

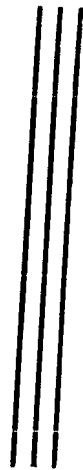
9
2 E.



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

**“ESTUDIO DE LA CORROSION
INTERGRANULAR EN ACEROS
INOXIDABLES AUSTENITICOS”**



T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a :

Jorge Humberto Castro Rodríguez



V N A M

1987

Cuautitlán Izcalli, Estado de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

1	INTRODUCCION	1
2	GENERALIDADES	3
2.1	Diagrama Hierro-Carbono.	4
2.2	Diagrama Hierro-Cromo.	7
2.3	Diagrama Hierro-Cromo-Níquel.	14
3	ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.	18
3.1	Propiedades.	22
3.2	Constitución de los Principales A.I.A.	24
3.3	A.I.A. Sensibilizados.	28
3.4	Principales Usos en la Industria.	30
4	CORROSION EN LOS ACEROS INOXIDABLES Y RESISTENTES AL CALOR.	36
4.1	Aspectos Generales.	37
4.2	Principales Formas de Corrosión.	38
4.3	Efectos Producidos Por Algunos Medios Corrosivos.	42

5	CORROSION INTERGRANULAR EN A.I.A.	45
5.1	Introducción.	46
5.2	Medios Ambientes Productores de Ataque Intergranular.	48
5.3	A.I.A. Susceptibles de Ataque Intergranular.	56
5.4	Mecanismos de la Corrosión Intergranular.	57
6	MÉTODOS DE CONTROL DE LA CORROSION INTERGRANULAR EN ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.	59
6.1	Aplicación de un Tratamiento Térmico Apropiado.	61
6.2	Por Aleación Con Otros Metales.	64
6.3	Por Cambios en la Composición.	67
7	TRANSFORMACIONES DE LOS ACEROS INOXIDABLES Y RESISTENTES AL CALOR.	69
7.1	Mecanizado.	76
7.2	Soldadura.	88
7.3	Decapado.	91
APENDICE A	NORMAS QUE RIGEN A LOS ACEROS INOXIDABLES Y REFRACTARIOS.	94

1 INTRODUCCION

La corrosión, el ataque que el medio ambiente produce en los metales, es, por dos razones, un problema fundamental en Ingeniería. En primer lugar, existe el aspecto económico, que supone miles de millones de pesos anualmente, según el cual los diseños deben decidirse teniendo en cuenta el costo práctico, en lugar de hacerlo por selección de un material ideal, aunque caro. En segundo lugar, la corrosión de una estructura industrial típica es un fenómeno complejo, de naturaleza electroquímica, el cual, generalmente, requiere de un tratamiento especial de las muchas variables que intervienen.

Estos dos aspectos de la corrosión, su importancia económica y su complejidad han creado una situación excepcional. Extensas investigaciones han resultado en la comprensión de muchos aspectos de la corrosión, y miles de nuevas investigaciones se emprenden anualmente. Sin embargo, en muchas aplicaciones importantes, los ingenieros deben confiar en los resultados empíricos obtenidos de ensayos en servicio, puesto que el comportamiento real puede diferir notablemente de las predicciones anticipadas por las investigaciones de laboratorio.

Aún cuando la teoría de la corrosión no puede aplicarse rigurosamente a todos los problemas prácticos, en muchos casos sus principios básicos sirven de guía para el control de la corrosión. La discusión siguiente está dedicada, en su mayor parte, al estudio de estos principios. El comportamiento químico es de fundamental importancia, pero existen otros factores que influyen también en la elección de materiales resistentes a la corrosión para aplicaciones de Ingeniería. Por ejemplo, aunque el tantalio posee excelente resistencia a la corrosión, es de costo elevado y frecuentemente de difícil manufactura en la forma requerida. Los criterios usuales de selección para una aleación y aplicación determinada, son: Adecuada resistencia mecánica, facilidad de fabricación, costos iniciales bajos y resistencia a la corrosión comprobada en el ambiente específico.

La causa principal de todas las reacciones entre los metales y el medio ambiente es una disminución de la energía libre del sistema como resultado de la reacción. Solo en algunos casos resulta económico eliminar, mediante el empleo de metales nobles como el oro o el platino, la fuerza impulsora de la acción corrosiva. En la mayoría de las situaciones prácticas, se controla la corrosión reduciendo la velocidad a la que actúa la reacción que la causa.

El objetivo principal de este trabajo es dar a conocer la manifestación de uno de los tipos de corrosión de mayor importancia, como es la corrosión intergranular sobre los aceros inoxidables austeníticos.

2 GENERALIDADES

En este capítulo quedan reflejados, El Diagrama Hierro-Carbono y los componentes más importantes que intervienen en los aceros en general, El Diagrama Hierro-Cromo y El Diagrama Cromo-Níquel.

El objetivo de este capítulo es la familiarización de las estructuras más comunes, para una rápida comprensión de este trabajo.

2.1 DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

La adición de elementos de aleación al hierro influye en las temperaturas a que se producen las transformaciones alotrópicas. Entre estos elementos, el más importante es el carbono, el cual al alearse con el hierro lo hace según el diagrama de equilibrio representado en la figura N° 1

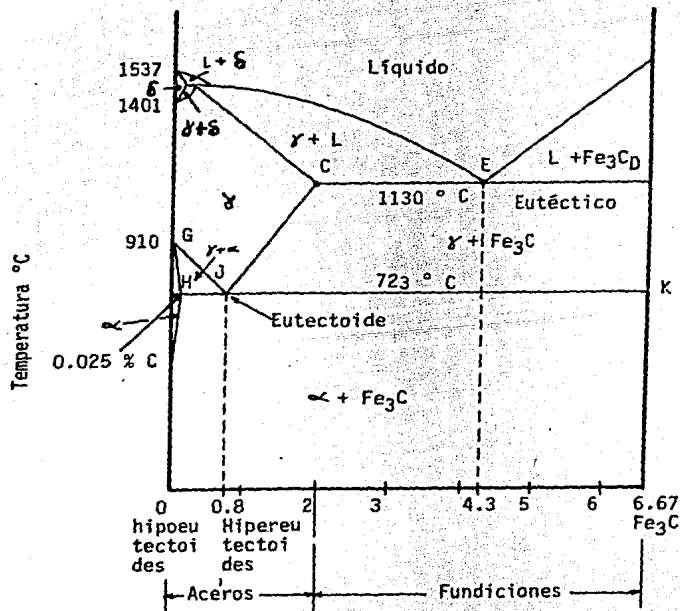


Figura N° 1.- Porcentaje en peso de carbono

2.1.1. DESIGNACION DE ESTRUCTURAS

Aunque la designación de las distintas zonas, puntos y líneas del diagrama de equilibrio figura N° 1, se ha hecho con las normas generales, por razones de criptivas se asignan distintos nombres a la mayoría de las estructuras.

CEMENTITA. O carburo de hierro responde a la fórmula química Fe_3C y contiene 6.67 % en peso, de C. Es un compuesto intermetálico duro y frágil, cuya resistencia a la tracción es pequeña, pero que presenta una resistencia a la com- presión elevada. De todas las estructuras que aparecen en el diagrama es la que ofrece mayor dureza.

AUSTENITA. El hierro γ (de red cúbica de caras centradas) disuelve carbono siendo la solubilidad máxima de éste en aquél de un 2 % a 1130 °C, y la solución sólida intersticial así formada se denomina austenita. El valor medio de sus propiedades es; Resistencia a la tracción, 105 Kg/mm², Alargamiento, 10 % en dos pulgadas; Dureza, 40 Rockwell C aproximadamente. Aunque a temperatura ambiente esta estructura no es normalmente estable, en ciertas condiciones puede presentarse.

LEDEBURITA. Bajo este nombre se conoce la mezcla eutéctica de austenita y cementita, la cual contiene un 4.3 % de C y se forma a 1130 °C.

FERRITA. Con este nombre se designa la solución sólida intersticial formada por pequeñas cantidades de carbono disueltas en hierro (de red cúbica de cuerpo centrado). La solubilidad máxima se presenta a 723 °C, y es de 0.025% de C (punto H), admitiéndose que, a la temperatura ambiente, el hierro llega a disolver solamente 0.008 % de C. Esta estructura es la más blanda de todas las que aparecen en el diagrama. El valor medio de sus propiedades es : Resistencia a la tracción 28 Kg/mm²; Alargamiento 40% en dos pulgadas. Dureza inferior a la Rockwell C.

PERLITA. (punto J). Recibe este nombre la mezcla eutectoide con una composición de 0.80 % de C. Que se forma en el enfriamiento lento a 723 °C. La mezcla esta formada por una serie de laminillas paralelas de muy pequeño espesor de ferrita y cementita. Su microestructura recuerda una huella digital; Sus propiedades medias son: Resistencia a la tracción 84 Kg/mm²; Alargamiento 20% en dos pulgadas; Dureza, aproximadamente 20 Rockwell C.

MARTENSITA. Es el constituyente físico de los aceros templados, esta formada por una solución sólida de carburo de hierro en hierro alfa, se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde altas temperaturas, su contenido de carbono suele variar desde trazas hasta 1 %, sus propiedades físicas varían con su composición, aumentando con el contenido de carbono su dureza, su resistencia y su fragilidad. Después de los carburos y cementita es el constituyente más duro, con su dureza de 50 a 68 Rockwell C; Su resistencia es de 170 a 250 Kg/mm²; Y su alargamiento de .5 % a 2.5 %.

2.2 DIAGRAMA HIERRO-CROMO

En el diagrama de equilibrio hierro-cromo de la figura N° 3 se puede apreciar que la reacción de la martensita está restringida a los aceros con contenidos limitados de cromo, puesto que el 100 % de fase austenita solamente se puede producir con contenidos de cromo de hasta 12 %. En las aleaciones con un 0.6 % de carbono aproximadamente, el límite de la región de la austenita (llamado bucle gamma) se extiende hasta el 18 % de cromo. Por lo tanto, los aceros para cuchillería con contenidos de 12 % a 18 % de cromo pueden endurecerse por formación de martensita y sin embargo poseen una resistencia a la corrosión relativamente buena. El acero inoxidable tipo 501, que contiene aproximadamente un 5 % de cromo, sólo tiene una resistencia limitada a la corrosión y a la oxidación, como se puede apreciar en las curvas de la figura N° 2.

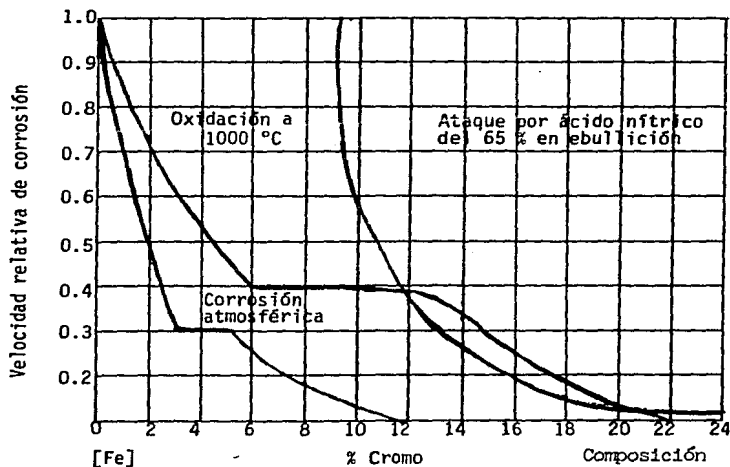


Figura N° 2.- Resistencia a la corrosión.

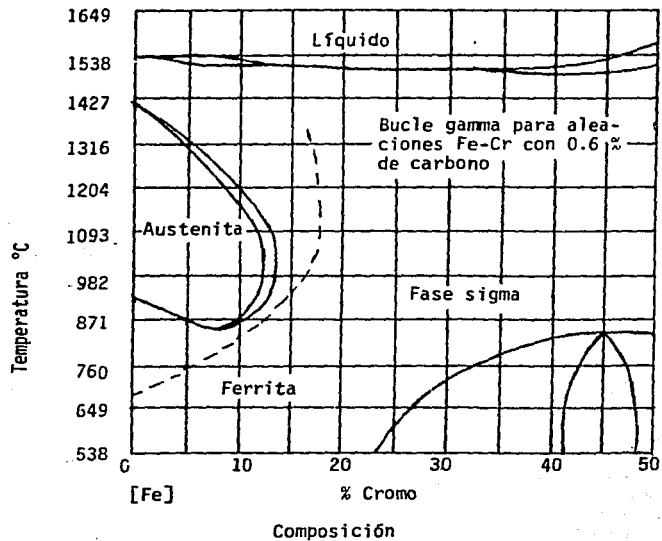


Figura N° 3.- Diagrama de equilibrio hierro-cromo.

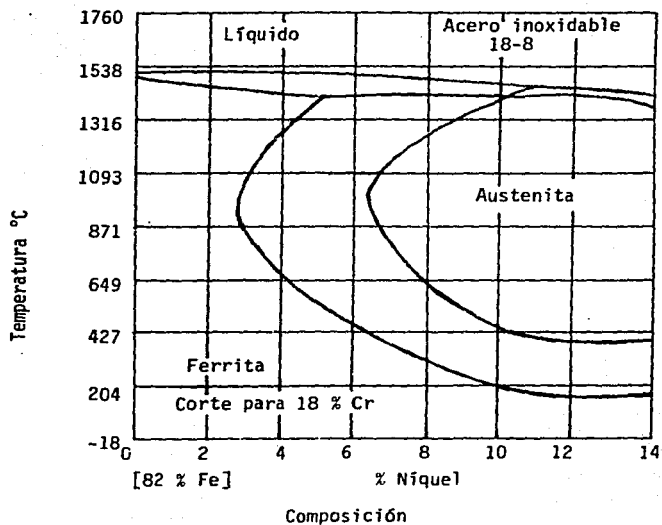


Figura N° 4.- Diagrama de equilibrio ternario hierro-cromo-níquel

Sin embargo, esta aleación de bajo costo es la que conviene elegir en muchas aplicaciones en la industria petrolera.

Cuando en las aleaciones hierro-cromo se hallan presentes cantidades sustanciales de cromo, resultando así ampliamente mejorada la resistencia a la corrosión, las aleaciones caen en la zona de la ferrita del diagrama de equilibrio y se clasifican como aceros inoxidable ferríticos. Las aleaciones comerciales de esta clase contienen del 13 % al 25 % de cromo. Puesto que no se pueden endurecer estas aleaciones por tratamiento térmico, se utilizan generalmente en estado de recocido, pero, a veces, se emplea la deformación en frío como medio de aumentar su resistencia. En la elaboración se pueden emplear las operaciones usuales de deformación en frío, pero la soldadura tiende a producir una fragilización que no puede eliminarse totalmente por medio del subsiguiente tratamiento térmico. El costo relativamente bajo de estos aceros justifica su uso en los elementos decorativos de los automóviles, así como en aplicaciones en las que sea importante la resistencia a la oxidación producida por temperaturas elevadas. La fase sigma, que aparece con contenidos de cromo muy altos, es casi siempre indeseable en los aceros inoxidables, porque tiene efecto adverso sobre la resistencia a la corrosión y la resistencia al choque. Sin embargo, se ha encontrado interesante la dureza de esta fase en aplicaciones tales como válvulas para motores de automóviles, en las que se presentan problemas de desgaste y de corrosión moderada.

El diagrama de equilibrio hierro-carbono figura N° 3 es adecuado para explicar la naturaleza de los aceros inoxidables martensíticos y ferríticos, pero para comprender la clase más importante y variada, la de los aceros inoxidables austeníticos, es necesario considerar el diagrama ternario hierro-cromo-níquel, puesto que el típico acero inoxidable 18-8 contiene aproximadamente 18 % de cromo y 8 % de níquel. Es posible comprender el papel esencial del níquel considerando una sección vertical para un 18 % de cromo. A través del diagrama ternario puede apreciarse que, a temperaturas elevadas, el efecto de la adición de níquel a una aleación con un contenido de cromo del 18 %, es producir un cambio gradual desde la fase ferrita, primero a la región de dos fases y, finalmente, a la condición completamente austenítica ligeramente por encima del 6% de níquel. Un aspecto de estas relaciones de equilibrio está significativamente modificado por la aparición de la metaestabilidad con con-

tenidos de níquel más elevados. Por ejemplo, aunque, el acero inoxidable 18-8 debería ser completamente ferrítico a la temperatura ambiente, en la práctica, este acero sigue siendo austenítico al enfriarlo desde elevadas temperaturas. Por consiguiente, los aceros inoxidables austeníticos no pueden ser endurecidos por temple, puesto que la austenita no se transforma en martensita.

Los aceros inoxidables austeníticos tienen una ventaja especial en lo que se relaciona con las operaciones de manufactura en frío puesto que es posible lograr: (1) facilidad de deformación, o (2) rápido endurecimiento por deformación (es decir, mayor resistencia mecánica) como consecuencia de la modificación apropiada de la composición química. La explicación se funda en el hecho de que, mientras la austenita metaestable tiende a descomponerse durante la deformación en frío, en una estructura parecida a la de la martensita, el grado de metaestabilidad, a este respecto, depende de la composición. Los elementos tales como el manganeso, el carbono y el nitrógeno actúan como el níquel estabilizando la austenita, mientras que el molibdeno contribuye con el cromo a producir la condición ferrítica.

En muchos aceros inoxidables austeníticos comerciales sólo es necesario considerar los efectos del níquel y del cromo. Con una composición de 17 % de cromo y 7 % de níquel es excepcionalmente grande el endurecimiento por deformación, por el grado de descomposición de la austenita producido por la deformación en frío, disminuye con el aumento del contenido de níquel y es casi cero en la aleación con 18 % de cromo y 12 % de níquel.

Otro aspecto de los aceros inoxidables al cromo-níquel es la disponibilidad de ciertas composiciones, tales como la AM-355 de la tabla N° 5, que pueden ser endurecidas por envejecimiento. Puede hacerse que la reacción de precipitación se produzca en la austenita metaestable por medio de un tratamiento de envejecimiento (doble envejecimiento), o que la austenita se transforme en martensita por enfriamiento hasta 73 °C (enfriamiento subcero) seguido por un tratamiento de revenido. Las aleaciones de este tipo pueden endurecerse también por deformación en frío. La resistencia a la corrosión del acero AM-355 endurecido es algo inferior a la del acero inoxidable 18-8, pero resulta adecuada para muchas aplicaciones.

ALGUNAS PROPIEDADES DE ACEROS INOXIDABLES TÍPICOS

Descripción del acero			Composición, %				Límite de fluencia kg/mm ²	Resistencia a la tracción* kg/mm ²	Alargamiento % en 2 pulgadas	Aplicaciones
Clase	Tipo	Estado	C	Cr	Ni	Otros elementos				
Martensítico	420	Recocido	0,18+	18			45,7	70,0	20	Cuchillería, instrumental quirúrgico, muelles
	420	Tratado térmicamente					84-160	105-211	12-2	
	201	Recocido	0,10+	8		0,5 Mo	21,0	49,0	38	
Ferrítico	405	Recocido	0,08-	18		0,2 Al	24,6	42,0	20	Alabes de turbinas Piezas resistentes al calor
	446	Recocido	0,25-	25			42,0	80,7	25	
Austenítico	301	Recocido	0,15	17	7		28,0	54,0	80	Industrias del transporte
	301	Endurecido por deformación					85-123	91-140	60-10	
	304	Recocido	0,08-	18+	8+		26,0	66,8	70	18-8 normal para aplicaciones generales
	304	Endurecido por deformación					85-105	70-126	40-10	
	210	Recocido	0,25-	25	20		35,0	70,0	80	En condiciones severas de oxidación y corrosión En condiciones en las que la soldadura o el calentamiento en servicio pudieran ocasionar corrosión intergranular
	321	Recocido	0,08-	17+	8+	0,5 Ti	26,0	50,7	80	
	AM-355	Doble envejecimiento	0,13	16	4	2,75 Mo	100,0	137,0	10	Útil en casos en que no se pueda aumentar la resistencia mecánica por deformación en frío
	AM-355	Enfriamiento bajo cero				0,12 N	133,5	154,6	13	
301	Recocido	0,15	17	4,5	0,5 Mn	26,6	50,8	65	Bajo en níquel para sustituir a la serie 300	
202	Recocido	0,15	18	8	0,5 Mn	26,6	72,8	65		

* La resistencia a la fatiga es, usualmente, alrededor de la mitad de la resistencia a la tracción y corresponde a una relación de fatiga de 0,5.

Tabla Nº 5 - Propiedades de aceros inoxidable típicos.

El estudio de los aceros aleados con cromo con diferentes porcentajes de carbono (0.12, 0.25, y 0.40 % de C), se facilita con ayuda del diagrama de la figura N° 6

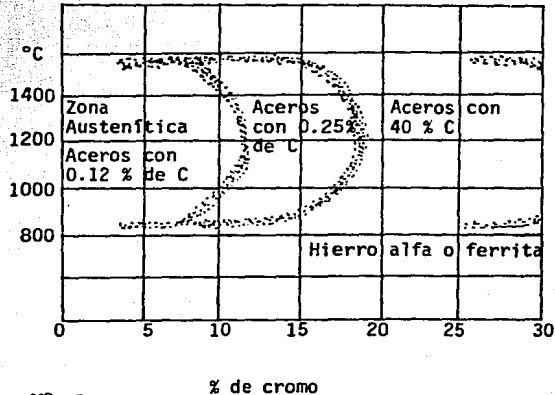


Figura N° 6.

En la figura N° 6 se observa que al variar el porcentaje de carbono de las aleaciones hierro-cromo varía la ampliación del bucle gamma. Se observa que al aumentar el contenido en carbono aumenta la zona austenítica y que puede llegar a templarse los aceros de 18 % de cromo con 0.25 % de carbono, y de 25 % de cromo con 0.40 % de carbono.

Es interesante señalar que el temple (endurecimiento) de los aceros situados en el límite de la derecha del interior de cualquiera de los bucles ya no es perfecto y se realiza con menos intensidad que el de la zona izquierda, porque en esa zona límite a alta temperatura, en lugar de formarse solo austenita, los constituyentes que aparecen son ya austenita y ferrita y, por lo tanto, después del enfriamiento rápido que se realiza para el temple, quedará siempre algo de ferrita en la microestructura.

Pequeños contenidos de vanadio, titanio, silicio y wolframio, que a veces contienen estos aceros, modifican ligeramente la forma y situación del bucle ga-

mm.

La figura N° 7 resume las posibilidades de temple de las diferentes aleaciones de hierro, cromo, carbono.

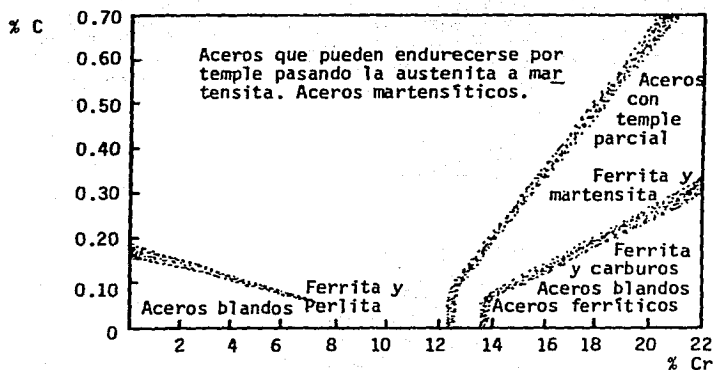


Figura N° 7 .

En ella se ve que los aceros inoxidables al cromo con 12 % a 14 % de cromo y 0.10 % a 0.40 % de carbono, y los de 17 % de cromo y 0.60 % a 1 % de carbono pueden templarse y por lo tanto endurecen por tratamiento térmico. En cambio, los aceros con 16 % de cromo y menos de 0.10 % de carbono, y los de 25 % de cromo y menos de 0.15 % de carbono no templan y no se endurecen por tratamiento térmico.

2.3 DIAGRAMA HIERRO-CROMO-NIQUEL

El níquel amplía el campo de estabilidad de la austenita (elemento gammágeno) Rebaja la temperatura a la que ocurre la transformación $\alpha - \gamma$ de tal manera que la aleación Hierro-Níquel con 25 % de níquel presenta una estructura austenítica a temperatura ambiente.

Por otro lado, aumenta la capacidad de temple de los aceros al carbono porque reduce la velocidad crítica de enfriamiento. Esto se pone de manifiesto en el diagrama de Guillet figura N° 8, en el que se pueden comprobar las cantidades necesarias de níquel para conseguir aleaciones Hierro-Níquel Carbono martensíticas y austeníticas.

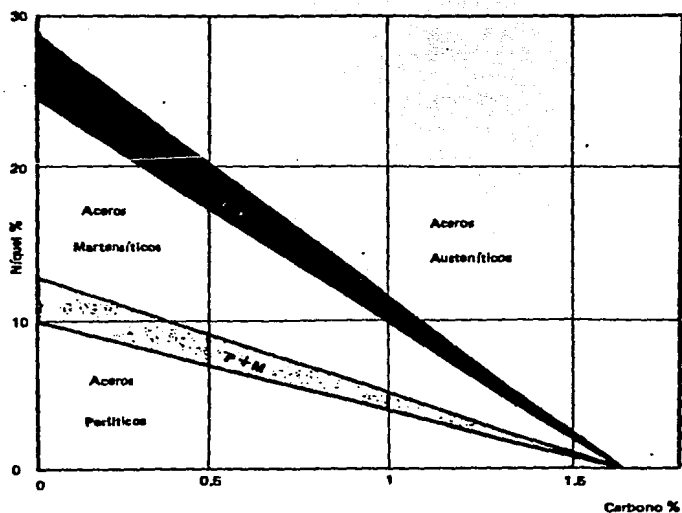


Figura N° 8. Diagrama de Guillet'

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 gammágeno.

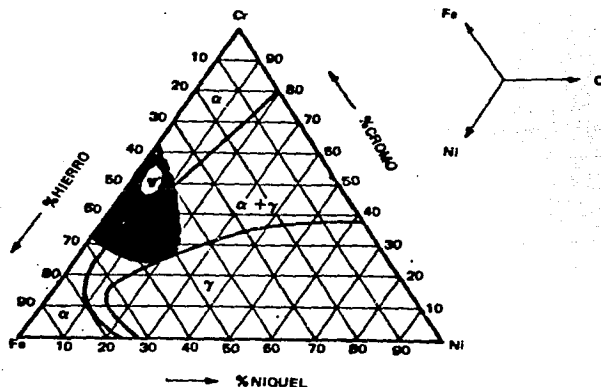


Figura N°9.- Diagrama Fe-Cr-Ni a temperatura ambiente (Wever y Jellinghaus).

Wever y Jellinghaus trazaron un diagrama Fe-Cr-Ni en el que indican la formación a temperatura ambiente de las distintas estructuras de dichas aleaciones según el contenido de hierro, cromo y níquel. También indican la formación de la fase sigma (σ) aunque no se detallan los límites. Figura N° 9.

FASE SIGMA

Una de las razones de la formación de la fase sigma en los aceros inoxidable y refractarios puede ser la presencia de ferrita en los mismos. Cuando a estos se les mantiene durante largo tiempo a temperaturas comprendidas entre los 415 °C y 815 °C, la ferrita se transforma en un compuesto intermetálico de hierro y cromo.

Esta fase se caracteriza fundamentalmente por su pérdida de ductilidad y resi-

liencia, y sus características fundamentales son:

- a) Dureza superior a 900 vickers
- b) Una gran fragilidad que, unida a que la transformación de la fase alfa en 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 la 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 14 %.

También hay posibilidad de que se forme en los aceros austeníticos y austeno-ferríticos, sobre todo si esta favorecida por la presencia de una fase alfa rica en cromo, como es el caso del de 25 % de cromo y 20 % de níquel.

Los elementos Silicio, Molibdeno, Niobio y Titanio, al favorecer la formación de la fase alfa, favorecen la formación de la fase 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 las soldaduras. A temperaturas bajo cero, reduce sensiblemente la resiliencia de los aceros inoxidable austeníticos.

Se precipita más rápidamente en las aleaciones con estructura bifásica ($\alpha + \gamma$)

La fase sigma es perjudicial en la mayoría de los casos. Con un tratamiento térmico podemos disolverla en la austenita, transformándola de nuevo en ferri-

ta delta.

INFLUENCIA DEL NIQUEL

- Que el níquel amplía el campo de formación de la austenita y aumenta su estabilidad.
- Que 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 esta última en martensita.
- Que en las aleaciones de cromo se aumenta la capacidad de temple con pequeñas cantidades de níquel.
- Que las aleaciones de cromo se transforman en austeníticas a temperatura ambiente con grandes cantidades de níquel.
- Que según la proporción de cromo y níquel, se consiguen aleaciones con estructura bifásica ($\alpha + \gamma$) a temperatura ambiente.

3. ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

Son aceros cromo-níquel inoxidables resistentes a la corrosión atmosférica y a ciertos ácidos. Estos aceros no pueden ser templados, revenidos y recocidos en la forma ordinaria, debido a que en cualquier estado y a cualquier temperatura están constituidos fundamentalmente por austenita, que tiene gran estabilidad y no se transforma por el enfriamiento rápido en otros constituyentes y por lo tanto, en estos aceros el temple no se puede producir. Estos aceros son en general los que tienen a elevadas temperaturas una resistencia mecánica muy elevada.

Al igual que los aceros ferríticos no presentan transformación alguna en el calentamiento porque su estructura es austenítica a cualquier temperatura, como indica su nombre.

Engrosan 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 carburos de cromo en los límites de granos hace que se produzca una pérdida de cromo en las inmediaciones de dichos límites. Las zonas en las que se produce esta pérdida de cromo se tornan susceptibles de oxidarse, quedando sensibilizados a la corrosión intergranular.

Para evitar la precipitación de carburos puede disminuirse el contenido de carbono ($C \leq 0.03 \%$) o bien adicionarse al acero otros elementos como el titanio o el niobio, más ávidos del carbono que del cromo.

Los aceros con carbono superior a 0.03 % deberán ser sometidos a un temple austenítico (hipertemple) con el objeto de disolver los carburos precipitados. En estos aceros y en general en todos los inoxidable 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.

Por ser difícil determinar el límite de proporcionalidad se suele adoptar el que corresponde a un alargamiento permanente de 0.2 %

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

La figura N° 10 nos muestra las variaciones de la carga de ruptura y del límite elástico del tipo de acero 18 % de cromo y 8 % de níquel con temple austenítico (hipertemple), en función del contenido de carbono.

Cuando deseamos conseguir límites elásticos buenos, en aceros con carbono inferior a 0.03 %, se añade nitrógeno en porcentaje del 0.15 %.

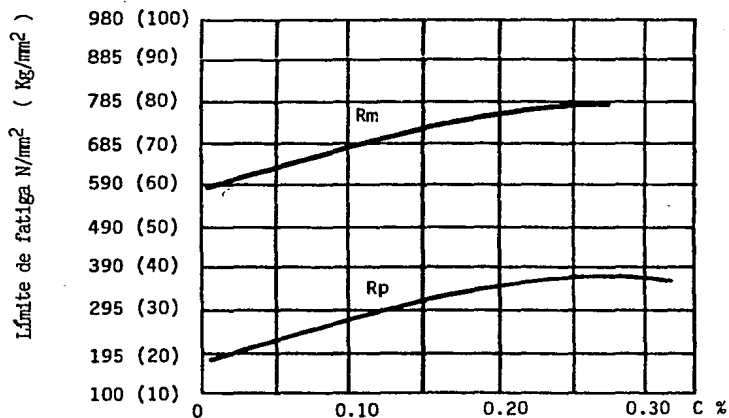


Figura N° 10

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 cascara de naranja que dificulta las operaciones de pulido.

La maleabilidad de estos aceros es muy grande, por eso se emplean en embutición.

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

Los estudios realizados por BASTIEN Y DEDIU nos dicen que cuando se austeniza un acero del tipo 18-8 a 980 °C y se enfría en nitrógeno líquido, la permanencia a dicha temperatura hace que parte de la austenita se transforme a martensita.

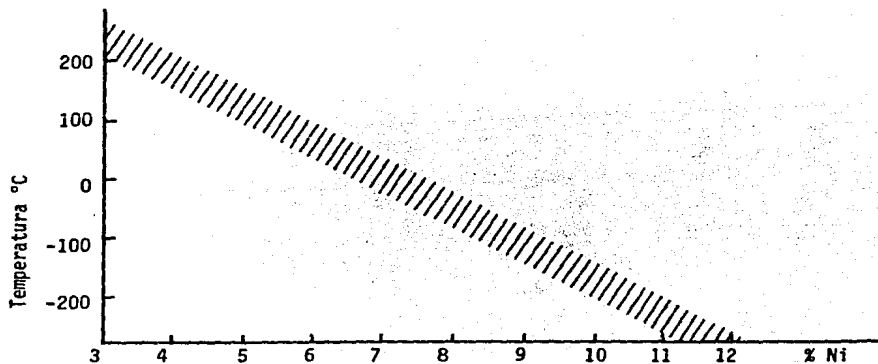


Figura N° 11.- Línea de los puntos Ms en función del níquel en un acero de carbono 0.04 % y cromo 18 % (orientativo).

La figura N° 11 nos indica el descenso que sufre el punto Ms (inicio de la transformación martensítica) de un acero de 0.04 % de carbono y de 18 % de cromo, según el contenido de níquel.

Con tratamientos térmicos no es posible variar las características mecánicas de esta familia de aceros, ya que en el calentamiento no existe transformación estructural.

Con transformación en frío conseguimos mejorar la carga de ruptura y el límite elástico pero se vuelven ligeramente magnéticos al transformarse parte de la austenita en martensita.

No se debe olvidar que las piezas fabricadas de esta manera experimentan aumento de volumen, causa de problemas cuando las tolerancias exigidas son muy estrechas.

La acritud producida por una deformación en frío no solo endurece el acero, sino que aumentan su permeabilidad magnética y el límite de fatiga como se muestra en la figura N° 12

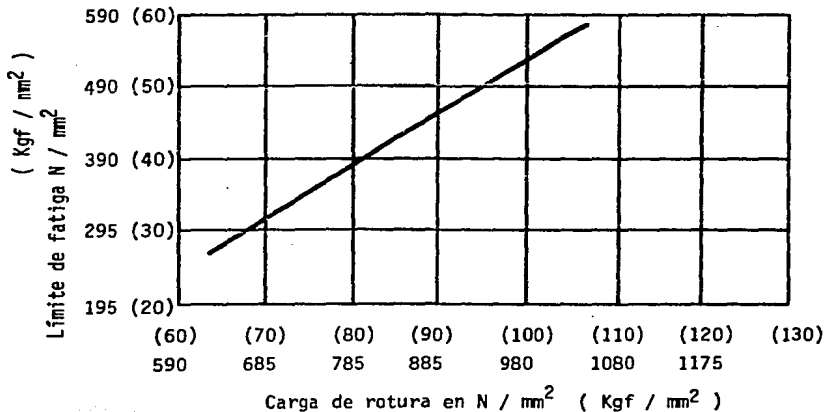


Figura N° 12.- Acritud producida por una deformación en frío.

A los aceros austeníticos con contenidos de carbono superior a 0.03 %, que se hayan mantenido a temperaturas comprendidas entre 415 °C y 815 °C es necesario someterlos a un temple austenítico (hipertemple) para disolver los carburos precipitados y así dejarlos insensibles a la corrosión intergranular.

Todos los aceros austeníticos son amagnéticos (no les atrae el iman).

En la mayoría de las tablas y gráficas de propiedades y características mecánicas de los aceros inoxidables austeníticos, aparece 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 so lubilización y que por comodidad se expresaba con la palabra recocido.

3.1 PROPIEDADES

Estos aceros se caracterizan por tener muy buena resistencia a la acción de los agentes atmosféricos, por ser los aceros que tienen mayor resistencia a la acción corrosiva de los ácidos y tener además, en general, a elevadas temperaturas buena resistencia mecánica y muy buena resistencia a la oxidación.

El comportamiento y las propiedades de estos aceros son muy diferentes de las de los aceros ordinarios y puede decirse que forman una familia de características muy especiales distintas de las demás. En cambio, los aceros inoxidables martensíticos, a pesar de su alta aleación, son en ese aspecto bastante semejantes a los aceros ordinarios. Así, por ejemplo, es interesante señalar que mientras el ablandamiento de los aceros martensíticos y de los aceros ordinarios se realiza normalmente calentándolos a 800 °C y enfriándolos luego lentamente, o calentándolos a 650 °C y enfriándolos luego al aire, en cambio, para ablandar los aceros austeníticos hace falta calentarlos a 1050 °C y enfriarlos rápidamente, consiguiéndose de esa forma que el material quede con

la menor dureza posible.

Además cuando después de un tratamiento de austenización quedan con una dureza muy baja, tienen una ductilidad extraordinaria (45 % y 50 % de alargamiento) mucho mayor que la de los aceros extradulces ordinarios y por trabajo en frío se endurecen mucho más que los aceros ordinarios.

Los aceros austeníticos no se endurecen cuando son sometidos a un tratamiento similar al temple que se emplea para la mayoría de los aceros.

También son amagnéticos y su conductividad térmica es bastante baja, un 25 % aproximadamente más que los aceros ordinarios como se puede observar en la tabla N° 13

CLASE DE MATERIAL	CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA A 100° Cal/cm ² /seg/°C/cm	COEFICIENTE LINEAL DE DILATACION 0-100° por °C X 10 ⁻⁶
Acero al carbono C = 0.10 %	0.160	12.3
Aceros martensíticos	0.058	10.5
Aceros austeníticos	0.039	16.0

Tabla N° 13 conductividad térmica y coeficiente lineal de dilatación de aceros ordinarios.

3.2 CONSTITUCION DE LOS PRINCIPALES ACEROS AUSTENITICOS

Tabla N°14.- Constitución de los principales aceros austeníticos.

Designación		Correspondencia con		Composición									
UNE Numérica	Simbólica	AISI	DIN No. Werkstoff	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros	
F-3503	X2CrNi19 10	304L	1.4306	0.03 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	18.00 20.00	-	8.00 12.00	-	
F-3504	X6CrNi19-10	304	1.4301	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	18.00 20.00	-	8.00 10.50	-	
	X6CrNi19-10	304N		0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	18.00 20.00	-	8.00 10.50	N=0.10-0.16	
F-3507	X10CrNi18-09	302	1.4304	0.12 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	17.00 18.00	-	8.00 10.00	-	
F-3513	X8CrNi18-12	305	1.4303	0.10 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	17.00 18.00	-	11.00 13.00	-	
F-3517	X12CrNi17-07	301	1.4310	0.15 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	16.00 18.00	-	6.00 8.00	-	
F-3523	X6CrNiTi18-11	321	1.4541	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	17.00 18.00	-	9.00 12.00	5xC<Ti<0.80	
F-3524	X6CrNiNb18-11	347	1.4550	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	17.00 19.00	-	8.00 12.00	10xC<Nb<1.00	
F-3533	X2CrNiMo17-12-03	316L	1.4404	0.03 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	16.00 18.00	2.00 3.00	10.00 14.00	-	
F-3534	X8CrNiMo17-12-03	316	1.4401	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	16.00 18.00	2.00 3.00	10.00 14.00	-	
	X6CrNiMoN17-12-03	316N		0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	16.00 18.00	2.00 3.00	10.00 14.00	N=0.10-0.16	
F-3535	X6CrNiMoTi17-12-03	316Ti	1.4571	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	16.00 18.00	2.00 3.00	10.00 14.00	5xC<Ti<0.80	
	X6CrNiMoNb17-12-03	316Cb	1.4580	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	16.00 18.00	2.00 3.00	10.00 14.00	Nb>8xC	
	X8CrNiMo19-13-04	317	1.4436	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	18.00 20.00	3.00 4.00	11.00 15.00	-	
	X12CrNiMnN17-05-07	201		0.15 máx	1.00 máx	5.50 7.50	0.060 máx	0.030 máx	16.00 18.00	-	3.50 5.50	N<0.25	
	X12CrNiMnN18-05-09	202	1.3965	0.15 máx	1.00 máx	7.50 10.00	0.060 máx	0.030 máx	17.00 19.00	-	4.00 8.00	N<0.25	
	X6CrNi13-13		1.4307	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	12.00 14.00	-	12.00 14.00	-	

Tabla N°15

Aceros inoxidables austeníticos de fácil mecanización (***)

Designación		Correspondencia con		Composición Química								
UNE Numérica	Simbólica	AISI	DIN No. Werkstoff	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros
F-3508	X10CrNiS18-09	303	1.4305	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	—
	X10CrNiSe18-09	303Se		0.12 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.20 máx	0.060 máx	17.00 19.00	—	8.00 10.00	Se > 0.15
	X6CrNiMoS17-12-02	316F	1.4427	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 este grupo quedan incluidos todos los aceros inoxidables austeníticos en cuya composición intervienen elementos favorecedores de la maquinabilidad, como el azufre, el selenio, etc. en cantidades superiores al 0.15%.

Tabla N°16

Aceros resistentes al calor (refractarios)

Designación		Correspondencia con		Composición Química								
UNE Numérica	Simbólica	AISI	DIN No. Werkstoff	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros
Martensíticos****												
	X12CrMo5	502	1.7373	0.16 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.040 máx	0.030 máx	4.00 6.00	0.40 0.85	-	-
	X22CrNiMoV12	422	1.4935	0.20 0.25	0.75 máx	1.00 máx	0.025 máx	0.025 máx	11.00 13.00	0.75 1.25	0.50 1.00	V=0.15-0.30 W=0.75-1.25
Ferríticos*****												
	X10CrSi13		1.4722	0.12 máx	1.90 2.40	1.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	12.00 14.00	-	-	-
	X10CrAl13		1.4724	0.12 máx	0.70 1.20	1.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	12.00 14.00	-	-	Al=0.70-1.20
	X10CrSi18		1.4741	0.12 máx	1.90 2.40	1.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	17.00 19.00	-	-	-
	X10CrAl18		1.4742	0.12 máx	1.00 1.50	1.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	17.00 19.00	-	-	Al=0.70-1.20
	X10CrAl24		1.4752	0.12 máx	1.00 1.50	1.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	23.00 25.00	-	-	Al=1.20-1.70
	X15Cr27		1.3810	0.25 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.040 máx	0.030 máx	23.00 30.00	-	-	-
Austeníticos												
	X6CrNi23-13	309S	1.4833	0.08 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	22.00 24.00	-	-	12.00 15.00
	X15CrNi23-13	309	1.4820	0.20 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	22.00 24.00	-	-	12.00 15.00
	X6CrNi25-20	310S	1.4335	0.06 máx	1.50 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	24.00 26.00	-	-	19.00 22.00
	X20CrNi25-20	310	1.4841	0.25 máx	1.50 máx	2.00 máx	0.045 máx	0.030 máx	24.00 26.00	-	-	19.00 22.00
	X10CrNiWT117-13-03		1.4962	0.07 0.12	1.00 máx	1.00 máx	0.040 máx	0.030 máx	16.00 18.00	-	-	12.00 14.00
	X6CrNi18-36	330RA	1.4333	0.06 máx	1.00 1.50	2.00 máx	0.030 máx	0.030 máx	18.00 20.00	-	-	34.50 37.00
												Cu=0.50 máx S=0.025 máx Pb=0.005 máx

**** En la mecanización de los aceros refractarios martensíticos se aplicarán los valores indicados para los aceros inoxidables martensíticos.

***** En la mecanización de los aceros refractarios ferríticos se aplicarán los valores indicados para los aceros inoxidables ferríticos.

Tabla N°17

Aceros para válvulas (refractarios)

Designación		Correspondencia con		Composición Química								
LINE Numérica	Simbólica	AISI	DIN N° Werkstoff	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros
	X45CrSi9-03		1.4718	0.40 0.50	2.75 3.75	0.80 máx	0.040 máx	0.030 máx	7.50 9.50	-	-	-
	X40CrSiMo10-02		1.4731	0.35 0.45	2.00 3.00	0.80 máx	0.040 máx	0.030 máx	9.00 11.00	0.80 1.30	-	-
	X80CrSiNi20-02		1.4747	0.75 0.85	1.75 2.75	1.00 máx	0.040 máx	0.030 máx	19.00 21.00	-	1.00 1.75	-
	X52CrMnNiN21-09		1.3967	0.48 0.58	0.25 máx	8.00 10.00	0.045 máx	0.035 máx	20.00 22.00	-	3..5 4.50	N=0.38-0.50 C+N=0.92-1.00
	X45CrNiW18-09		1.4873	0.40 0.50	2.00 3.00	0.80 1.50	0.045 máx	0.030 máx	17.00 19.00	-	8.00 10.00	W=0.80-1.20

Aceros austeno-ferríticos

	X8CrNiMo27-05	329	1.4480	0.10 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.040 máx	0.030 máx	25.00 30.00	1.00 2.00	3.00 8.00	-
	X4CrNiMoCu21-08			0.06 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.040 máx	0.030 máx	20.00 22.00	2.20 2.80	7.00 9.00	Cu=1.00-2.00

Aceros endurecibles por precipitación

	X5CrNiCuNb17-04-04	324	1.4548	0.07 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.040 máx	0.030 máx	15.50 17.50	-	3.00 5.00	Cu=3.00-5.00 Cb+Ta=0.15-0.45
	X7CrNiMoAl15-07-03		1.4532	0.09 máx	1.00 máx	1.00 máx	0.040 máx	0.030 máx	14.00 16.00	2.00 3.00	6.50 7.75	Al=0.75-1.50
	X5CrNiMoTiV15-25			0.07 máx	1.00 máx	2.00 máx	0.040 máx	0.030 máx	14.50 16.00	1.00 1.80	24.00 26.00	Ti=1.80-2.30 V=0.20-0.40

**** En la mecanización de los Aceros Refractarios Martensíticos se aplicarán los valores indicados para los Aceros Inoxidables Martensíticos.

***** En la mecanización de los Aceros Refractarios Ferríticos se aplicarán los valores indicados para los Aceros Inoxidables Ferríticos.

3.3 ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS SENSIBILIZADOS

Los aceros inoxidable austeníticos se vuelven sensibles o susceptibles a la corrosión intergranular cuando son calentados en el rango de temperatura entre 415 °C a 815 °C para sensibilizar intencionalmente, con propósitos de prueba, las muestras de acero inoxidable se calientan a 650 °C por una hora.

El alcance de los efectos de la sensibilización es una función de tiempo y temperatura. La exposición a temperaturas cerca de la mitad de su rango por unos minutos, es equivalente a varias horas cerca de los límites mayores y más bajos.

Los límites del rango de temperatura de sensibilización no pueden definirse exactamente, porque están influenciados por la composición (especialmente el porcentaje de carbono y elementos formadores de carburos como el titanio, columbio y columbio más tantalio).

También si la sensibilización es peligrosa en ciertos momentos depende de los requerimientos de la aplicación específica y el medio y esfuerzo al que está expuesto, y el tratamiento térmico anterior y la historia de trabajo mecánico de la aleación.

Se ha reportado que teniéndolos a temperaturas tan bajas como 415 °C y tan altas como 815 °C por periodos prolongados, causa sensibilización a los aceros inoxidable austeníticos.

El agotamiento de cromo en las áreas adyacentes a los límites de grano, es usualmente la causa de la corrosión intergranular en los aceros inoxidable^s austeníticos. Generalmente se necesita más del 10 % de cromo para dar una resistencia a la corrosión substancialmente mayor a los aceros inoxidable^s que a los de carbono y aceros bajos en aleaciones.

En el rango de sensibilización, el carburo de cromo y el carbono, se precipitan fuera de la solución si el contenido de carbono es de 0.02 % o mayor. El resultado es un metal con un contenido bajo en cromo en el área inmediata adyacente a los límites de grano. El carburo de cromo en los límites de los granos no es atacado, pero en muchos medios corrosivos, la zona agotada de cromo que está inmediatamente junto a los límites de los granos, es atacada.

El acero inoxidable del tipo 304 (18-8) usualmente contiene de 0.06 % a 0.08 % de carbono, y dicho exceso de carbono está disponible para cambiar con el cromo y con el precipitado de los carburos. El carbono se difunde hacia los límites de los granos fácilmente, pero el cromo se difunde mucho más despacio.

La corrosión intergranular del tipo mostrado está más o menos orientada casualmente y no tiene una propagación altamente localizada, como la corrosión intergranular por esfuerzo en la que las fracturas progresan en una dirección normal a esfuerzos aplicados o residuales.

3.4 PRINCIPALES USOS EN LA INDUSTRIA

3.4.1. ACEROS DEL TIPO 18-8

En primer lugar señalaremos los aceros de este grupo, que son los más utilizados, ya que el tonelaje que de ellos se produce actualmente representa aproximadamente un 50 % de la producción total de aceros inoxidables. A continuación señalaremos cada uno de los tipos más importantes.

ACERO 18-8 CLASICO. Suele ser considerado en la actualidad como el acero de mayores aplicaciones. Resiste muy bien a la acción de numerosos agentes corrosivos y por tener gran ductilidad puede ser trabajado en frío por muy diversos procesos y obtenerse con él las formas y perfiles más variados, quedando, según convenga, con muy altas resistencias o muy elevada ductilidad. Es muy utilizado para elementos decorativos en arquitectura, restaurantes, cocinas, clínicas, cafeterías, lecherías, etc. tiene también numerosas aplicaciones en las industrias químicas, textiles, etc.

Su contenido en carbono suele variar de 0.08 % a 0.20 %, el cromo de 17 % a 19 % y el níquel de 8 % a 10 %. Su resistencia a la tracción después del tratamiento de austenización es de unos 60 Kg/mm², su límite de elasticidad muy bajo, unos 25 Kg/mm², su alargamiento muy elevado, 45 % aproximadamente. Por acritud se consigue chapas laminadas en frío resistencias variables de 110 a 140 Kg/mm², y en alambres resistencias hasta de 170 Kg/mm².

El máximo ablandamiento de este acero se consigue calentándolo a 1050 °C y enfriándolo en agua (perfiles muy delgados se pueden enfriar al aire). Para

eliminar la acritud que se crea durante el trabajo en frío de este acero, basta con calentar a 800 °C y enfriar en agua.

ACERO 18-8 DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO. Se utiliza para fabricaciones soldadas en las que interesa gran seguridad en el trabajo de soldadura y que por su forma, tamaño o utilización no pueden ser tratadas térmicamente después de efectuarse la soldadura. También es muy empleado para piezas que no pueden ser tratadas durante el proceso de fabricación o luego durante el trabajo normal, deben estar durante bastante tiempo a temperaturas variables de 400 °C o 500 °C, que como explicaremos más adelante son muy perjudiciales para las propiedades de estos aceros. Su composición es análoga a la del Acero 18-8 Clásico, con la única diferencia de que el contenido de carbono se mantiene inferior a 0.08 %.

ACERO 18-8 CON COLUMBIO O TITANIO. Estos aceros se emplean para usos similares al anterior de bajo contenido en carbono en que interesa gran seguridad en los trabajos de soldadura. Se diferencian de aquél en que el contenido de carbono es a veces, un poco más elevado (C=0.08 a 0.10 %) y que en estos aceros se evita la corrosión intergranular, como ya se explicará más adelante, con la adición de columbio o titanio.

Son también muy empleados para instalaciones soldadas que deban trabajar de una manera continua a temperaturas de 500 °C a 650 °C, que es una zona de temperaturas en la que en los aceros austeníticos soldados se presenta la corrosión intergranular.

El porcentaje de titanio que se suele emplear es superior en cinco veces al contenido de Carbono y el contenido de Columbio suele ser diez veces del Carbono.

3.4.2. ACEROS 18-8 DE FACIL MECANIZACION CON FOSFORO, AZUFRE O SELENIO MOLIBDENO

Estos aceros son de composición análoga al 18-8 pero contienen además pequeños porcentajes de Fósforo, Azufre o Selenio en cantidades variables de 0.03 % a 0.07 %. A veces, también se añade 0.50 % de Molibdeno y 0.20 % a 0.40 % de Circonio.

Estos aceros son recomendables para piezas que deben sufrir importantes operaciones de mecanizado y en las que interesa que éstas se hagan a la mayor velocidad posible. Sus características y tratamientos son similares a las correspondientes al 18-8, aunque sus características mecánicas son ligeramente inferiores y también es menor su resistencia a la oxidación.

ACERO 18-8 CON MOLIBDENO. La adición de 1 % a 2 % de Molibdeno al acero 18-8 sirve para mejorar su resistencia a la corrosión, sobre todo en condiciones muy desfavorables, como en el caso de altas presiones o elevadas temperaturas de trabajo. Este acero se emplea mucho para elementos de maquinaria e instalaciones dedicados a la industria de pulpa y de papel y da muy buenos resultados en contacto de altas concentraciones de ácido acético, fosfórico, tartárico y otros ácidos similares.

La adición de Molibdeno mejora también la resistencia mecánica en caliente, modificándose para esos usos la composición del 18-8 Clásico, elevándose el contenido de Níquel hasta 10 % y 12 % y aún en algún caso excepcional hasta 18 % y empleando porcentajes de Molibdeno variables de 2% a 4 %. El Acero 18-12 con 3 % de Molibdeno es de todos los aceros austeníticos inoxidables el que tiene mayor resistencia a la termofluencia.

ACERO 18-8 CON SILICIO. En este acero la presencia de 2.50 % de Silicio aproximadamente sirve para mejorar su resistencia a la oxidación y a la abrasión a elevadas temperaturas. Este acero resiste sin formación de escoria hasta temperaturas de 925° C y se utiliza para numerosas piezas de hogares, quemadores, parrillas, etc.

ACERO 18-8 CON WOLFRAMIO. Este acero se emplea para piezas y elementos de ins-

talaciones en que se desea, además de gran resistencia a la oxidación a temperaturas elevadas, buena resistencia mecánica en caliente, como en el caso de recuperadores de calor, elementos de hogares, parrillas, etc., en que interesa que el material conserve buena resistencia mecánica a pesar de las elevadas temperaturas que llega a alcanzar durante el trabajo.

3.4.3. ACEROS CROMO-NIQUELES AUSTENITICOS DE ALEACION MAS ELEVADA QUE EL TIPO 18-8.

Experimentalmente se ha comprobado que empleando porcentajes de elementos de aleación más elevados que los que corresponden al Acero 18-8 se pueden mejorar sensiblemente algunas de sus características. Entre los diversos aceros inoxidables el tipo 18-8 es uno de los más utilizados, ya que al estudiar precios y características se ve que para muchas aplicaciones es el que tiene mayores ventajas. Es un acero caro, pero de todos los aceros inoxidables austeníticos es el más barato, y es también el de mayor utilidad. Pero habiéndose comprobado que elevando el contenido de Cromo y el Níquel se mejora algo la resistencia mecánica a elevadas temperaturas y también la resistencia a la oxidación, hay aplicaciones en que esas mejoras compensan la elevación de precio debida al empleo de altos porcentajes de Cromo y Níquel.

ACERO AUSTENITICO CROMO-NIQUEL 25-12. Este acero, que tiene porcentajes de Cromo-Níquel y Silicio mayores que los clásicos 18-8, posee en caliente una elevada resistencia mecánica y también una resistencia a la oxidación o a la formación de cascarilla a temperatura elevada muy notable. Se usa para numerosas aplicaciones en calderas, parrillas y elementos de hornos que deben resistir elevadas temperaturas, pudiendo trabajar de una manera continua sin formar cascarilla hasta temperaturas de 1100 °C. Cuando es empleado a temperaturas comprendidas dentro de la zona de fragilidad (500 °C a 650 °C) se recomienda regenerarlo periódicamente por calentamiento a 1050 °C durante 30 minutos y enfriamiento al aire. En el caso de que a pesar de tomarse esas precauciones sigue acusándose el fenómeno de fragilidad, es preferible utilizar el Acero 18-8 bajo en Carbono o el 18-8 con Titanio o Columbio y Molibdeno.

No es recomendable utilizar este acero para piezas soldadas.

Este acero 25-12, junto con el 27 % de Cromo, es el que mejor resiste a la oxidación (formación de cascarilla) a elevada temperatura.

ACERO AUSTENITICO 25-20. Puede considerarse como el acero inoxidable resistente a temperaturas elevadas de más alta calidad para usos de carácter general. Se comporta muy bien en presencia de gases que contengan SO_2 . En cambio, su comportamiento es malo en contacto con el gas SO_3 en cuyo caso es mejor el Acero 20-25 se usa para toda clase de piezas de hornos, recalentadores, calderas, etc.

3.4.4. ACEROS CROMO-NIQUEL AUSTENITICOS DE MAYOR PORCENTAJE DE NIQUEL QUE DE CROMO.

Para algunos usos especiales se emplean, aunque no con mucha frecuencia, esta clase de aceros, siendo los más empleados el 9-22 y el 20-25, cuyas principales características señalaremos a continuación.

ACERO CROMO- NIQUEL AUSTENITICO 9-22. Este acero se comenzó a emplear en Estados Unidos al comenzar el desarrollo de los aceros inoxidables y a pesar de que poco a poco va siendo desplazado por los aceros del tipo 18-8, que son de propiedades similares y de más bajo precio, se emplea todavía para ciertas aplicaciones, en especial en las instalaciones de petróleo donde se utiliza para ejes de bombas y otras piezas de mecanismos y máquinas empleadas en las refineries. También se emplea para piezas que deben estar en contacto con ácido sulfúrico diluido, cenizas, cloruro cálcico, etc.

ACERO AUSTENITICO CROMO - NIQUEL 20-25. Este acero se caracteriza por tener gran resistencia a la corrosión por la acción de ácidos o sustancias alcali-

nas y por tener también al mismo tiempo alta resistencia mecánica y alta resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

Su extraordinaria resistencia a la oxidación a altas temperaturas lo ha hecho muy recomendable para la fabricación de cajas de recocido, de cementación, elementos de movimiento de hornos automáticos y elementos de instalaciones de forja y tratamientos sometidos a muy altas temperaturas.

También se emplea para piezas de hornos de sinterizar, calcinar y tostar. Se comporta muy bien en presencia del gas SO_3 , que es precisamente muy perjudicial para el acero 25-20. En cambio, se comporta mal en presencia de SO_2 , dando en ese caso mejores resultados el acero de 27% de cromo. Si se emplea a temperaturas de 500 °C a 650 °C, debe ser regenerado periódicamente para reducir su fragilidad.

ACERO 12-12 DE FACIL EMBUTICION. Aunque el acero 18-8 se ha considerado siempre como un acero de fácil embutición, para algunos usos se desea que el material tenga todavía más ductilidad con el fin de poder realizar embuticiones muy profundas. Durante los trabajos mecánicos en frío de los aceros inoxidables del tipo 18-8, se inician siempre importantes transformaciones de austenita que endurecen el material y le dan una cierta fragilidad impidiendo la continuación de los trabajos. Estudiando cuidadosamente las composiciones y estructuras, se llegó a la conclusión de que el acero austenítico 12-12 es el que mejor se comporta en estos trabajos. Cuando la acritud adquirida por el trabajo de embutición es grande, el acero puede volver a recuperar la ductilidad por calentamiento a 1050 °C y enfriamiento al agua o al aire, según el espesor. Por lo demás, sus propiedades y tratamientos son, en general, bastantes semejantes a los del tipo 18-8.

4 CORROSION EN LOS ACEROS INOXIDABLES Y RESISTENTES AL CALOR (REFRACTARIOS).

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. Se debe destacar la diferencia fundamental que hay entre los aceros inoxidable y los aceros resistentes al calor. Aceros inoxidable son los que tienen buena resistencia química en medios corrosivos que se encuentran a temperaturas por lo general inferiores a los 300 °C. Aceros resistentes al calor son los que presentan buena resistencia química en medios corrosivos que se encuentran a temperaturas elevadas.

La resistencia a la corrosión en ambos grupos de aceros se debe a la presencia de cromo. Aceros con 5% de cromo presentan ya cierta resistencia química, pero verdaderamente sólo se consideran aceros inoxidable aquellos que contienen un mínimo de 10% de cromo.

El cromo forma parte de la película superficial que aparece en estos aceros cuando están en contacto con agentes capaces de ceder oxígeno. Esta película que puede ser más o menos resistente, les protege de posibles ataques en presencia de medios corrosivos. Para que esta película tenga mayor resistencia química y mecánica se pueden añadir otros elementos tales como níquel, molibdeno, cobre, etc. La aportación de estos elementos y otros elementos permite obtener una amplia gama de constituyentes estructurales dando origen a una gran variedad de calidades con innumerables aplicaciones.

4.1 ASPECTOS GENERALES.

Para elegir un acero, 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 considerandolas no fundamentales en ciertos casos, pueden ser causa de verdaderos desastres.

La corrosión de los aceros se produce cuando existe un ataque químico o electroquímico de una o más substancias que le rodean.

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable 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. Se forma esta película siempre que el medio que rodea al 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.

4.2 PRINCIPALES FORMAS DE CORROSION.

4.2.1 CORROSION UNIFORME.

Es la que se extiende en toda la superficie del metal produciendo una pérdida de espesor y por consiguiente, una disminución de la resistencia mecánica.

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

4.2.2 CORROSION GALVANICA.

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 material que forma las zonas anódicas.

Es necesario tener presente este tipo de corrosión al proyectar instalaciones y 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. También puede darse dentro del mismo material, ya sea por heterogeneidades de éste, o bien por heterogeneidades del medio que lo rodea. En general, los aceros inoxidable son catódicos con relación al resto de los aceros ordinarios quedando, por esta razón, bastante protegidos de la corrosión galvánica. Ahora bien, para debilitar la destrucción por corrosión galvánica en el resto de la instalación o estructura, al ser anódica, haremos que su superficie sea sensiblemente superior a la catódica.

4.2.3 CORROSION SELECTIVÁ O POR PICADURA.

Cuando una serie de condiciones hacen que desaparezca la pasividad de algunos puntos de la superficie de un acero inoxidable, dichos puntos se transforman en anodos, dando origen a la creación de pares galvánicos. Por lo general, se manifiesta con picaduras muy finas que se desarrollan rápidamente en profundidad y en longitud.

Caso típico de esta corrosión es la producida por el agua de mar y es sumamente peligrosa porque no es fácil detectarla. Los cloruros, bromuros e hipocloritos son los que presentan mayor agresividad. La composición del acero y su estructura son factores que también influyen en este tipo de corrosión.

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 inoxidables austeníticos con molibdeno no 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 haberse eliminado totalmente en los desbastes la cascarilla formada en los calentamientos.

4.2.4 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. Este tipo de corrosión es muy frecuente en el almacenamiento de los aceros al cromo. Las empaquetaduras más peligrosas son las grafitadas.

Si los medios corrosivos que humedecen a los productos sólidos en contacto con el acero son soluciones cloradas o sulfatos, aumenta la velocidad e intensidad de la corrosión por contacto. Los aceros inoxidable austeníticos resisten mejor este tipo de corrosión.

4.2.5 CORROSION BAJO TENSION.

Cuando en los aceros quedan tensiones residuales o se crean éstas por efecto de esfuerzos exteriores (tales como esfuerzos de tracción, de formaciones 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.

Los aceros inoxidable austeníticos son los que presentan mayor tendencia a la formación de esta corrosión. Para eliminar las tensiones residuales, uno de los medios más eficaces es el de someter a los aceros a un tratamiento de eliminación de tensiones. Para los aceros inoxidable austeníticos será suficiente conseguir una temperatura superior a los 880 °C, siempre que vayan a estar expuestos en los medios clorados más normales.

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

4.2.6 CORROSION INTERGRANULAR.

Este tipo de corrosión se da fundamentalmente en los aceros inoxidable austeníticos. Si a un acero inoxidable austenítico se le mantiene durante cierto tiempo a temperaturas comprendidas entre los 415 °C y 815 °C se provoca una precipitación de carburos en los límites de los granos que empobrecen de cromo las zonas contiguas a los mismos. Si en estas condiciones se les sitúa en medios corrosivos, puede experimentar un ataque intergranular que recibe el nombre de corrosión intergranular.

Puede ser causa de la presipitación: 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.

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

4.3 EFECTOS PRODUCIDOS POR ALGUNOS MEDIOS CORROSIVOS.

4.3.1 EFECTOS DEL NITROGENO

En presencia de nitrógeno, los aceros refractarios lo fijan en forma de nitruros o bien en solución sólida. En los aceros refractarios ferríticos con silicio o aluminio, provoca una destrucción rápida a temperaturas de 1100 °C a 1200 °C. Para evitar en parte este efecto nocivo en los aceros ferríticos con cromo y aluminio, se procura formar una película de óxido de aluminio con un tratamiento a baja temperatura de tal modo que el acero quede protegido para trabajar a altas temperaturas.

Para que las aleaciones austeníticas refractarias no presenten corrosión en presencia de nitrógeno, no deben de utilizarse a temperaturas superiores a 1000 °C, ya que esto produce una nitruración paulatina.

4.3.2 EFECTOS DEL HIDROGENO

En general todos los aceros tienen buena resistencia a la corrosión en presencia del hidrógeno a bajas presiones. No pasa lo mismo cuando los aceros están sometidos a grandes presiones de hidrógeno, como es el caso de la fabricación de alcohol, gasolina, amoníaco sintético, etc. que provocan una descarbonización intergranular y por tanto una gran fragilidad.

El molibdeno, cromo, vanadio, titanio y niobio, protegen a los aceros contra dicha corrosión. La mejor resistencia a este tipo de corrosión la presentan los aceros refractarios austeníticos con molibdeno o tungsteno.

4.3.3 EFECTOS DEL ANHIDRIDO CARBONICO

A este efecto están sometidos los reactores refrigerados con anhídrido carbónico. En general, los aceros inoxidable austeníticos presentan una resistencia aceptable.

4.3.4 EFECTOS DEL SULFURO DE HIDROGENO

Este medio corrosivo, así como las mezclas sulfurosas reductoras a alta temperatura, provocan la rápida destrucción de los aceros refractarios en general, normalmente en forma de una corrosión intergranular.

4.3.5 EFECTOS DE LOS GASES DE COMBUSTION

Dependiendo de la naturaleza de los combustibles utilizados como son: carbón, gas, gasolina, etc. Los aceros refractarios pueden estar sometidos a reacciones de oxidación, sulfuración, carburación y nitruración, como consecuencia de poder estar mezclados los productos de combustión con oxígeno, vapor de agua, óxido de carbono, anhídrido carbónico, azufre, nitrógeno, etc.

Cuando los gases no son sulfurosos, las reacciones pueden ser solamente de oxidación y carburación y los aceros se comportan más o menos como con el aire.

Las aleaciones ferríticas de 30 % de cromo y las austeníticas de 25 % de cromo y 20 % de níquel tienen buena resistencia hasta 1100 °C. Las aleaciones de 80% de níquel y 20 % de cromo pueden utilizarse hasta 1200 °C.

En los gases de combustión sulfurosos oxidantes, el azufre se encuentra en forma de anhídrido sulfuroso reduciendo sensiblemente la resistencia a la corro-

sión. Esta corrosión es menor que en atmósferas de sulfuro de hidrógeno. Cuando los gases de combustión son carburantes y el contenido de azufre supera los 3 g/m^3 , las aleaciones con contenido de cromo inferior al 16 % son atacadas rápidamente.

En general los aceros refractarios sufren una sulfuración a temperaturas superiores a $900 \text{ }^\circ\text{C}$ y podemos considerar que disminuyen de $100 \text{ }^\circ\text{C}$ a $200 \text{ }^\circ\text{C}$ las temperaturas de utilización en comparación con las de los gases libres de azufre.

La mejor manera de reducir la corrosión en los aceros refractarios en presencia de atmósferas sulfurosas, es conseguir que la combustión sea completa y regular los hornos de tal manera que no haya exceso de hidrógeno y, por el contrario, exista un pequeño exceso de aire, para que no se produzca una carburación provocada por el óxido de carbono y seguidamente una sulfuración de las zonas carburadas.

5. CORROSION INTERGRANULAR EN ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

La corrosión intergranular, es un tipo de corrosión no uniforme que puede producirse sobre un metal que, por lo demás permanece intacto. Este tipo de corrosión tiene su origen en heterogeneidades del metal o de su superficie, pero pueden ser acelerados por factores adicionales tales como un cambio localizado del estado pasivo al activo después de que ha comenzado la corrosión.

La corrosión intergranular tiene lugar cuando existe una pronunciada diferencia de reactividad entre los límites de grano y el resto de la aleación. Esta diferencia se establece, en el acero inoxidable, cuando se forman carburos de cromo en los límites de grano durante el calentamiento del acero en el intervalo de los 415 °C - 815 °C. De este modo, la región de los límites de grano se empobrece en cromo y se torna anódica con respecto a las regiones circundantes. Entonces, puede producirse la corrosión a lo largo de los límites de grano y dar origen a serios defectos.

5.1 INTRODUCCION.

A pesar de que se ha estudiado extensivamente las fracturas por corrosión bajo esfuerzo de los aceros inoxidable austeníticos, no es posible predecir las condiciones exactas bajo las cuales ocurre o no la falla. Sin embargo se han notado ciertos patrones de comportamiento.

Los aceros inoxidable austeníticos deben ser templados rápidamente de las altas temperaturas para evitar sensibilización. El enfriar lentamente de 815 °C a cerca de 415 °C en tratamiento de calor o de soldado, aumenta la susceptibilidad a la fractura intergranular por corrosión bajo esfuerzo (o de corrosión intergranular), pero un enfriado rápido a través de este rango, previene dicho daño.

El alcance del daño está en función del tiempo y de la temperatura. En general, el daño se atribuye a la precipitación de los carburos de cromo en los límites del llamado rango de temperatura de sensibilización porque están influenciadas por la composición del acero inoxidable (especialmente el porcentaje de carbono y el elementos estabilizadores formadores de carburos, o combinaciones de elementos tales como el titanio, el columbio, y columbio más tantalio).

También si la sensibilización es dañina en ciertas circunstancias depende de los requerimientos de la aplicación específica, de los medios y esfuerzos a los que el acero es expuesto y de la temperatura anterior e historia del trabajo mecánico del acero. Se ha reportado que manteniendo temperaturas tan bajas como 415 °C y tan altas como 815 °C por periodos prolongados, causa sensibilización a los aceros inoxidable austeníticos inestables.

En los aceros inoxidable austeníticos, la fractura por corrosión bajo esfuerzo procede transgranularmente en soluciones con cloruros. Parece que las fracturas en cloruros usualmente ocurre a temperaturas sobre los 70 °C.

La transferencia de calor intensifica los problemas de fractura bajo esfuerzo, probablemente haciendo posible la concentración de cloruros a la superficie ' del metal. Aún sin concentración aparente, basta un contenido muy bajo de cloruros para causar fracturas especialmente a altas temperaturas.

5.2 MEDIOS AMBIENTES PRODUCTORES DE ATAQUE INTERGRANULAR

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, por tanto, ha sido necesario agruparlos por familias.

Según el medio ambiente en que se encuentren cada uno de ellos, son más o menos resistentes a la corrosión. Se considera que, si la pérdida de peso es inferior a $0.1 \text{ Gr} / \text{M}^2$ en una hora, la resistencia es excelente, si la pérdida está comprendida entre 0.1 y $1 \text{ Gr} / \text{M}^2$ en una hora, la resistencia es regular. Por último, si la pérdida en peso es superior a $10 \text{ Gr} / \text{M}^2$ en una hora, la resistencia a la corrosión se considera que es muy mala.

Para que se tenga una orientación, se expresa en las tablas de la 18 a la 24 el comportamiento de las distintas familias de aceros en algunos medios corrosivos.

Medio corrosivo	Concentración	Temperatura	Aceros de cuchillería	Aceros ferríticos	Aceros sus- téntricos sin Ni (18-8)	Aceros sus- téntricos con Ni (18-8-2)
Acido nítrico	20 %	20°	E	E	E	E
Acido nítrico	20 %	Ebullición	R	B	E	B
Acido nítrico	80 %	20°	E	E	E	E
Acido nítrico	80 %	Ebullición	R	B	E	B
Acido nítrico	20 %	20°	E	E	E	E
Acido nítrico	80 %	Ebullición	R	B	E	B
Acido nítrico	10 %	20°	R	R	M	R
Acido Oxálico	10 %	Ebullición	M	R	R	R
Acido Oxálico	10 %	20°	R	R	R	R
Acido Oxálico	80 %	Ebullición	M	E	E	E
Acido Oxálico	80 %	20°	E	E	E	E
Acido Oxálico	10 %	T. T.	E	E	E	E
Acido plúrico	C. C.	20°	—	—	—	—
Acido sulfúrico	10 %	T. T.	—	—	—	—
Acido sulfúrico	C. C.	20°	—	—	—	—
Acido sulfúrico	20°	E	R	R	E	B
Acido sulfúrico	Sol. Satur.	20°	R	M	R	B
Acido sulfúrico	5 %	Ebullición	M	R	M	B
Acido sulfúrico	5 %	20°	M	R	M	B
Acido sulfúrico	10 %	Ebullición	M	M	M	M
Acido sulfúrico	10 %	20°	M	M	M	M
Acido sulfúrico	80 %	Ebullición	M	E	M	E
Acido sulfúrico	20°	E	R	R	R	R
Acido sulfúrico	Concentrado	Ebullición	R	R	R	R
Acido sulfúrico	Concentrado	20°	R	E	R	E
Acido sulfúrico	Saturado	20°	E	E	E	E
Acido sulfúrico	10 %	20°	—	—	—	—
Acido sulfúrico	10 %	Ebullición	E	B	E	E
Acido sulfúrico	50 %	20°	—	—	—	—
Acido sulfúrico	80 %	Ebullición	E	B	E	E
Acido sulfúrico	10 %	20°	—	—	—	—
Acido sulfúrico	10 %	Ebullición	R	R	E	E
Acido sulfúrico	50 %	20°	R	R	E	E
Acido sulfúrico	80 %	Ebullición	R	R	R	R
Acido sulfúrico	10 %	20°	—	—	—	—
Acido sulfúrico	80 %	20°	B	—	M	M
Acido sulfúrico	80 %	20°	B	—	M	M
Acido sulfúrico	Concentrado	20°	E	E	E	E
Acido sulfúrico	—	T. T.	E	E	E	E
Acido sulfúrico	—	T. T.	E	E	E	E
Agua destilada	—	20°	—	—	—	—
Agua potable	—	20°	—	—	—	—
Agua ácida	—	T. T.	M	B	E	E
Agua de mar	—	20°	B	M	E	E
Agua oxigenada	—	20°	B	M	E	E
Agua regia	—	20°	—	—	—	—
Agua regia	—	20°	B	E	E	E
Alumina	—	20°	E	E	E	E
Alumina	—	T. T.	E	E	E	E
Alcohol etílico	—	Fundido	E	M	E	M
Alcohol metílico	—	20°	E	—	—	—
Aluminio	—	20°	E	—	—	—
Amoníaco gaseificado	—	100°	E	E	—	E
Amoníaco gaseificado	—	20°	E	E	—	E
Anhidrido acético	—	Ebullición	M	—	E	E
Anhidrido acético	—	20°	—	R	—	E
Anhidrido acético	—	100°	—	—	R	E
Anhidrido sulfúrico	—	300°	—	—	R	E
Anhidrido sulfúrico	—	500°	—	—	R	E
Anhidrido sulfúrico	—	Fundido	—	—	M	E
Antimonio	—	130°	—	—	M	E
Asufre	—	445°	E	E	E	E
Asufre	—	T. T.	E	—	—	—
Asufre	C. C.	—	E	—	—	—
Barriles	—	20°	E	E	—	E
Benzol	—	Ebullición	E	E	—	E
Benzol	—	—	—	—	—	—

Tabla Nº 19.

Medio controlado	Concentración	Temperatura	Acero de cuchillería	Acero ferrítico	Acero aus- tenítico sin Mo (18-8)	Acero aus- tenítico con Mo (18-8-2)
Bicarbonato amónico	C.C.	20°	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	M	E	E
Bisulfito sódico	50 %	20°	B	B	E	E
Bisulfito sódico	50 %	Ebullición	M	M	E	E
Bórax	Saturado	20°	E	E	E	E
Bórax	Saturado	Ebullición	E	M	M	M
Bromo	—	20°	E	E	E	E
Bromuro de plata	—	20°	B	B	E	E
Bromuro potásico	—	20°	B	B	E	E
Bromuro sódico	—	20°	B	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	B	M	M
Carbonato potásico	—	Fundido	M	M	E	E
Carbonato sódico	C. C.	20°	E	E	E	E
Carbonato sódico	C. C.	Ebullición	E	E	M	M
Carbonato sódico	—	Fundido	M	M	E	E
Caballa	—	20°	E	E	E	E
Cerveza	—	—	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	E	E
Cianuro sódico	C. C.	—	E	E	E	E
Cianuro sódico	—	Fundido	—	—	E	E
Cinco	—	Fundido	M	M	M	M
Cloro gaseoso	Seco	20°	E	E	E	E
Cloro gaseoso	Seco	100°	—	—	M	M
Cloro gaseoso	Húmedo	20°	M	M	M	M
Clorato potásico	—	Ebullición	—	—	M	M
Clorato sódico	35 % CINs	100°	M	M	E	E
Clorobenceno	—	Ebullición	M	M	E	E
Cloroformo	—	T. T.	E	E	E	E
Cloruro de aluminio	10 %	20°	M	M	M	M
Cloruro de aluminio	10 %	Ebullición	—	B	B	B
Cloruro amónico	20 %	20°	—	—	B	B
Cloruro amónico	20 %	Ebullición	—	B	B	B
Cloruro amónico	50 %	20°	—	B	M	B
Cloruro amónico	50 %	Ebullición	—	B	M	B
Cloruro de bario	Saturado	Ebullición	B	M	E	E
Cloruro de bario	Saturado	Ebullición	B	M	E	E
Cloruro de calcio	Seco	20°	M	M	B	B
Cloruro de calcio	Seco	20°	M	M	B	B
Cloruro de calcio	Húmedo	20°	M	R	M	B
Cloruro de calcio	Húmedo	20°	M	R	M	B
Cloruro de cinc	—	Ebullición	M	M	E	E
Cloruro de cinc	—	Ebullición	M	M	E	E
Cloruro de cobre	1 %	20°	—	B	R	R
Cloruro de cobre	1 %	80°	—	M	R	R
Cloruro de cobre	5 %	20°	—	M	M	M
Cloruro de cobre	5 %	20°	—	M	M	M
Cloruro de cobre	25 %	20°	—	—	B	B
Cloruro de estaño	25 %	20°	—	M	B	B
Cloruro de estaño	25 %	Ebullición	—	E	M	M
Cloruro de etilo	—	20°	E	E	E	E
Cloruro de etilo	—	Ebullición	E	E	E	E
Cloruro de etilo	—	Ebullición	—	—	—	—
Cloruro ferrico	Saturado	20°	—	—	R	R
Cloruro ferrico	1 %	20°	—	M	M	M
Cloruro ferrico	5 %	20°	—	E	E	E
Cloruro ferrico	5 %	20°	—	M	M	M
Cloruro magnésico	5 %	20°	—	E	E	E
Cloruro magnésico	5 %	Ebullición	M	M	B	B

Tabla N° 20.

Medio corrosivo	Concentración	Temperatura	Aceros de cuchillería	Aceros ferríticos	Aceros austeníticos sin Mo (18-8)	Aceros austeníticos con Mo (18-8-2)
Cloruro magnésico	Saturado	20°	M	M	B	E
Cloruro de manganeso	10 %	20°	B	B	E	E
Cloruro de manganeso	80 %	20°	R	B	E	E
Cloruro de mercurio	0.1 %	20°	R	B	E	E
Cloruro de mercurio	0.7 %	Ebullición	M	R	B	B
Cloruro de mercurio	0.7 %	20°	M	M	B	R
Cloruro de mercurio	0.7 %	Ebullición	M	—	E	E
Cloruro níquel	—	20°	—	—	E	E
Cloruro de nitrilo	—	20°	E	E	E	E
Cloruro de nitrilo	—	Ebullición	E	E	E	E
Cloruro potásico	Saturado	20°	B	B	B	E
Cloruro potásico	Saturado	20°	B	B	B	E
Cloruro sodico	—	20°	E	E	E	E
Cola	—	Ebullición	E	B	E	E
Cola	—	—	—	—	E	E
Coca-Cola	—	—	—	—	E	E
Colas	—	—	—	—	E	E
Colonias	—	—	—	—	E	E
Confituras	—	—	—	—	E	E
Coñac	—	—	E	E	E	E
Coñac	—	90°	E	E	E	E
Detergentes	—	< 400°	M	M	E	M
Etaño	—	> 400°	M	M	E	M
Etaño	—	—	—	—	E	E
Etaño	—	—	—	—	E	E
Eter	—	—	E	E	E	E
Eter de petróleo	—	—	E	E	E	E
Ferricianuro potásico	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Ferricianuro potásico	C. C.	T. T.	—	E	E	E
Fosfato amónico	C. C.	T. T.	B	E	E	E
Fosfato de Hierro	—	98°	B	E	E	E
Fosfato potásico	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Fosfato sodico	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Fosfato triadico	—	Y. Y.	E	E	—	—
Fósforo	—	95°	E	—	B	E
Fósforo	—	Ebullición	E	—	B	E
Fenol puro	—	—20°	E	E	E	E
Fenol bruto	—	Ebullición	M	E	R	E
Fenol bruto	—	20°	E	E	E	E
Fenol bruto	—	20°	E	E	E	E
Gasolina	—	Ebullición	E	E	E	E
Gasolina	—	20°	E	E	E	E
Glicerina	—	—	E	E	E	E
Glicerina	Concent.	Ebullición	E	E	E	E
Glicerina	Concent.	Ebullición	B	E	E	E
Hidróxido de bario	—	20°	—	—	E	E
Hidróxido de calcio	—	Ebullición	—	—	B	E
Hidróxido de calcio	—	20°	E	E	E	E
Hidróxido potásico	20 %	Ebullición	E	E	E	E
Hidróxido potásico	20 %	20°	E	E	E	E
Hidróxido potásico	80 %	Ebullición	M	R	M	E
Hidróxido potásico	80 %	Ebullición	M	M	E	M
Hidróxido potásico	—	250°	M	E	E	E
Hidróxido potásico	—	20°	E	B	E	E
Hidróxido sodico	30 %	Ebullición	E	B	E	E
Hidróxido sodico	30 %	20°	E	E	E	E
Hidróxido sodico	60 %	20°	E	R	B	B
Hidróxido sodico	60 %	Ebullición	M	M	B	M
Hidróxido sodico	—	320°	M	M	R	R
Hidróxido sodico	—	20°	M	M	R	R
Hipoclorito cálcico	C. C.	20°	M	M	R	R
Hipoclorito potásico	C. C.	20°	M	M	R	R
Hipoclorito sodico	C. C.	20°	E	E	E	E
Jabones	—	T. T.	E	B	B	B
Jabones	—	20°	R	B	B	B
Jugo de tomate	—	—	—	—	E	E
Jugos de la mayor parte de las frutas	—	20°	E	—	E	E
Jugos de la mayor parte de las frutas	—	T. T.	E	E	E	E
Lacha	—	T. T.	E	E	E	E
Lacha fermentada	—	T. T.	M	E	E	E

Tabla N° 21.

Medio control	Concentración	Temperatura	Acero de sulfuro	Acero ferrítico	Acero su- perferrítico sin Mo (18-8)	Acero su- perferrítico con Mo (18-8-2)
Lagunas	—	Ebullición	E	—	—	—
Lícoris	—	20°	E	E	E	E
Lícoris	—	Ebullición	E	E	E	E
Manteca	—	20°	E	E	E	E
Mielaza	—	20°	E	—	—	E
Mercurio	—	20°	E	E	E	E
Mercurio	—	80°	E	E	E	E
Mentol	—	20°	E	—	—	E
Nafalina	—	—	—	E	E	E
Nitrato amónico	Saturado	20°	E	E	E	E
Nitrato amónico	Saturado	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato de aluminio	C. C.	20°	E	E	E	E
Nitrato bórico	C. C.	Ebullición	—	—	—	E
Nitrato cúprico	80 %	20°	E	E	E	E
Nitrato cúprico	80 %	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato férrico	C. C.	20°	E	E	E	E
Nitrato férrico	C. C.	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato mercuríco	Sol. en frío o caliente	20°	E	E	E	E
Nitrato mercuríco	Sol. en frío o caliente	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato de plata	10 %	20°	E	E	E	E
Nitrato de plata	10 %	Ebullición	E	E	E	E
Nitrato de plata	—	280°	M	M	E	E
Nitrato de plomo	—	20°	E	E	E	E
Nitrato de plomo	—	Ebullición	—	E	E	E
Nitrato potásico	25 %	20°	E	E	E	E
Nitrato potásico	80 %	20°	E	E	E	E
Nitrato potásico	Concent.	20°	E	E	E	E
Nitrato potásico	Concent.	Ebullición	M	E	E	E
Nitrato potásico	—	80°	M	M	E	E
Nitrato sódico	25 %	20°	E	E	E	E
Nitrato sódico	80 %	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
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
Novocaine	—	20°	E	E	E	E
Novocaine	—	20°	E	E	E	E
Orina	—	Ebullición	—	—	E	E
Orina	—	—	—	—	E	E
Oxalato amónico	5 %	20°	—	E	E	E
Oxalato potásico	C. C.	20°	E	E	E	E
Oxalato potásico	C. C.	Ebullición	M	E	E	E
Oxalato sódico	C. C.	20°	E	E	E	E
Oxiduro de calcio seco	—	20°	—	—	E	E
Oxiduro de calcio húmedo	—	20°	—	—	M	M
Oxiduro de calcio	Sol. en frío	40°	—	—	M	M
Oxiduro de fósforo	—	—	—	—	M	M
Parafina	—	100°	E	E	E	E
Parafina	—	20°	E	—	E	E
Perborato sódico	Saturado	20°	E	E	E	E
Perborato amónico	10 %	20°	E	E	E	E
Perborato amónico	10 %	Ebullición	E	E	E	E
Perborato sódico	10 %	20°	E	E	E	E
Perborato sódico	10 %	Ebullición	M	M	E	E
Perborato potásico	C. C.	20°	E	—	—	E
Perborato potásico	—	—	—	—	—	E
Permanganato potásico	C. C.	20°	E	E	E	E
Permanganato potásico	C. C.	Ebullición	M	E	E	E
Permanganato sódico	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Peróxido de sodio	10 %	20°	M	E	E	E

Tabla N° 22.

Medio corrosivo	Concentración	Temperatura	Aceros de cuchillería	Aceros ferríticos	Aceros austeníticos sin Mo (18-8)	Aceros austeníticos con Mo (18-8-2)
Peróxido de sodio	10 %	100°	M	R	E	E
Peróxido	—	T. T.	E	E	E	E
Pirogalol	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Potasa	25 %	Ebullición	—	M	R	E
Potasa	50 %	Ebullición	—	M	R	E
Potasa	—	Fundido	M	M	M	M
Potasa	10 %	20°	—	E	E	E
Potasa	50 %	20°	E	E	E	E
Revelador fotográfico	—	20°	—	B	E	E
Sal de Prusia	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Sangre	—	20°	E	E	E	E
Sulfato sódico	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Soda	—	T. T.	E	E	E	E
Sodio	25 %	Ebullición	—	—	—	—
Sodio	35 %	100°	—	B	B	E
Sodio	50 %	Ebullición	—	M	B	E
Sodio	—	120°	—	—	—	—
Sodio	—	Fundido	—	M	M	M
Sosa cáustica	Ver hidróxido sódico	Ver hidróxido sódico	—	—	—	—
Sulfato de aluminio	10 %	20°	M	B	E	E
Sulfato de aluminio	10 %	Ebullición	M	B	B	E
Sulfato de aluminio	Sat. en frío	20°	M	R	B	E
Sulfato de aluminio	Sat. en frío	Ebullición	M	M	M	M
Sulfato de aluminio y potasio	10 %	20°	—	B	E	E
Sulfato de aluminio y potasio	10 %	Ebullición	—	M	M	R
Sulfato de aluminio y potasio	Sat. en cal.	Ebullición	—	M	M	R
Sulfato amónico	C. C.	T. T.	R	R	E	E
Sulfato de cobre	C. C.	T. T.	—	E	E	E
Sulfato de cinc	C. C.	T. T.	—	R	E	E
Sulfato ferroso	C. C.	T. T.	—	E	E	E
Sulfato férrico	C. C.	T. T.	—	E	E	E
Sulfato de magnesio	10 %	20°	R	B	E	E
Sulfato de magnesio	Saturado	-20°	R	B	E	E
Sulfato de manganeso	C. C.	T. T.	E	E	E	E
Sulfato de níquel	C. C.	T. T.	—	E	E	E
Sulfato potásico	C. C.	T. T.	—	E	E	E
Sulfato sódico	C. C.	T. T.	—	E	E	E
Sulfato amónico	Saturado	20°	E	E	E	E
Sulfato amónico	Saturado	Ebullición	M	M	B	E
Sulfato sódico	50 %	Ebullición	R	R	E	E
Sulfuro de carbono	Puro	T. T.	E	E	E	E
Sulfuro de cloro sin agua	—	20°	—	—	—	—
Sulfuro de sodio	10 %	T. T.	E	E	E	E
Sulfuro de sodio	50 %	90°	—	M	E	E
Sulfuro de sodio	50 %	150°	—	M	M	R
Sulfuro de sodio	Sat. en cal.	20°	—	E	E	E
Sulfuro de sodio	Sat. en cal.	100°	—	R	R	E
Tetraborato sódico	Saturado	Ebullición	E	E	E	E
Tetraborato sódico	Saturado	Fundido	M	M	M	M
Tetracloruro de carbono seco	—	T. T.	E	E	E	E
Tetracloruro de carbono húmedo	—	—	—	M	M	M
Tintas	—	—	E	E	E	E
Tiosulfato sódico	25 %	T. T.	—	E	E	E
Tocino	Ver manteca	—	—	—	—	—
Tolueno	—	T. T.	E	E	E	E
Trementina (aguardé)	—	35°	E	E	E	E
Tricloroetileno (vap.)	—	T. T.	E	E	E	E
Tricloruro de antimonio	—	20°	—	—	M	M

Tabla N°23 .

Medio corrosivo	Concentración	Temperatura	Acero de cuchillería	Acero ferrítico	Acero sus- tenfítico sin Mo (18-8)	Acero sus- tenfítico con Mo (18-8-3)
Tricloruro de fósforo	—	—	—	M	M	M
Urea	—	20°	E	E	E	E
Vapor de agua	—	300°	E	—	E	E
Vapor de agua	—	650°	—	—	E	E
Vaselina	—	T. T.	E	E	E	E
Vinagre	—	20°	E	E	E	E
Vinagre	—	Ebullición	M	R	E	E
Vinos blanco y tinto	—	T. T.	—	—	E	E
Whisky	—	—	—	—	E	E
Yodo seco	—	20°	—	E	R	E
Yodo húmedo	—	20°	—	M	E	E
Yodoforno (vapores)	—	20°	E	E	E	E
Yodoforno (vapores)	—	60°	E	E	E	E
Yoduro potásico	Saturado	T. T.	M	B	E	E
Mezclas sulfonítricas						
$\text{No}_2, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{H}_2, \text{H}_2\text{O}$						
%	%	%				
2	98	0	—	—	—	—
2	88	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	—	—	—	—
			50°	M	M	E
			100°	M	M	R
			50°	M	M	B
			100°	M	M	R
			50°	M	M	R
			100°	M	M	R
			50°	M	M	R
			100°	M	M	R
			50°	M	E	R
			100°	M	E	R
			50°	M	E	R
			100°	M	E	R
			50°	M	R	R
			100°	M	M	R

Tabla N° 24.

5.3 ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS SUSCEPTIBLES DE ATAQUE INTERGRANULAR.

A elevadas temperaturas, los aceros inoxidables austenfticos son resistentes a la oxidación, atribuido esto a su contenido de cromo. La resistencia a la oxidación se incrementa con el porcentaje de cromo. El mecanismo de resistencia a altas temperaturas se apoya en la protección de una capa relativamente densa de óxidos de metal depositada sobre la superficie; ejemplos de aceros inoxidables austenfticos susceptibles de ataque intergranular son:

Tipo 301.- 0.08-0.15 C 16.00-18.00 Cr 6.00-8.00 Ni

Tipo 302B- 0.08-0.15 C 17.00-19.00 Cr 8.00-10.0 Ni

Tipo 309.- 0.02 max C 22.00-24.00 Cr 12.0-15.0 Ni

Tipo 316.- 0.10 max C 16.00-18.00 Cr 10.0-14.0 Ni

5.4 MECANISMOS DE LA CORROSION INTERGRANULAR

En los aceros inoxidables austeníticos del tipo 18-8 se presenta un fenómeno de corrosión en las uniones de los cristales que pueden ocasionar graves contratiempos si no se vigilan o evitan las condiciones que favorecen su aparición.

Con frecuencia los aceros del tipo 18-8, después de permanecer algún tiempo a una temperatura no demasiado elevada 500 °C a 600 °C, sufren una corrosión característica en los límites de los granos.

Este problema se presenta en las proximidades de zonas soldadas en las que durante el calentamiento que experimentan como consecuencia del proceso de soldadura llegan a calentarse precisamente a las temperaturas de 500 °C a 600 °C, por lo que el fenómeno se presenta muy acusado.

Después de realizado un trabajo de soldadura, cuando las piezas o chapas soldadas se utilizan para diversos usos y se ponen en contacto con ciertos medios más o menos corrosivos que normalmente no alcanzan a atacar al acero, se observa que el material cercano a las zonas soldadas es atacado rápidamente por ciertos agentes que, en cambio, no corroen el resto de la pieza.

El aspecto exterior del acero que sufre la corrosión intergranular es en los primeros momentos normal, aunque los cristales poco a poco van perdiendo cohesión llegando luego cuando el ataque es muy pronunciado a agrietarse completamente y a perder incluso su carácter metálico característico.

Al ser plegado un material en el que ha empezado a desarrollarse la corrosión intergranular, aparecen numerosas grietas y fisuras en las zonas más débiles.

La resistencia eléctrica de un acero atacado por la corrosión intergranular aumenta notablemente, y la medida de esta resistencia eléctrica es uno de los

medios más precisos, para conocer la importancia del ataque.

El fenómeno no se presenta cuando el metal se calienta a temperaturas inferiores a 540 °C siendo un cambio muy intenso del fenómeno a partir de 570 °C. Por encima de 650 °C el metal atacado se regenera, gracias a los fenómenos de difusión.

El contenido de carbono y el tamaño de grano ejercen una influencia muy destacada en las alteraciones que experimentan estos aceros.

TRANSFORMACIONES DE LOS CONSTITUYENTES MICROSCÓPICOS EN LA CORROSION INTERGRANULAR

El acero 18-8 a la temperatura ambiente está constituido por una solución sólida homogénea de hierro gamma o austenita, en la que el carbono y el cromo se encuentran en solución.

Al calentar un acero de más de 0.03 % de carbono a 600 °C, en las uniones de los cristales de austenita comienzan a formarse carburos de cromo. Estos carburos, que son de composición variable y cuyo contenido en cromo suele variar entre 30 % y 90 % y de carbono entre 1 % y 2 % se forman a costa del cromo de los cristales de austenita cercanos que se empobrecen en esos elementos, disminuyendo, por lo tanto, en esas zonas el porcentaje de cromo y carbono.

El acero situado en la proximidad de los carburos, por no tener la composición inicial, ya no es inoxidable y es atacado rápidamente por los agentes químicos. Sin embargo, si después de presentarse ese fenómeno se calienta el acero a temperatura algo superior a 750 °C, esos carburos que se han formado a temperaturas más bajas se disuelven casi completamente en los cristales de austenita adyacentes, llegando a la desaparición del precipitado negro que se forma en las juntas de los granos por efecto del calentamiento anterior y los ensayos permiten comprobar que el metal queda regenerado y vuelve a recobrar prácticamente sus propiedades anteriores de no oxidable.

6 METODOS DE CONTROL DE LA CORROSION INTERGRANULAR EN ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

Como los tipos de corrosión son tan numerosos y las condiciones en las que se produce tan variadas, no es sorprendente que se empleen muchos métodos para hacer frente a los problemas que la corrosión plantea. El método o combinación de métodos utilizados en cada caso está determinado, en gran manera, por consideraciones de tipo económico. En algunos casos, es más barato sustituir un metal de bajo costo a intervalos más frecuentes, que utilizar una aleación algo mejor pero de precio más elevado. Sin embargo, cuando la resistencia a la corrosión es de vital importancia, es aconsejable una inversión más amplia en el control de la corrosión. Las medidas para el control de la corrosión se pueden agrupar bajo tres encabezados generales : (1) aplicación de un tratamiento térmico apropiado, (2) por aleación con otros metales, (3) por cambios en la composición.

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

1.- 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.

2.- Adicionando al acero estabilizantes ávidos de carbono, tales como el titanio y el niobio, 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.

3.- Variando la composición de acero de tal manera que la suma de elementos α fégenos, tales como el cromo y el molibdeno, exceda la posición de equilibrio y forme una estructura bifásica austeno-ferrítica. La presencia de ferrita en la matriz austenítica evita la corrosión intergranular, así como la corrosión bajo tensión.

En el caso de que no se haya adoptado ninguna de las tres medidas y el acero hubiese quedado sensibilizado a la corrosión intergranular como consecuencia de la precipitación de carburos de cromo, será necesario someterle a un temple austenítico (hipertemple) con el objeto de disolver dichos carburos.

6.1 APLICACION DE UN TRATAMIENTO TERMICO APROPIADO

Ya se ha señalado antes que en el calentamiento o enfriamiento de los aceros inoxidables austeníticos no aparecen normalmente los puntos críticos característicos de los aceros ordinarios, y por ello no se pueden endurecer estos aceros por ninguno de los procesos clásicos de tratamiento térmico empleados para los aceros ordinarios. El ablandamiento de estos aceros inoxidables se consigue, como ya hemos explicado antes, por medio de un tratamiento de austenización en el que se consigue la disolución de carburos, y se realiza por calentamiento a alta temperatura de $1\ 000^{\circ}$ a $1\ 100^{\circ}$, seguido de un enfriamiento muy rápido en vez de un enfriamiento lento que se suele realizar en los aceros al carbono.

Aunque hay alguna diferencia en la temperatura a emplear de unos casos a otros las instrucciones de carácter general pueden servir para casi todos ellos.

Para eliminar tensiones originadas por trabajo en frío, basta en cambio con calentar el material a 950°C manteniéndolo a temperatura el tiempo suficiente para su homogeneización y luego se enfría rápidamente en agua o aceite según el espesor. Con este tratamiento no se obtiene la menor dureza, ni la máxima resistencia a la corrosión, pero puede utilizarse como tratamiento intermedio entre operaciones de trabajo en frío. Tiene la ventaja de que a esta temperatura se forma mucho menos cascarilla que calentando a la temperatura de austenización completa. En cambio, el ablandamiento final debe hacerse siempre calentando a 1050°C aproximadamente y luego enfriar rápidamente en agua. En general, en estos aceros cuanto más sea la temperatura de calentamiento más blando queda el material. Sin embargo, conviene recordar que el calentamiento a alta temperatura tiene el inconveniente de ocasionar, a veces, un crecimiento, de grano importante.

El enfriamiento debe realizarse rápidamente, debiendo evitarse un estacionamiento de temperatura en la zona de 415°C a 815°C que pueda originar peligrosas precipitaciones de carburos. Las formaciones de carburos, tan peligrosas

en los aceros inoxidables austeníticos, pueden producirse de dos formas diferentes: bien por un enfriamiento lento en esa zona o por calentamiento del acero durante algún tiempo a temperaturas variables de 400 °C a 800 °C.

El empleo de atmósferas protectoras en los hornos de tratamientos térmicos es un importante ejemplo del control industrial de los medios corrosivos. Cuando las aleaciones se calientan a temperaturas elevadas, pueden introducirse dos defectos. El primero de ellos es la formación de cascarilla o el manchado de la superficie como resultado de la reacción del metal base con los gases que le rodean, especialmente el oxígeno, el vapor de agua o el dióxido de carbono. El segundo defecto, observado con menos facilidad, es un cambio en la composición química de la aleación, por ejemplo, la pérdida de carbono de la superficie del acero, proceso que se conoce como descarbonación. Puesto que la reactividad de los elementos de aleación es diferente de la del metal base, una atmósfera dada puede proteger las piezas metálicas de sólo uno de estos tipos de deterioro. Muchos metales no acabados, como los lingotes de acero, se calientan en el aire ordinario o en los productos de la combustión oxidante de los gases que calientan el horno. En estas condiciones, la capa superficial en la que se altera el contenido de aleantes se elimina eficazmente por la formación de cascarilla. Las piezas metálicas acabadas con mal aspecto superficial y variaciones de dimensiones producidas por estas atmósferas no tratadas son, con frecuencia, rechazables. Calentando estas piezas en una cámara de atmósfera controlada (denominada mufla o retorta) que esté aislada del aire y de los productos de combustión de los gases de calentamiento, es posible rodearlas de una atmósfera protectora que deja las piezas limpias (sin cascarilla), o incluso brillantes, después de un tratamiento a temperatura elevada. Las variaciones en la composición de la aleación también se pueden reducir al mínimo.

Se utilizan muchos tipos diferentes de atmósferas protectoras. Un gas inerte como el helio es ideal, pero su costo elevado limita su utilización a aplicaciones especiales, tales como los problemas de investigación. El hidrógeno y las mezclas de hidrógeno y nitrógeno producidas por el amoníaco disociado (NH_3), constituyen atmósferas de costo moderado que se utilizan con éxito en el tratamiento térmico del acero inoxidable y en el sinterizado de muchos tipos de comprimidos en pulvimetalurgia. Las atmósferas de bajo costo para el tratamiento térmico de los aceros, latones y otras aleaciones, se preparan a

partir de los productos de combustión de los gases. Eliminando el vapor de agua y el dióxido de carbono del gas natural parcial o totalmente quemado, se puede obtener una atmósfera que evita, tanto la descarburación como el manchado por oxidación, durante el temple de los aceros ordinarios al carbono y aleados. Asimismo, en el tratamiento térmico del acero se utilizan frecuentemente, como "atmósferas" inertes, los baños de plomo o sales fundidas.

Un ejemplo de atmósfera gaseosa controlada, empleada para evitar tanto la oxidación del acero como la variación del contenido superficial de carbono, consiste en una mezcla de monóxido y dióxido de carbono.

6.2 POR ALEACION CON OTROS METALES.

La resistencia a la corrosión de un metal determinado puede mejorarse aumentando su pureza, pero, con frecuencia, la baja resistencia mecánica de los metales puros es una desventaja. Es más común aumentar simultáneamente la resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión utilizando elementos de aleación apropiados. En casi todos los metales pueden hallarse ejemplos de tales procesos de aleación, pero son especialmente significativas las aleaciones a base de hierro a causa del amplio uso de los aceros inoxidable. Muchos aleantes son útiles para proporcionar al hierro una resistencia a la corrosión limitada. Por ejemplo, pequeñas cantidades de fósforo y de cobre mejoran la resistencia a la corrosión atmosférica de los aceros estructurales, los contenidos elevados de silicio son adecuados para las aleaciones de fundición resistentes al ataque de los ácidos y aproximadamente un 10 % de aluminio proporciona al hierro una gran resistencia a la oxidación a temperaturas elevadas, aunque también lo hace frágil. Sin embargo, el cromo hace aparecer como nula la importancia de los demás elementos de aleación. Aunque existen muchas razones para ello, la más importante es que el cromo hace aumentar la resistencia a la corrosión en casi todos los ambientes.

Haremos un breve resumen de la influencia en la resistencia a la corrosión de los distintos elementos que intervienen en los aceros inoxidables.

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 mucho 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.

MANGANESO.- El manganeso, en cantidades inferiores al 1 % tiene muy poca influencia en la resistencia a la corrosión, pero en cantidades del 8 % al 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 % al 1 % 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.

AZUFRE, SELENIO, FOSFORO.- Los elementos citados reducen la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables y refractarios.

CROMO.- Como ya hemos expresado anteriormente, el cromo es el elemento que mayor importancia tiene 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 aumenta la resistencia a la corrosión al reforzar el efecto pasivamente del cromo.

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

WOLFRAMIO.- La influencia del wolframio en la resistencia a la corrosión es poco sensible.

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 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.- Como hemos visto anteriormente, el poder austenizante del nitrógeno es 30 veces superior al del níquel y hace que su influencia a la resisten-

cia a la corrosión de los aceros como cromo del 20 % al 23 % sea muy similar a la del tipo 18-8. Nunca interviene en porcentaje superior del 25 %, por su baja solubilidad en el acero.

TITANIO, NIOBIO, TANTALIO.— 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 los límites de los granos.

6.3 POR CAMBIOS EN LA COMPOSICION

Los resultados de las pruebas de corrosión, han sido desarrollados a partir de un estudio sistemático en un período de 15.5 años de exposición atmosférica, de 270 aceros en tres diferentes tipos de medio ambiente: urbano-industrial, marino y jungla. Las muestras fueron colocadas en el otoño de 1942, aproximadamente a 240 mts. sobre el nivel del mar, en estructuras removibles, después de períodos de 0.5, 1.5, 3.5, 7.5 y 15.5 años. En los sitios urbano-industrial, la película de corrosión con el tiempo se vuelve protectora. Sin embargo en los sitios marinos la película de corrosión con el tiempo se incrementa considerablemente.

La corrosión atmosférica esta en función de la composición química y no del espesor; con el incremento del contenido de aleantes.

Los grados de corrosión en el ambiente rural-industrial aparece en poco tiempo; por ejemplo, los aceros al carbon requieren 5 años para que el grado de corrosión aparezca, el cobre-base acero requiere 3 años y bajas aleaciones de acero, aproximadamente 2 años. La corrosión cesa significativamente solamente para las bajas aleaciones de acero.

Las coladas experimentales del acero desarrollando combinaciones sistemáticas de Cr, Cu, Ni, Si y P, fueron aprobadas y determinadas individualmente y por su contribución a la resistencia a la corrosión.

El mayor cambio en la resistencia a la corrosión debido a cambios relativamente pequeños en la composición, que resulta de incrementar cobre de 0.01 % a 0.04 %. El níquel es efectivo en la ausencia de cobre, por otro lado el cromo es efectivo solamente cuando el cobre esta presente, pero los efectos del cromo es relativamente menos. Cuando los cinco elementos estan presentes y el cobre es el de menor contenido [0.01 %], la corrosión es reducida substancial-

mente; incrementando el contenido de cobre a un nivel óptimo de 0.2 % no aumen
ta substancialmente la resistencia a la corrosión.

7 TRANSFORMACIONES DE LOS ACEROS INOXIDABLES Y RESISTENTES AL CALOR.

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LAS OPERACIONES EN CALIENTE.

Las técnicas de transformación en caliente de los aceros inoxidables y refractarios son varias: laminado, forjado, estampado, extrusionado, etc.

Cualquiera que sea el proceso de los lingotes (de estructura "basta" y muchas segregaciones), las primeras reducciones deberán ser pequeñas para evitar la formación de grietas intercristalinas.

Todos los aceros inoxidables y refractarios, en especial los austeníticos, presentan una mayor resistencia mecánica en caliente que los aceros comunes. por ello, es necesario emplear maquinaria de gran potencia.

Debido a la baja conductividad térmica de los aceros inoxidables y refractarios, se calentarán lentamente hasta 850 °C para que el calor penetre en el núcleo del material. A continuación, se calentarán rápidamente hasta la temperatura inicial de laminación con el fin de evitar el engrosamiento de grano.

En los hornos de calentamiento se evitarán las atmósferas excesivamente oxidantes. De lo contrario, se formarán capas de óxido muy ricas en cromo, difíciles de eliminar.

En los aceros martensíticos, con contenidos elevados de carbono, es conveniente que los carburos sean pequeños y queden bien distribuidos en la matriz ferrítica, para que con el temple se consiga una buena homogeneización de los elementos de aleación, especialmente del cromo. Para ello, se controlará con su mo cuidado la temperatura inicial de laminación.

Los aceros ferríticos son muy propensos al crecimiento del grano a temperaturas elevadas y no hay posibilidad de regeneración con tratamiento térmico. Para que el grano sea fino, las reducciones finales se realizarán por debajo de 800 °C.

En estos aceros, la única manera de regenerar el grano es con una nueva transformación pero teniendo siempre en cuenta las precauciones indicadas.

En la laminación de los aceros austeníticos es un inconveniente la presencia de ferrita. Es muy importante que la temperatura no descienda de 900 °C con el fin de evitar la formación de fase sigma con los islotes de ferrita. Este problema es más común en los aceros austeno-ferríticos y por consiguiente es fundamental controlar muy bien la temperatura de laminación en particular la final.

Como en la fabricación de tubos estirados sin soldadura se exigen grandes reducciones, la presencia de ferrita impide un acabado adecuado de los mismos, por lo que es necesario que los aceros austeníticos estén totalmente libres de ferrita. Esto se logra cuando las austenitas son muy estables como es el caso de los aceros al cromo-níquel con contenidos de níquel superiores al 10%. En los aceros austeníticos con molibdeno el contenido de níquel no será inferior al 13%.

Un defecto que se presenta con mucha frecuencia durante la laminación es el llamado "cola de pez". Se da en las aristas del material debido fundamentalmente a un descenso excesivo de la temperatura. Para disminuir este riesgo evitaremos, en lo posible, las aristas vivas.

Antes de cada transformación hay que eliminar todos los defectos superficiales del material (grietas, sojas, capas de óxido, etc.) para que el producto final esté exento de defectos.

Los procedimientos más utilizados para el saneado de los materiales son el amolado con abrasivo y el mecanizado con arranque de viruta. En ambos casos puede ir precedido de un decapado con granalla o de un decapado ácido.

El amolado con abrasivo es un procedimiento eficaz, rápido y relativamente eco

nómico cuando hay que eliminar pocos defectos y muy localizados, aunque sean grandes.

En los aceros estabilizados con titanio o niobio o en aquellos en los que en su composición intervienen elementos muy oxidables, en cantidades apreciables, como el aluminio, etc. En los que es conveniente eliminar toda la capa superficial, es más aconsejable el mecanizado con arranque de viruta (torneado, cepillado, etc.).

El enfriamiento de los aceros martensíticos se hará lentamente, en cenizas, en cal, en vermiculita, en el horno, etc. En estos aceros, cuando al final de la transformación la temperatura es baja, se recomienda un recalentamiento para evitar que se unan las tensiones de enfriamiento a las de la transformación. La acción de todas las tensiones es muy peligrosa y pueden dar lugar a fisuras que inutilizarían el material.

El enfriamiento de los aceros ferríticos se hará en aire.

El enfriamiento de los aceros austeníticos puede hacerse en aire o en agua. Las piezas de poco espesor se enfrían normalmente al aire.

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE OPERACIONES EN FRIO

ESTIRADO Y TREFILADO

El proceso a seguir no es diferente que el empleado en los aceros ordinarios, aunque las velocidades de pasada deberán ser inferiores.

Con el estirado y trefilado se mejora la carga de rotura y el límite elástico y se disminuye la ductilidad, pero precisamente éstas son las causas de que quede mejorada la maquinabilidad.

El mayor inconveniente que presentan el estirado y trefilado de los aceros inoxidables en especial los resulfurados, puede ser una gran fragilidad y el naci

miento de contracciones internas que, si no son mantenidas en un nivel suficientemente bajo, son causa de fisuras, no solamente durante el estirado o trefilado, sino en el almacenamiento e incluso durante el maquinado.

El mayor inconveniente que presentan el estirado y trefilado de los aceros inoxidables en especial los resulturados, puede ser una gran fragilidad y el nacimiento de contracciones internas que, si no son mantenidas en un nivel suficientemente bajo, son causas de fisuras, no solamente durante el estirado o trefilado, sino en el almacenamiento e incluso durante el maquinado.

Las velocidades de pasada a emplear dependen de la calidad y perfil pero siempre serán menores a las empleadas en los aceros ordinarios.

Los aceros martensíticos son muy difíciles de estirar y trefilar por su tendencia a la rotura. Es necesario que éstos muy bien recocidos para eliminar en parte dicha tendencia.

Por lo contrario, los aceros ferríticos y austeníticos no ofrecen dificultades al poseer buena ductilidad.

Los aceros austeníticos estirados y trefilados mejoran la maquinabilidad en un 20 % aproximadamente.

La potencia de las máquinas trefiladoras y bancos de estirado deberá ser sensiblemente mayor que la empleada para los aceros al carbono y poco aleados.

El pulido de las hileras pueden emplearse muchos productos, tales como jabones, ceras, resinas sintéticas (siliconas), grasas con sólidos en suspensión (talco, graffto, cal, etc.), esteratos de cinc o aluminio, plomo, etc. Según el acero a estirar o trefilar.

No se debe olvidar que pasadas fuertes de estirado pueden ser origen de que los aceros queden sensibilizados a la "corrosión bajo tensión" salvo que se sometan, antes de su utilización, a un recocido de eliminación de tensiones.

De la misma manera que se recomienda un fosfatado en los aceros al carbono y aleados, con el objeto de aumentar las reducciones de estirado y la vida de las

hileras, es aconsejable realizar un oxalatado en los aceros inoxidable.

CONFORMACION Y EMBUTICION.

La conformación y embutición de los aceros martensíticos y ferríticos se realiza en las mismas condiciones que con los aceros ordinarios de embutición profunda, teniendo en cuenta que la potencia de las máquinas deberá ser doble.

En los aceros ferríticos de altos contenidos de cromo se recomienda hacer la embutición a temperaturas de 150 a 200 °C.

Los aceros austeníticos son los que presentan mayor facilidad para el doblado y embutición, pero como adquieren gran dureza por acritud, deberá ponerse cuidado al elegir el tipo de acero.

El acero tipo 18-8 posee buena embutición, pero ésta se mejora aumentando el contenido de níquel. Los aceros estabilizados con titanio o niobio son menos favorables que los no estabilizados con igual contenido de níquel. El 18-8 con molibdeno y los tipos 20-12 y 25-20 se prestan menos a la conformación que el 18-8.

Los aceros austeno-ferríticos, al tener menor ductilidad, se comportan mal en la embutición profunda y, por consiguiente, se deben dar menores deformaciones y más recocidos que a los aceros austeníticos.

Los aceros empleados en las herramientas para el conformado y embutición son muy variados:

- Aceros de herramientas.

- Aceros al cromo carburado que pueden ir acompañados de molibdeno, tungsteno o vanadio para mejorar la resistencia al desgaste.

- Los aceros "inderformables" se emplean cuando las condiciones de trabajo no son muy severas.

- Los aceros endurecidos superficialmente por cementación, nitruración o cromado duro no han dado resultados satisfactorios.

La lubricación ejerce un papel importantísimo en la conformación y embutición y la elección del lubricante dependerá de la severidad de la operación, del tipo de aleación empleada en el utillaje y del estado de la superficie del acero a deformar.

Los lubricantes pueden ser:

- Aceites sulfurados o clorados. Estos son los más indicados.
- Pastas formadas con aceites grasos y un pigmento (aceite de linaza y litopón) en partes iguales disueltos en petróleo añadiéndose talco y azufre en embuticiones difíciles.
- Aceites grasos sin pigmentos.

Siempre que sea necesario efectuar tratamiento térmico después de una operación de embutición, se aconseja eliminar con disolventes todos los lubricantes adheridos para evitar la corrosión que pudiera ocasionar la combustión de los mismos.

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS INOXIDABLES Y RESISTENTES AL CALOR (REFRACTARIOS)

El objetivo fundamental de los tratamientos térmicos en los aceros inoxidables y refractarios suele ser para mejorar la resistencia a la corrosión. Otro de los objetivos es el de conseguir mejorar las características mecánicas.

Los hornos a emplear no tienen por qué ser distintos a los utilizados para los aceros ordinarios (hornos eléctricos, hornos de sales, hornos de atmósfera controlada, etc.) siempre que se pongan los medios necesarios para no alterar su superficie.

Para no formar capas de óxido que pueden ser peligrosas, debemos evitar mantenimientos prolongados a elevada temperatura. Cuando la temperatura de tratamiento sea superior a 900 °C se recomienda un precalentamiento entre 800 y 850 °C con una permanencia aproximadamente del doble de la correspondiente a los aceros ordinarios.

Para conseguir un recocido blanco se utilizarán hornos de atmósfera controlada que si son de amoniaco destilado puede que los aceros martensíticos y algunos ferríticos se hagan frágiles si absorben hidrógeno. Se recomienda el empleo de una mezcla de hidrógeno y nitrógeno (amoniaco descompuesto) totalmente seca. El punto de rocío deberá ser inferior a -40 °C.

La descarbonación no es peligrosa y es difícil en los aceros austeníticos y ferríticos por su bajo contenido de carbono. En los aceros martensíticos, los hornos de atmósferas oxidantes pueden crear descarbonaciones sensibles que afectan a la dureza y por ello se recomiendan baños de sales perfectamente neutralizados o ligeramente carburantes.

Por el contrario, la carburación es muy peligrosa, especialmente en los aceros austeníticos porque pueden quedar sensibilizados a la corrosión intergranular. Los hornos más recomendados son los de mufla al ser su atmósfera oxidante,

Para evitar en los aceros inoxidable y refractarios superficies malas y una sensibilidad a la corrosión, es necesario eliminar de la superficie de las piezas todo vestigio de grasas y aceites, lavándolas antes del calentamiento con soluciones alcalinas o disolventes orgánicos.

Consideramos muy importante decir que cuando se templan los aceros martensíticos se está obligado a realizar inmediatamente el revenido correspondiente, para evitar que aumenten con el tiempo las tensiones y se produzcan fisuras.

7.1 MECANIZADO

INTRODUCCION

Son muchos los factores que intervienen en el mecanizado de los aceros inoxidables: las máquinas utilizadas, los elementos cortantes, los lubricantes, la velocidad de refrigeración, etc. y por supuesto los materiales a mecanizar.

Los dos factores fundamentales que condicionan la mejor o peor mecanización de los aceros inoxidables son, la composición química y el estado estructural de los mismos.

En primer lugar, dedicando la atención a la composición química de los aceros inoxidables, debemos distinguir principalmente a los martensíticos, ferríticos y austeníticos, ya que todos ellos presentan peculiaridades particulares en la mecanización.

Además de los elementos básicos que están presentes en la composición de los aceros inoxidables, podemos añadir otros, en unas proporciones limitadas, que favorecerán sensiblemente la mecanización, sin deteriorar excesivamente la resistencia a la corrosión frente a ciertos agentes corrosivos. Estos elementos son: azufre, teluro, plomo, fósforo, etc., siendo los dos primeros los más importantes.

El azufre y selenio, cuando están presentes en cantidades suficientes (más del 0.15 %), combinan en su mayor parte con los elementos metálicos del acero como el manganeso, el molibdeno, etc. , para formar sulfuros y seleniuros, que facilitarán la rotura de la viruta. El resto quedará libre favoreciendo la lubricación del elemento cortante.

El plomo, que no combina con el acero, deberá quedar bien distribuido para con

seguir una buena mecanización.

El fósforo también es un elemento que favorece la maquinabilidad por la dureza que confiere a los aceros, pero su mayor aplicación se halla en los austeníticos de maquinabilidad mejorada por la acritud que se consigue después del estado.

Estos elementos indicados, que son tan eficaces para una buena mecanización, pueden presentar dificultades en ciertas transformaciones como son en las conformaciones del acero en caliente y en frío, en la soldadura, en los pulidos y a veces en los tratamientos térmicos.

En consecuencia, los aceros inoxidable de fácil mecanización sólo deberán utilizarse en aquellas aplicaciones cuya responsabilidad no sea muy grande.

En segundo lugar juega un papel importante en la mecanización, la composición estructural de los aceros.

Los aceros inoxidable martensíticos, que como la palabra indica son capaces de admitir el temple, se mecanizan mejor si están templados siempre que la dureza esté situada en unos niveles determinados, que podemos considerar inferior a 240 Brinell. Si además contienen alguno o algunos de los elementos antes mencionados (azufre, selenio, etc.) en cantidades suficientes, su maquinabilidad quedará muy mejorada, consiguiéndose mecanizaciones inferiores pero próximas a las que corresponden a los aceros no aleados o de baja aleación de fácil mecanización.

Aunque pequeña, los aceros inoxidable ferríticos presentan mayor dificultad en la mecanización que los martensíticos, debido a que su estructura al ser ferrítica y no admitir temple, es muy blanda. En la práctica se ha comprobado que estos aceros con un calentamiento entre 800 y 1 000 °C, según sean los contenidos de carbono y cromo, seguido de un enfriamiento rápido, experimentan una ligera transformación estructural, a veces no apreciable en el microscopio, que les confiere una mayor dureza y por lo tanto una mejor maquinabilidad que en algunos aceros es superior a la de los martensíticos de 13 % de cromo.

La mecanización de estos aceros también se verá facilitada si en su composición toma parte alguno de los elementos favorecedores de la maquinabilidad, ya indicados más arriba.

Los aceros inoxidable austeníticos son los que ofrecen mayor dificultad en la mecanización, no solamente por su estructura austenítica que tampoco admite temple y que como tal puede fácilmente provocar el "embotamiento" del elemento cortante, sino que dicha estructura puede transformarse parcialmente en el transcurso de la mecanización, y ser causa del desgaste del elemento cortante.

La adición a estos aceros de azufre, selenio, plomo, etc. hace que mejore sensiblemente su maquinabilidad.

En estos aceros, contengan o no elementos favorecedores de la maquinabilidad, se recomienda realizar una pequeña deformación en frío para elevar la dureza a valores comprendidos entre 180 y 240 Brinell y así conseguir una cierta acritud que favorecerá la mecanización.

Entre los aceros resistentes al calor, los demás uso son los refractarios austeníticos. En éstos normalmente los elementos de aleación (cromo, níquel, molibdeno, cobalto, etc.) intervienen en mayores cantidades que en los inoxidables austeníticos, y por tanto las dificultades que presentan durante la mecanización son mayores.

Existe menor experiencia en la mecanización de los aceros austenoferríticos. Para un mismo acero la estructura depende de los valores de los elementos base y del tratamiento térmico recibido. Cuando en la composición dominan los elementos que favorecen la formación de la austenita (carbono, manganeso, níquel, etc.), en la estructura aparecerán determinadas cantidades de ferrita. Si por el contrario dominan los elementos que favorecen la formación de la ferrita (silicio, cromo, molibdeno, etc.) ésta estará presente en mayor cantidad.

Por otro lado, también será decisivo en la formación de la estructura el tratamiento térmico que se aplique, de tal manera que a mayor temperatura y enfriamiento rápido, mayor será la cantidad de ferrita que formará parte de la es-

estructura. En consecuencia, la maquinabilidad de estos aceros variará en razón de sus componentes estructurales.

La mecanización de los aceros endurecidos por precipitación dependerá del tratamiento de envejecimiento efectuado. La mejor maquinabilidad se conseguirá realizando primeramente el tratamiento de disolución y a continuación el de precipitación de mayor temperatura. Si este tratamiento no fuera el adecuado por las exigencias de las características mecánicas en las piezas a mecanizar, podemos conseguir una mecanización aceptable solamente con el tratamiento de disolución.

Debe evitarse la adición de elementos favorecedores de la maquinabilidad, tanto en los aceros austeno-ferríticos como en los endurecibles por precipitación, porque las aplicaciones a que se destinan son muy exigentes en lo que concierne a características mecánicas y resistencia a la corrosión.

Tabla N°25.- Valores orientativos para el torneado.

Herramienta	Calidades de aceros	Profundidad de corte en mm	Velocidad de corte en m/min	Avance en mm/rev.	Alfilado	
					α°	γ°
Acero rápido	Martensíticos ¹	1 1-3 3-6	25-40 25-35 20-30	0,10-0,20 0,20-0,35 0,35-0,50	4-8	12-17
	Martensíticos de fácil mecanización ¹	1 1-3 3-6	40-55 35-50 30-45	0,10-0,20 0,20-0,35 0,35-0,50	6-8	10-15
	Ferríticos ²	1 1-3 3-6	35-45 30-40 25-35	0,10-0,20 0,20-0,35 0,35-0,50	5-8	12-17
	Ferríticos de fácil mecanización ²	1 1-3 3-6	45-53 40-48 35-43	0,10-0,20 0,20-0,35 0,35-0,50	5-8	10-15
	Austeníticos ²	1 1-3 3-6	22-35 18-30 15-25	0,10-0,20 0,20-0,35 0,35-0,50	5-8	12-17
	Austeníticos de fácil mecanización	1 1-3 3-6	35-45 28-38 23-33	0,10-0,20 0,20-0,35 0,35-0,50	5-8	10-15
	Refractarios austeníticos	1 1-3 3-6	15-22 10-17 5-12	0,10-0,20 0,20-0,35 0,35-0,50	4-7	12-17
Metal duro	Martensíticos ¹	1 1-3 3-6	100-125 85-110 60-90	0,15-0,25 0,25-0,40 0,40-0,60	3-7	7-12
	Martensíticos de fácil mecanización ¹	1 1-3 3-6	110-135 95-120 70-100	0,15-0,25 0,25-0,40 0,40-0,60	3-6	5-10
	Ferríticos ²	1 1-3 3-6	105-130 90-115 70-95	0,15-0,25 0,25-0,40 0,40-0,60	3-6	7-12
	Ferríticos de fácil mecanización ²	1 1-3 3-6	115-140 100-125 80-110	0,15-0,25 0,25-0,40 0,40-0,60	3-6	5-10
	Austeníticos ²	1 1-3 3-6	70-90 60-80 45-65	0,15-0,25 0,25-0,40 0,40-0,60	3-6	7-12
	Austeníticos de fácil mecanización	1 1-3 3-6	100-125 80-105 65-90	0,15-0,25 0,25-0,40 0,40-0,60	3-6	5-10
	Refractarios austeníticos	1 1-3 3-6	45-70 35-60 20-45	0,15-0,25 0,25-0,40 0,40-0,60	2-5	7-12

- Los valores indicados son para los aceros recocidos. Cuando sean tratados con una dureza superior a 240 HB se reducirá la velocidad de corte del 10 al 20%.
- Los valores indicados son para los aceros que previamente se han calentado entre 800 y 1.000°C, seguido de un enfriamiento rápido.
- Para los aceros inoxidables austeníticos estabilizados con titanio o niobio, reducirse la velocidad de corte en un 10% aproximadamente.

Tabla N°26.- Valores orientativos para el perfilado.

Calidades de Aceros	Anchura de la herramienta en mm	Acero rápido				Metal duro			
		Velocidad de corte en m/min	Avance en mm/rev	Afilado		Velocidad de corte en m/min	Avance en mm/rev	Afilado	
				α°	γ°			α°	γ°
Martensíticos ¹	10	20-30	0.05			65-85	0.10		
	20	18-28	0.04			62-80	0.09		
	35	18-27	0.03	7-10	7-10	60-78	0.07	4-8	5-10
	50	17-26	0.02			55-75	0.05		
	65	16-25	0.02			50-70	0.04		
Martensíticos de fácil mecanización ¹	10	30-45	0.05			90-115	0.10		
	20	29-44	0.04			85-110	0.09		
	35	27-43	0.03	5-9	6-9	75-100	0.07	5-8	3-7
	50	26-42	0.02			65-95	0.05		
	65	25-40	0.02			60-90	0.04		
Ferríticos ²	10	26-36	0.05			75-100	0.10		
	20	25-34	0.04			73-95	0.09		
	35	24-31	0.03	7-10	7-10	69-87	0.07	5-8	5-10
	50	23-28	0.02			65-80	0.05		
	65	22-25	0.02			60-75	0.04		
Ferríticos de fácil mecanización ²	10	40-45	0.05			100-115	0.10		
	20	39-44	0.04			95-110	0.09		
	35	37-42	0.03	5-9	6-9	90-105	0.07	5-8	3-7
	50	36-41	0.02			85-100	0.05		
	65	35-40	0.02			80-95	0.04		
Austeníticos ³	10	18-25	0.05			55-70	0.10		
	20	18-25	0.04			53-68	0.09		
	35	17-24	0.03	7-10	7-10	48-65	0.07	5-8	5-10
	50	16-23	0.02			44-62	0.05		
	65	15-22	0.02			40-60	0.04		
Austeníticos de fácil mecanización	10	30-40	0.05			85-105	0.10		
	20	29-38	0.04			83-100	0.09		
	35	27-35	0.03	5-9	6-9	78-92	0.07	5-8	3-7
	50	25-32	0.02			74-88	0.05		
	65	24-30	0.02			70-85	0.04		
Refractarios austeníticos	10	10-18	0.05			35-65	0.10		
	20	10-17	0.04			33-60	0.09		
	35	9-16	0.03	7-10	7-10	30-45	0.07	5-8	5-10
	50	8-15	0.02			27-40	0.05		
	65	7-14	0.02			25-35	0.04		

1. Los valores indicados son para los aceros recocidos. Cuando sean tratados con una dureza superior a 240 HB se reducirá la velocidad de corte del 10 al 20%.
2. Los valores indicados son para los aceros que previamente se han calentado entre 800 y 1.000°C seguido de un enfriamiento rápido.
3. Para los aceros inoxidables austeníticos estabilizados con titanio o niobio, reduciremos la velocidad de corte en un 10% aproximadamente.

Tabla N°27.- Valores orientativos para el tronzado.

Calidades de aceros	Anchura de la herramienta en mm	Acero rápido				Metal duro			
		Velocidad de corte en m/min	Avance en mm/rev	Afilado		Velocidad de corte en m/min	Avance mm/rev	Afilado	
				α°	γ°			α°	γ°
Martensíticos ¹	1.5	18-30	0.04			60-75	0.06		
	3	20-32	0.05			55-80	0.07		
	4.5	21-33	0.06	7-10	7-10	60-90	0.08	4-8	5-10
	6	23-34	0.06			70-95	0.09		
Martensíticos de fácil mecanización ¹	1.5	30-45	0.05			70-105	0.07		
	3	31-47	0.06			80-115	0.08		
	4.5	33-50	0.07	5-9	6-9	85-120	0.09	5-8	3-7
	6	35-52	0.07			90-125	0.10		
Ferríticos ²	1.5	25-30	0.04			65-85	0.06		
	3	26-31	0.05			70-95	0.07		
	4.5	28-33	0.06	7-10	7-10	75-100	0.08	5-8	5-10
	6	28-34	0.06			80-105	0.09		
Ferríticos de fácil mecanización ²	1.5	35-45	0.05			90-110	0.07		
	3	37-47	0.06			94-115	0.08		
	4.5	39-49	0.07	5-9	6-9	97-120	0.09	5-8	3-7
	6	40-50	0.07			100-125	0.10		
Austeníticos ³	1.5	17-25	0.04			45-70	0.06		
	3	18-27	0.05			50-75	0.07		
	4.5	19-29	0.06	7-10	7-10	55-80	0.08	5-8	5-10
	6	20-30	0.06			60-85	0.09		
Austeníticos de fácil mecanización	1.5	25-35	0.05			70-90	0.07		
	3	27-37	0.06			75-100	0.08		
	4.5	29-40	0.07	5-9	6-9	80-105	0.09	5-8	3-7
	6	30-42	0.07			85-110	0.10		
Refractarios Austeníticos	1.5	8-15	0.03			25-50	0.05		
	3	8-16	0.04			29-54	0.06		
	4.5	9-17	0.05	7-10	7-10	33-58	0.07	5-8	3-7
	6	10-18	0.05			35-60	0.07		

1. Los valores indicados son para los aceros recocidos. Cuando sean tratados con una dureza superior a 240 HB se reducirá la velocidad de corte del 10 al 20%.

2. Los valores indicados son para los aceros que previamente se han calentado entre 800 y 1000 °C, seguido de un enfriamiento rápido.

3. Para los aceros inoxidables austeníticos estabilizados con titanio o niobio, reduciremos la velocidad de corte en un 10% aproximadamente.

-1 Tabla N° 28.- Valores orientativos para el taladro.

Calidades de aceros	Diámetro de la broca en mm	Acero rápido			
		Velocidad de corte en m/min.	Avance en mm/rev.	Afiliado	
				α°	ξ°
Martensíticos ¹	1.5	9-17	0.04	10-15	125-140
	3	10-18	0.07		
	6	10-18	0.09		
	10	11-19	0.12		
	25	12-20	0.15		
Martensíticos de fácil mecanización ¹	1.5	18-27	0.04	8-13	120-135
	3	20-29	0.07		
	6	20-29	0.09		
	10	21-30	0.12		
	25	22-32	0.15		
Ferríticos ²	1.5	13-18	0.04	10-15	125-140
	3	15-20	0.07		
	6	15-20	0.09		
	10	15-21	0.12		
	25	16-21	0.15		
Ferríticos de fácil mecanización ²	1.5	22-27	0.04	8-13	120-135
	3	24-29	0.07		
	6	24-31	0.09		
	10	24-31	0.12		
	25	25-32	0.15		
Austeníticos ³	1.5	9-15	0.04	10-15	130-140
	3	10-16	0.07		
	6	10-17	0.09		
	10	11-17	0.12		
	25	11-17	0.15		
Austeníticos de fácil mecanización	1.5	15-21	0.04	8-13	125-135
	3	16-22	0.07		
	6	17-23	0.09		
	10	17-23	0.12		
	25	17-23	0.15		
Refractarios Austeníticos	1.5	5-12	0.04	6-10	130-140
	3	6-13	0.07		
	6	7-13	0.09		
	10	8-14	0.12		
	25	8-14	0.15		

1. Los valores indicados son para los aceros recocidos. Cuando sean tratados con una dureza superior a 240 HB se reducirá la velocidad de corte del 10 al 20%.
2. Los valores indicados son para los aceros que previamente se han calentado entre 800 y 1,000 °C, seguido de un enfriamiento rápido.
3. Para los aceros Inoxidables austeníticos estabilizados con titanio o niobio, reduciremos la velocidad de corte en un 10% aproximadamente.

Tabla N°29.- Valores orientativos para el
escariado.

Calidades de aceros	Diámetro del es-carificador en mm	Acero rápido			
		Calibrado		Acabado	
		Velocidad de corte en m/min	Avance en mm/rev	Velocidad de corte en m/min	Avance en mm/rev
Martensíticos ²	< 12	18 - 25	0.08 - 0.11	10 - 12	0.07 - 0.09
	∇ 12	18 - 25	0.11 - 0.16	10 - 12	0.07 - 0.09
Martensíticos de fácil mecanización ¹	< 12	28 - 40	0.10 - 0.13	13 - 18	0.08 - 0.10
	∇ 12	28 - 40	0.14 - 0.18	13 - 18	0.08 - 0.10
Ferríticos ²	< 12	22 - 26	0.08 - 0.11	11 - 13	0.07 - 0.09
	∇ 12	22 - 26	0.11 - 0.16	11 - 13	0.07 - 0.09
Ferríticos de fácil mecanización ²	< 12	32 - 40	0.10 - 0.13	15 - 18	0.08 - 0.10
	∇ 12	32 - 40	0.14 - 0.18	15 - 18	0.08 - 0.10
Austeníticos ³	< 12	14 - 23	0.12 - 0.16	7 - 11	0.08 - 0.10
	∇ 12	14 - 23	0.15 - 0.20	7 - 11	0.08 - 0.10
Austeníticos de fácil mecanización	< 12	25 - 34	0.14 - 0.18	11 - 15	0.08 - 0.10
	∇ 12	25 - 34	0.18 - 0.22	11 - 15	0.08 - 0.10
Refractarios Austeníticos	< 12	10 - 15	0.12 - 0.16	5 - 8	0.08 - 0.10
	∇ 12	10 - 15	0.15 - 0.20	5 - 8	0.08 - 0.10

¹ Los valores Indicados son para los aceros recocidos. Cuando sean tratados con una dureza superior a 240 HB se reducirá la velocidad de corte de 10 al 20% .

² Los valores Indicados son para los aceros que previamente se han calentado entre 800 y 1,000°C, seguidos de un enfriamiento rápido.

³ Para los aceros inoxidables austeníticos estabilizados con titanio o niobio, reduciremos la velocidad de corte en un 10% aproximadamente.

Tabla N°30.- Valores orientativos para el fresado.

Calidades de aceros	Profundidad de corte en mm	Acero rápido		Metal duro ¹	
		Velocidades de corte en m/min	Avance en mm/rev	Velocidades de corte en m/min	Avance en mm/rev
Martensíticos ²	1.5	22-32	0.13	65- 90	0.22
	3	18-28	0.11	55- 80	0.19
	4.5	14-24	0.08	45- 65	0.16
	6	11-22	0.07	35- 55	0.14
Martensíticos de fácil mecanización ²	1.5	30-40	0.15	80-100	0.27
	3	28-38	0.13	75- 95	0.23
	4.5	24-35	0.10	65- 90	0.19
	6	20-32	0.08	55- 85	0.16
Ferríticos ³	1.5	25-32	0.13	70- 95	0.22
	3	24-30	0.11	60- 85	0.19
	4.5	22-27	0.08	50- 70	0.16
	6	20-24	0.07	40- 60	0.14
Ferríticos de fácil mecanización ³	1.5	32-40	0.15	90-100	0.27
	3	30-38	0.13	85- 95	0.23
	4.5	28-35	0.10	75- 90	0.19
	6	25-32	0.08	70- 85	0.16
Austeníticos ⁴	1.5	18-26	0.13	60- 80	0.22
	3	16-24	0.11	45- 70	0.19
	4.5	13-21	0.08	35- 60	0.16
	6	10-18	0.07	30- 50	0.14
Austeníticos de fácil mecanización	1.5	27-35	0.15	75- 95	0.27
	3	25-33	0.13	65- 85	0.23
	4.5	22-30	0.10	55- 75	0.19
	6	20-27	0.08	50- 70	0.16
Refractarios Austeníticos	1.5	14-20	0.13	40- 65	0.22
	3	12-18	0.11	35- 55	0.19
	4.5	10-16	0.08	30- 45	0.16
	6	8-14	0.07	25- 40	0.14

1. Los valores indicados corresponden a plaquitas soldadas. Cuando se utilicen plaquitas intercambiables se podrán aumentar las velocidades de corte en un 25%.
2. Los valores indicados son para los aceros recocidos. Cuando sean tratados con una dureza superior a 240 HB se reducirá la velocidad de corte del 10 al 20%.
3. Los valores indicados son para los aceros que previamente se han calentado entre 800 y 1,000 °C, seguido de un enfriamiento rápido.
4. Para los aceros inoxidables austeníticos estabilizados con titanio o niobio, reduciremos la velocidad de corte en un 10% aproximadamente.

Tabla N°31.- Valores orientativos para el roscado.

Calidades de aceros	Acero rápido							
	Roscado Interior				Roscado exterior			
	Número de dientes/cm				Número de dientes/cm			
	1<3	3-6	>6-10	>10	1<3	3-6	>6-10	>10
	Velocidad de corte en m/min				Velocidad de corte en m/min			
Martensíticos ¹	2-3	2-5	3-6	5-7	3-5	3-6	4-7	5-8
Martensíticos de fácil mecanización ¹	3-5	5-8	6-10	7-12	4-6	6-9	7-11	8-12
Ferríticos ²	2-4	3-5	4-6	5-7	4-5	5-6	6-7	7-8
Ferríticos de fácil mecanización ²	4-5	6-8	8-10	10-12	5-6	7-9	9-11	10-12
Austeníticos	1,5-3	2-3	2-5	3-6	2-3	3-4	3-5	4-6
Austeníticos de fácil mecanización	3-4	4-6	5-7	6-8	4-5	5-7	6-8	7-9
Refractarios Austeníticos	1-2	1-2,5	2-3	2-4	1,5-3	2-3	2-4	3-5

1. Los valores indicados son para los aceros recocidos. Cuando sean tratados con una dureza superior a 240 HB se reducirá la velocidad de corte del 10 al 20%.
2. Los valores indicados son para los aceros que previamente se han calentado entre 800 y 1,000 °C, seguido de un enfriamiento rápido.

Tabla N°32.- Valores orientativos para el ase-
rrado con sierra de banda de acero rápido.

<i>Calidades de aceros</i>	<i>Dureza HB</i>	<i>Velocidad de corte en m/min</i>	<i>Régimen de corte en cm³/min</i>
Austeníticos	140-220	22-35	26- 7
Austeníticos de fácil mecanización	150-220	30-40	32-13
Refractarios Austeníticos	160-220	15-25	13- 7

Tabla N°33.- Valores orientativos para el
brochado.

<i>Calidades de aceros</i>	<i>Acero rápido</i>	
	<i>Velocidad de corte en m/min</i>	<i>Profundidad de corte por diente en mm</i>
Martensíticos ¹	2-6	0.02-0.13
Martensíticos de fácil mecanización ¹	3-8	0.02-0.13
Feríticos ²	3-6	0.02-0.13
Feríticos de fácil mecanización ²	4-8	0.02-0.13
Austeníticos	2-5	0.02-0.13
Austeníticos de fácil mecanización	3-7	0.02-0.13
Refractarios Austeníticos	1,5-4	0.02-0.13

1. Los valores indicados son para los aceros recocidos. Cuando sean tratados con una dureza superior a 240 HB se reducirá la velocidad de corte del 10 al 20%.
2. Los valores indicados son para los aceros que previamente se han calentado entre 800 y 1,000 °C, seguido de un enfriamiento rápido.

7.2 SOLDADURA.

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 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 (" Corte de Navaja ") 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 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 %.

Cuando se puede posponer la resistencia mecánica a la resistencia a la corrosión es conveniente utilizar aceros con contenido de aluminio 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 aporte 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 475 °C.

Para reducir el engrosamiento del grano se emplean adiciones de nitrógeno de 0.10 %.

Como en las soldaduras de los aceros martensíticos, se recomienda el empleo de aleaciones austeníticas como material de aporte.

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

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 hemos 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 (hipertemple) para disolver los carburos precipitados.

Cuando las piezas son de gran tamaño y no sea posible 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 embriadas, 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 %.

7.3 DECAPADO

La mejor resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables, la tienen cuando su superficie está exenta de cascarilla y sobre todo con un pulido brillante.

En los distintos procesos de transformación, como pueden ser laminado, forjado soldadura, tratamientos térmicos, etc. existen incrustaciones de cascarilla en la superficie del acero que son generalmente la causa de una corrosión. Estas incrustaciones las podemos eliminar con procedimientos mecánicos (granallado, rectificado, etc.) cuando el espesor de la cascarilla es muy grande o con procedimientos químicos (decapados ácidos o alcalinos) si la incrustación no es profunda.

Cuando los procedimientos son químicos, debemos tomar una serie de precauciones, como son eliminar las grasas o suciedades para obtener un buen decapado.

Algunos desengrasantes efectivos son:

- Tetracloruro de carbono.
- Tricloretileno.
- Percloretileno.

Asimismo, se deberá tener el material en el baño el tiempo justo para evitar superficies rugosas.

Una vez eliminada la cascarilla, se deberá proceder al pasivado y secado lo antes posible, para que no se formen zonas defectuosas que obligarían a un nuevo decapado.

DIVERSOS TIPOS DE DECAPADOS ACIDOS PARA LOS ACEROS AUSTENITICOS.

Quando deseamos eliminar antes del decapado la calamina emplearemos la siguiente solución:

Acido sulfúrico (65° Be) 8 a 10 % en volumen
 Agua Resto en volumen
 Temperatura = De 50 a 60 °C.
 Tiempo = Varios minutos.

Decapado N° 1

Acido nítrico (36° Be) 10 % en volumen
 Fluoruro sódico 2.5 % en volumen
 Agua Resto en volumen
 Temperatura = Bien entre 50 y 60 °C o bien a temperatura ambiente.
 Tiempo = Con temperaturas entre 50 y 60 °C unos 20 minutos y con temperatura ambiente varias horas.

Decapado N° 2

Acido nítrico (36° Be) 10 a 15 % en volumen
 Acido fluorhídrico comercial 2 % en volumen
 Agua Resto en volumen
 Temperatura = Bien entre 50 y 60 °C o bien a temperatura ambiente.
 Tiempo = Con temperaturas entre 50 y 60 °C unos 20 minutos y con temperatura ambiente varias horas.

DECAPADO N° 3

Acido clorhídrico (22° Be) 4 % en volumen
 Acido nítrico (36° Be) 40 % en volumen
 Agua Resto en volumen
 Temperatura = de 50 a 60 °C.
 Tiempo = varios minutos

Una vez decapado el material, queda su superficie con un color grisáceo y que, para dejarla pasivada y con un color blanquesino mate, será necesario introducir en la siguiente solución:

Acido nítrico (36° Be) 20 % en volumen
 Agua Resto en volumen
 Temperatura = Ambiente
 Tiempo = Varios minutos.

Por último y como ya hemos indicado más arriba, después del pasivado es necesario lavar y secar la superficie rápidamente.

APENDICE "A"

**Normas que rigen a los aceros
inoxidables y refractarios.**

<i>Títulos</i>	<i>Normas ASTM</i>	<i>Normas ASME</i>
Tubos sin costura para cambiadores de calor, recalentadores y calderas de aceros aleados austeníticos y ferríticos	A-213	SA-213
Fundiciones de acero inoxidable martensítico y acero aleado para elementos sometidos a presión, válidos para alta temperatura	A-217	SA-217
Planos, chapa y fleje de aceros inoxidables y refractarios al cromo y cromo-níquel para recipientes a presión sin combustión soldados por fusión.	A-240	SA-240, excepto para SM-19 y SM-31
Tubos soldados de acero inoxidable austenítico para condensadores, cambiadores de calor, recalentadores y calderas	A-249	SA-249
Detección de la susceptibilidad al ataque intergranular en los aceros inoxidables	A-262	—
Planos, chapa y fleje recubiertos de acero al cromo resistente a la corrosión	A-263	—
Planos, chapa y fleje recubiertos de acero al cromo-níquel resistente a la corrosión	A-264	—
Tubos de acero inoxidable ferrítico, soldados y sin costura, para servicio general	A-268	SA-268, excepto para TP-443 y TP-430Ti
Tubos de acero inoxidable austenítico, soldados y sin costura, para servicio general	A-269	—
Tubos sin costura para alambiques de aceros austeníticos al cromo-níquel, para servicio de refineries	A-271	—
Especificaciones para barras de aceros inoxidables y refractarios acabadas en caliente o en frío	A-276	—

<i>Títulos</i>	<i>Normas ASTM</i>	<i>Normas ASME</i>
Ensayo de corrosión de aceros inoxidables por inmersión total	A-276	-
Tubos sin costura y soldados de acero inoxidable austenítico	A-312	SA-312
Alambre para resortes de inoxidables al cromo-níquel y de aceros refractarios	A-313	-
Especificaciones para palanquillas y barras para reforzar de aceros inoxidables y refractarios	A-314	-
Materiales para pernos de acero aleado para empleo a bajas temperaturas.	A-320	-
Fundiciones de acero austenítico para alta temperatura	A-351	SA-351
Fundiciones de acero ferrítico para elementos sometidos a presión, para servicio a baja temperatura	A-352	SA-352
Planos para recipientes a presión de acero aleado con 9% de níquel, con doble normalizado y revenido	A-353	-
Tubos soldados por electrofusión de acero austenítico aleado al cromo-níquel para servicio a elevadas temperaturas	A-358	SA-358
Ensayos mecánicos en productos de acero (Métodos y definiciones)	A-370	SA-370
Tubos de acero austenítico sin costuras para servicio a elevadas temperaturas en estaciones central	A-376	SA-376
Examen ultrasónico de grandes piezas forjadas de acero	A-388	SA-388
Práctica para la conducta de los aceros inoxidables austeníticos en el ensayo de ataque intergranular en sulfato de cobre acidificado	A-393	-

<i>Títulos</i>	<i>Normas ASTM</i>	<i>Normas ASME</i>
Accesorios conformados para tubería de acero inoxidable austenítico	A-403	SA-403
Tubería soldada de gran diámetro y pequeño espesor de acero austenítico aleado al cromo-níquel para servicio corrosivo a alta temperatura	A-409	SA-409, excepto para para el tipo 403
Especificaciones para chapas gruesas, chapas finas y flejes de aceros resistentes a la corrosión al cromo-níquel-manganeso (Tipos 201 y 202)	A-412	SA-412, excepto para el tipo 202
Especificaciones para barras de aceros inoxidables y refractarios al cromo-níquel-manganeso, laminadas en caliente y acabadas en frío (Tipos 201 y 202)	A-429	—
Tubería forjada y perforada de acero austenítico para servicio a alta temperatura	A-430	SA-430, excepto para el grado FP 16-8-2H
Inspección de las chapas gruesas de aceros mediante ultrasonidos de onda longitudinal con destino a recipientes a presión	A-435	SA-435
Requisitos generales para tubos de acero al carbono, aleado ferrítico y aleado austenítico	A-450	SA-450
Tubería de acero austenítico de fundición centrifugada para servicio a alta temperatura	A-451	SA-451 excepto para los grados CPF 10 MC, CPF 8 C y CPH 10
Tubería conformada en frío en acero austenítico de fundición centrifugada para servicio a alta temperatura	A-452	SA-452
Materiales para pernos, para altas temperaturas de 50 a 120 ksi de límite elástico con coeficientes de expansión comparables a los aceros austeníticos	A-453	SA-453 excepto para los grados 660 y 651 y excepto para la parte 7.2.1.
Especificaciones para chapa gruesa, chapa fina y fleje de aleaciones de alta resistencia a elevadas temperaturas, trabajadas en caliente, trabajadas en caliente-frío y trabajadas en frío	A-457	—

<i>Títulos</i>	<i>Normas ASTM</i>	<i>Normas ASME</i>
Especificaciones para barras de aleaciones de alta resistencia a elevadas temperaturas, trabajadas en caliente y trabajadas en frío.	A-458	-
Inspección con líquido penetrante de piezas forjadas	A-462	-
Especificaciones del alambre para tejer de aceros inoxidables y refractarios al cromo-níquel	A-478	-
Especificaciones para barras y formas de aceros inoxidables y refractarios para usos en calderas y otros recipientes a presión	A-479	SA-479
Requisitos generales de entrega de plenos laminados en forma de chapa gruesa, chapa fina y fleje de aceros inoxidables y refractarios	A-480	SA-480
Requisitos generales en productos de acero para forjar (excepto alambre) de inoxidables y refractarios	A-484	-
Especificaciones del alambre para cables de aceros inoxidables y refractarios	A-492	-
Especificaciones del alambre para recalcado en frío de aceros inoxidables y refractarios	A-493	-
Tubos para cambiadores de calor de aleaciones austeníticas, ferríticas y al carbono soldados sin costuras con aletas	A-498	-
Tubo mecánico de acero inoxidable sin costura	A-511	-
Requisitos generales para tubería especial de acero al carbono y aleados	A-530	SA-530
Tubo mecánico de acero inoxidable soldado	A-554	-
Requisitos generales del alambre de aceros inoxidables y refractarios	A-555	-

B I B L I O G R A F I A

- VAN, Vlack Lawrence H.
Materiales Para Ingenieria
Compañia Editorial Continental, S.A.
2da. Edición 1980
- AVNER, Sidney H.
Introducción a la Metalurgia Física
Mc Graw Hill
1964
- APRAIZ, Barrero José
Aceros Especiales y Otras Aleaciones
Editorial DOSSAT
5a. Edición 1975
- REED, Hill Robert E.
Principios de Metalurgia Física
Compañia Editorial Continental, S.A.
4a. Impresión 1974
- FONTANA, Mars G. , GREENE, Norbert D.
Corrosion Engineering
Mc Graw Hill
Second Edition 1978

Intergranular Corrosion of Chromium-Nickel
Stainless Steel - Progress
Report N° 1 1964

Stress Corrosion Cracking and Hydrogen Embrittlement
of Iron Base Alloys
National Association of Corrosion Engineers (NACE)
Copyright 1977

SPELLER, F. N.
Corrosion, Causes and Prevention
Mc Graw Hill
1935

UHLIG, H. H.
Corrosion Handbook
John Wiley and Sons
1948

SALISBURY, J Kenneth
Mechanical Engineer's Handbook
12° Edition 1950

Metallography Structures and Phase Diagrams
American Society For Metals
8° Edition 1973

Annual Book of A.S.T.M. Standards
American Society for Testing and Materials
Printed in Easton, MD, U.S.A.
1970