



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**“ ESTRUCTURA METALÚRGICA DE UN
ACERO
HK-40 A MEDIAS TEMPERATURAS”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

RAYMUNDO LUIS ROJAS

ASESOR: M.I. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO.

2005

m.340547



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
**FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES-CUAUTITLAN**



DEPARTAMENTO DE
 EXAMENES PROFESIONALES

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

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

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

Estructura metalúrgica de un acero Hk-40 a medias temperaturas.

que presenta el pasante: Raymundo Luis Rojas
 con número de cuenta: 9757303-2 para obtener el título de :
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 09 de agosto de 2004

PRESIDENTE	<u>M.I. Héctor Enrique Curiel Reyna</u>	
VOCAL	<u>Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Jesús García Lira</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Jorge Altamira Ibarra</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Rolando Cortés Montes de Oca</u>	

DEDICATORIAS

A mi padres por su confianza, apoyo y comprensión, gracias por dedicarme su tiempo y su vida.

A mis hermanos Jesús, Ilda, Alejandro y Estela por su cariño y convivencia diaria, gracias por estar siempre a mi lado cada cual con su particular punto de vista.

A todos mis amigos, quienes han enriquecido con su forma de ser, mi manera de pensar y de ver las cosas.

Al M.I. Héctor Enrique Curiel Reyna por su apoyo, voluntad y por hacer posible esta investigación.

Mi profundo agradecimiento a la UNAM- Cuautitlan que me ha brindado sus espacios para superarme. Gracias.

INTRODUCCIÓN

Los aceros inoxidables tienen una amplia aplicación en la industria alimenticia, química farmacéutica y otras, los encontramos cotidianamente en la cuchillería de cocina y utensilios

Estos aceros inoxidables por sus propiedades tienen usos especiales para ciertas aplicaciones, el acero HK-40 es uno de ellos y la presente investigación tiene como objetivo presentar algunas de sus propiedades como lo son: dureza y estructura metalúrgica cuando es sometido a diferentes temperaturas de revenido.

Se empezará por discutir los diferentes tipos de aceros y sus diferentes designaciones así como sus rangos de composiciones. Después se hará una descripción breve de algunas aleaciones y aplicaciones también la influencia de los diferentes elementos presentes en la aleación, se continuará con la parte experimental que consiste en conocer las variaciones de la dureza y estructura; finalmente se presentan los resultados y conclusiones.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPITULO 1 ACEROS INOXIDABLES

1.1 ACEROS INOXIDABLES CONFORMADOS.....	2
1.2 FUNDICIONES DE ACEROS INOXIDABLES.....	3
1.3 DIFERENCIAS ENTRE GRADOS FUNDIDOS Y CONFORMADOS.....	4
1.4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS.....	5
1.5 DUREZA.....	6

CAPITULO 2 DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES GRADOS DE FUNDICIÓN

2.1 ALEACIONES DESIGNADAS PARA LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN.....	11
2.2 ALEACIONES DESIGNADAS PARA LA RESISTENCIA AL CALOR.....	13
2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ALEACIONES INDIVIDUALES.....	17
2.3.1 TIPOS RESISTENTES A LA CORROSIÓN	17
2.3.2 GRADOS MARTENSÍTICOS.....	19
2.3.3 GRADOS FERRÍTICOS.....	20
2.3.4 GRADOS AUSTENÍTICOS.....	21
2.3.5 GRADOS AUSTENÍTICO-FERRITICOS.....	21
2.3.6 GRADOS DE ENDURECIMIENTO POR PRECIPITACIÓN.....	24
2.4 TIPOS RESISTENTES AL CALOR.....	25
2.4.1 GRADOS HIERRO-CROMO.....	26
2.4.2 GRADOS HIERRO-CROMO-NÍQUEL.....	27
2.4.3 GRADOS HIERRO-NÍQUEL-CROMO.....	29

CAPITULO 3 EFECTO DEL CROMO Y OTROS ELEMENTOS EN LA ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

3.1 EFECTOS EN LA MICROESTRUCTURA.....	31
3.2 EFECTOS DE FRAGILIDAD POR FASE SIGMA.....	32
3.3 FRAGILIDAD DE LOS ACEROS AL CROMO.....	33
3.4 INFLUENCIA DEL NÍQUEL.....	34
3.5 INFLUENCIA DE OTROS ELEMENTOS.....	34
3.6 DIAGRAMA DE SCHAEFFIER.....	38

CAPITULO 4 MICROSCOPIA CUANTITATIVA

4.1	VARIABLES DE LAS MEDIDAS BÁSICAS.....	40
4.1.1	MUESTREO.....	42
4.1.2	PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	43
4.1.3	SELECCIÓN DE CAMPO.....	43
4.1.4	TAMAÑO DE GRANO.....	44
4.1.5	FORMA DE GRANO.....	45
4.2	MÉTODO JEFRIES PLANIMETRICO.....	46

CAPITULO 5 PARTE EXPERIMENTAL

5.1	OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
5.2	DESCRIPCIÓN DE LA ALEACIÓN HK-40.....	48
5.3	METODOLOGÍA.....	50
5.4	HIPÓTESIS.....	51
5.5	ANÁLISIS Y RESULTADOS	52
CONCLUSIONES		63
BIBLIOGRAFÍA.....		64

CAPITULO 1
ACEROS INOXIDABLES

1.1 ACEROS INOXIDABLES CONFORMADOS

Los aceros inoxidables son aquellas aleaciones ferrosas las cuales contienen un mínimo de 12% de cromo, fueron desarrollados entre otras cosas porque las aleaciones ferrosas no tienen suficiente resistencia a la corrosión u oxidación, hace mas de 80 años fue descubierto que un mínimo de 12% de cromo puede impartir a los aceros resistencia a la corrosión y oxidación.

La base de los aceros inoxidables es el sistema binario hierro-cromo, la adición de elementos específicos influyen profundamente en el resultado de la aleación. El subsiguiente desarrollo de algunas importantes categorías de aceros inoxidables llamados; Ferríticos, Austeníticos, Martensíticos y Endurecibles por Precipitación están basados en la composición química, microestructura y el tipo de cristales, factores que definen sus características. El cromo tiene la capacidad de reaccionar con el medio ambiente y proteger al acero mediante una capa fina, impermeable y homogénea que actúa de forma pasiva. A estas aleaciones se les agregan cantidades mínimas de otros elementos que aportan mejoras en cuanto a resistencia a la oxidación, maquinabilidad ductilidad, entre otras.

Por aceros conformados, se entiende que son las aleaciones más comerciales y que con ellas se llevan a cabo los procesos de; forja, extrucción, laminado; y principalmente por el reducido contenido de carbono en su composición, como las aleaciones que ya se han mencionado.

1.2 FUNDICIONES DE ACEROS INOXIDABLES

los aceros inoxidable fundidos o fundiciones de aceros inoxidable son aquellas aleaciones que tienen un alto porcentaje de carbón en su composición y las piezas fabricadas son obtenidas por medio de la fundición. La producción de aceros inoxidable se hace con el proceso de fundición, en todos sus grados , y de igual forma para modificaciones de aleaciones de usos especiales. Así mientras que las piezas realizadas por laminado o forja, por lo general poseen una resistencia reducida, una ductilidad considerable a temperatura de trabajo en caliente, y ductilidad suficiente para trabajo en frío en algunos productos, el rango de utilización de las fundiciones de aceros inoxidable no esta restringida por tales requerimientos.

La familia de los aceros inoxidable en su estructura de fundición se componen de dos series de aleaciones distintas; la primera serie corresponde a los grados forjados, utilizados por su alta resistencia a la corrosión a temperaturas por debajo de los 650°C y la segunda serie corresponde a composiciones modificadas para proveer una alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas de 650°C-1200°C.

1.3 DIFERENCIAS ENTRE GRADOS FUNDIDOS Y CONFORMADOS

Debido a las variaciones en composición química y propiedades mecánicas y físicas entre grados forjados y fundiciones de aceros inoxidable, se tienen dos tipos de designaciones. Las fundiciones son generalmente conocidas por el sistema de designación adoptado por el Instituto de Aleaciones Fundidas (ACI por sus siglas en inglés) y cuando los usuarios especifican aleaciones particulares de grados forjados o conformados deberán usar la numeración asignada por el Instituto del Hierro y el Acero [AISI por sus siglas en inglés]

En general, las aleaciones conformadas y fundidas tienen equivalente resistencia a medios corrosivos y son frecuentemente usadas indistintamente.

Entre las aleaciones conformadas y fundidas de un mismo tipo existen diferencias en las propiedades físicas y mecánicas, ya que hay variación de las composiciones químicas de estas.

Las variaciones químicas pueden parecer pequeñas pero no insignificantes. Como resultado, el balance entre los constituyentes de la aleación es diferente en cada caso e influye en la microestructura de donde dependen las propiedades. Esta es la razón por la cual las designaciones de aleaciones fundidas son importantes cuando se ordenan.

En la tabla 1 se muestran los porcentajes de hierro-cromo para las composiciones más usadas, en la cual se identifican con una letra la designación del grado, se puede observar como el contenido del níquel aumenta conforme las letras progresan desde "A" hasta "Z".

Las letras iniciales "C" o "H" indican si la aleación es para corrosión a bajas temperaturas o altas temperaturas respectivamente, la letra inicial "C" designa grados que son usados para la resistencia de ataques corrosivos y temperaturas menores de 650°C. La letra "H" representa grados que son usados para altas temperaturas, los números siguientes a las letras indican el contenido de carbono máximo de las aleaciones resistentes al calor por consiguiente, las letras con un número indican el punto medio de un $\pm 0.5\%$ de carbono.

Por ejemplo CD-4MCu es una aleación para servicio de resistencia a la corrosión con composición; 26Cr-5Ni con un contenido máximo de carbón de 0.04% y contiene molibdeno y cobre. Si algunos elementos especiales están incluidos en la aleación estos son indicados por la adición de letras.

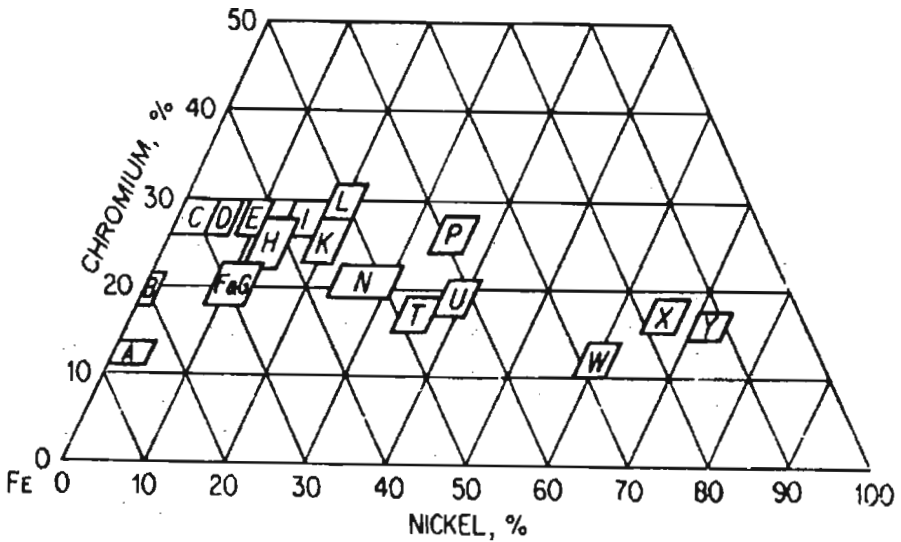


TABLA DE DESIGNACIONES DE GRADOS PARA DISTINTAS ALEACIONES USADAS POR EL INSTITUTO DE FUNDICIONES DE ACEROS INOXIDABLES (ACI)

1.4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Proceso llevado a cabo en los aceros mediante calentamientos y enfriamientos con el fin de conseguir cambiar la estructura de la aleación y obtener propiedades deseadas la presencia de elementos aleantes ayudan de manera significativa en el tratamiento.

El hierro es un elemento que cambia de estructura cristalina con el calor; al cambiar de estructura los átomos de carbono pueden combinarse más fácilmente siendo la estructura cristalina de mejor acomodamiento la cúbica

centrada en las caras, que se presenta en la Austenita, las estructuras en el sistema Hierro carbono son las siguientes:

Ferrita: estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo es magnética y disuelve 0.025% de carbono.

Carburo de Hierro: también llamado cementita; contiene 6.67% decarbono es un compuesto duro y frágil su estructura cristalina es ortorrómbica.

Austenita: estructura cúbica centrada en las caras, puede disolver hasta 2% de carbono y carece de magnetismo.

Los productos que se pueden obtener de los tratamientos térmicos son los siguientes:

Martensita: producto de un enfriamiento brusco desde temperaturas de austenización de gran dureza pero frágil es necesario revenirla.

Perlita: mezcla de ferrita y carburo de Hierro en forma de capas alternadas, es blanda y se presenta en aceros que se dejan enfriar lentamente.

Bainita: es muy parecida a la perlita pero la mezcla de ferrita y carburo de Hierro es más fina resultando una dureza mayor. Tiene propiedades equilibradas de dureza y tenacidad.

Esferoidita: al igual que la perlita y Bainita su constitución es semejante pero la forma del carburo de Hierro tiende a ser de forma esférica, dando al material una ductilidad mayor. Es el producto más blando que se pueda conseguir y el ideal para maquinar aceros.

Básicamente existen cinco tipos de tratamientos térmicos que son los siguientes:

Recocido: proceso de dejar enfriar un acero que ha sido producido o alcanzado temperaturas no mayores a la austenización hasta alcanzar la temperatura ambiente de forma lenta como un enfriamiento al aire.

Templado: Se realiza con el objetivo de endurecer al acero, es el resultado de atrapar átomos de carbono en la estructura del hierro a la temperatura de austenización de manera repentina, la estructura obtenida es tetragonal y posee una geometría distorsionada con la cual se evita el movimiento. La fase conseguida es denominada Martensita.

Revenido: Es considerado como un tratamiento complementario al temple, su finalidad es proporcionar tenacidad a costa de reducir la dureza. La Martensita procedente del temple libera algo del carbono. El resultado es un acero con propiedades balanceadas de dureza y tenacidad.

Este tratamiento consiste en calentar el acero previamente templado a temperaturas medias, no mayores a las aplicadas en el recocido, dejar por espacio de cierto tiempo y retirar para enfriar al aire, este tratamiento se aplica después del temple con el fin de evitar distorsiones y grietas en las piezas.

Martemple: También llamado templeado interrumpido es una mezcla de un temple rápido y un recosido. Consiste en templar desde temperaturas de austenización y evitar la formación de perlita, hasta aproximadamente 260°C, posteriormente se retira y se deja enfriar lentamente. La superficie y el centro se transforman al mismo tiempo no existen esfuerzos considerables evitando de esta forma la aparición de grietas y fracturas. Es muy útil en piezas que carecen de elementos aleantes.

Revenido de Austenita: es un tratamiento parecido al martemple o temple interrumpido solo que en vez de retirar la pieza y dejar enfriar para obtener Martensita, se pasa inmediatamente a un horno previamente calentado y se deja ahí hasta formar Bainita, una vez obtenida se retira y se deja enfriar lentamente al aire.

La ventaja que tiene este tratamiento es evitar cualquier agrietamiento y ahorrar el revenido; la desventaja es que para la transformación a Bainita se requiere de bastante tiempo en horno.

La aplicación y efecto de los tratamientos térmicos en los aceros inoxidable no distan de ser diferentes para los aceros inoxidable, solo que se tiene que evitar la precipitación de carburos que ocasionan serios problemas especialmente con porcentajes medios y altos de carbono.

1.5 DUREZA

Es una propiedad mecánica sumamente importante la cual es una medida de la resistencia de un material a la deformación plástica localizada. Los primeros ensayos de dureza se basaban en el comportamiento de los minerales junto con una escala construida según la capacidad de un material de rayar a otro más blando. A lo largo de los años se han ido desarrollando técnicas cuantitativas de dureza que se basan en un pequeño penetrador que es forzado sobre la superficie del material a ensayar en condiciones controladas de carga y velocidad de aplicación de la carga. En estos ensayos se mide la profundidad o tamaño de la huella resultante lo cual se relaciona con un número de dureza, las durezas medidas tienen solamente un significado relativo, y es necesario tener precauciones al comparar durezas obtenidas por técnicas distintas.

MICRODUREZA VICKERS Y KNOOP

En estos ensayos un penetrador de diamante muy pequeño y de geometría piramidal es forzado en la superficie de la muestra. Las cargas aplicadas están comprendidas entre 1 y 1000 gramos, la marca resultante se observa al microscopio y se mide; esta medida es convertida entonces en un número de dureza, la dureza Vickers y Knoop se consideran ensayos de microdureza ambas son convenientes para la medida de dureza de pequeñas regiones seleccionadas.

CAPITULO 2
DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES
GRADOS

DESIGNACIONES DE GRADOS POR EL INSTITUTO DE ALEACIONES FUNDIDAS Y RANGOS DE COMPOSICION QUIMICA PARA ALEACIONES RESISTENTES A LA CORROSION									
DESIGNACION ACI	DESIGNACION AISI	COMPOSICION %							
		CARBONO	MANGANESO	SILICIO	FOSFORO	AZUFRE	CROMO	NIQUEL	OTROS
CA-6NM		0.06	1.00	1.00	0.04	0.04	11.5-14	3.5-4.5	0.4-1.0Mo
CA-15	410	0.15	1.00	1.50	0.04	0.04	11.5-14	1	
CA-15M		0.15	1.00	0.65	0.04	0.04	11.5-14	1.0	0.15-1.0Mo
CA-40	420	0.4	1.00	1.50	0.04	0.04	11.5-14	1	
CB-30	431,442	0.3	1.00	1.50	0.04	0.04	18-22	2.0	
CB-7U	17-4PH	0.07	1.00	1.00	0.04	0.04	15.5-17	3.6-4.6	2.3-3.3Cu
CC-50	446	0.5	1.00	1.50	0.04	0.04	26-30	4.0	
CD-4MCu		0.04	1.00	1.00	0.04	0.04	25-26.5	4.75-6.00	1.75-2.25Mo
CE-30		0.3	1.50	2.00	0.04	0.04	26-30	8-11	
CF-3	304L	0.03	1.50	2.00	0.04	0.04	127-21	8-12	
CF-8	304	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18-21	8-11	
CF-20	302	0.2	1.50	2.00	0.04	0.04	18-21	8-11	
CF-3M	316L	0.03	1.50	1.50	0.04	0.04	17-21	9-13	2.0-3.0Mo
CF-8M	316	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18-21	9-12	2.0-3.0Mo
CF-8C	347	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18-21	9-12	Cb 8xC, 1.0Cb
CF-16F	303	0.16	1.50	2.00	0.17	0.04	18-21	9-12	1.5Mo, 0.20-0.35Se
CG-8M	317	0.08	1.50	1.50	0.04	0.04	18-21	9-13	
CG-12		0.12	1.50	2	0.04	0.04	20-23	10-13	3.0-4.0Mo
CH-20	309	0.2	1.50	2.00	0.04	0.04	22-26	12-15	
CK-20	310	0.2	2.00	2	0.04	0.04	23-27	19-22	
CN-7M		0.07	1.50	1.5	0.04	0.04	19-22	27.5-30.5	2.0-3.0Mo, 3.0-4.0Cu
CW-12M		0.12	1.00	1.5	0.04	0.03	15.5-20		5.25W, 0.4V, 2.5Co
CY-40		0.4	1.5	3	0.015	0.04	14-17		
CZ-100		1	1.5	2	0.015	0.04		95	
N-12M		0.12	1	1	0.04	0.04	1		0.6, 2.5Co
M-35		0.35	1.5	2	0.015	0.04			26-30Cu

TABLA I

2.2 GRADOS DESIGNADOS PARA SERVICIO DE RESISTENCIA AL CALOR

Estas aleaciones se muestran en la tabla 2.

DESIGNACIONES DE GRADOS POR EL INSTITUTO DE ALEACIONES FUNDIDAS Y RANGOS DE COMPOSICION QUIMICA PARA ALEACIONES RESISTENTES AL CALOR									
DESIGNACION ACI	DESIGNACION AISI	COMPOSICION %							OTROS ELEMENTOS
		CARBONO	MANGANESO	SILICIO	FOSFORO	AZUFRE	CROMO	NIQUEL	
HA	446	0.20	0.65	1.00	0.04	0.04	8-10		0.90-1.2Mo
HC		0.50	1.00	2.00	0.04	0.04	26-30	4	0.5Mo
HD		0.50	1.50	2.00	0.04	0.04	26-30	4-7	0.5Mo
HE	302B,309	0.20-0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	26-30	8-11	0.5Mo
HF		0.20-0.40	2.00	2.00	0.04	0.04	19-23	9-12	0.5Mo
HH		0.20-0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	24-28	11-14	0.5Mo-0.2N
HI	310	0.20-0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	26-30	14-18	0.5Mo
HK		0.20-0.60	2.00	2.00	0.04	0.04	24-28	18-22	0.5Mo
HL		0.20-0.60	2.00	2.00	0.04	0.04	28-32	18-22	0.5Mo
HN	-	0.20-0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	19-23	23-27	0.5Mo
HP		0.35-0.75	2.00	2.00	0.04	0.04	24-28	33-37	0.5Mo
HT		0.35-0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	15-19	33-37	0.5Mo
HU	-	0.35-0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	17-21	37-41	0.5Mo
HW		0.35-0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	10-14	58-62	0.5Mo
HX		0.35-0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	15-19	64-68	0.5Mo

TABLA 2

Los porcentajes de los elementos para estas aleaciones son: de 8% al 32% Cromo, 0% a 68% Niquel y de 13% a 90% hierro excepto para el tipo HA, todos los grados son cubiertos por especificación ASTM, A-297 (aleación fundida para aplicación general resistente al calor, Hierro-Cromo y Hierro-

Cromo-Níquel.), como las aleaciones resistentes a la corrosión, los grados resistentes al calor también contienen pequeñas cantidades de silicio, azufre y fósforo pero el contenido de carbón es considerablemente mas alto que el de otras series. En general los contenidos de cromo y níquel son altos.

Los HH(26Cr-12Ni) y HT(17Cr-35Ni) constituyen la mayor cantidad de la producción de fundiciones de aceros resistentes al calor. Aunque el molibdeno es un constituyente del HA, usualmente no se suma en algunas de las otras clases. Para mejorar cualquier otra condición especial de servicio; el cobalto, columbio, molibdeno, tungsteno y zirconio son algunas veces agregados individualmente en condiciones variadas a los tipos normales de aleaciones.

En contraste a la situación con las aleaciones resistentes a la corrosión, la lista de 15 aleaciones fundidas resistentes al calor, solo cuatro tienen correspondencia con las clases conformadas o forjadas, los tipos 302B, 309 y 310 son comparables en niveles de cromo y níquel en donde su contenido de carbono es más bajo que las aleaciones fundidas HF, HH y HK, estos tienen un contenido mayor de carbono, y eso contribuye grandemente a la resistencia de las aleaciones fundidas a temperaturas altas.

Aun sometidas a bajos esfuerzos, las aleaciones conformadas, tienen relativamente vida corta a valores mínimos de deslizamiento con respecto a su vida total antes de la

ruptura, por otra parte, las aleaciones fundidas, duran el doble en vida útil.

Como un ejemplo de las diferencias entre grados forjados y fundiciones en su comportamiento cuando son sometidos a elevadas temperaturas se tienen las curvas tiempo-deformación en las ilustraciones 1 y 2 para muestras de la aleación fundida **HK-40** y la aleación conformada del tipo **310** a un esfuerzo de 1700Psi y 550Psi (11.7 y 3.8 MN/m²) respectivamente, en pruebas de ruptura por deslizamiento a 982 °C.

Aunque la duración de la ruptura para ambas aleaciones es de la misma magnitud, los valores mínimos de deslizamiento son aproximadamente los mismos, las formas de las curvas son absolutamente diferentes. La muestra de aleación fundida comenzó el valor de deformación acelerada en una tercera extensión de deslizamiento hasta después de los 9000h. La aleación conformada que soporta solo un tercio de carga, inicia del principio de la tercera extensión a los 250h y por 9000h tuvo una elongación del 40% en contraste con una elongación de solo 0.15% para la aleación fundida en el mismo tiempo.

El esfuerzo máximo para aleaciones fundidas con alto contenido de carbono resistentes al calor en un tiempo largo y al servicio de altas temperaturas, generalmente es limitada por el esfuerzo que producirá la ruptura antes del lugar deseado,

mientras que, para las correspondientes aleaciones conformadas o aleaciones resistentes a la corrosión fundidas de bajo contenido de carbono, el criterio de esfuerzo nominal para la misma vida media del trabajo, que resulta en una deformación total aceptable por encima de la vida útil.

ILUSTRACIONES 1 y 2

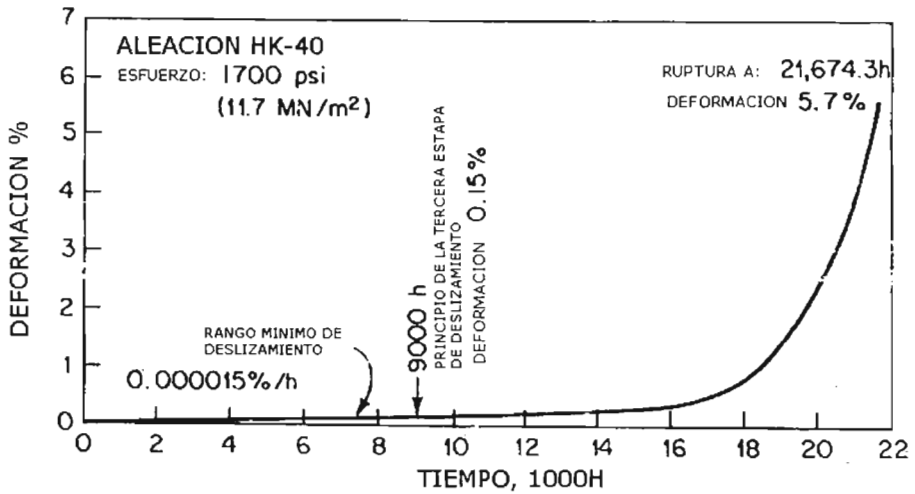


ILUSTRACIÓN 1
COMPORTAMIENTO DE LA ALEACIÓN HK-40 (ACI)

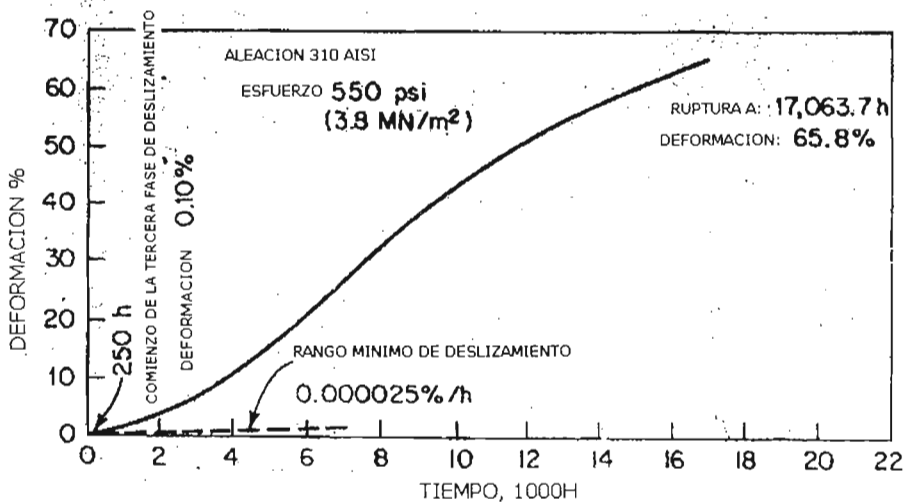


ILUSTRACIÓN 2
COMPORTAMIENTO DE LA ALEACIÓN 310 (AISI)

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ALEACIONES INDIVIDUALES

2.3.1 TIPOS RESISTENTES A LA CORROSION

Las aleaciones fiero-cromo son inoxidables, y particularmente en medios altamente oxidantes, su resistencia a la corrosión aumenta con el contenido de cromo. Aquellos con niveles mas bajos de cromo son Endurecibles por transformación de Austenita a Martensita y pueden dar un rango amplio de propiedades mecánicas. A mas altos contenidos

de cromo son Ferríticos en todas las temperaturas hasta el punto de fusión y no puede ser endurecidas por tratamiento térmico. Aunque los contenidos de níquel son aumentados para mejorar la resistencia de las aleaciones a solución oxidantes de cloruro y neutras. El incremento de molibdeno en las aleaciones aumenta su resistencia al picado en medios que contienen cloruros.

Las aleaciones que contienen cantidades de níquel, tienen micro estructura totalmente Austenita o una combinación de Austenita y Ferrita.

Al igual que las Aleaciones Ferríticas no Endurecibles, las clases Austeníticas, no pueden ser endurecidas por el proceso de transformación Austenita-Martensita.

Hay cinco tipos de aleaciones fundidas resistentes a la corrosión:

1. Martensítica
2. Ferrítica.
3. Endurecido por precipitación.
4. Austeníticas-Ferríticas.
5. Austenítica.

2.3.2 GRADOS MARTENSÍTICOS

Las aleaciones incluidas son CA-15, CA-40, CA-15M Y CA-6NM. El tipo CA-15 es una aleación Fe-Cr que contiene la mínima cantidad de cromo, necesaria para hacer herrumbre.

Tiene también buena resistencia a la corrosión atmosférica, como en muchos medios orgánicos de baja concentración.

El tipo CA-40 tiene una modificación de mas carbono que el CA-15 y puede tratarse térmicamente para nivelar de alta resistencia y dureza.

El tipo CA-6NM es una aleación de Fe-Cr-Ni-Mo de bajo contenido de carbono. La adición de níquel a esta composición, estabiliza el efecto de la ferrita y del carbono y las propiedades de resistencia a la tensión y dureza, y la resistencia al impacto se mejoran. La adición de molibdeno aumenta a la resistencia a la corrosión por agua de mar. Un amplio rango de las propiedades se pueden obtener seleccionando el tratamiento térmico adecuado en el grupo de aleación Martensítica, tales como resistencias a la tensión desde 90 hasta 220 Ksi (621 hasta 1520 MN/m²) y durezas tan altas como 500 Bhn. Las aleaciones se pueden maquinar y tienen buenas propiedades de soldabilidad, si son bien empleadas las propiedades técnicas, tanto en la aleación CA-40

como la CA-6NM. La microestructura de las aleaciones Martensíticas y la resistencia a la erosión que tienen las hacen ser útiles como fundiciones para bombas, compresores, válvulas, turbinas hidráulicas y componentes de maquinaria.

2.3.3 GRADOS FERRÍTICOS

Se encuentran designadas como CB-30 y CC-50.

El tipo CB-30 es una aleación que prácticamente no se endurece por tratamiento térmico. Por balanceo en la composición, los bajo cromo y alto níquel y con los porcentajes de carbono dan algo de Martensita por medio del tratamiento térmico, estas propiedades se asemejan a las del tipo 431.

La fundición del tipo CB-30 tienen una resistencia a la corrosión mayor que el del tipo CA y sus usos se aplican para cuerpos de válvulas. De cualquier forma, su menor esfuerzo al impacto, hace se sustituya en muchas aplicaciones para las clases Austeníticas que contienen un alto contenido de níquel, del tipo CF.

La aleación CC-50M con alto contenido de cromo, tiene buena resistencia a la corrosión oxidante, ácido sulfúrico, ácido nítrico mezclado y líquidos alcalinos.

Es usado en fundiciones que tienen contacto con aguas minerales ácidas y en producción de nitrocelulosa. Para una

mejor resistencia al impacto la aleación se fabrica por encima de 2.0% Ni y 0.15 nitrógeno mínimo.

2.3.4 GRADOS AUSTENÍTICOS

En este grupo se incluyen los CH-20, CK-20, y CN-7M. Las aleaciones CH-20, y CK-20 contienen un alto contenido de cromo y carbono y composiciones totalmente Austeníticas en el cual el cromo excede el contenido de níquel. Tienen mejor resistencia al ácido que el CF-8 y a temperatura elevadas, estas aleaciones son usadas para aplicaciones especializadas en la industria química y del papel para manejo de pulpa y ácido nítrico.

El grado CN-7M contiene níquel como elemento predominante, además de molibdeno y cobre y esta aleación es también resistente al ácido clorhídrico diluido y soluciones de cloro caliente.

2.3.5 GRADOS AUSTENITICOS-FERRITICOS

Las aleaciones en este grupo incluyen a CE-30, CF-3CF-3A, CF-8, CF-8A, CF-20, CF-3M, CF-8C, CF-16F Y CG-8M. La microestructura de estas aleaciones normalmente contienen de 5 a 40 % de ferrita, dependiendo del grado y balance de la cantidad de elementos que proporcionen ferrita, además del grado particular y cantidad de los elementos que proporcionan Austenita en la composición química. Esta ferrita mejora la soldabilidad de las aleaciones. Aumenta su resistencia mecánica y su resistencia a la fractura corrosión bajo tensión.

La cantidad de ferrita en una fundición resistente a la corrosión puede ser estimada con el uso del diagrama de Schaeffler o de la respuesta a instrumentos para medir magnetismo.

El tipo de aleación CE-30 es de alto carbono, alto cromo y tiene resistencia a los ácidos.

Las aplicaciones de esta aleación en la industria papelera y pulpa es extensa, además para fundiciones y ensamblajes soldados que no pueden ser tratados térmicamente.

La aleación CE-30 se designa con un grado de ferrita y su uso se da en la industria petrolera. Los tipos de aleación CE, constituyen la mayor cantidad de producción de fundición resistente a la corrosión. Cuando el tratamiento térmico es correcto, las aleaciones tienen resistencia a una gran variedad de corrosivos y son usualmente considerados para propósitos generales. Sin embargo también tienen una buena función, maquinabilidad y soldabilidad, además de que son duros y fuertes a temperaturas por debajo de 253°C.

Las aleaciones CF-8 tienen excelente resistencia a todas las condiciones fuertemente oxidantes.

El grado CF-20 contiene un porcentaje más alto de carbono y es usado satisfactoriamente en requerimientos para

una menor corrosión que la usada para el CF-8, el tipo CF-3 es específicamente designado para usos donde las fundiciones están soldadas, sin el subsiguiente tratamiento térmico, como en construcción de soldadura de campo.

Los grados CF-8M y CF-3M que contienen molibdeno, tienen una resistencia a reacciones químicas y se usan para ácido acético, ácido sulfúrico, diluidos y en una amplia variedad de corrosivos industriales.

La aleación CF-8M es el grado más frecuente usado en bombas y válvulas resistentes a la corrosión.

El tipo CF-3M tiene un bajo contenido de carbono, que permite el uso de la aleación sin tratamiento térmico, después de soldarlo. El tipo CF-8C contiene columbio, el cual con un tratamiento térmico, combinado con carbono se puede evitar la corrosión intergranular expuestos a temperaturas de formación de carburos de cromo.

Las propiedades mecánicas más altas son específicas para grados CF-3A, CF-8A, y CF-3M por que las composiciones son balanceadas para proporcionar una cantidad controlada de ferrita que logrará la resistencia requerida.

2.3.6 CLASES DE ENDURECIMIENTO POR PRECIPITACIÓN

Las aleaciones que componen esta clase son CB-7Cu y CD-4MCu. El primer tipo de aleación posee bajo contenido de carbono, con una microestructura Martensítica que contiene cantidades menores de Austenita retenida.

La resistencia a la corrosión del CB-7Cu se encuentra entre los del tipo CA y las aleaciones CF no Endurecibles, y se requiere para uso en donde las propiedades de alta resistencia y corrosión sean mejoradas.

Las fundiciones CB-7Cu se pueden maquinar fácilmente y su endurecimiento continua con una baja temperatura, el tratamiento es a 900°C y un tratamiento posterior a 482 °C.

Por esta propiedad la clase CB-7Cu tiene una amplia aplicación para resistir corrosión en fundiciones maquinadas para la industria procesadora de alimentos, etc.

El tipo CD-4MCU es una aleación de dos fases con una microestructura Austenítica-Ferrítica, la cual debido a estos altos contenidos de cromo y bajos de carbono, no se desarrolla u obtiene Martensita con tratamiento térmico.

2.4 TIPOS RESISTENTES AL CALOR.

Hay tres clases de aleaciones resistentes al calor y que tienen las siguientes características generales:

1. Contienen del 8 a 30% de cromo y poco níquel, tienen baja resistencia a temperaturas elevadas, pero excelente resistencia a la oxidación y son usados bajo condiciones oxidantes y en cargas estáticas bajas a temperatura constante.
2. Contienen más del 19% de cromo y más del 9% de níquel son utilizados bajo condiciones oxidantes para resistir cargas moderadas a temperaturas medias.
3. Contienen más del 10% de cromo y más del 23% de níquel, el contenido de níquel más que el de cromo, es para usarse como protectores en condiciones oxidantes, para resistir gradientes de temperatura severos, tales como en partes que están a temperaturas constantes en servicio.

Las fundiciones resistentes al calor tienen la propiedad de resistir ataques corrosivos de gases calientes, por lo que con la adherencia, de capas protectoras de Cr_2O_3 , disminuyen la velocidad de corrosión con el tiempo.

Las especificaciones de aleaciones fundidas, resistentes al calor pueden ser de gran interés si las aleaciones son sometidas a esfuerzos cuando están frías.

2.4.1 GRADOS HIERRO-CROMO

En este grupo se encuentran incluidos los HA, HC, y HD. El tipo Ha es usado por arriba de los 649°C, el contenido de molibdeno aumenta la resistencia en el rango de temperatura de 538-649°C y este tipo de fundiciones se usan en la industria petrolera.

Las aleaciones HC y HD pueden ser usadas en aplicaciones de cargas moderadas, por arriba de 649°C y donde solo se desarrollan cargas ligeras por arriba de 1038°C.

El tipo HD tiene más resistencia que el HC a temperaturas elevadas, por consiguiente tiene un mayor contenido de níquel. Las aleaciones HC y HD pueden desarrollar la formación de fase sigma, si se mantiene por periodos grandes en el rango de temperaturas de 704-816°C.

2.4.2 GRADOS HIERRO-CROMO-NIQUEL

Las aleaciones que se incluyen en esta clase son: HE, HF, HH, HI, HK, y HL. Estas aleaciones son parcial o completamente Austeníticas y su resistencia a altas temperaturas es mayor que las aleaciones de la clase 1, pueden ser usadas en atmósferas reductoras u oxidantes las cuales, pueden contener cantidades moderadas de azufre.

HE; este tipo aleación es adecuado para trabajar por arriba de 1093°C, tiene una resistencia excelente a la corrosión en temperaturas altas y es de bajo contenido de azufre.

HF; en composición es similar a los grados de corrosión CF, excepto que el contenido de carbono es mayor. Las fundiciones de estas aleaciones operan en el rango de temperaturas de 649°C a 871°C en refinerías de petróleo para soporte de tubos y en fabricas de cemento.

HH; este tipo de aleaciones tienen una alta resistencia a la oxidación a temperaturas por arriba de 1093°C. Estas propiedades la hacen una aleación útil y se considera la de mayor producción de todas las fundiciones resistentes al calor. De acuerdo a su composición pueden ser particularmente Ferríticas o totalmente Austeníticas.

HI; esta aleación tienen mayor resistencia a la oxidación que las HH y puede trabajar por arriba de los 1176°, sus propiedades mecánicas son similares a las HH.

HK; este tipo de aleación es completamente Austenítica, tienen alta resistencia a la oxidación y es una de las aleaciones más estables y resistentes al calor a temperaturas por arriba de los 1038°C.

Pueden utilizarse en estructura por arriba de 1149°C, pero no es recomendable en atmósferas con alto porcentaje de azufre en donde los choques térmico son un factor severo.

El grado HK es ampliamente usado en partes que requieran alta resistencia al deslizamiento. La variedad HK-40 (0.35-0.45% de carbono) es del tipo para la fabricación de la tubería fundida centrifugada usada en petroquímica y procesos de refinación del petróleo

HL; este tipo de aleación es similar al HF, su diferencia es que tienen un porcentaje mayor de carbono, la composición de esta aleación es la más resistente a la corrosión en atmósferas que contienen un porcentaje alto de azufre, en un grado de temperatura por arriba de 982°C.

2.4.3 GRADOS HIERRO-NÍQUEL-CROMO

Esta clase se compone de las aleaciones HN, HP, HT, HV, HW, y HX estas aleaciones tienen como elemento predominante o metal base al níquel y tienen un tipo de estructura Austenítica estable que no es sensible a variaciones de composición, como los grados de la clase II de cromo predominantemente. Este grupo con alto contenido de níquel constituye alrededor del 40% de la producción total de fundiciones resistentes al calor estas aleaciones pueden trabajarse por arriba de los 1149°C, tienen buena resistencia a la alta temperatura, no se carburizan fácilmente y tienen excelente vida de servicio cuando se someten a cambios bruscos de temperatura (Calentamientos y enfriamientos rápidos).

El tipo HN tienen alta resistencia comparada con el tipo HK-40 a 982°C y puede usarse extensamente por arriba de los 1149°C.

El tipo HP tienen contenidos más altos de cromo y níquel que el HN, lo cual da una resistencia a la corrosión por gas caliente en ambas atmósferas oxidantes y reductoras en el rango más elevado de temperatura.

El tipo HT puede trabajarse satisfactoriamente a temperaturas por arriba de los 1149°C en atmósferas oxidantes y 200°C en atmósferas reductoras. Esta aleación es muy

resistente, a medios carburizantes y es usado ampliamente para rieles, discos, cadenas, y accesorios fijos sujetos a calentamientos cíclicos.

El tipo HV es aun más alto en porcentaje de níquel y cromo es como una modificación del tipo HT, con frecuencia se recomienda usarse para condiciones severas a causa del aumento de cromo y níquel.

Los estrictos requerimientos para servicio en condiciones severas en el cual las altas aleaciones son empleadas demandan un control de todas las operaciones de fundición para que la producción sea de la calidad requerida. Las fundiciones resistentes al calor y corrosión, son componentes indispensables de muchos sistemas de procesos industriales de gran uso. Como tal, ellas contribuyen en gran medida a la operación eficiente de equipos industriales modernos.

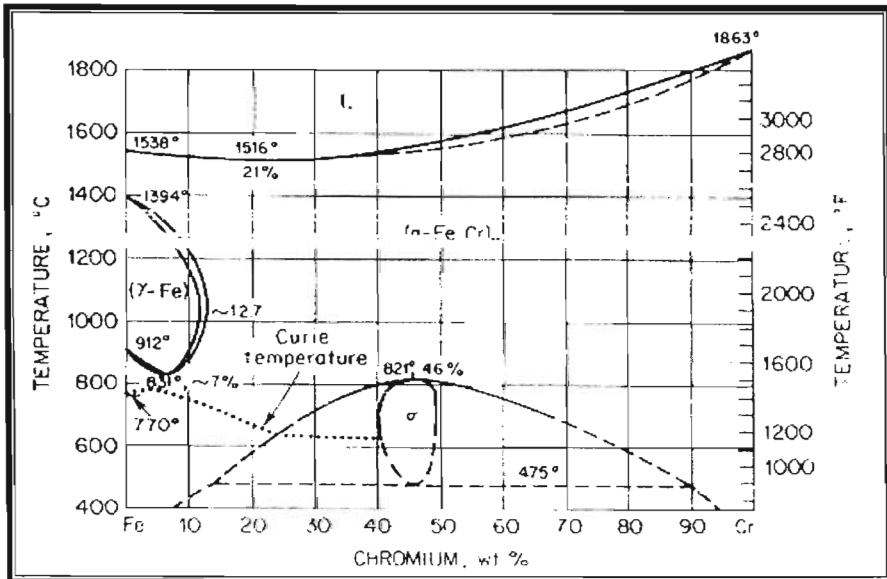
Los fabricantes de químicos, procesadores de alimentos, refinerías, industrias farmacéuticas, industrias del papel , etc, son usuarios de fundiciones resistentes a la corrosión, para el manejo de líquidos y equipo de control.

CAPITULO 3
INFLUENCIA DEL CROMO Y OTROS
ELEMENTOS EN LA ESTRUCTURA Y
PROPIEDADES DE LOS ACEROS
INOXIDABLES

3.1 EFECTOS EN MICROESTRUCTURA

Los aceros inoxidables son una clase de aleaciones caracterizadas por su resistencia a la corrosión, a temperatura ambiente y a alta temperatura. En los aceros inoxidables, la inoxidabilidad o pasividad es impartida solamente por la adición del cromo, otros elementos de aleación, refuerzan el efecto del cromo en otros medios e imparten otras propiedades especiales las cuales pueden ser establecidas entre las características de los aceros inoxidables.

La influencia del cromo en la estructura de hierro es mostrado por el siguiente diagrama binario hierro-cromo.



Se puede observar que al incrementar el cromo se reduce la presencia de la Austenita la cual existe hasta aproximadamente 12% de cromo, la Ferrita es estable a todas las temperaturas después del 12% de cromo. En el sistema hierro-cromo la Austenita no existe por arriba de 1390°C o por debajo de 830°C. Aunque el Hierro con exceso del 12% de Cr es ferrítico a todas las temperatura, los aceros inoxidable ferríticos comerciales contienen arriba del 27% de Cr, pueden contener algo de ferrita a temperaturas elevadas a causa de la presencia del carbono y nitrógeno en pequeñas cantidades.

3.2 EFECTO DE FRAGILIDAD POR FASE SIGMA

La fase sigma fue descubierta por Bain y Griffiths en 1927. la fase sigma tiene una estructura cristalina tetragonal compleja lo cual refleja, un rango de orden en algunas aleaciones con ciertos sitios cristalográficos. La fase sigma se forma en la de transición de la aleación y el importante primeramente por que estos efectos deterioran las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión.

El diagrama comúnmente aceptado para fase sigma en el sistema hierro-cromo es el diagrama binario de la figura A. Las modificaciones a este diagrama han sido propuestas en donde hierro alfa y un rico precipitado de cromo designado "sigma" son mostrados para existir aproximadamente por debajo de 520°C.

En aceros inoxidable ferríticos con pequeñas cantidades de otros elementos y particularmente los estabilizadores de

ferrita, agrandan ampliamente el efecto del cromo y forman fase sigma. Muchos de los aceros inoxidable austeníticos más comunes, que tengan más del 17% de cromo pueden desarrollar fase sigma. En estos aceros los cuales contienen Austenita y ferrita, la formación de la fase sigma, ocurre dentro de la ferrita.

En los aceros completamente austeníticos, tales como el tipo 310, forman fase sigma directamente desde la Austenita usualmente a lo largo de los límites de grano.

3.3 FRAGILIDAD DE LOS ACEROS AL CROMO

La fragilidad puede ocurrir en aceros inoxidable al cromo, que contienen más o alrededor de 15% de Cromo, en el rango de temperaturas de 370°C-540°C con una fragilidad máxima a 475°C. Se esta propenso al aumento de la fragilidad con el aumento de cromo y el tiempo de exposición a la temperatura.

La fragilidad de esta especie esta condicionada por la formación de un cubo centrado en el cuerpo compuesto de hierro y cromo que contienen de 70% a 80% de cromo. Las temperaturas a la cual ocurre la fragilidad es entre 605°C y 790°C, y es debido a la precipitación de fase sigma; esto puede ser notado en el cambio de ductilidad; resistencia al impacto y resistencia a la torsión, representando un rango de fragilidad, que puede ser observado para un acero de 27% de cromo después de 1 hora a 475°C, mientras que la fragilidad severa existe después de 50 hrs.

Se puede observar que el aumento de la resistencia a ataques de ácido disminuye el ataque al límite de grano y el oscurecimiento de la ferrita, esto se observó como resultado de la fragilidad. La formación de un precipitado rico en cromo en una estructura del tipo cúbica centrada en el cuerpo y acompañada con la fragilidad dio la base para una explicación de los cambios en la estructura y propiedades asociadas a la fragilidad.

3.4 INFLUENCIA DEL NIQUEL

El níquel amplía el campo de estabilidad de la Austenita (elemento estabilizador de la Austenita). Rebaja la temperatura a la que ocurre la transformación Ferrita-Austenita de tal manera que la aleación hierro-níquel con 25% de níquel presenta estructura austenítica a temperatura ambiente.

3.5 INFLUENCIA DE OTROS ELEMENTOS

MANGANESO:

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

- Favorece la formación de la fase sigma en los aceros ferríticos del 25 a 30% de cromo

- Con contenidos superiores al 10% conseguimos aceros austeníticos.
- Inhibe la fragilidad en caliente al formar sulfuro de manganeso.

INFLUENCIA DEL SILICIO

Es un elemento estabilizador de la ferrita, ya que favorece la formación de la ferrita y por consiguiente la formación de la fase sigma en los aceros ferríticos del 25 a 30% de cromo, y en los austeníticos con cromo superior a 19%.

Amplia los intervalos de composición y temperatura en que resulta estable la fase sigma. Para formar la fase sigma a 600°C en las aleaciones hierro-cromo el contenido del cromo deberá ser superior al 30%. En los aceros con 10% de silicio y 14% de cromo se consigue precipitar fase sigma a 600°C.

- Favorece la formación de estructuras bifásicas (ferrita y Austenita).
- Aumenta la resistencia en caliente.
- Aumenta considerablemente la temperatura de transformación Ac_1 y reduce la capacidad de temple al aire, también reduce la temperatura del punto crítico Ac_3 .

INFLUENCIA DEL AZUFRE, SELENIO Y FÓSFORO

Aunque estos elementos son nocivos en los aceros, se emplean en cantidades superiores al 0.1% en los aceros de gran maquinabilidad. Dificultan la ejecución de la soldadura. En general disminuyen la resistencia a la corrosión.

INFLUENCIA DEL MOLIBDENO

Es un elemento estabilizador de la ferrita, aumenta la resistencia mecánica en caliente de los aceros austeníticos. Favorece la pasividad y resistencia química en presencia de ácidos reductores y de iones cloro.

Aumenta la resistencia de los aceros ferríticos en los ácidos orgánicos. Los aceros de 17% de cromo y 25% de molibdeno resisten el ataque del ácido acético hirviendo y de las soluciones tartáricas y cítricas hirvientes y están protegidos a la corrosión por picaduras. Favorece la maduración de los aceros endurecibles por precipitación, precipitando compuestos de hierro-molibdeno y hierro-molibdeno-cromo.

INFLUENCIA DEL VOLFRAMIO

- Es un elemento estabilizador de la ferrita y por consiguiente favorece su formación.
- Mejora las características mecánicas en frío y en caliente y tiene poca influencia en la resistencia a la corrosión.
- También mejora la resistencia a la fluencia de los aceros refractarios.

INFLUENCIA DEL ALUMINIO

Mejora sensiblemente la resistencia a la corrosión en ambientes salinos, tiene una influencia similar a la del silicio en los aceros refractarios.

Favorece la formación de estructuras bifásicas (Ferrita y Austenita)

En un acero al níquel al aluminio puede precipitar compuestos que den lugar a endurecimientos estructurales. Es un elemento estabilizador de la ferrita su formación.

INFLUENCIA DE NITRÓGENO

Es un elemento estabilizador de la Austenita y produce efectos análogos a los del carbono, reduce sensiblemente la tendencia a la corrosión por picaduras.

INFLUENCIA DEL COBRE

Aunque no influye sensiblemente sobre la dureza de la Martensita, si favorece el endurecimiento secundario. Influye notablemente en la maduración de los aceros inoxidables endurecibles por sensiblemente, mejora la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables y se le puede considerar un elemento estabilizador de la Austenita, los aceros martensíticos con 1.2% de cobre se forjan muy bien y se consiguen buenas resiliencias de un tratamiento térmico.

INFLUENCIA DEL VANADIO

Es un elemento estabilizador de la Austenita, es peligroso emplearlo en los aceros inoxidable martensíticos.

Aumenta la templabilidad y puede emplearse como controlador del tamaño de grano.

INFLUENCIA DEL BORO

Es un elemento estabilizador de la ferrita y también tiene aplicación en los aceros Endurecibles por Precipitación al provocar el endurecimiento estructural de la Austenita. Si se aumenta el contenido de boro disminuye sensiblemente la resiliencia. En general, mejora la resistencia a la tracción y la fluencia de los aceros refractarios, pero reduce muy sensiblemente su resistencia a la corrosión.

3.6 DIAGRAMA DE SCHAEFFIER

Una forma de valorar el efecto de los distintos elementos consiste en referir al cromo todos los elementos estabilizadores de la ferrita y al níquel los elementos estabilizadores de la Austenita.

El diagrama de Schaeffier refleja las estructuras en función de los equivalentes de los elementos estabilizadores de ferrita y estabilizadores de Austenita en aceros inoxidable depositados por soldadura.

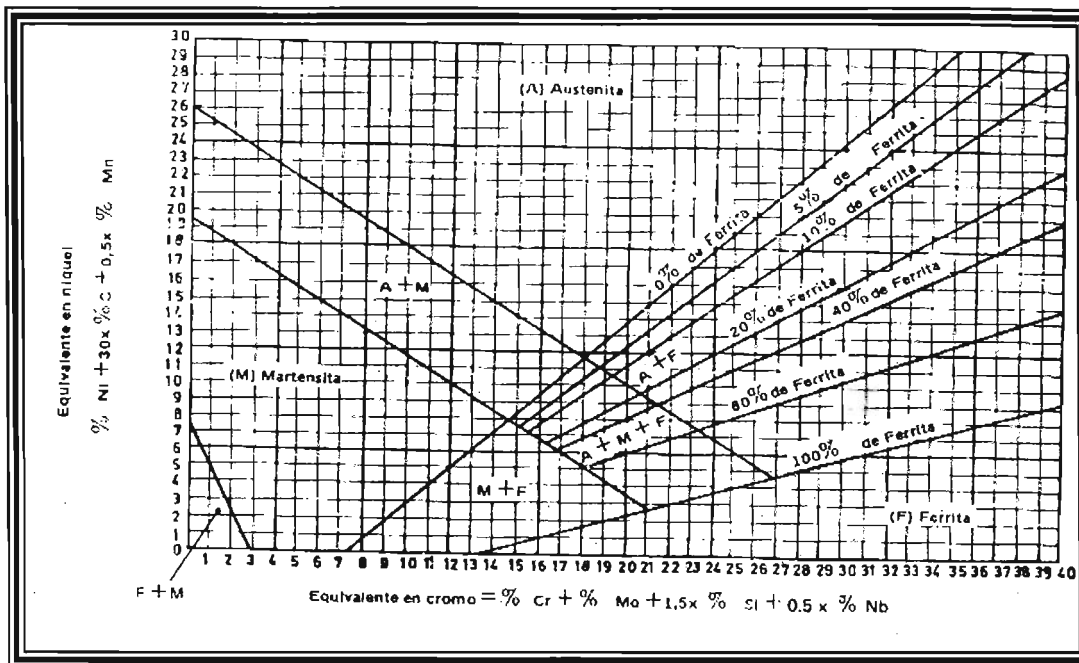


DIAGRAMA DE SCHAEFFIER

CAPITULO 4
MICROSCOPIA CUANTITATIVA

4.1 VARIABLES DE LAS MEDIDAS BASICAS

Los metalúrgicos han confiado, en la descripciones cuantitativas de las microestructuras. Los aspectos estructurales clasificados por comparación de diagramas patrón describen muchos aspectos de tipo estructural. Para algunos muestreos, la exactitud de tales clasificaciones, aunque limitada, es suficientemente precisa para el fabricante de acero, ya que determina si cierto tratamiento del acero, es inherente al grado fino. Esto es cierto mientras el tamaño de grano del material es considerablemente más fino que la línea divisoria entre fino y grueso. Los métodos comparativos funcionan mejor cuando uno caracteriza los cambios de microestructura.

El tamaño de grano es el aspecto estructural mas receptivo para evaluar por clasificaciones de patrones.

Cuando más de un aspecto de la estructura cambia. Los métodos de comparación no pueden cubrir todos los grados y combinaciones del cambio. El método depende básicamente de la clasificación de fotografías, y los errores influyen en la exactitud llegando a ser altamente dependientes de la opinión subjetiva.

Para la investigación y control de calidad, la comparación de la clasificación de patrón son generalmente poco satisfactorias.

Este es un precepto básico de la metalurgia física, y ejerce una influencia considerable sobre propiedades y

comportamientos. Estas tendencias pueden mejorar la identificación y evaluación de la continua aplicación de los métodos de microscopia cuantitativa. Históricamente, la metalografía cuantitativa es relativamente un nuevo campo.

Excepto para el concepto general de tamaño de grano, ninguno de los metalurgistas tiene una técnica adecuada para la metalografía cuantitativa.

En metalografía normalmente se utiliza el microscopio óptico y el electrónico, estos instrumentos contribuyen a la investigación de las características microestructurales de todo tipo de materiales, la mayoría de estos aparatos lleva acoplado un equipo fotográfico; la fotografía que recoge la imagen microscópica se llama fotomicrografía.

Con el microscopio óptico se utiliza la luz para estudiar la microestructura; sistemas ópticos y de iluminación son los principales elementos. En aquellos materiales que son opacos a la luz visible (todos los metales y muchos cerámicos y polímeros) solo la superficie es susceptible de ser observada, y la luz del microscopio se debe usar en reflexión. Las distintas regiones de la microestructura originan diferencias en la reflexión y estas producen contrastes en la imagen. Esta investigación se suele denominar metalográfica.

4.1.1 MUESTREO

Para obtener el dato significativo estereológico, los muestreos representativos deben seleccionarse y prepararse adecuadamente. Esto implica que los muestreos elegidos deben retratar fielmente la estructura de la probeta, esto se complicara si la microestructura varia. El muestreo aleatorio se emplea para obtener datos estadísticos importantes, en todas las regiones y las orientaciones de la estructura, y estas tienen oportunidad igual de ser cortadas y probadas.

Obviamente si la estructura constantemente varia a través de la sección de cruz, el muestreo aleatorio no producirá datos significativos, en este caso la prueba debe definir la variación con respecto a alguna dirección fija, en la practica el muestreo verdaderamente aleatorio es difícil de desempeñar, por la sección, tamaño y forma, así como también las consideraciones económicas pueden prohibir tal muestreo en tales casos.

Para pruebas de componentes grandes o múltiples desde el mismo lingote, es necesario especificar la ubicación y orientación de los componentes y áreas de prueba con respecto a sus ubicaciones originales de lingote, así, la microestructura puede variar también y los componentes procesados tienen diferentes resultados en la microestructura, por el resultado del proceso.

4.1.2 PREPARACIÓN MUESTRAS

Después de que las muestras deseadas, sean cortadas e identificadas, serán preparadas por inspección. El pulido y el ataque revela más firmemente la microestructura sin distorsión. Las conclusiones erróneas pueden resultar con consecuencias económicas drásticas. La estructura real puede ser revelada claramente para realizar estudios significativos.

El pulido y el ataque no producen alteración en el tamaño y espacio de los constituyentes.

4.1.3 SELECCIÓN DE CAMPO

Después de la preparación de la muestra, las mediciones pueden empezar a realizarse. Para el manual de mediciones, hay una gran variedad de redes de prueba que pueden ser empleados por cualquier ocular cuadrículado o como proyección sobrepuesta. Algunos grados de automatización son posibles con métodos manuales. Si la imagen de análisis es empleada, el operador selecciona y desarrolla un programa en la memoria de la computadora para ejecutar con las medidas requeridas, acumula y analiza los datos, y salen en una forma conveniente.

El operador tienen que decidir, en cualquier caso cuantos campos son medidos y cuantos espacios de campos, además debe seleccionar la mejor magnificación. La magnificación

escogida es un arreglo entre la resolución de la estructura y el campo de área.

Las medidas de áreas necesarias, se obtienen de ciertas medidas exactas que dependen de la homogeneidad de la estructura. En cualquier trabajo es prudente medir cualquier número de campos y calcular la exactitud relativa de las mediciones que determinan cuantos campos son requeridos y se obtiene una exactitud relativa específica.

4.1.4 TAMAÑO DE GRANO

La determinación del tamaño de grano de materiales policristalinos es probablemente la única medida metalográfica más importante, porque de la influencia del tamaño de grano son sus propiedades y comportamiento. El problema de la determinación del tamaño de grano en tres dimensiones en la base de medidas planares tienen confusiones hacen dudar la investigación.

La determinación del espacio del tamaño de todos los granos dentro de un volumen es una tarea muy difícil.

4.1.5 FORMA DE GRANO

Básicamente las formas de grano más exhibidas es el espacio lleno y la superficie de caras entre granos, debe tener conformado las leyes que gobiernan la tensión.

En 1894, Lord Kelvin demostró que la forma optima del espacio lleno con un mínimo de superficie es el tetra-octaedro (cubo ecta-hedro u octaedro truncado). Esta figura es un ectahedro con 14 caras. Cumplir con las superficies de tensión requeridas y descritas por Plateau que no más de tres granos pueden encontrarse en un margen y no más de cuatro márgenes pueden encontrarse en una esquina.

Como quiera que no se encuentren los requerimientos de ángulos de 120° dihedral entre límites de grano, donde tres granos colindantes se encuentran en margen, puede ser satisfecho por la presencia de una ligera doble curva de las caras, la cual proporciona los cambios de superficie de área entre 4%. Otra forma de interés es la pentagonal dodecaedro con 12 lados de cara.

En la medición del tamaño de grano, algunos procedimientos se pueden emplear, tales como:

- ◇ Comparación con trazo de diagramas normales.
- ◇ Fractura del tamaño de grano.

- ◇ Método planimétrico.(JEFRIES)
- ◇ Método intersección.
- ◇ Método intersección Zinder-Graff.
- ◇ Método de la distribución del tamaño de grano.

4.2 METODO JEFRIES PLANIMETRICO

El método planimétrico desarrollado por Jefries se ha usado por muchos años y proporciona una medida en el número de granos por unidad de área de la sección plana, la cual puede ser relacionada directamente al número de escala de la ASTM tamaño de grano.

El método Jefries es ejecutado por el dibujo de un círculo o rectángulo, típicamente 79.8 mm en diámetro (5000mm²), en una foto micrografía o en una transferencia de una proyección .

La magnificación ajustada proporciona mínimo 50grs. Dentro de las medidas de área. Un conteo es echo del número de grano completamente dentro del área n_1 y el número de intersección de granos, en el perímetro del área de prueba n_2 .

El total de $\frac{n_1 + n_2}{2}$ es multiplicada por el factor f de Jefries por la magnificación empleada, se obtienen un número estimativos de granos por milímetros cuadrados.

$$N_A = f \left(\frac{n_1 + n_2}{2} \right)$$

Donde N_A es el número de granos por milímetro cuadrado en 1x. El valor de f por alguna magnificación M puede ser descrito por uso de la siguiente ecuación:

$$f = \frac{M^2}{5000}$$

El promedio de grano de área A es obtenido por la siguiente ecuación:

$$A(\text{mm}^2) = \frac{1}{N_A} \quad \text{o bien;} \quad A(\text{Um}^2) = \frac{10^6}{N_A}$$

El diámetro medio de grano d es obtenido como sigue:

$$d(\text{mm}) = A^{1/2} = \frac{1}{N_A^{1/2}}$$

el número de tamaño de grano ASTM, G puede ser calculada desde N_A usando la siguiente relación:

$$G = \left(\frac{\log N_A}{\log_2} \right) - 2.95 \quad \text{o también:} \quad G = 3.322 \log N_A - 2.95$$

CAPITULO 5
EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

5.1 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

- El presente trabajo tiene por objetivo:

Conocer la estructura y realizar el conteo de la precipitación de carburos en la aleación HK-40, cuando este material es sometido a 350°C, 450°C, y 550°C con tiempos de 1, 3, 5, y 10 horas respectivamente así como la variación de la dureza debida a estos cambios de temperatura y tiempo.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA ALEACIÓN HK-40

Es una aleación con Austenítica estable sobre su rango de temperatura. Como fundición, posee una abundancia de carburos, en forma aislada o de cadena. Después de envejecer con ayuda de temperatura, se precipitan finos carburos granulares, dándole a la aleación una resistencia al deslizamiento.

El desequilibrio de composiciones son posibles resultando en ferrita, cuando puede transformarse en fase sigma, es en este momento en el que se encuentra retenida la Austenita en una temperatura de 815°C por un corto tiempo.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Límites de carbono: 0.2-0.6% C
- Cromo: 18-20%
- Níquel: 22-24%

Designación:

- ASTM número A297, grado HK
- SAE 70310, AMS 5365
- 26CR-20Ni, nombre comercial; UNS número j94224
- Instituto de Aleaciones Fundidas (ACI) HK-40

APLICACIONES

Es muy usado en partes estructurales sometidas a esfuerzos por arriba de 1150°C; rodillos de lingote, instalaciones bronceadas, rollos transportadores, arcos de puerta para horno, turbinas de gas, motores de avión y partes donde se requiera resistencia al deslizamiento.

La aleación HK-40 ofrece buena resistencia a la corrosión para gases calientes, incluyendo gases sulfurosos, oxidantes, y en condiciones de reducción. Este es usado en aire, amoníaco, hidrógeno y en sales de fundición neutras.

La aleación HK-40 no puede ser endurecida por tratamiento térmico.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Propiedades a la tensión 517 Mpa (75 ksi), cedencia del 0.2% de tensión, 345 Mpa(50Ksi), elongación 17% en 50 mm o dos envejecimientos en 24 horas en 760°C con aire refrigerado, resistencia a la tensión 586 Mpa (185Ksi), cedencia 0.2% de tensión 345 Mpa (50Ksi); elongación 10% en 50mm o mínimo (65Ksi); cedencia al 0.2% de tensión, 241 Mpa (35Ksi); elongación 10% en 50 mm o 2.

DUREZA

Como fundición, 170 HB, envejecido 24hrs en 760°C en aire frío: 190HB

Relación de poisson: 0.30

Módulos elásticos: en tensión a 21°C(70°C), 186Gpa (27X10 Psi)

Resistencia al impacto(22ft-lb)

MÉTODOS DE SOLDABILIDAD

Protección por arco metálico, arco en gas inerte y métodos de gas oxiacetileno, soldar con protección por arco metálico es más satisfactorio para aplicaciones a alta temperatura. Los electrodos de revestimiento de composición similar (AWS E310-15 alto carbono) son generalmente usados para soldadura.

5.3 METODOLOGIA

- Para llevar a cabo la presente investigación se utilizó el siguiente equipo:
 - Cortadora de disco
 - Horno de mufla
 - Pulidora de lija
 - Reactivo cloruro-férrico
 - Microscopio metalográfico
 - Cámara fotográfica
 - Durómetro Vickers

Para la obtención de los resultados se realizó el siguiente procedimiento:

- Las muestras de acero se tomaron de un tramo de tubo de acero HK-40 del cual se cortaron 13 muestras cuadradas de 2 cm de lado por un centímetro de grosor, se dejó una muestra sin tratamiento y las restantes se metieron al horno para el tratamiento de revenido.
- Todas las probetas se sacaron del horno y se enfriaron al aire.
- Después del tratamiento se procedió al pulido y ataque de las probetas con reactivo de cloruro férrico.
- Se continuó con la toma de fotomicrográficas
- Se obtuvo el porcentaje de carburos de cromo
- Se llevaron a cabo pruebas de dureza, con el fin de conocer la variación que el material pudiera tener cuando es sometido a tratamiento de revenido.

5.4 HIPÓTESIS

De acuerdo a la estructura y propiedades del acero inoxidable HK-40 se espera una ligera precipitación de carburos y una variación pequeña de la dureza, ya que las temperaturas y los intervalos de tiempo a los cuales será sometido el material son relativamente valores bajos como para que se produzca una alta precipitación de carburos y cambios drásticos en la dureza. En la metalografía se espera un ligero crecimiento de grano y carburos de cromo en los límites de grano,

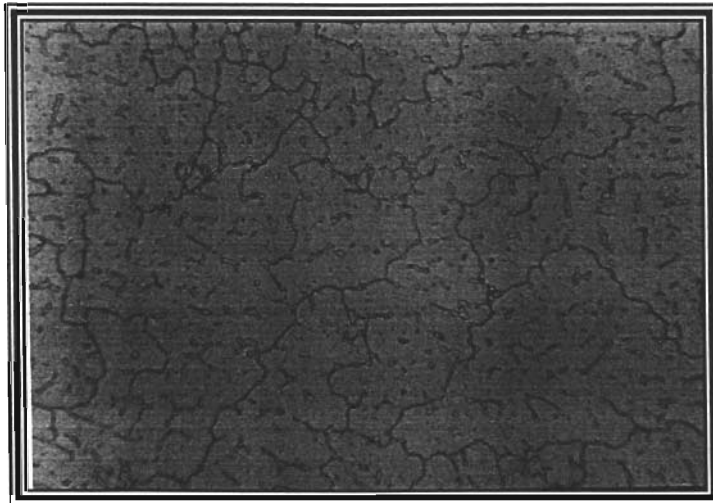
conforme vaya aumentando la temperatura y el tiempo expuesto de la probeta en la mufla.

5.5 ANÁLISIS Y RESULTADOS

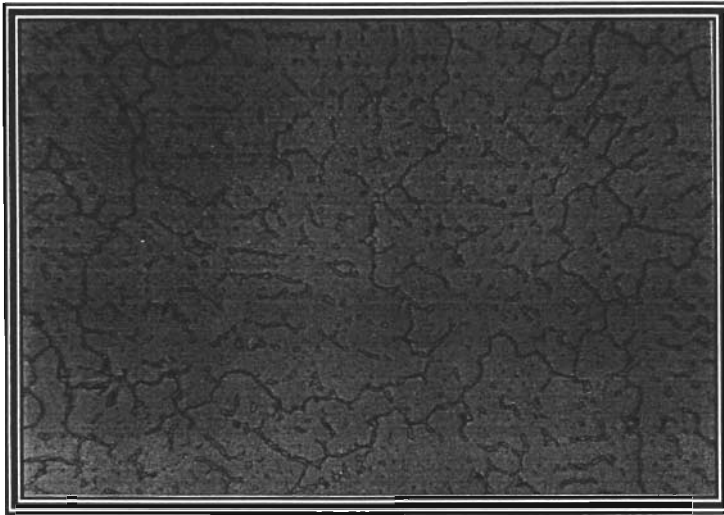
- Las temperaturas e intervalos de tiempo que las probetas permanecieron en la mufla están indicadas en la siguiente tabla a excepción de la probeta de muestra:

TIEMPO	TEMPERATURAS		
	350 °C	450°C	550°C
1HORA	1	1	1
3 HORAS	1	1	1
5 HORAS	1	1	1
10 HORAS	1	1	1
TOTAL DE MUESTRAS	4	4	4

A continuación se muestran las microfotografías tomadas a 100x de las probetas muestra y las que se sometieron a 5 y 10 horas a 550°C, en las cuales se aprecia un aumento ligero del tamaño de grano. Se muestran solo las microfotografías más representativas.



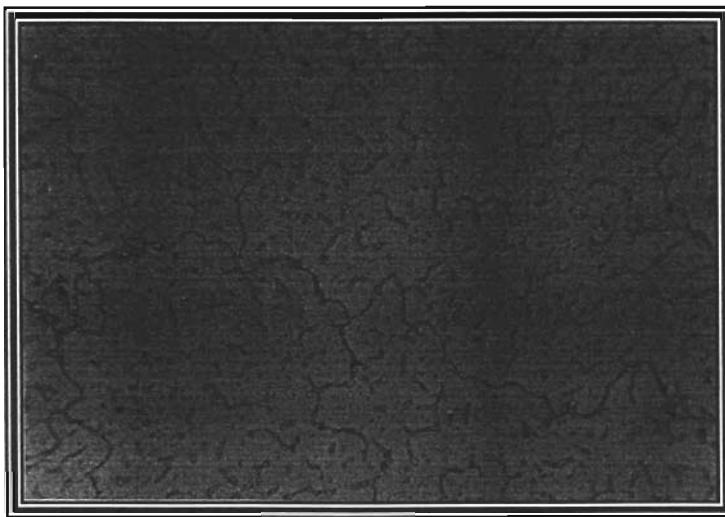
Metalografía de probeta muestra (sin tratamiento)



Metalografía de probeta a 550°C , 3 horas



Metalografía a 550°C , 5 horas

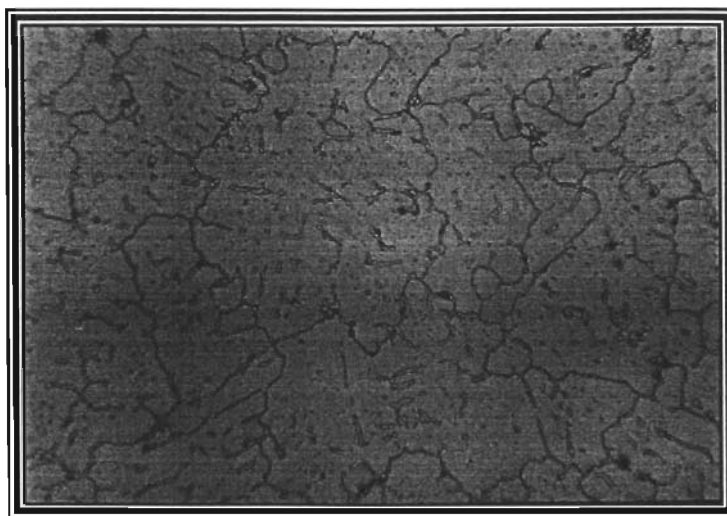


Metalografía de probeta a 550°C, 10 horas.

Las siguientes microfotografías muestran poca variación de tamaño de grano. Se muestran solo las microfotografías más representativas.

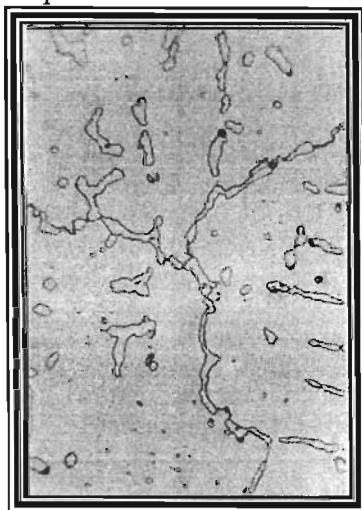


Fotomicrografía a 450°C, 5 horas

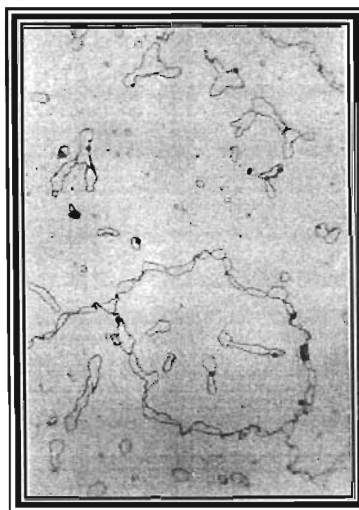


Fotomicrografía a 450°C, 10 horas

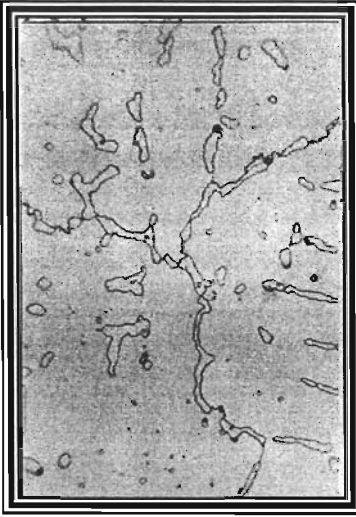
Las siguientes fotomicrografías fueron tomadas con aumentos de 400x , no se aprecia de forma clara el aumento del tamaño de grano debido a la amplitud del tamaño, sin embargo se aprecia ligeramente en los límites de grano un engrosamiento lo que indica la precipitación de carburos de cromo.



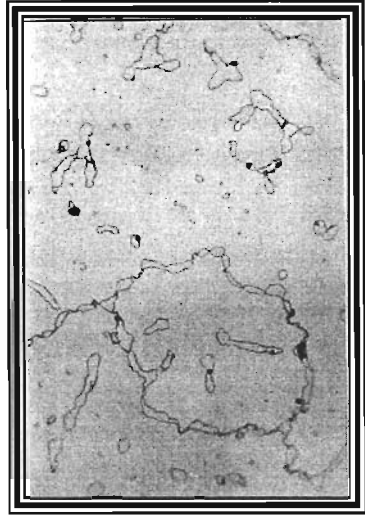
Metalografía de probeta muestra



Metalografía de probeta a 350°C, 10 horas



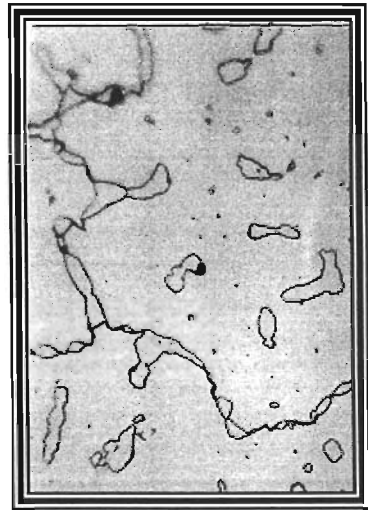
Metalografía de probeta a
450°C, 5 horas



Metalografía de probeta a
450°C, 10 horas



Metalografía de probeta a
550°C, 5 horas



Metalografía de probeta a
550°C, 10 horas

El método empleado para obtener los porcentajes de carburos de cromo se presenta a continuación:

1. Se dividió cada fotografía en cuadrados de 5 cm cada una.
2. Se trazaron cuadrados, rectángulos y círculos alrededor de los carburos precipitados y se obtuvo su área aproximada para obtener la cantidad de carburos de cromo.
3. La cantidad de carburos de cromo se resto del área total (matriz austenítica)
4. Finalmente se obtuvieron los porcentajes.

Estos resultados se presentan en la tabla 1.

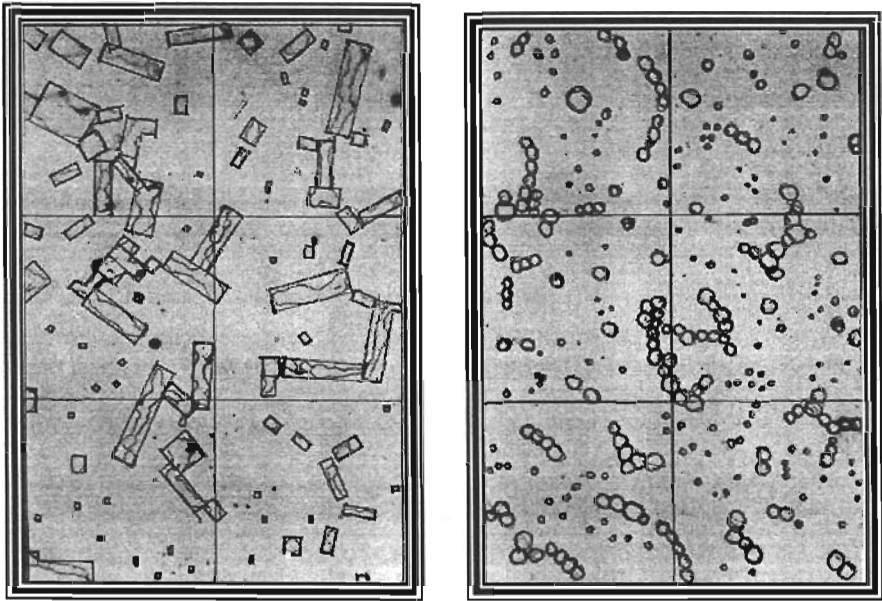
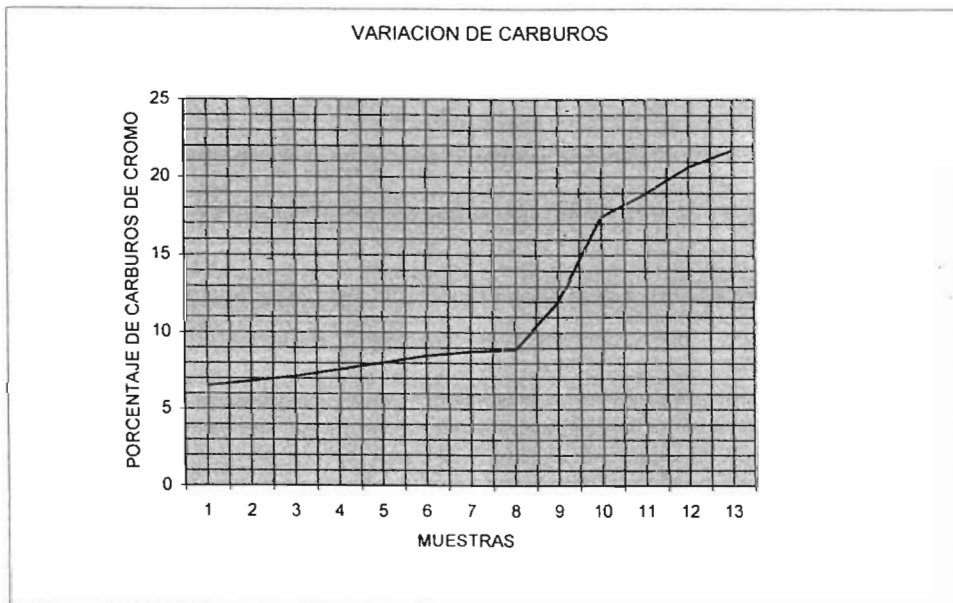


TABLA 1
Resultados De Los Porcentajes De Carburo

	AREA DE AUSTENITA EN MILIMETROS CUADRADOS	AREA DE CARBUROS DE CROMO EN MILIMETROS CUADRADOS	PORCENTAJE DE AUSTENITA (%)	PORCENTAJE DE CARBUROS DE CROMO (%)
PROBETA DE MUESTRA	13985.84	1064.2	93.5	6.5
MUESTRAS A 350°C	13995.65	1084.39	93.2	6.8
	13945.58	1104.46	92.88	7.12
	13874.74	1175.3	92.42	7.58
	13808.74	1241.3	92	8
MUESTRAS A 450°C	13737.69	1312.35	91.54	8.46
	13696.1	1353.94	91.27	8.73
	13673.71	1376.33	91.13	8.87
	13197.33	1852.71	88.06	11.94
MUESTRAS A 550°C	12343.54	2706.5	82.55	17.45
	11993.5	2856.5	79.55	18.95
	11493.31	3056.41	76.07	20.65
	10790.26	3406.32	72.11	21.72

GRAFICA 1



ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

De la grafica 1 se observa que cuando se incrementa la temperatura, tenemos un aumento de la dureza principalmente en las ultimas cuatro probetas.

COMPORTAMIENTO DE LA DUREZA

Las siguientes tablas muestran el comportamiento de la dureza en cada una de las probetas, se tomaron 20 lecturas de dureza por cada muestra. Al final se tiene el promedio de la dureza en escala Vickers. Estas lecturas son resultado de confrontar los valores obtenidos en el durómetro Vickers y tablas que de acuerdo al valor de la diagonal de la pirámide de diamante da el valor de la dureza.

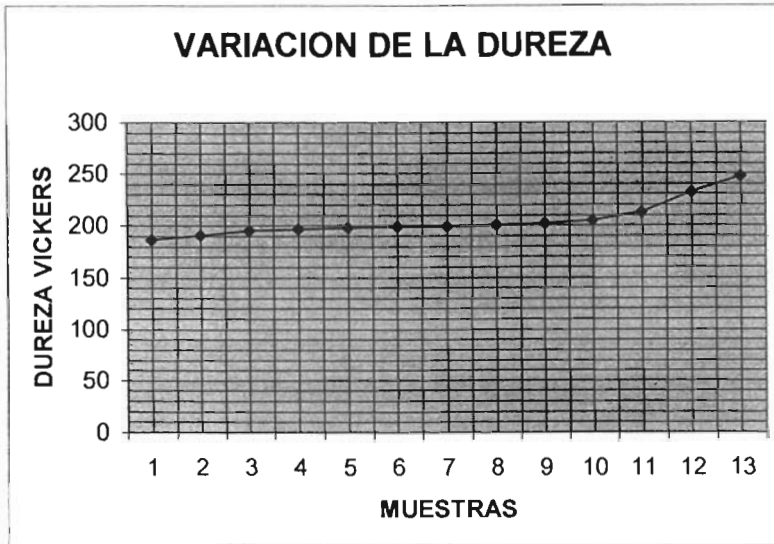
TABLA 2

TEMPERATURA: 350 °C				TEMPERATURA: 450 °C			
1 HORA	3 HORAS	5 HORAS	10 HORAS	1 HORA	3 HORAS	5 HORAS	10 HORAS
189	258	176	204	219	189	189	204
189	204	176	189	219	204	189	219
189	204	189	204	189	189	204	219
189	189	189	204	189	189	189	189
204	189	219	219	189	204	189	204
189	204	204	204	176	189	204	189
176	176	204	219	219	204	204	204
204	189	189	189	189	204	189	189
189	189	189	204	176	189	204	204
204	189	204	219	189	219	219	176
189	189	189	204	189	165	204	218
204	176	176	204	189	204	219	189
189	204	176	189	219	189	219	204
189	189	204	189	219	219	189	189
204	189	204	176	204	204	189	218
204	176	189	176	219	219	189	204
189	204	204	176	219	204	189	204
189	204	219	204	189	204	219	189
165	204	219	189	189	189	219	204
176	176	219	204	189	204	189	219
191	195.1	196.9	198.3	198.95	199.05	200.25	201.8

TABLA 3

TEMPERATURA: 550 °C				TEMPERATURA AMBIENTE
				MUESTRA SIN TRATAMIENTO
1 HORA	3 HORAS	5 HORAS	10 HORAS	
219	204	258	237	176
204	219	219	219	189
189	219	219	237	189
219	219	237	258	189
219	219	237	237	189
219	219	204	280	189
219	165	258	258	176
219	219	258	280	189
189	204	237	258	189
219	258	219	258	189
204	189	219	219	189
189	219	258	237	189
219	237	219	219	176
219	219	219	237	189
204	219	258	258	176
189	219	219	258	189
189	204	204	237	189
204	189	258	258	189
189	189	237	258	189
176	219	204	237	189
204.85	212.4	232.05	247	186.4

GRAFICA 2



En la grafica 2 podemos apreciar el ligero cambio de dureza debido al tiempo de permanencia en horno, en el rango de 350 a 450 grados centígrados, para las muestras a 550°C observamos un pequeño aumento de la dureza.

CONCLUSIONES

LA PRECIPITACIÓN DE CARBUROS DE CROMO ES MAYOR CUANDO LA TEMPERATURA DE TRABAJO ES ALTA POR TANTO TAMBIÉN SE PUEDE PRESENTAR UNA MAYOR FRAGILIDAD.

EL MATERIAL PRESENTA UNA PRECIPITACIÓN PEQUEÑA PARA LOS 550°C YA QUE EL RANGO PARA EL CUAL EL ACERO HK-40 OPERA ESTA ENTRE LOS 600°C Y 1150°C.

LA DUREZA VARIA CON LA TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE PERMANENCIA, ESTO NOS INDICA LA PRECIPITACIÓN DE CARBUROS DE CROMO.

LOS RESULTADOS MUESTRAN QUE EL COMPORTAMIENTO QUE SE ESPERABA DE LA HIPÓTESIS.

BIBLIOGRAFÍA

1.- ACEROS INOXIDABLES Y RESISTENTES AL CALOR

Inchaurza Zavala Adrian.

Edit. Limusa, 1981.

2.- ENGINEERING MATERIALS HANDBOOK

Charles L. Mantell.

Mc. Graw Hill, 1958.

3.- FABRICACIÓN DE HIERROS, ACEROS Y FUNDICIONES.

José Apriz Barreiro.

Edit. URMO, Bilbao, 1978.

4.- INGENIERIA METALURGICA

Raymond Aurelius Higgins

Edit. Continental, México, 1963.

5.- INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FÍSICA

Avner, S.

Mc. Graw Hill, 1978

6.- METALS HANDBOOK

Peckner and Berstein.

Mc. Graw Hill, 1977

7.- METALS HANDBOOK VOL. I

ASM, 1961.

8.- METALS HANDBOOK VOL III

ASM, 1961.

9.- TECNOLOGIA DE MATERIALES

Francisco Aparicio Izquierdo.

Edit. Paraninfo, Madrid, 1980.

10.- TECNOLOGIA DE MATERIALES

Lawrence H. Van Black.

Edit. Fondo Educativo Interamericano.

11.- TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS METALES

Pere Mora Sola.

Edith. Marcombo, Barcelona, 1991.