FLEXION.

El ensayo de doblado sirve para reconocer la flexibilidad de un material. Este debe poderse doblar, sin que se agriete, alrededor de un macho hasta un ángulo determinado, generalmente 90 ó 180°. Como medida de la sollicitación se toma el grado de flexión Tetmager Bg o alargamiento de la fibra más externa sometida a tracción.

Esta magnitud es el alargamiento en porcentajes en el vértice de la barra doblada, es decir,  $a/2r \times 100$ , siendo  $a$  el espesor de la probeta y  $r$  el radio de flexión en el centro del grosor original "a" de la misma.

#### ENSAYO DE TORSION.

Otro método para determinar la tenacidad de un material es el ensayo de retorcimiento, también llamado prueba de torsión. Para ello se cuenta el número de torsiones que una pieza sujeta por un extremo resiste, sin romperse, girando alrededor de su propio eje.

### 3.3 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

Las propiedades mecánicas de muchos de los aceros inoxidable, especialmente la ductibilidad y la tenacidad son superiores a las de los aceros al carbón. La resistencia a la tensión y la dureza pueden ser aumentados por trabajo en frío en los aceros inoxidable austeníticos y ferríticos y por tratamiento térmico en los aceros inoxidable martensíticos.

#### AUSTENITICOS.

Los aceros inoxidable austeníticos no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico pero pueden ser fortalecidos por trabajo en frío. A temperatura ambiente, los austeníticos presentan una resistencia a la tensión entre 30,000 y 200,000 psi, dependiendo de la composición y del trabajo en frío.

Estos aceros también tienen buena ductibilidad y tenacidad aún sometidos a altos esfuerzos y estas propiedades son retenidas a temperaturas criogénicas.

En aplicaciones estructurales, la tenacidad y la resistencia a la fatiga de estos aceros es importante. A temperatura ambiente, los aceros inoxidable austeníticos templados pueden tener resistencias al impacto superiores a 100 lb-ft.

#### FERRITICOS.

Los aceros inoxidable ferríticos tienen un crecimiento en el tamaño del grano después de la soldadura, lo cual puede tener efectos nocivos en las propiedades mecánicas. Esto y una relativa baja tenacidad a bajas temperaturas, tiene limitado su uso en aplicaciones estructurales. Generalmente la tenacidad en la condición de templado disminuye tanto como el contenido de cromo aumente. Como resultado, los ferríticos son utilizados para aplicaciones no estructurales, que requieren buena resistencia a la corrosión, brillo y acabados altamente pulidos.

En comparación con los aceros al bajo carbono tales como SAE-1010, los aceros inoxidable ferríticos convencionales tales como los tipos 430 y 446 presentan resistencias a la tensión un poco más altas

y bajas elongaciones; de este modo, no son tan moldeables como los aceros al bajo carbono.

Pequeñas adiciones de azufre y silicio promueven una buena moldeabilidad en los aceros ferríticos, porque las inclusiones pueden actuar como sitios de iniciación del rompimiento durante la formación.

El tipo 430 es usado para productos moldeados. Los tipos 434 y 436 son usados cuando se requiere una mejor resistencia a la corrosión y para condiciones de esfuerzos severos. Los tipos 443 y 446 son grados resistentes a altas temperaturas.

#### MARTENSITICOS.

En la condición de endurecido, los aceros inoxidables martensíticos tienen muy altas resistencias a la tensión y durezas, pero obtienen su ductibilidad y resistencia al impacto óptimas, cuando se les somete a un "alivio de esfuerzos" o a un tratamiento de temple, generalmente en el intervalo de 150 a 350°C.

Muchos de los aceros inoxidables martensíticos caen dentro de dos grupos en consideración de sus propiedades mecánicas: composiciones con un bajo contenido de carbón con una máxima dureza de cerca de 45 HRC (Rockwell C), y las composiciones con alto contenido de carbono, las cuales pueden ser endurecidas cerca de 60 HRC. La máxima dureza para ambos grupos en la condición de templado es cerca de 24 HRC.

Para un bajo contenido de carbón, el acero debe tener también un bajo contenido de cromo, de otra forma no endurecen. Para altos contenidos de carbono, el contenido de cromo puede aumentarse hasta el 18%. Por lo tanto, como los aceros inoxidables martensíticos son frecuentemente utilizados para cuchillería y otras aplicaciones que requieren alta dureza, estos no son templados al mismo grado que los de bajo contenido de carbono.

En el grupo de bajo contenido se tienen los tipos 403, 410 y 416. Las propiedades, composición, tratamiento térmico y fabricación de estos aceros inoxidables son similares (excepto por la mejor mecanización del tipo 416). En el grupo de alto contenido de carbono se tienen los tipos 440A, B y C.

Los tipos 414 y 431 contienen de 1.25-2.50% de níquel, el cual es suficiente para aumentar su endurecimiento, pero no suficiente para hacerlos austeníticos a temperatura ambiente.

Otra propiedad importante de los martensíticos es la resistencia a la abrasión. Generalmente el material más duro es más resistente a la abrasión. En aplicaciones donde la corrosión ocurre, tales como en las operaciones de manejo de carbón, por regla general, no puede durar porque la película de óxido es continuamente removida, dando como resultado una alta velocidad de corrosión.

Los aceros inoxidable martensíticos son generalmente seleccionados para resistencia a la corrosión moderada, esfuerzos relativamente altos y buenas propiedades de fatiga después de un tratamiento térmico satisfactorio.

## CAPITULO IV.

## SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE.

## 4.1 GENERALIDADES.

La soldadura de los aceros inoxidable se realiza con los mismos procedimientos y técnicas que en los aceros comunes.

Según el tipo de acero que se vaya a soldar, se tomarán las precauciones necesarias para que, tanto en la soldadura como en las zonas cercanas, no se produzca una alteración del acero base que sea motivo de una pérdida de la resistencia a la corrosión.

En las soldaduras se crean zonas oxidadas y con escorias que pueden ser origen de corrosión si no se eliminan con un decapado mecánico o químico.

En la soldadura de los aceros martensíticos (aceros autotemplables) se pueden producir tensiones y por consiguiente grietas, si no se adoptan las precauciones convenientes.

Siempre que sea posible debe emplearse como metal de aportación aleaciones austeníticas (cromo 25% y níquel 20%) para absorber las tensiones en las zonas cercanas al cordón y así evitar las grietas.

Es conveniente precalentar de 300 a 350°C las piezas que van a soldarse. Después de la soldadura y una vez enfriadas las piezas se recomienda un revenido de 600 a 700°C.

Los aceros martensíticos más adecuados para la soldadura son los de carbono inferior a 0.15%.

Quando se puede posponer la resistencia mecánica a la resistencia a la corrosión es conveniente utilizar aceros con contenido de alúminio de 0.10 a 0.30% que son martensítico-ferríticos y cuya estructura está formada de martensita y algo de ferrita.

A veces se necesita hacer la soldadura de tal manera que el metal de aportación sea de composición similar al material base. En este caso el material de aportación deberá ser de un contenido de carbono bajísimo, pero además deberán tenerse en cuenta las precauciones antes citadas.

Los aceros ferríticos son muy propensos al crecimiento del grano, inconveniente para la soldadura. Se aconseja la soldadura por arco ya que el calentamiento está localizado y es breve.

Si las piezas a soldar son de dimensiones considerables, después de la soldadura se calentarán a temperaturas comprendidas entre 750 y 850°C seguido de un enfriamiento rápido para evitar la fragilidad de los 475°C.

Como en las soldaduras de los aceros martensíticos, se recomienda el empleo de aleaciones austeníticas como material de aportación. Para reducir el engrosamiento del grano se emplean adiciones de nitrógeno de 0.10%.

Los aceros ferríticos bajos en cromo y con titanio, niobio o aluminio, tienen la ventaja de no hacerse templeables al calentarlos a altas temperaturas.

El mayor inconveniente que presentan los aceros austeníticos en la soldadura es la precipitación de carburos que puede producirse en las zonas cercanas al cordón de soldadura quedando sensibilizados a la corrosión intergranular.

Como ya se ha explicado anteriormente, están libres de esta precipitación los austeníticos con contenidos de carbono inferior a 0.03%, los estabilizados con titanio o niobio o bien, los que tienen una estructura austeno-ferrítica.

Después de la soldadura, los aceros austeníticos no estabilizados se someterán a un temple austenítico para disolver los carburos -- precipitados.

Cuando las piezas son de gran tamaño y no es posible el tratamiento térmico, es imprescindible el empleo de aceros estabilizados.

Los materiales de aportación aconsejados para evitar la corrosión intergranular y las tensiones ocasionadas por la contracción, en piezas embreadas, son los austeno-ferríticos.

Si es obligatorio que el cordón tenga la misma composición que el acero base, se emplearán materiales de aportación de composición -- austenítica con carbono inferior a 0.02%.

En cada caso conviene consultar las especificaciones de los electrodos.

#### 4.2 PROCESOS DE SOLDADURA PARA ACERO INOXIDABLE.

Los procedimientos y técnicas de soldadura son varios:

- Soldadura con soplete oxiacetilénico (soldadura autógena).
- Soldadura eléctrica por arco.
- Soldadura por resistencia.
- Soldadura por puntos.
- Soldadura fuerte.
- Soldadura Blanda.

#### SOLDADURA CON SOPLETE OXIACETILENICO (SOLDADURA AUTOGENA).

Esta soldadura es la menos empleada, ya que las uniones no ofrecen ninguna garantía de resistencia a la corrosión.

La boquilla del soplete debe ser inferior a la empleada para las piezas del mismo espesor en aceros comunes.

La llama debe ser neutra, ni exceso de oxígeno ni exceso de acetileno, ya que en el primer caso originaríamos una pérdida de cromo en el acero base y en el segundo originaríamos un aumento de carbono.

#### SOLDADURA ELECTRICA POR ARCO.

Este es el procedimiento más empleado, ya que se obtienen soldaduras sanas y resistentes a la corrosión.

La soldadura de los aceros inoxidables se hace normalmente con corriente continua conectando el electrodo al polo positivo del generador y las piezas, cuando son pequeñas, al polo negativo. De esta manera conseguimos concentrar el calor más en el electrodo que en las piezas. Por el contrario, cuando las piezas son de gran espesor se conectarán a la inversa.

Los procedimientos de soldadura por arco más empleados son:



- Con electrodo metálico revestido.
- En atmósfera gaseosa con electrodo fusible.
- En atmósfera gaseosa con electrodo de wolframio.
- Por arco sumergido.

En todos los casos el metal fundido de aportación está protegido de la oxidación atmosférica bien por un fundente, la escoria o un gas inerte.

En estos protectores el carbono debe ser restringido al máximo. Los fundentes y las escorias deben contener el mínimo de hidrógeno y los gases inertes un bajo punto de rocío para evitar la porosidad en las soldaduras.

Soldadura por arco con electrodo metálico revestido.

Los espesores de las distintas capas depositadas en una ranura profunda no deben ser mayores de 3.2 mm si se quiere asegurar la calidad.

Para eliminar la posible retención de escoria y la falta de fusión, deben limpiarse uno a uno los distintos cordones con una herramienta de punta roma y después con un cepillo de acero inoxidable.

La soldadura con electrodo revestido no es aceptable para depositar el cordón de raíz en tubos de acero inoxidable. Por tanto, en las tuberías de acero inoxidable destinadas a aplicaciones químicas y nucleares se utilizará el procedimiento por arco con atmósfera gaseosa con electrodo de wolframio. Una vez depositado el cordón de raíz por este procedimiento se puede continuar con el electrodo revestido.

Soldadura por arco en atmósfera gaseosa con electrodo fusible.

Como en este tipo de soldadura no se emplea ni fundente, ni escoria, el electrodo ha de contener todos los elementos de aleación requeridos en el metal depositado.

Utilizando argón como gas protector y corriente continua con polaridad inversa, la aportación del metal desde el alambre-electrodo hasta la pieza se realiza en forma de diminutas gotas, siempre que la intensidad alcance un valor mínimo para cada diámetro. Este valor es de unos 300 amperes para alambres de 1.6 mm de diámetro.

Para alambres de menor diámetro las intensidades serán menores y para alambres superiores a 1.6 mm las intensidades serán mayores.

Además del argón se emplean otros gases protectores como mezclas de argón-oxígeno, argón-helio y dióxido de carbono. Este último gas está perdiendo aplicación debido a que el acero inoxidable a soldar absorbe carbono y queda sensibilizado a la corrosión.

Con este procedimiento pueden soldarse uniones con ángulos de chaflán poco profundos y grandes superficies entre bordes. Las uniones deben mecanizarse y limpiarse cuidadosamente antes de proceder a soldar. El gas protector, de elevada pureza, debe fluir a velocidad suficiente para proteger la zona de soldadura, aproximadamente a 18 l/min. Cuando se suelda a velocidades superiores a 12.7 mm/seg es conveniente proceder a una protección de cola con el fin de proteger ulteriormente con una atmósfera gaseosa el metal depositado y así evitar su oxidación.

La mayor aplicación de este tipo de soldadura la tiene en la fabricación de depósitos y recipientes de presión de acero inoxidable. También se emplea en la unión de tubos de acero inoxidable.

Soldadura por arco en atmósfera gaseosa con electrodo de wolframio.

Este procedimiento es utilizado con electrodos refractarios -- protegidos con gas inerte, argón o mezclas argón-helio. Los cinco tipos de electrodos de wolframio agrupados por AWS (American Welding Society) y ASTM (American Society for Testing and Materials) son los siguientes:

- Tipo EWP-99.5% mínimo de wolframio.
- Tipo EWTh-1-98.5% de wolframio + 0.8-1.2% de dióxido de torio.
- Tipo EWTh-2-97.5% de wolframio + 1.7-2.2% de dióxido de torio.
- Tipo EWTh-3-98.95% de wolframio + 0.35-0.55% de dióxido de torio.
- Tipo ENZr-99.2% de wolframio + 0.15-0.40% de circonio.

El empleo de corriente continua con polaridad invertida está limitado porque el wolframio se sobrecalienta y la penetración es poco profunda. La mayor penetración se obtiene con corriente continua con polaridad directa. La corriente alterna proporciona menor penetración que la polaridad directa, reduce el soplo del arco y se prefiere normalmente para la soldadura manual y para materiales de poco espesor.

Para la soldadura con corriente alterna se prefieren electrodo--

dos de wolframio.

El argón se aconseja para la soldadura manual y para soldar - chapa fina. Para piezas grandes se aconseja el helio.

La soldadura por arco en atmósfera gaseosa con electrodo de -- wolframio tiene gran aplicación en tubos de acero inoxidable.

Soldadura por arco sumergido.

Este procedimiento se utiliza para depositar aceros inoxidables austeníticos en las uniones de materiales base de acero inoxidable y en el recubrimiento con acero inoxidable de superficies de aceros al carbono o de baja aleación para protegerlos contra la corrosión.

En la soldadura por arco sumergido es necesario un contenido - de ferrita mayor que en otros procedimientos para evitar que las zonas soldadas estén expuestas a fisuras microscópicas. Sin embargo es más - fácil la formación de la fase sigma y, por consiguiente, las uniones - se vuelven frágiles cuando esto sucede.

Las uniones realizadas con este procedimiento son sensibles a la fisuración y a la fragilidad en caliente. Esta sensibilidad aumenta cuando las uniones se enriquecen de silicio, azufre y sobre todo de -- fósforo.

Para uniones de piezas de poco espesor se utiliza normalmente corriente continua. Para espesores mayores se puede utilizar corriente continua o alterna.

SOLDADURA POR RESISTENCIA.

En las uniones de los aceros inoxidables soldadas por resistencia se consiguen más fácilmente altas resistencias mecánicas que en - las uniones de los aceros al carbono o de baja aleación.

Al ser mayor la resistencia eléctrica de los aceros austeníticos se necesitan menores intensidades de corriente que en la soldadura de los aceros suaves. Por el contrario la presión entre las piezas a-- soldar será mayor.

La baja permeabilidad magnética de los aceros austeníticos -- hace más ventajosa la soldadura, ya sea continua o por puntos al no -- ser necesario aumentar la intensidad de corriente para compensar las -- variaciones de reactancia.

#### SOLDADURA POR PUNTOS

Para obtener buenas soldaduras por puntos con las aleaciones -- cromo-níquel hay que tener en cuenta lo siguiente:

- La corriente de soldadura ha de ser constante durante la ejecución -- de cada punto de soldadura, no debiéndose permitir transiciones alea -- torias.
- La presión de soldadura se ha de mantener tan uniformemente como sea -- posible. Las variaciones de presión influyen sobre la densidad de la -- corriente de soldadura (al variar la superficie de contacto) y sobre -- su resistencia eléctrica. Por esta razón, se han de utilizar planti -- llas adecuadas para que exista buen contacto entre las superficies -- de las piezas que se van a soldar.
- Para obtener resultados óptimos, las puntas de los electrodos deben -- ser de aleaciones especiales de cobre de gran conductividad. Las pun -- tas de los electrodos se deben refrigerar interior y exteriormente -- siempre que sea posible, con el fin de facilitar el enfriamiento rá -- pido de la soldadura y reducir al mínimo la precipitación de carburos

Empleando técnicas adecuadas, es posible soldar por puntos ma -- teriales sin estabilizar, altos de carbono (0.15% de C max.) sin que -- se produzca una precipitación perjudicial de carburos ni una pérdida de -- ductibilidad no deseable.

Como el núcleo del punto de soldadura está expuesto normalmen -- te a un enfriamiento rápido, equivalente al temple, las soldaduras por -- puntos en los aceros inoxidables austeníticos son extremadamente tena -- ces y dúctiles. Es posible garantizar uniones de gran rendimiento.

## SOLDADURA FUERTE.

Tanto la técnica de soldadura fuerte como los materiales y equipos utilizados para los aceros inoxidable han de ser más cuidadosos que los que se requieren para unir por soldadura fuerte la mayor parte de los metales ordinarios. Los aceros inoxidables plantean problemas especiales que hay que tener en cuenta.

Debido al intervalo de condiciones de servicio bajo las que los aceros inoxidables se utilizan, a veces es bastante difícil predecir la duración, en condiciones específicas, de las uniones realizadas por soldadura fuerte.

El acero inoxidable se elige usualmente para una aplicación de terminada debido a su resistencia al calor o a la oxidación. Los metales de aportación son aleaciones tanto o más resistentes a muchos de los medios corrosivos a que están expuestos frecuentemente los aceros inoxidables.

Existen innumerables tipos de aleaciones base, plata, cobre, oro, paladio o níquel para soldadura fuerte que son adecuadas para soldar aceros inoxidables austeníticos. La más comúnmente usadas son las de cobre y las de plata.

En la tabla no. 17 se relacionan algunas aleaciones típicas comerciales disponibles:

Tabla no. 17

DESIGNACION AWS-ASTM	COMPOSICION %				SOLIDUS C Pto. Fusión	LIQUIDUS C Pto. Fluidez
	Ag	Cu	Zn	Otros		
BAG-2	35	26	21	Cd-18	607	763
BAG-4	40	30	28	Ni- 2	660	779
BAG-5	45	30	25	-	663	743
BAG-1	45	15	16	Cd-24	607	619
BAG-6	50	34	16	-	691	773
BAG-3	50	15.5	15.5	Cd16,Ni3	646	688
BAG-7	56	22	17	Sn-5	619	651
BCu	-	99	-	-	1082	1082
BCuZn-1	-	60	40	-	893	905
BCuZn-2	-	57	42	Sn-1	888	893
BCuZn-3	-	56	40	Sn-1	866	888

Para unir por soldadura fuerte el acero inoxidable se puede utilizar cualquiera de los procedimientos empleados corrientemente en este tipo de soldadura, esto es, por inmersión, inducción, resistencia o al horno. Todos los aceros inoxidables se pueden unir a cualquiera de los metales utilizados corrientemente, excepto el aluminio y el magnesio. Se han de seleccionar el fundente, el metal de aportación, la tolerancia de la unión y otras variables del procedimiento, de manera que sean compatibles con los materiales que se están uniendo.

En la soldadura fuerte, la limpieza de las superficies, es decir, la ausencia de óxidos, grasas, suciedad o cualquier otra materia extraña tiene una importancia fundamental, a fin de facilitar el flujo del metal de aportación y la unión del metal base.

Los fundentes tienen dos finalidades principales. En primer lugar, deben cubrir la zona de unión e impedir la formación de óxidos durante el calentamiento; en segundo lugar, el fundente debe reducir químicamente los óxidos que puedan formarse. Los fundentes se aplican en forma de pasta, de manera que cubran totalmente la zona de la unión.

La capa superficial de óxido es muy refractaria y se recomienda su eliminación mecánica o química, inmediatamente antes de proceder a soldar.

#### SOLDADURA BLANDA.

La película superficial de óxido de cromo sobre los aceros inoxidables austeníticos al cromo-níquel es refractaria y tenaz, lo que hace que estos materiales sean difíciles de unir por soldadura blanda. Sin embargo, todos los aceros inoxidables se pueden unir por soldadura blanda si se emplean las técnicas adecuadas.

Para unir aceros inoxidables por soldadura blanda pueden utilizarse aleaciones de estaño-plomo que se encuentran en el comercio. La aleación utilizada debe contener, por lo menos, 50% de estaño puesto que la capacidad de mojado y la resistencia mecánica de la unión aumentan en proporción directa a la cantidad de estaño presente. Sin embargo, para servicio a temperaturas criogénicas son preferibles las aleaciones que contengan menos estaño o adiciones de plata, o reúnan ambas condiciones, a causa de su ductibilidad a baja temperatura. La capacidad de mojado de estas aleaciones para soldadura blanda es limitada y frecuentemente es preciso dar a las superficies de acero inoxidable un baño electrolítico instantáneo con níquel o con cobre para conseguir una buena unión.

#### 4.3 CLASIFICACION DE BARRAS Y ELECTRODOS.

Los consumibles de soldadura por arco son los materiales usados durante la soldadura, tales como electrodos, barras, fundentes y externamente se aplican gases de protección. Con excepción de los gases, todos los consumibles comunmente usados están cubiertos por las especificaciones de la AWS (American Welding Society).

Veinte especificaciones en las series AWS A5.x describen los requerimientos de electrodos, barras y fundentes para soldadura.

La primera clasificación para electrodos de acero suave revestidos A5.1 fue escrita en 1940. Como la industria de la soldadura se ha expandido y el número de electrodos para soldar se ha incrementado, ha sido necesario llegar a idear un sistema de clasificación de electrodos para evitar confusión. El sistema usado se aplica a acero dulce (o suave) A5.1 y a los aceros de baja aleación A5.5.

Las clasificaciones de electrodos para acero dulce y acero baja aleación están basadas en un prefijo "E" seguido de cuatro o cinco números dígitos. Los primeros dos dígitos (o tres en el caso de un número de cinco dígitos) indican el mínimo requerido de resistencia a la tensión en miles de libras por pulgada cuadrada. Por ejemplo: 60 equivale a 60,000 psi, 70 = 70,000 psi y 100 = 100,000 psi. El siguiente o último dígito indica la posición de soldadura en la cual el electrodo es capaz de hacer una unión satisfactoria: 1 = todas las posiciones - (horizontal, vertical, por abajo, por arriba), 2 = por abajo y en tiras horizontales. Los últimos dígitos indican el tipo de corriente que va a ser usada y el tipo de protección para el electrodo, esto se puede ver en la Tabla no. 18.

Tabla no. 18 DESIGNACION PARA ELECTRODOS MANUALES.

- a. El prefijo "E" designa un electrodo para soldadura por arco.
- b. Los primeros dos o tres dígitos indican la resistencia mínima a la tensión:
 

E60XX.....	60,000 psi	resistencia mínima a la tensión.
E70XX.....	70,000 psi	resistencia mínima a la tensión.
E110XX.....	110,000 psi	resistencia mínima a la tensión.
- c. El siguiente dígito indica la posición:

EXX1X..... Todas las posiciones.

EXX2X..... Posición plana por abajo o en filetes horizontales

d. El sufijo (ejemplo: EXXX-A1) indica la aleación aproximada en la soldadura depositada:

- A1..... 0.5% Mo.
- B1..... 0.5% Cr, 0.5% Mo.
- B2..... 1.25% Cr, 0.5% Mo.
- B3..... 2.25% Cr, 1.0% Mo.
- B4..... 2.00% Cr, 0.5% Mo.
- B5..... 0.50% Cr, 1.0% Mo.
- C1..... 2.50% Ni.
- C2..... 3.25% Ni.
- C3..... 1.00% Ni, 0.25% Mo, 0.15% Cr.
- D1 y D2..... 0.25-0.45% Mo, 1.75% Mn.

Tabla no. 18

DESIGNACION	CORRIENTE	TIPO DE REVESTIMIENTO
EXX10	CD solamente	Orgánico
EXX11	CA o CD	Orgánico
EXX12	CA o CD	Rutilo
EXX13	CA o CD	Rutilo
EXX14	CA o CD	Rutilo, polvo de hierro (aprox. 30%)
EXX15	CD solamente	Hidrógeno
EXX16	CA o CD	Hidrógeno, polvo de hierro (25%)
EXX18	CA o CD	Hidrógeno
EXX20	CA o CD	Oxido de hierro
EXX24	CA o CD	Rutilo, polvo de hierro (50%)
EXX27	CA o CD	Mineral, polvo de hierro (50%)
EXX28	CA o CD	Hidrógeno, polvo de hierro (50%)

La composición química del metal depositado es mostrada en la tabla no. 18. Los electrodos con el sufijo "G" necesitan tener solamente una aleación superior al mínimo de calidad para los requerimientos químicos.

Los electrodos con el sufijo "H" se encontrarán o serán similares a los requerimientos necesarios.



COMPOSICION DE LOS REQUERIMIENTOS DE METAL DE SOLDADURA BAJA ALEACION.

Tabla no. 15

CLASIFICACION DEL ELECTRODO	COMPOSICION %								
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V
ACERO AL CARBON-MOLIBDENO									
E7010-A1		0.60			0.40				
E7011-A1		0.60			0.40				
E7015-A1		0.90			0.60				
E7016-A1	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60			0.40-0.64	
E7018-A1		0.90			0.80				
E7020-A1		0.60			0.40				
E7027-A1		1.00			0.40				
ACERO AL CROMO-MOLIBDENO									
E8016-B1	0.12	0.90	0.03	0.04	0.80		0.40-0.65	0.40-0.65	
E8018-B1									
E8015-B2L	0.05	0.90	0.03	0.04	1.00		1.00-1.50	0.40-0.65	
E8016-B2	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60		1.00-1.50	0.40-0.65	
E8018-B2					0.80				
E8018-B2L	0.05	0.90	0.03	0.04	0.80		1.00-1.50	0.40-0.65	
E9015-B3L	0.05	0.90	0.30	0.04	1.00		2.00-2.50	0.90-1.20	
E9015-B3					0.60				
E9016-B3	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60		2.00-2.50	0.90-1.20	
E9018-B3					0.80				
E9018-B3L	0.05	0.90	0.03	0.04	0.80		2.00-2.50	0.90-1.20	
E8015-B4L	0.05	0.90	0.03	0.04	1.00		1.75-2.25	0.40-0.65	
E8016-B5	0.10	0.60	0.03	0.04	0.50		0.40-0.60	1.00-1.25	

CLASIFICACION DEL ELECTRODO	COMPOSICION								
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V
ACERO AL NIQUEL									
E8016-C1 E8018-C1	0.12	1.20	0.03	0.04	0.60 0.80	2.00-2.75			
E8016-C2 E8018-C2	0.12	1.20	0.03	0.04	0.60 0.80	3.00-3.75			
E8016-C3 E8018-C3	0.12	0.40-1.25	0.03	0.03	0.80	0.80-1.10	0.15	0.36	0.05
ACERO AL MANGANESO-MOLIBDENO									
E9015-D1 E9018-D1	0.12	1.25-1.75	0.03	0.04	0.60 0.80			0.25-0.45	
E10015-D2 E10016-D2 E10018-D2	0.15	1.65-2.00	0.03	0.04	0.60 0.60 0.80			0.25-0.45	
OTROS ACEROS DE BAJA ALEACION									
EXX10-G EXX11-G EXX13-G EXX15-G EXX16-G EXX18-G EXX20-G		1.00 mín.			0.80 mín.	0.80 mín.	0.30 mín.	0.20 mín.	0.10 mín.
E9018-M E10018-M E11018-M E12018-M	0.10 0.10 0.10 0.10	0.60-1.25 0.75-1.70 1.30-1.80 1.30-2.25	0.03 0.03 0.03 0.03	0.03 0.03 0.03 0.03	0.80 0.60 0.60 0.60	1.40-1.80 1.40-2.10 1.25-2.50 1.75-2.25	0.15 0.35 0.40 0.30-1.50	0.35 0.25-0.50 0.30-0.55 0.30-0.55	0.05 0.05 0.05 0.05

Continúa...

#### 4.4 ELECTRODOS REVESTIDOS DE ACERO AL CROMO Y AL CROMO-NIQUEL RESISTENTES A LA CORROSION, AWS A5.4-69.

Estos electrodos son comunmente llamados "inoxidables" o "resistentes a la corrosión" y son clasificados basándose en la composición química del metal de soldadura depositado y características de utilización.

Los requerimientos de composición química son mostrados en la tabla no. 20. La especificación no incluye pruebas para resistencia a la corrosión.

El metal de soldadura depositado puede esperarse que tenga la misma composición. Sin embargo, debido al calor de la soldadura o el tratamiento térmico subsecuente, pueden ocurrir cambios metalúrgicos - que puedan afectar la resistencia a la corrosión de la soldadura y el metal o los metales base. Por esta razón las pruebas de corrosión deben ser hechas en aplicaciones críticas.

Tabla no. 20  
COMPOSICION QUIHICA DE LOS ELECTRODOS RESISTENTES A LA CORROSION.

CLASIFICACION AWS	COMPOSICION %								
	C	Cr	Ni	Mo	Cb+Ta	Mn	Si	P	S
E308	0.08	18.0 21.0	9.0 11.0			2.5	0.90	0.04	0.03
E308L	0.04	18.0 21.0	9.0 11.0			2.5	0.90	0.04	0.03
E309	0.15	22.0 25.0	12.0 14.0			2.5	0.90	0.04	0.03
E309Cb	0.12	22.0 25.0	12.0 14.0		0.70 1.00	2.5	0.90	0.04	0.03
E309Mo	0.12	22.0 25.0	12.0 14.0	2.00 3.00		2.5	0.90	0.04	0.03
E310	0.20	25.0 28.0	20.0 22.5			2.5	0.90	0.04	0.03
E310Cb	0.12	25.0 28.0	20.0 22.0		0.70 1.00	2.5	0.75	0.03	0.03
E310Mo	0.12	25.0 28.0	20.0 22.0	2.00 3.00		2.5	0.75	0.03	0.03
E312	0.15	28.0 32.0	8.0 10.5			2.5	0.90	0.04	0.03
E16-8-2	0.10	14.5 16.5	7.5 9.5	1.00 2.00		2.5	0.50	0.03	0.03
E316	0.08	17.0 20.0	11.0 14.0	2.00 2.50		2.5	0.90	0.04	0.03
E316L	0.04	17.0 20.0	11.0 14.0	2.00 2.50		2.5	0.90	0.04	0.03
E317	0.08	18.0 21.0	12.0 14.0	3.00 4.00	6xCmín 1 máx	2.5	0.90	0.04	0.03
E318	0.08	17.0 20.0	11.0 14.0	2.00 2.50		2.5	0.90	0.04	0.03
E320	0.07	19.0 21.0	32.0 36.0	2.00 3.00	6xCmín 1 máx	2.5	0.60	0.04	0.03
E349	0.13	18.0 21.0	8.0 10.0	0.35 0.65	0.75 1.20	2.5	0.90	0.04	0.03
E430	0.10	15.0 18.0	0.60			1.0	0.90	0.04	0.03
E502	0.10	4.0 6.0	0.40	0.45 0.65		1.0	0.90	0.04	0.03
E7Cr	0.10	6.0 8.0	0.40	0.45 0.65		1.0	0.90	0.04	0.03

Los requerimientos de las propiedades mecánicas de los electrodos revestidos al cromo y al cromo-niquel resistentes a la corrosión se muestran en la Tabla no. 21.

Tabla no. 21

CLASIFICACION AWS	RESISTENCIA A LA TENSION MIN. (psi)	ELONGACION EN 2" %
E308	80,000	35
E308L	75,000	35
E309	80,000	30
E309Cb	80,000	30
E309Mo	80,000	30
E310	80,000	30
E310Cb	80,000	25
E310Mo	80,000	30
E312	95,000	22
E16-8-2	80,000	35
E316	75,000	30
E316L	70,000	30
E317	80,000	30
E318	80,000	25
E320	80,000	30
E330	75,000	25
E347	80,000	30
E349	100,000	25
E410	70,000	20
E430	70,000	20
E502	60,000	20
E505	60,000	20
E7Cr	60,000	20

La utilización de los electrodos está indicada por un sufijo - en el número de clasificación. Un sufijo "-15" indica que el electrodo debe usarse con corriente directa CD. Si el sufijo es "-16" el electrodo puede usarse con CA o CD.

#### 4.5 BARRAS Y ELECTRODOS SENCILLOS PARA SOLDADURA DE ACEROS AL CROMO Y AL CROMO-NIQUEL RESISTENTES A LA CORROSION.

Esta especificación cubre las barras para soldadura de acero - inoxidable que se usan en atmósfera de hidrógeno atómico y en los procesos de soldadura por arco con atmósfera gaseosa con electrodo de volframio y los electrodos para usarse en los procesos de soldadura por arco sumergido y soldadura con electrodo metálico.

Las barras y electrodos son clasificados basándose en su composición química. Los requerimientos para electrodos sólidos y barras es tan basados en el análisis químico del metal depositado. Para electro dos compuestos y barras, los requerimientos se basan en el análisis - químico de un bloque sin diluir del metal hecho por la soldadura del - metal depositado con el proceso TIG, usando argón como gas protector. El análisis de los electrodos compuestos y barras también puede hacerse por cualquier método satisfactorio establecido o convenido por el abastecedor y el comprador.

Las barras y electrodos son utilizables en una amplia variedad de diámetros y medidas. Además de encontrarse disponibles en varias -- longitudes también. Esto se muestra en la figura no. 22.

Tabla no. 22

## REQUERIMIENTOS QUIMICOS DE BARRAS Y ELECTRODOS PARA SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE.

CLASIFICACION AWS	COMPOSICION %								
	C	Cr	Ni	Mo	Cb+Ta	Mn	Si	P	S
ER308	0.08	19.5 22.5	9.0 11.0			1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER308L	0.03	19.5 22.0	9.0 11.0			1.0 2.0	0.25 0.60	0.03	0.03
ER309	0.12	23.0 25.0	12.0 14.0			1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER310	0.08 0.15	25.0 28.0	20.0 22.5			1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER312	0.15	28.0 32.0	8.0 10.5			1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER316	0.08	13.0 20.0	11.0 14.0	2.00 3.00		1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER316L	0.03	18.0 20.0	11.0 14.0	2.00 3.00		1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER317	0.08	18.5 20.5	13.0 15.0	3.00 4.00		1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER318	0.08	18.0 20.0	11.0 14.0	2.00 3.00	8xCmín 1 máx	1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER320	0.07	19.0 21.0	32.0 36.0	2.00 3.00	8xCmín 1 máx	2.5	0.60	0.04	0.03
ER321	0.08	18.5 20.5	9.0 10.5	0.50 máx		1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER347	0.08	19.0 21.5	9.0 11.0		10xCmín 1 máx	1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER348	0.08	19.0 21.5	9.0 11.0		10xCmín 1 máx	1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER349	0.07 0.13	19.0 21.5	8.0 9.5	0.35 0.65	1.00 1.40	1.0 2.5	0.25 0.60	0.03	0.03
ER410	0.12	11.5 13.5	0.6	0.60		0.6	0.50	0.03	0.03
ER420	0.25 0.40	12.0 14.0	0.6			0.6	0.50	0.03	0.03
ER430	0.10	15.5 17.0	0.6			0.6	0.50	0.03	0.03
ER502	0.10	4.5 6.0	0.6	0.45 0.65		0.6	0.25 0.60	0.03	0.03

## CAPITULO V.

EJEMPLO DE APLICACION DEL ACERO INOXIDABLE:  
INDUSTRIA EMBOTELLADORA.

## 5.1 DESCRIPCION DEL PROCESO.

Como se ha mencionado, el acero inoxidable se emplea en una gran variedad de procesos, equipos y accesorios.

La industria embotelladora de bebidas gasificadas es un ejemplo de la gran utilización del acero inoxidable. En esta industria: Embotelladora de Refrescos Mexicanos S.A de C.V., los materiales y equipos utilizados tanto para la producción de los jarabes de PEPSI-CO, como para el proceso de embotellado deben ser manufacturados en acero inoxidable y ésto se debe considerar como una norma estricta en la que no se acepta negociación.

Se consideran las razones más importantes para el empleo de aceros inoxidables las siguientes:

- Los jarabes que se emplean para la elaboración de las bebidas tienen un pH bajo ( $\text{pH} = 2.4-2.6$ ), por lo cual se consideran corrosivos y atacarían fácilmente otro tipo de material. Además de que debido a las materias primas que se emplean y si las condiciones del medio son favorables se propicia el desarrollo de microorganismos que pueden contaminar el producto.
- Debido a las sustancias y materiales que se emplean para la obtención del producto terminado, el equipo está en constante contacto con el agua ya que la limpieza es un factor muy importante para evitar la contaminación del producto en cualquier etapa del proceso.

En una planta embotelladora hay tres procesos importantes mediante los cuales se obtiene una bebida carbonatada:

- Tratamiento de aguas.
- Producción de jarabes.
- Proceso de embotellado.



## 5.2 TRATAMIENTO DE AGUAS.

El agua es la materia prima más importante para el embotellado ocupa casi el 89% del producto y debe cumplir ciertos requisitos.

El agua disponible proviene de la red municipal y llega a las cisternas de la planta. Esta se denomina agua cruda y será la que se someta a tratamiento.

El diagrama de la Figura no. 12 muestra el proceso de tratamiento de agua y a continuación se explicará en que consiste.

### TANQUE DE REACCION.

El agua cruda pasa de la cisterna al tanque de reacción cuya capacidad es de 835 lpm. En este tanque, periódicamente se le dosifica:

- Cal y Cloruro de Calcio  
Para reducción de alcalinidad.
- Sulfato de Aluminio  
Para remoción de color y olor.
- Cloro  
Para remoción de materia orgánica.

Todas estas reacciones son para obtener la calidad de agua deseada. En este tanque se llevará a cabo el proceso físico de coagulación de la materia orgánica que se irá al fondo del tanque para formar lo que se conoce como lodos.

### FILTRO DE ARENA.

El agua pasa por derrame del tanque de reacción al filtro de arena donde es retirada toda la materia en suspensión que pueda llevar como basura, coágulos, flóculos, etc. El agua en este filtro debe tener un cierto valor de alcalinidad y debe tener una cantidad de cloro permisible de acuerdo a las normas.

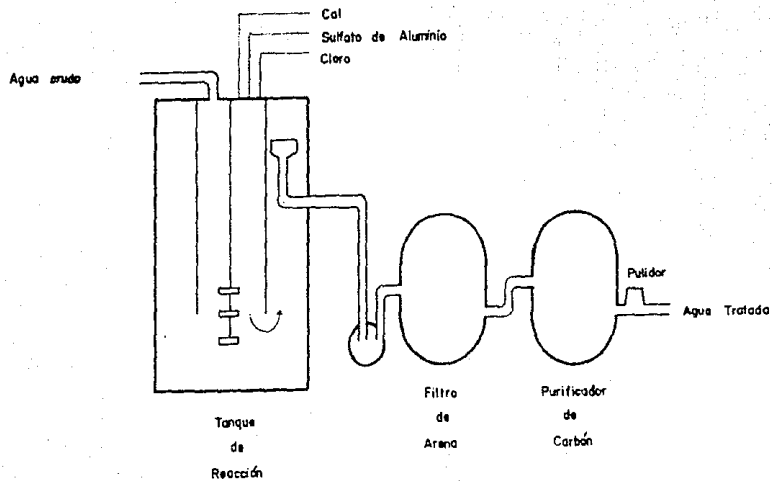


Figura no. 12

PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA

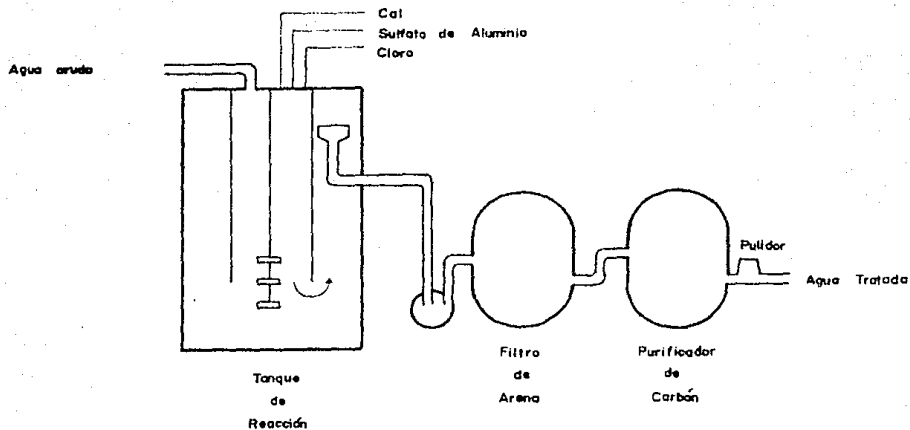


Figura n.º. 12

**PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA**

## PURIFICADOR DE CARBON.

Al llegar aquí el agua es clarificada y debe obtenerse agua - sin olor ni sabor, además de que ya no debe contener cloro.

## FILTRO PULIDOR.

Paso final del agua tratada para retener algunas partículas -- que se hayan arrastrado en los filtros y en los purificadores. El agua de aquí sale cristalina y con la calidad deseada.

Esta agua es agua tratada que se envía a la sala de jarabes para la preparación de los mismos y a las líneas de producción para embotellar el producto.

Una parte del agua cruda es suavizada en columnas suavizadoras. Esta agua suavizada es la que se envía a las líneas de producción para su utilización en tanques de preenjuagues y tanques de enjuagues de las lavadoras de envase. Esta agua suavizada también se emplea en las calderas en la generación de vapor.

## ESTANDARES DEL AGUA PARA PRODUCIR PEPSI-COLA.

Apariencia	Clara	Cloruros ( $Cl^-$ )	250 ppm máx
Sabor	Ninguno	Sulfatos ( $SO_4^{2-}$ )	250 ppm máx
Olor	Ninguno	Hierro (Fe)	0.3 ppm máx
Color	5 ppm máx.	Fluoruros ( $F^-$ )	1.0 ppm máx
Turbidez	1.0 máx	Nitratos ( $NO_3^-$ )	22.5 ppm máx
Materia orgánica	Ninguna	Alcalinidad Tot.	50 ppm máx
Manganeso	Ninguno	( $CaCO_3$ )	
Total solidos disueltos	850 ppm máx.	Cloro	Ninguno

## 5.3 PRODUCCION DE JARABES.

Se tiene una área dedicada exclusivamente a la producción de jarabes, donde solo tienen acceso el personal que se encarga de la preparación de los mismos y el personal de control de calidad. Cuando es necesario, el personal de mantenimiento.

El azúcar usada en la preparación de los jarabes de los productos de PEPSI-CO es refinada al 100% o sea, sacarosa granulada que se obtiene de la caña de azúcar.

La función del azúcar es darle la dulzura (edulcorante) y cuerpo deseados a la bebida final y que ayude a comunicarle el sabor a esta.

## DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCION DE JARABES.

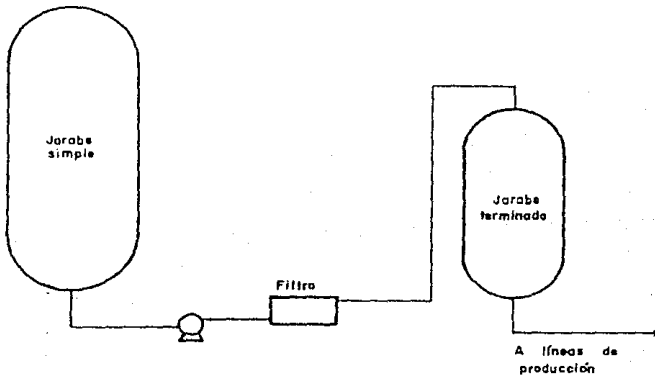


Figura no. 13

## JARABE SIMPLE.

El agua tratada y el azúcar granulado son los elementos que forman la materia prima para elaborar el jarabe simple.

Se mezclan 1134 Kg de azúcar por cada 871 lt de agua. Se agita durante 30 min y se filtra.

La medida que se emplea para checar las concentraciones de los jarabes y del producto terminado son los grados Brix = °Brix = °Bx, -- que es la densidad de la sacarosa en agua.

$$^{\circ}\text{Bx} = \frac{\text{Peso azúcar}}{\text{Peso azúcar} + \text{Peso agua}} \times 100 = \frac{1134}{1134 + 871} \times 100 = 56.6 \text{ } ^{\circ}\text{Bx}$$

El jarabe simple debe tener 56.6 °Bx = 30.75 °Bé.

Este tanque para la preparación del jarabe simple es de acero inoxidable.

## FILTRACION.

El método más común para tratar el jarabe es la filtración simple, para lo cual se emplea generalmente un filtro de placa y marco con hojas de papel filtrante.

El filtro funciona como pulidor o colador fino recogiendo la materia extraña que haya podido quedar en el jarabe debido al azúcar.

## TANQUES DE JARABE TERMINADO.

Del filtro, el jarabe simple pasa directamente a los tanques de jarabe terminado que son de acero inoxidable.

En estos tanques con agitador se mezcla:

- jarabe simple más
- concentrados (según el sabor de la bebida) más
- B-2D (ácido fosfórico)



FILTRO PRENSA

TANQUE DE  
JARABE SIMPLETANQUES DE  
JARABE TERMINADO

que nos darán el jarabe terminado. La concentración, es decir, los grados Brix no deben variar. Ya mezclado se denomina "jarabe tierno". Debe dejarse reposar 24 hr como mínimo para lograr una mezcla homogénea. Después del tiempo de reposo este jarabe terminado está listo para enviarse a las líneas de producción y ser embotellado.

#### CONCEPTO DE UNIDAD.

El volumen de los jarabes que se maneja en las plantas embotelladoras es conocido como "unidad de jarabe terminado", los cuales varían desde 1 unidad hasta 10 unidades dependiendo de la planta.

Las unidades son medidas en galones y su volumen depende del producto que se elabore, siendo los más comunes:

- Pepsi Cola	1 Unidad = 450 galones
- Mirinda Naranja	1 Unidad = 450 galones
- Teem	1 Unidad = 150 galones
- Mirinda Manzana	1 Unidad = 150 galones

#### RENDIMIENTOS.

Los rendimientos de los jarabes se expresan en las cajas producidas en sus diferentes tamaños: 12 oz = 355 ml y 26 oz = 769 ml.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cajas reales producidas}}{\text{Cajas teóricas}}$$

PRODUCTO	CAJAS TEORICAS/UNIDAD
Pepsi-Cola	1200 en 12oz 900 en 26oz

El volumen de los tanques para jarabe simple y jarabe terminado debe ser múltiplo de unidad de pepsi-cola. El volumen de los tanques debe ser lo suficientemente grande para la producción de 2 a 3 hr de la línea de embotellado.

En el caso de los jarabes de sabores (como Teem o Mirinda), deben ser embotellados el mismo día de su preparación.



Todos los jarabes ya sean de Pepsi-Cola o de sabores son diluidos en una relación de 5:1 (5 partes de agua por 1 parte de jarabe) en el equipo proporcionador, antes de ser embotellado.

Es necesario hacer notar que todas las tuberías de este departamento así como las bombas mediante las cuales se envía el jarabe terminado a las líneas de producción son de acero inoxidable.

#### 5.4 PROCESO DE EMBOTELLADO.

A las diferentes etapas que constituyen este proceso se les da el nombre "Líneas de Producción". En una planta embotelladora puede haber tres o más líneas de producción. Unas se destinarán a embotellar refresco de 12 oz (355 ml) mediano y otras a embotellar el de 26 oz familiar (769 ml). Este proceso comprende desde el recibo de envase, hasta el empaque del producto para pasar al almacén. El diagrama de proceso se muestra en la Figura no. 14.

#### RECIBO DEL ENVASE.

El envase vacío puede encontrarse almacenado o llega en los camiones repartidores al andén de descarga, de donde el envase es transportado en montacargas al área de envase vacío de donde se pasa en forma manual a la desempacadora.

#### DESEMPACADORA.

El envase es sacado de las cajas y colocado en los transportadores (de cadena movidos por un sistema hidráulico) que son de acero inoxidable y que llevan el envase a la lavadora. En este punto un operador evita que pase botella sucia, que no pueda ser lavada, o que contamine los tanques de lavado de la lavadora de botellas.

Esta botella sucia puede ser: botella con cera, petróleo, pintura, cemento, tapadas, etcétera.

## LAVADORA.

Carga de lavadora. En este punto es importante evitar atorones de botella en la mesa de carga de la lavadora, ya que esto impide el funcionamiento continuo de esta máquina (eficiencia), que es la que alimenta al corazón de la línea de producción: la llenadora. También se aprovecha para realizar una segunda inspección de la botella.

Esta máquina realiza su función en base a tres elementos:

- Temperatura
- Concentración de sosa
- Tiempo de contacto.

Si alguno de estos elementos falla, tendremos una botella mal lavada que contaminará el producto en la llenadora.

La botella pasa inicialmente a los tanques de preenjuagues de la lavadora que ayudan a evitar que la suciedad de las botellas contamine o ensucie rápidamente los tanques de lavado.

Los diferentes tanques de lavado de que consta una lavadora - tendrán temperaturas y concentraciones de sosa diferentes, teniendo el último tanque la temperatura más baja y la concentración de sosa más baja para evitar que el envase salga caliente o que haya arrastre de sosa. Por ejemplo, una lavadora con cinco tanques de lavado tiene las siguientes características:

TANQUE	TEMPERATURA	CONCENTRACION DE SOSA
1	50°C	2.0 %
2	70°C	3.0 %
3	50°C	2.5 %
4	40°C	2.0 %
5	30°C	1.0 %

se utiliza vapor para obtener estas temperaturas.

Al salir el envase del último tanque de lavado pasa a los tanques de enjuague. El enjuague se realiza con agua suavizada que es lanzada a presión mediante espreas a cada botella. Estas espreas deben revisarse continuamente para que el envase sea bien enjuagado.

La botella que sale de la lavadora a la mesa de descarga debe chequearse para evitar que:

- No salga caliente. Si la botella está caliente provocará un choque - térmico en la llenadora, ya que el producto debe embotellarse a una temperatura máxima de 4°C, ocasionando esto rotura de envase. Además en caso de que el envase no se rompa, provocará una espuma excesiva que traerá como consecuencia el bajo nivel del producto.
- No haya arrastre de sosa. Esto se checa en todas las cavidades de la descarga de la lavadora con indicador de fenolftaleína. Se agragará este indicador en el interior y exterior de la botella. Si hay arrastre de sosa el indicador, que es incoloro, cambiará a una coloración rosa. Si hay arrastre en un número considerable de cavidades, se para la producción y se revisan los enjuagues de la lavadora. Este arrastre provoca un exceso de espuma en el embotellado y por consiguiente un bajo nivel del producto.
- No se atore. Para que el funcionamiento sea continuo. Al salir de la mesa de descarga es transportada a la llenadora en cadenas transportadoras de acero inoxidable. Durante este recorrido hay una tercera inspección visual. El personal encargado de esta inspección evita -- que pase botella sucia al llenado. La capacidad máxima es de 150-200 botellas por minuto. Debe haber una rotación del personal cada media hora para evitar fatiga visual. Los transportadores que llevan la botella a la llenadora se llaman transportadores de vacíos.

#### LLENADORA.

Esta máquina es el punto clave de la línea de producción. Aquí la botella es llenada y coronada. La velocidad de llenado de la llenadora varía dependiendo del modelo y del tipo de botella que esté llenando (esto es, 12oz o 26oz). Esta velocidad oscila entre 250 hasta 600 botellas por minuto. Esta máquina es manufacturada en acero inoxidable en todas sus partes.

Si esta máquina se opera adecuadamente trabajará con un máximo de eficiencia. Debe ponerse especial cuidado en la limpieza, esto incluye: lavado de válvulas, reposición de gomas, cambio de válvulas, - constante lavado exterior, etc. Además de mantener constante la carga de corona.

Se hace énfasis en la limpieza debido a dos razones muy importantes:

- Como se mencionó en un principio, debido al bajo pH del jarabe terminado es fácil que se desarrollen microorganismos que van a provocar:

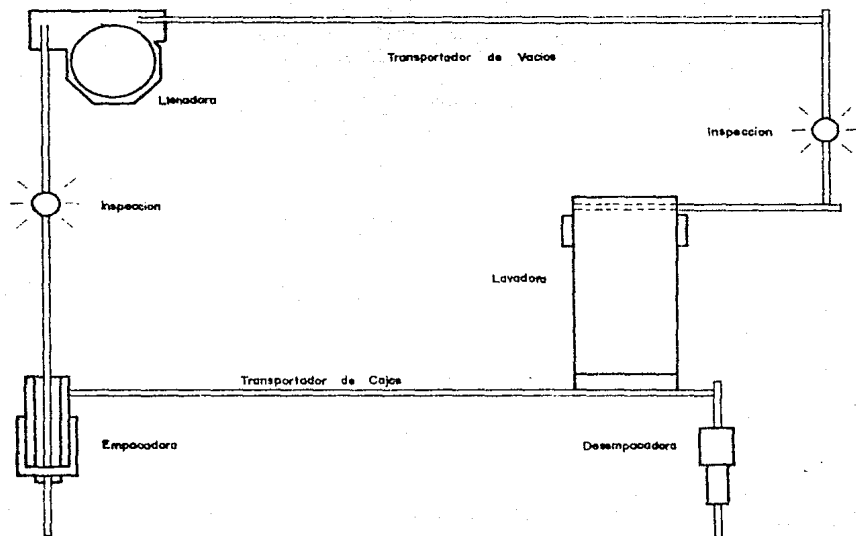


Figura no. 14

DIAGRAMA DE PROCESO DE EMBOTELLADO

mal sabor a la bebida; olores desagradables (tanto a la bebida como a las áreas de trabajo); sedimentos; además de una reducción en el tiempo de vida del producto, que en condiciones normales es de seis meses.

- El sistema de transporte de la botella se efectúa mediante cadenas - que son movidas por un sistema hidráulico. Pero estas cadenas requieren de un lubricante para evitar que se atoren y además para que la botella se deslice con más suavidad sobre éstas. Estos lubricantes son jabonosos y producen espumas que deben ser removidas de los transportadores y del piso con agua. Por esta razón los transportadores son de acero inoxidable, de otra forma, si fuese otro material sería atacado rápidamente por la corrosión.

Al salir la botella llena y coronada (tapada) pasa por una inspección visual de llenos cuyo objetivo es evitar que a la empacadora lleguen botellas bajas de nivel o sin coronar.

#### EMPACADORA.

En este punto, la función es empacar la botella (producto terminado) lo más suavemente (se hace por caída libre), para evitar que exista una rotura alta.

Las cajas son acomodadas en tarimas de:

- 12 oz	55 cajas/tarima
- 26 oz	44 cajas/tarima

Finalmente el producto es llevado al almacén. De aquí será cargado a los camiones repartidores para salir al mercado.

Como se ha mencionado, las áreas de embotellado y transempacado (desempacadora, empacadora y almacén) deben conservarse limpias para evitar malos olores y lograr un ambiente que no permita la contaminación del producto. Debe evitarse la presencia de vidrio, insectos, exceso de lubricante en los transportadores, grasas y aceites.

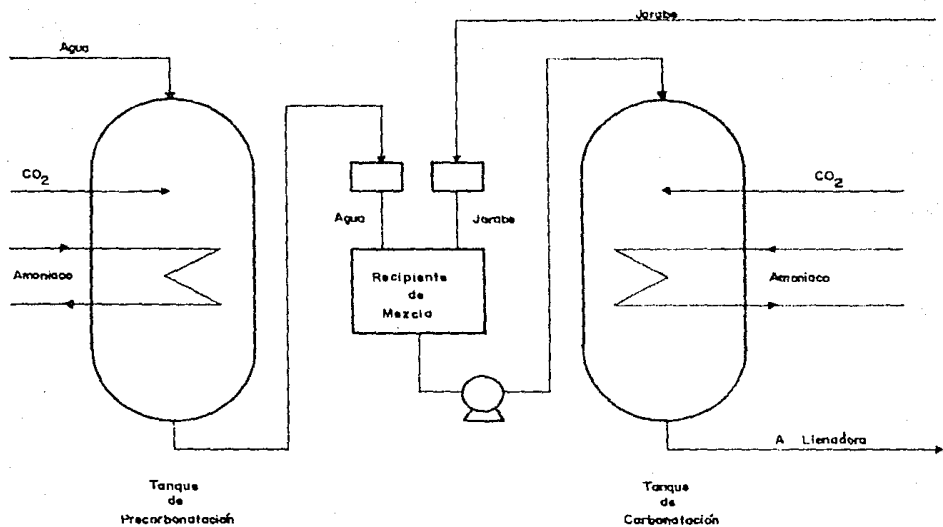


Figura no. 15

DIAGRAMA DEL CARBON-ENFRÍADOR

## CARBON-ENFRIADOR (CARBO-COOLER).

Este equipo construido totalmente en acero inoxidable, es el que se encarga de proporcionar la bebida con las características requeridas para ser embotellada, figura no. 15.

Este equipo consta de dos tanques y un dosificador que en el diagrama anterior se muestra.

Al tanque de precarbonatación llega agua tratada que es enfriada y precarbonatada. El enfriamiento se lleva a cabo con un sistema de refrigeración a base de amoníaco. El enfriamiento es necesario para -- que el CO<sub>2</sub> se disuelva en el agua y se obtenga la bebida carbonatada.

Esta agua enfriada y precarbonatada pasará al recipiente proporcionador de agua del dosificador.

Por otra parte, de la sala de jarabes envían el jarabe terminado que llega al recipiente proporcionador de jarabe.

De estos recipientes proporcionadores, el agua y el jarabe pasan al recipiente de mezcla en una proporción de 5:1, es decir, 5 partes de agua por 1 parte de jarabe.

Del recipiente de mezcla y mediante una bomba la mezcla se envía al tanque de carbonatación donde la bebida será enfriada y carbonatada a las condiciones deseadas.

Esta mezcla carbonatada y enfriada se envía a la llenadora como producto final destinado a embotellarse.

Las características y normas con que la bebida debe salir del carbo-cooler para embotellarse son:

### NORMAS DEL PRODUCTO

PRODUCTO	CO <sub>2</sub> % VOL.	°BRIX	pH
Pepsi	3.4 - 3.8	11.1 - 11.5	2.4 - 2.6
Mirinda Naranja	1.8 - 2.2	12.4 - 12.8	*
Teem	3.4 - 3.8	10.5 - 10.9	*

\* = No se checa la acidez.

El producto embotellado se checa cada 30-45 min para verificar que esté dentro de normas. De no ser así se corregirán y de ser

necesario se parará la producción hasta que el producto obtenido cumpla con las normas de calidad. De esto se encarga el personal del Departamento de Control de Calidad.

#### 5.5 EQUIPOS QUE UTILIZAN ACERO INOXIDABLE.

EQUIPO	ACERO INOXIDABLE TIPO
Filtro pulidor de cartuchos	304
Tanque de jarabe simple	304
Filtro prensa	316
Tanque de jarabe terminado	304
Empacadora	304
Llenadora	304
Desempacadora	304
Carbón-enfriador	304
Tuberías	304
Válvulas de paso	304
Impulsores de bombas	304
Bandas transportadoras	317



## CONCLUSIONES.

En la actualidad los aceros inoxidable se han convertido en la solución más adecuada para cubrir un amplio rango de posibles aplicaciones, de acuerdo a sus propiedades particulares.

Una serie de cualidades les confiere esta preferencia a la hora de elegir materiales, como la capacidad de no oxidarse, su resistencia a la corrosión en general buena, la ventaja consiguiente de no contaminar las sustancias en contacto con ellos, sus valores de resistencia buenos en la mayoría de los casos, su resistencia al trabajo pesado a temperaturas elevadas, su buen aspecto exterior y la posibilidad de mantener fácilmente limpia la superficie.

Las exigencias impuestas por la industria en general y en particular por las industrias química, petroquímica, nuclear y de navegación aérea han propiciado un gran desarrollo de estos aceros.

Los aceros inoxidable en equipos de uso diario, sustituyen -- con enorme ventaja a cualquier otro material (a menos que éste sea específico), tanto en presentación como en resistencia y muchas veces en precio.

La selección de un material es, casi siempre, el resultado de un balance entre su durabilidad en el servicio por una parte y su costo por otra. Los aceros inoxidable son materiales caros, pero debido a su bajo costo de mantenimiento y larga duración, es más económico -- que cualquier otro material, incluso algún material similar plástico, -- a mediano plazo.

En algunos usos el acero inoxidable es prácticamente indestructible y en otros, su duración supera con amplio margen al modelo o trá bajo que ayuda a desarrollar.

Los aceros inoxidable se pueden procesar con todos los procedimientos tradicionales de manufactura, presentándose como fundiciones, como forja o bien como laminados, tanto planos como no planos.

Uno de los problemas más serios en la industria lo constituye la corrosión, que produce daños cuantiosos al año. Es un problema complejo del cual se conoce mucho, sin embargo, a pesar de la extensa investigación y experimentación todavía hay mucho que aprender.

Los aceros inoxidable pueden ser atacados por varios agentes.

Este ataque es, sin embargo, mucho más lento que en el caso de los aceros al carbono y, sobre todo, ellos son especialmente resistentes al ataque por ácidos oxidantes, como el ácido nítrico.

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables se debe a la formación, en la superficie de los mismos de una película de óxido muy delgada y resistente que recibe el nombre de película pasiva que los protege.

La elección del material siempre más apropiado y de características más convenientes, la utilización de recubrimientos protectores, la influencia del ambiente corrosivo, la variación de las condiciones de trabajo y las medidas constructivas, pueden conseguir el fin propuesto de evitar o reducir la corrosión.

Dados los atributos que de los aceros inoxidables se han mencionado, se puede concluir que éstos pueden ser útiles para fabricar todo tipo de accesorios y equipos tanto de empleo doméstico como comercial o industrial.

Dentro de la siderurgia, la historia de los aceros inoxidables es bastante corta, de hecho puede decirse que están en etapa de introducción. En teoría, solo unos pocos, los innovadores, los compran y utilizan.

En los próximos años seguramente ocurrirán dos fenómenos, por un lado se descubrirán nuevos tipos de aceros inoxidables y resistentes al calor y, por el otro, se encontrarán muchas nuevas aplicaciones de los mismos dadas sus características especiales.

## BIBLIOGRAFIA.

1. Avner, S. H.  
Introducción a la metalurgia física.  
2a. edición.  
Mc. Graw-Hill.  
México, 1981.
2. Colombier, L.  
Stainless and heat-resisting steel.  
Edward Arnold (Publishiers) L.T.D.  
Gran Bretaña, 1967.
3. De la Rosa, P., Said, M. C.  
Análisis de los elementos inorgánicos utilizados en los  
pigmentos anticorrosivos.  
Tesis.  
México, 1985.
4. Flinn, R. A., Trojan, P. K.  
Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones  
1a. edición en español  
Mc. Graw-Hill.  
México, 1986.
5. Inchaurreza, Z., A.  
Aceros inoxidables y aceros resistentes al calor.  
Limusa.  
México, 1981.
6. Istrati, G.  
Aceros inoxidables.  
Mc. Graw-Hill.  
México, 1932.
7. Mexinox S.A. de C.V.  
Fábrica de laminados planos de aceros inoxidables.  
Altos hornos de México y Nacional Financiera.  
México, 1972.

3. Parr, J. G.  
An introduction to stainless steel  
American Society for Metals.  
United States of America, 1966.
  
9. Perry, R. H.  
Biblioteca del Ingeniero Químico  
Volúmen VI.  
2a. edición en español.  
Mc. Graw-Hill.  
México, 1986.
  
10. Piatti, L.  
Materiales de la Ingeniería Química.  
1a. edición en español.  
Urmo S.A.  
España, 1973.
  
11. Quiroz M., M. E.  
Recubrimientos para el mantenimiento preventivo contra  
la corrosión en la industria.  
Tesis.  
México, 1987.
  
12. Simmons. W. F.  
Compilation and trade names, specifications and producers  
of stainless alloys and superalloys.  
American Society for Testing and Materials  
United States of America, 1969.
  
13. Source Book on Stainless Steel.  
American Society for Metals.  
United States of America, 1977.
  
14. Stainless Steels.  
The Iron and Steel Institute.  
London, 1969.
  
15. Stainless Steel and Chemical Industry.  
American Iron and Steel Institute.  
London, 1970.