



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO <sup>162</sup> 71

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN.

**"METALOGRAFIA CUANTITATIVA DE UN ACERO HK-40  
A PARTIR DE LA PRECIPITACION DE CARBUROS"**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**  
**ALVARO TRINIDAD SABINO**

**ASESOR DE TESIS:**  
**M.EN I. HECTOR ENRIQUE CURIEL REYNA**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO.**

**1997.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
EXAMENES PROFESIONALES  
CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

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

"Metalografía Cuantitativa de un Acero HK 40 a partir de la Precipitación  
de Carburos".

que presenta el pasante: Alvaro Trinidad Sabino  
con número de cuenta: 8407247-4 para obtener el TÍTULO de  
Ingeniero Mecánico Electricista .

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 01 de Julio de 1997

PRESIDENTE Ing. Enrique Cortés González  
VOCAL Ing. Sergio de Moraes Benítez  
SECRETARIO M. en I. Héctor Enrique Curiel Reyna  
PRIMER SUPLENTE M. en C. Tomás Rangel  
SEGUNDO SUPLENTE Ing. Jesús García Lira

7 agosto 8/07/97  
[Firma] 03/07/97  
[Firma] 1-7-97.  
1-7-97  
[Firma]

## **A MIS PADRES.**

**Gracias por su Amor, Apoyo, Comprensión y todo el esfuerzo que realizaron para hacer posible mi Formación Profesional con respeto y admiración.**

**En reconocimiento a quienes debo lo que soy.**

**Alvaro Trinidad Sabino**

<b>INDICE</b>	<b>PAG. 1</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>PAG. 3</b>

#### **CAPITULO 1**

##### **1.-ACEROS INOXIDABLES FUNDIDOS.**

1.1.-COMPARACION DE ACEROS INOXIDABLES FUNDIDOS Y FORJADOS	PAG.4
1.2.- GRADOS USADOS PARA SERVICIO DE RESISTENCIA A LA CORROSION.	PAG.6
1.3.-GRADOS USADOS PARA SERVICIO DE RESISTENCIA AL CALOR.	PAG. 7

#### **CAPITULO 2**

##### **2.-FABRICACION DE FUNDICIONES DE ALTA ALEACION Y AREAS GENERALES DE APLICACIÓN.**

2.1.-DESCRIPCION DE ALEACIONES INDIVIDUALES	PAG.11
2.2.- TIPOS RESISTENTES A LA CORROSION	PAG.11
2.3.-TIPOS RESISTENTES AL CALOR.	PAG.20
2.4.-CLASE 3 GRADOS, HIERRO NIQUEL-CROMO.	PAG. 21
2.5.-INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES FISICAS	PAG. 25

#### **CAPITULO 3**

##### **3.-EFECTO DEL CROMO EN LA ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES**

3.1.- INTRODUCCION.	PAG. 26
3.2.-EFECTOS EN MICROESTRUCTURA.	PAG. 27
3.2.1.-SISTEMA HIERRO - CROMO.	PAG. 27
3.3.-EFECTO EN FRAGILIDAD.	PAG. 28
3.4.- FRAGILIDAD DE ACEROS AL CROMO.	PAG. 29

#### **CAPITULO 4**

##### **4.-MICROSCOPIA CUANTITATIVA.**

4.1.- INTRODUCCION.	PAG. 31
4.2.-VARIABLES DE LAS MEDIDAS BASICAS	PAG. 33
4.3.-PREPARACION DE MUESTRAS.	PAG. 34
4.4.-SELECCIÓN DE CAMPO	PAG. 34

4.5.-TAMAÑO DE GRANO.	PAG. 36
4.6.-FORMA DE GRANO.	PAG. 36
4.7.-METODO DE JEFFRIES.	PAG. 38
<b>PARTE EXPERIMENTAL</b>	<b>PAG. 40</b>
<b>OBJETIVO</b>	<b>PAG. 40</b>
<b>METODOLOGIA</b>	<b>PAG. 47</b>
<b>PLANTEAMIENTO DE EXPERIMENTOS</b>	<b>PAG. 48</b>
<b>RECOPIACION DE RESULTADOS.</b>	<b>PAG. 51</b>
<b>ANALISIS DE RESULTADOS.</b>	<b>PAG. 71</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>PAG. 72</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>PAG. 73</b>

# METALOGRAFIA CUANTITATIVA DE UN ACERO HK-40 APARTIR DE LA PRECIPITACIÓN DE CARBUROS.

## INTRODUCCIÓN

Los aceros inoxidables fundidos de tipo Austenítico en su variedad de resistentes a alta temperatura y corrosión; una de las preocupaciones en la industria y tecnología es el conocimiento de sus mecanismos de falla, así como a las temperaturas en las cuales estos mecanismos se aceleran por la química de dichas aleaciones.

Los aceros resistentes a la alta temperatura como el HK que es muy usado para partes estructurales sometidas a esfuerzos por arriba de  $1150^{\circ}\text{C}$ , y cuya microestructura del HK es del tipo austenítico estable sobre su rango de temperatura. Como fundición posee una abundancia de carburos, en forma aislada o continua. Con cuya ayuda de la temperatura, se precipitan finos carburos granulares, dándole a la aleación una resistencia al deslizamiento o creep. El desequilibrio de posibles composiciones y estructuras dan como resultado la formación de fase sigma y la transformación de carburos de cromo a una temperatura determinada, las cuales se localizan en diferentes lugares de la matriz de Austenita, en un tiempo determinado.

La presente investigación es el estudio de los mecanismos de falla que se produce en el acero HK-40, por la precipitación de carburos de cromo, tanto en forma masiva intercrystalinas como las que se producen en planos preferenciales transcrystalinos, la presencia de estos carburos del tipo  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  y  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , los cuales fragilizan en forma localizada al metal, produciéndole a la postre la presencia de grietas o fisuras.

La valorización de los carburos presentes, los cuales se obtuvieron durante los tratamientos térmicos a  $700^{\circ}\text{C}$  y  $800^{\circ}\text{C}$ , con tiempos de duración de 5 y 20 hrs de permanencia, se hizo a través de la dureza, así como la metalografía cuantitativa.

## **ACEROS INOXIDABLES FUNDIDOS.**

La producción de aleaciones de aceros inoxidable, se hace con el proceso de fundición, en todas sus formas y grados de uso para el forjado, y de igual forma para muchos grados o modificaciones adicionales para un uso especial final. Mientras que las aleaciones realizadas por laminado o forja, por lo general poseen una resistencia reducida y una ductilidad considerable a temperatura de trabajo en caliente, y ductilidad suficiente para trabajo en frío en algunos productos.

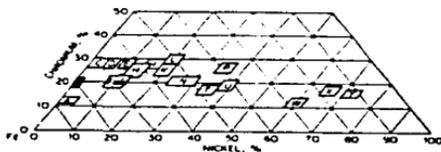
La clasificación de aleaciones fundidas no esta restringida por tales requerimientos, por lo tanto, las fundiciones son hechas exitosamente de composiciones que son difíciles o imposibles de formar por medios mecánicos.

Es por eso, que la familia de los aceros inoxidable en su estructura de fundición, se componen de dos series de aleaciones distintas, la primer serie corresponde a los grados forjados, utilizados por su alta resistencia a la corrosión a temperaturas por debajo de 650°C y la segunda serie corresponde a

composiciones modificadas para proveer una alta resistencia mecanica a temperaturas elevadas, de 650°C- 1200°C.

En la tabla siguiente se muestran los porcentajes de *FIERRO-CROMO-NIQUEL* para las composiciones mas usadas, en la cual se identifican con una letra la designación del grado. Se puede observar como el niquel aumenta conforme las letras progresan desde la A hasta la Z.

Las letras iniciales C o H indican si la aleación es para corrosión o altas temperaturas, la inicial C son usados para resistencia de ataques corrosivos y temperaturas menores de 650°C. La H representa los usados para altas temperaturas y el % de cromo-niquel nominal. Los números siguientes a las letras indican el contenido de carbono máximo de las aleaciones resistentes a la corrosión, y resistentes al calor por consiguiente, las letras con un numero indican el punto medio de un  $\pm 0.5$  % de carbono.



## **GRADOS USADOS PARA SERVICIO DE RESISTENCIA A LA CORROSION.**

Todas las aleaciones contienen carbono, silicio, manganeso, azufre y fósforo en menor cantidad introducido uno u otro como resultado de la práctica de fundición o desde impurezas en la materia prima. Algunas aleaciones tienen pequeñas cantidades de molibdeno, columbio, cobre o selenio, con el propósito de obtener propiedades específicas tales como resistencia a la corrosión, mejor maquinabilidad, etc. Mas de los grados normales para resistencia a la corrosión están cubiertos por la especificación A 296 (aleaciones fundidas fierro-cromo y fierro-cromo - níquel) para servicio resistente a la corrosión en general.

En general las aleaciones forjadas y fundidas tienen equivalente resistencia a medios corrosivos y son frecuentemente usados en unión con otras.

Entre las aleaciones forjadas y fundidas de un mismo tipo existen diferencias entre 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 un 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.

### GRADOS USADOS PARA SERVICIO DE RESISTENCIA AL CALOR

Estas aleaciones se muestran en la siguiente tabla.

Instituto de designación de aleaciones y rangos de composición química para aleaciones resistentes al calor.

Designación de aleación.	Tipo de aleación forjada.	Composición, %								
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Fe	Otros elementos
HA	446	0.20†	0.65‡	1.00	0.04	0.04	8-10		Bal.	0.90-1.20Mo
HC		0.50†	1.00	2.00	0.04	0.04	26-30	4†	Bal.	0.5Mn
HD		0.50†	1.50	2.00	0.04	0.04	26-30	4-7	Bal.	0.5Mn
HE	302B	0.20-0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	26-30	8-11	Bal.	0.5Mn
HF		0.20-0.40	2.00	2.00	0.04	0.04	19-23	9-12	Bal.	0.5Mn
HH	309	0.20-0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	24-28	11-14	Bal.	0.5Mn, 0.2Nf
HI	310	0.20-0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	26-30	14-18	Bal.	0.5Mn
HK		0.20-0.60	2.00	2.00	0.04	0.04	24-28	18-22	Bal.	0.5Mn
HL		0.20-0.60	2.00	2.00	0.04	0.04	28-32	18-22	Bal.	0.5Mn
HN	310	0.20-0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	19-23	23-27	Bal.	0.5Mn
HP		0.35-0.75	2.00	2.00	0.04	0.04	24-28	33-37	Bal.	0.5Mn
HT		0.35-0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	15-19	33-37	Bal.	0.5Mn
HU	310	0.35-0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	17-21	37-41	Bal.	0.5Mn
HW		0.35-0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	10-14	58-62	Bal.	0.5Mn
HX		0.35-0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	15-19	64-68	Bal.	0.5Mn

† MAXIMO

‡ MINIMO 0.35

Los porcentajes de los elementos son de 8 a 22% Cr a 68%Ni y de 13 a 90% fierro. Excepto para el tipo HA, todos los grados son cubiertos por especificación ASTM, A-297( aleación fundida para aplicación general resistente al calor fierro-cromo y fierro-cromo-niquel.), 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 circonio 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 4 tienen correspondencia con las clases conformadas.

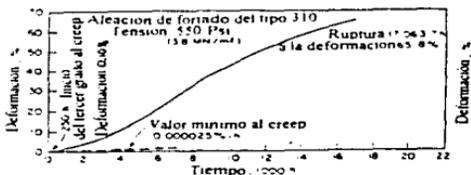
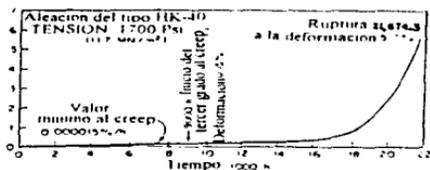
Los tipos 302 B, 309 y 310 son comparables en niveles de cromo y níquel en donde su contenido de carbono es más bajo que las aleaciones fundidas HF, HH y HK. Estos tienen un contenido mayor de carbono, y eso

contribuye grandemente a la resistencia de las aleaciones fundidas a temperaturas altas.

Al igual que en 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.

Las curvas tiempo-deformación son trazadas para muestras de aleación fundida HK-40 y la aleación conformada del tipo 310 a un esfuerzo de 1700 y 550 Psi (11.7 y 3.8 MN/m<sup>2</sup>) respectivamente, en pruebas de ruptura por deslizamiento a 982°C. Aunque la duración de 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 900 h. La aleación conformada que soporta solo un tercio de carga, inicia el principio de la tercera extensión a las 250 h 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. Así 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.



## FABRICACION DE FUNDICIONES DE ALTA ALEACION Y ÁREAS GENERALES DE APLICACIÓN.

Los requerimientos para las condiciones de uso pesado las aleaciones son empleadas bajo un control estrecho, se rigen por la demanda de todas las operaciones de fundición con el fin de que la producción sea aceptable.

Las fundiciones resistentes al calor y corrosión, son componentes indispensables de muchos sistemas de procesos industriales de gran uso. Como tal, ellos 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 líquido y equipos de control.

## **DESCRIPCION DE LAS ALEACIONES INDIVIDUALES**

### **TIPOS RESISTENTES A LA CORROSION.**

Las aleaciones FIERRO-CROMO son inoxidables, y particularmente en los que son altamente oxidantes, su resistencia a la corrosión aumenta con el contenido de cromo. Aquellos con niveles más bajos de cromo son endurecibles por transformación de austenita a martensita y pueden dar un rango amplio de propiedades mecánicas. A más altos contenidos de cromo son ferríticos en todas las temperaturas hasta el punto de fusión y no pueden ser

**endurecidas por tratamiento térmico. Aunque los contenidos de níquel son aumentados para mejorar la resistencia de las aleaciones a soluciones oxidantes y de cloruro neutras. El incremento de molibdeno en las aleaciones aumentan su resistencia al picado en medios que contienen cloruros.**

**Las aleaciones que contienen cantidades de níquel, tiene microestructura totalmente austenítica 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.**

## **LAS CLASES MARTENSITICAS**

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 más carbono que el CA-15 y puede tratarse térmicamente para niveles de alta resistencia y dureza.

El tipo CA-6NM es una aleación de Fe-Cr-Ni de bajo contenido de carbono. La adición de níquel a esta composición, estabiliza el efecto de ferritización del bajo contenido de carbono y las propiedades de resistencia a la tensión y dureza, y la resistencia al impacto se mejora.

La adición de molibdeno aumenta la resistencia a la corrosión por agua de mar. Un amplio rango de las propiedades mecánicas 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/M<sup>2</sup>) y durezas tan altas como 500 BMN. Las aleaciones se pueden maquinarse y tienen buenas propiedades de soldabilidad, si son bien

empleadas las propiedades técnicas, tanto en la CA-40 como la CA-6NM. La microestructura de las aleaciones martensíticas, la resistencia a la erosión que tienen para ser útiles como fundiciones para bombas, compresores, válvulas, turbinas hidráulicas y componentes de maquinaria.

### **CLASES FERRITICAS**

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 tiene 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 que se sustituya en muchas aplicaciones para las clases austeníticas que contienen un alto contenido de níquel, del tipo CF.

La aleación CC-50 con alto contenido de cromo, tiene buena resistencia a la corrosión oxidante, ácido sulfúrico, 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% Nitrogeno min.

### **CLASES DE ENDURECIMIENTO POR PRECIPITACION**

Las aleaciones que componen esta clase son CB-7Cu y CD-4MCu. El primer tipo de aleación posee un 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 su uso en donde las propiedades de alta resistencia y corrosión sean mejoradas.

Las fundiciones CB-7Cu, se pueden maquinarse fácilmente y su endurecimiento continúa con una baja temperatura, el tratamiento de 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 estructura austenita-ferrita, la cual debida a estos contenidos altos de cromo y bajos de carbono, no se desarrolla u obtiene martensita con tratamiento térmico.

### **GRADOS AUSTENITICOS-FERRITICOS**

Las aleaciones en este grupo incluyen a CE-30, CF-3, CF-3A, CF-8, CF-8A, CF-20, CF-3M, CF-3A, CF-8M, 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 proporcionan 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 de corrosión bajo tensión.

La cantidad de ferrita en una fundición resistente a la corrosión, puede ser estimada con el uso del diagrama SHAFFER 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 ensambles 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 aleaciones CE, como grupo constituye 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 fusión, maquinabilidad y soldabilidad, además de que son duros y fuertes a temperaturas por abajo de (-253°C).

El tipo de aleación CF-8 tiene 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 subsecuente 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 ácidos acético, sulfúrico diluidos y en una amplia variedad de corrosivos industriales.

La aleación CF-8M tiene 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.

### **GRADOS AUSTENITICOS**

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, 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 temperaturas 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 a soluciones de cloro caliente.

## **TIPOS RESISTENTES AL CALOR**

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

1ª.-Contienen de 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.

2ª.-Contienen más de 19% de cromo y más de 9% de Ni, son utilizados bajo condiciones oxidantes para resistir cargas moderadas a temperaturas medias.

3ª.-Contienen más de 10% de cromo y más de 23%Ni, el contenido de níquel mas que el de cromo, son para usarse como protectores en condiciones oxidantes para resistir gradientes de temperatura severos, tales como en partes que estan a temperatura constante en servicio.

Las fundiciones resistentes al calor tienen la propiedad de resistir ataques corrosivos de gases calientes, por que con la adherencia, de capas protectoras de  $Cr_2O$ , 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 fríos

### **Clase I GRADOS FIERRO-CROMO**

En este grupo se encuentran incluidos los HA, HC y HD.

El tipo HA es solamente usado por arriba de 649°C, el contenido de molibdeno aumenta la resistencia en el rango de temperaturas de 538-649°C y en 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 son desarrollan cargas ligeras por arriba de 1038°C.

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

## **Clase 2 GRADOS FIERRO-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 I. Pueden ser usadas en atmósferas reductoras u oxidantes, las cuales pueden contener cantidades moderadas de azufre.

**HE:** Este tipo de 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 esta aleaciones operan en el rango de temperaturas de 649 a 871°C en refinерías de petróleo para soporte de tubos y en fabricas de cemento.

**HH:** Este tipo de aleaciones tiene 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 puede ser particularmente ferrítica o totalmente austenítica.

HI: Esta aleación tiene mayor resistencia a la oxidación que las HH y puede trabajar por arriba de los 1176°C, sus propiedades mecánicas son similares a las HH.

HK :Este tipo de aleación completamente austenítica; tiene 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 térmicos son un factor severo.

El grado HK es ampliamente usado para partes que requieren alta resistencia al creep. La variedad HK-40 (0.35%-0.45% carbono) es la 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 tiene 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 rango de temperatura por arriba de los 982°C.

### **Clase 3 GRADOS HIERRO-NIQUEL-CROMO**

Esta clase se compone de las aleaciones HN, HP, HT, HV, HW y HX, estas aleaciones tienen como elemento predominante o como metal base al níquel y tienen un tipo de estructura austenítica estable que no es sensible a variaciones en composición, como los grados de la clase 2 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 tiene alta resistencia comparada con el tipo HK-40 a 982°C y pueden usarse extensamente por arriba de los 1149°C.

El tipo HP tiene contenidos más altos de cromo y níquel que el HN, lo cual da una resistencia mayor 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 tales como rieles, discos, cadenas y accesorios fijos sujetos a calentamientos cíclicos.

El tipo HV es aún más alto en % de níquel, más alto en cromo en modificación del tipo HT, con frecuencia se recomienda usarse para usos severos a causa del aumento del contenido de la aleación.

### ***INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES FISICAS***

Las propiedades físicas tienen que ser consideradas para sus aplicaciones, designación y fabricación en la variación de grados de la aleación.

Por ejemplo, en comparación con acero al carbono, esas aleaciones tienen cerca de 5 veces la resistencia eléctrica, 50% más de expansión térmica y el 50% menor de conductividad térmica.

Estas características térmicas y eléctricas de las aleaciones tienen un efecto importante en las operaciones y técnicas que se emplean para obtener resultados satisfactorios.

## **EFFECTO DEL CROMO EN LA ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES**

### **INTRODUCCION**

Los aceros inoxidable son una clase de aleaciones caracterizadas por su resistencia a la corrosión, a temperatura ambiente y a alta temperatura.

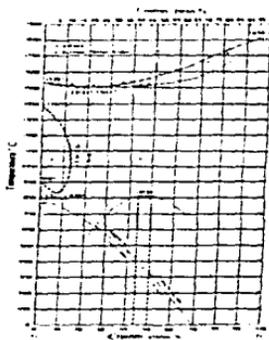
En los aceros inoxidable, la inoxidable o pasividad es impartida solamente por la adición del cromo, otros elementos de aleación, refuerzan el efecto del cromo en otros medios e imparten otras propiedades especiales las cuales pueden ser establecidas entre las características de los aceros inoxidable.

## EFFECTOS EN MICROESTRUCTURA

### SISTEMA-FIERRO-CROMO

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

Figura B



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

## **EFEECTO DE FRAGILIDAD POR FASE SIGMA**

La fase sigma fue descubierta por *Ham* y *Ciriffius* en 1927. La fase sigma tiene una estructura cristalina tetragonal compleja, la cual revela un rango de orden en algunas aleaciones en ciertos sitios cristalográficos.

La fase sigma se forma en la de transición de la aleación y es importante primeramente, por que estos efectos se deteriora las propiedades mecánicas y de corrosión.

El diagrama comúnmente aceptado para fase sigma en el sistema Fe-Cr, es el diagrama binario de la fig. B.

Las modificaciones a este diagrama han sido propuestas en donde alfa y un rico precipitado de cromo designado sigma son mostrados para existir aproximadamente por abajo de 520°C.

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

ampliamente el efecto de cromo y forman fase sigma. Muchos de los aceros inoxidables austeniticos más comunes, que tengan más del 17% Cr 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 austeniticos, tales como el tipo 310, forman sigma directamente desde la austenita, usualmente a lo largo de los limites de grano.

### **FRAGILIDAD DE ACEROS DE CROMO**

La fragilidad puede ocurrir en aceros inoxidables de cromo, que contienen mas o alrededor de 15% Cr durante temperaturas en el rango o alrededor de 370°C a 540°C con una fragilidad máxima a 475°C. Se esta propenso al aumento de la fragilidad con el incremento de cromo y el tiempo de exposición a la temperatura. La fragilidad de esta especie esta condicionada por la formación de un cúbico centrado En el cuerpo (bcc) compuesto de fierro y cromo, que contiene de 70 a 80 % de cromo. La fragilidad a la cual ocurre en calentamientos a una alta temperatura es entre 605 y 799°C, y es debido a la precipitación de fase sigma. Esto puede ser notado que

cambia en la ductilidad de impacto y torsión, representando un rango de fragilidad, que puede ser observado para un acero de 27% de Cr después de 1 hr a 475°C, mientras que la fragilidad severa existió después de 50 hrs.

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

# **MICROSCOPIA CUANTITATIVA.**

## **INTRODUCCION**

Los metalúrgicos han confiado, en las descripciones cualitativas 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 le determina si cierto tratamiento del acero, es inherente al grano fino.

Esto es cierto mientras el tamaño del 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 más 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 en la clasificación influyen en la exactitud llegando a ser altamente dependientes de la opinión subjetiva.**

**Para la Investigación y control de la 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 microscopía cuantitativa. Históricamente, la metalografía cuantitativa es relativamente un nuevo campo. Excepto para el concepto general de tamaño de grano, ninguno de los metalurgistas tiene alguna técnica adecuada para la metalografía cuantitativa.**

## **VARIABLES DE LAS MEDIDAS BASICAS**

### **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 complicará si la microestructura varía. El muestreo aleatorio se emplea para obtener datos estadísticos importantes, en todas las regiones y las orientaciones de la estructura, y estas tienen una oportunidad igual para ser cortadas y probadas.

Obviamente, si la estructura constantemente varía 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 práctica, 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 las 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.

### **PREPARACION DE MUESTRA**

Después de las muestras deseadas, las cuales son cortadas e identificadas, serán preparadas por inspección. El pulido y 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 resultados significantes.

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

### **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 tiene que decidir, en cualquier caso, cuantos campos son medidos y cuantos espacios de campos, además debe de 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. El campo puede seleccionarse desde el campo a una variación de las mediciones. En cualquier trabajo, es prudente medir cualquier numero de campos y calcular la exactitud relativa de las mediciones que determinan cuantos campos son requeridos y se obtiene una exactitud relativa específica.

## **TAMAÑO DE GRANO**

La determinación del tamaño de grano de materiales policristalinos es probablemente la única medida metalográfica más importante, por que 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 tiene confusiones y hacen dudar a la Investigación.

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

## **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 de área es el tetra-octahedro( cubo ecta-hedro o octahedro truncado). Esta figura es un hectahedro 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 mas de cuatro márgenes pueden encontrarse en una esquina.**

Como quiera que no se encuentren los requerimientos de ángulos de  $120^\circ$  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 pentágonal dodecahedrón con 12 lados de cara.

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

- 1.- Comparación con trazo de diagramas normales.
- 2.- Fractura del tamaño de grano.
- 3.- Método planimétrico (JEFFRIES).
- 4.- Método intersección.
- 5.- Método intersección Synder-Graff.
- 6.- Método de la distribución del tamaño de grano.

## **METODO JEFFRIES PLANIMETRICO.**

El método planimétrico desarrollado por Jeffries 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 Jeffries es ejecutado por el dibujo de un círculo a rectángulo, típicamente 79.8mm en diámetro ( $5000\text{mm}^2$ ), en una fotomicrografía o en una transferencia de una proyección.

La magnificación ajustada proporciona mínimo 50grs dentro de las medidas de área. Un conteo es hecho 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  $n_1+n_2/2$  es multiplicada por el factor  $f$  de Jeffries por la magnificación empleada, se obtiene un número estimativo de granos por milímetros cuadrados.

$$N_A = f ( n_1 + n_2 / 2 )$$

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

$$f = M^2 / 5000$$

El promedio del grano de área  $A$  es obtenida usando la siguiente ecuación:

$$A(\text{mm}^2) = 1/N_A \text{ O } A(\text{Um}^2) = 10^6/N_A$$

El diámetro medio de grano  $d$  es obtenida como sigue:

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

El número de tamaño de grano ASTM  $G$  puede ser calculada desde  $N_A$  usando la siguiente relación.

$$G = (\log N_A / \log 2) - 2.95 \text{ ó}$$

$$G = 3.322 \log N_A - 2.95.$$

## PARTE EXPERIMENTAL

### OBJETIVO

La presente Investigación va encaminada a cuantificar metalográficamente el cambio de fase en el material, que posiblemente altere las propiedades mecánicas, magnéticas del acero inoxidable del tipo HK.

### PROPIEDADES DE LA ALEACION HK

HK, Su composición de 26Cr-20 Ni, y su nombre comercial es UNS numero j94224.

### ESPECIFICACIONES

AMS Sand cast; 5365; investment cast: 5366

ASTM. Fundición HK, A 297; HK-30, y

HK-40, A 608 y A 351; HK-40 Y

HK-50, A 567

SAE 70310

## **COMPOSICION QUIMICA**

Los limites de composición son:

0.2 - 0.6 %C

## **APLICACIONES**

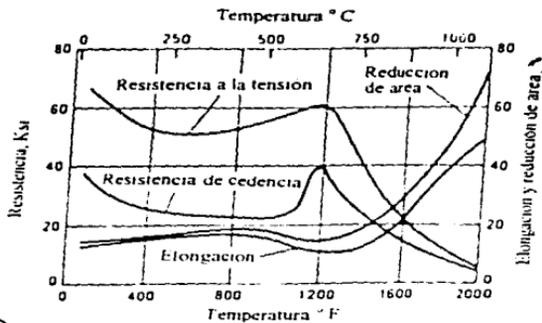
Usos típicos.- porque son resistentes a la alta temperatura, HK es muy usado para partes estructurales sometidas a esfuerzos por arriba de 1150 C .

Son usadas en rodillos de lingote, instalaciones bronceadas, rollos transportadores, arcos de puerta para horno, etc.

## **PROPIEDADES MECANICAS.**

Propiedades a la tensión.- Representación de valores que causa la temperatura. Resistencia ala tensión 517 Mpa (75Ksi), cadencia el 0.2% de tensión, 345 Mpa (50Ksi), elongación 17 % en 50 mm o dos envejecimientos en 24 hrs en 760°C con aire refrigerado, resistencia a la tensión 586 Mpa (185 ksi), cadencia 0.2% de tensión 345 Mpa (50 Ksi); elongación 10% en 50mm o mínimo (65Ksi); cadencia al 0.2% de tensión, 241 Mpa (35 Ksi); elongación 10 % en 50 mm o 2.

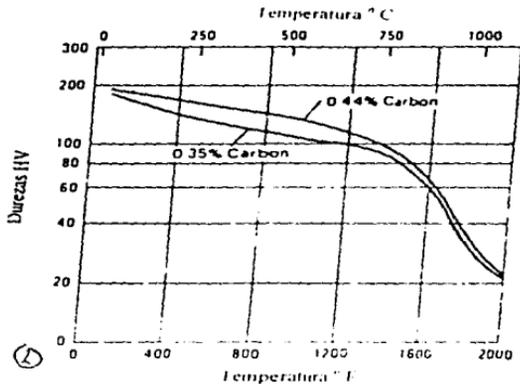
**Figura.**



## DUREZAS

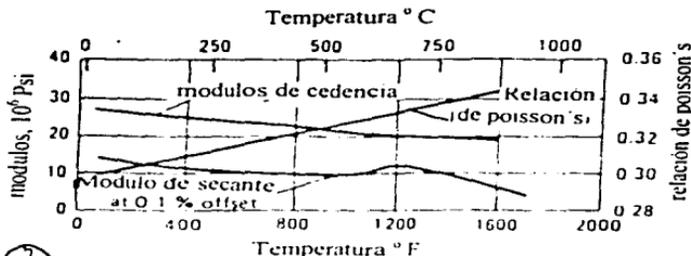
Como fundición, 170 HB, envejecido 24 hrs en 760° C en aire frío : 190

HB.



Relación de poisson's, 0.30

Figura.



Módulos elásticos. En tensión a 21°C (70°C), 186 Gpa (27X 10<sup>6</sup> Psi.)

Resistencia al impacto (22ft-lb)

### Estructura

Microestructura: La aleación HK es una aleación con austenita 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 el momento en que se encuentra retenida la austenita en una temperatura de 815° C por mas de un corto tiempo.

**CARACTERISTICAS DE MASA.**

Densidad 7.75 gr/cm<sup>3</sup> A UNA TEMPERATURA DE 21°C

Reducción de muestra hecha 5/16 in/ft

Propiedades térmicas.

Punto de fusión 1230°C

Coefficiente de expansión térmico lineal

TEMPERATURA		COEFICIENTE
MEDIANO		
°C	°F	Um/mk
21-538	70-1000	16.9
21-650	70-1200	17.3
21-760	70-1400	17.6
21-870	70-1600	18.0
21-980	70-1800	18.4
21-870	70-1600	20.5
21-980	70-2000	20.7

## CONDUCTIVIDAD TERMICA

### TEMPERATURA

### CONDUCTIVIDAD

°C	W/mk
100	13.7
316	16.9
538	20.4
650	22.3
760	24.6
870	27.2
980	29.6(a)
1090	32.2(a)

(a) valores estimados.

## **PROPIEDADES ELECTRICAS**

Resistividad eléctrica : 900mm en 21°C

## **PROPIEDADES MAGNETICAS:1:02**

## **PROPIEDADES QUIMICAS**

Funcionamiento general de corrosión: la aleación HK, ofrece buena resistencia a la corrosión para gases calientes, incluyendo gases sulfurosos, oxidantes y las condiciones de reducción. Este es usado en aire, amoniaco, hidrogeno y en sales de fundición neutras.

## **CARACTERISTICAS DE FABRICACION**

Maquinabilidad : HE La maquinabilidad es semejante al tipo de aleación

Tratamiento térmico : Son fundiciones usadas normalmente en esta condición, la aleación HK no puede ser endurecida por tratamiento térmico.

## **METODOS 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 E 310-15 alto carbono) son generalmente usados para soldarlo protección por arco metálico.

## **METODOLOGIA**

Para el inicio de esta investigación se tomo como muestra un acero del tipo HK- 40, del cual se cortaron nueve muestras de 5mm \* 6 mm \* 6mm aproximadamente, las cuales ocho de ellas fueron preparadas, aplicándoles un tratamiento térmico de solubilización y posteriormente se calentaron a temperaturas de 700°C y 800°C con 5 y 20 hrs de permanencia, las muestras (nueve), se montaron en baquelita, se desbastaron en lija y se procedió al pulido en alumina.

Cabe mencionar que de las ocho muestras, cuatro de ellas tuvieron un enfriamiento en agua y las cuatro restantes al medio ambiente.

Posteriormente, de cada una de las muestras se tomaron fotografías de la microestructura, de igual manera se tomaron pruebas de dureza y como ultimo paso se hizo la metalografía cuantitativa, para determinar la cantidad de carburos que se presentan en las muestras así como las fases presentes.

El equipo utilizado fue el siguiente:

- Cortadora de disco.

- Montadura de muestras en baquelita.
- Pulidora de lija de agua.
- Horno de mufla de 1100 °C
- Horno tubular de 1500°C.
- Microscopio metalografico.
- Cámara de fotográfica.

### **PLANTEAMIENTO DE EXPERIMENTOS.**

La preparación de probetas se realizó de la siguiente manera:

#### **PROBETA # 1**

Esta probeta no se le aplicó tratamiento térmico, por lo que se preparó para observar la microestructura y realizar la toma de fotos de la misma. Posteriormente se observó la microestructura al microscopio y se realizó la toma de fotografías correspondientes.

#### **PROBETAS # 2 Y # 3**

A estas probetas se les hizo un tratamiento térmico de 5 Hrs de permanencia a 700°C, con un enfriamiento por agua y al medio ambiente. Posteriormente se prepararon de forma semejante a la probeta 1, para la observación y realización de tomas de fotos en la microestructura.

#### **PROBETAS # 4 Y #5**

Estas probetas estuvieron por 20 Hrs a 700°C y sus enfriamientos fueron de igual forma en agua y al aire libre. Posteriormente se prepararon de forma semejante a la probeta 1, par su observación y toma de fotos de la microestructura.

#### **PROBETAS #6 Y #7**

A estas probetas se les aplicó un tratamiento térmico de 800°C con 5 has de permanencia y los tipos de enfriamiento fueron en agua y al aire libre, respectivamente. Posteriormente se prepararon de forma semejante a la probeta 1, para la observación y toma de fotos de la microestructura.

#### **PROBETAS #8 Y #9**

Se les aplicó un tratamiento térmico de 20 hrs de permanencia a 800°C, su tipo de enfriamiento fue por agua y al medio ambiente, respectivamente. Posteriormente se prepararon de forma semejante a la probeta 1., para la observación y toma de fotos de las microestructuras.

Una vez terminado los tratamientos térmicos, se procedió a realizar a cada una de las muestras las pruebas de dureza, para poder conocer las características del material trabajado a las temperaturas de 700 y 800°C a

**diferentes tiempos, con estos datos obtenidos se hicieron gráficas para observarlos y poder comparar unos con otros.**

**Como ultimo paso, de las fotografías tomadas de las microestructuras, se trazaron diferentes áreas de figuras geométricas, las cuales en su interior contienen la gran mayoría de carburos de cromo. La suma total de estas áreas se le saco un porcentaje de acuerdo al área total, de esta forma se obtuvo el porcentaje aproximado del contenido de cromo y el contenido de austenita.**

## RECOPILACION DE RESULTADOS

A Continuacion se mostraran las fotografias que se obtuvieron de las muestras trabajadas.

### PROBE 1 A 1 - MATERIAL ORIGINAL

Se observa la presencia de austenita con pocos carburos de cromo intermetalicos en los limites de grano de grano de  $\alpha$ -Fe y escasos transcrystalinos esteñicos.



Micrografa 1. Tomada a 1000X



Micrografa 1. tomada a 400X

### PROBETAS 2 Y 3

Las micrografías 2 y 3 son de las muestras que se trataron a 700°C por 5 hrs, entradas por agua y aire respectivamente. Se observa la presencia de carburos de cromo ( $Cr_7C_3$ ) intercrystalinos y carburos de cromo ( $Cr_23C_6$ ) transcrystalinos más abundantes en la muestra 3. También podemos observar la presencia de fase sigma en una matriz austenítica.



Micrografía 2, tomada a 400x.



Micrografía 3, tomada a 400x.

Probetas 2 y 3



Micrografia 2 tomada a 1000x



Micrografia 3 tomada a 1000x-

#### PROBETAS 4 Y 5

Las micrografías 4 y 5 fueron trabajadas a 700°C por espacio de 20 Hrs. enfriadas por agua y aire, respectivamente. Se observa una mayor cantidad de carburos de cromo ( $Cr_{23}C_6$ ) intercrystalinos y abundancia de carburos transcrystalinos en planos preferenciales y presencia de fase sigma.



Micrografía 4, tomada a 400x



Micrografía 5, tomada a 400x.

Probetas 4 e 5



Micrografia 4, tomada a 1000x



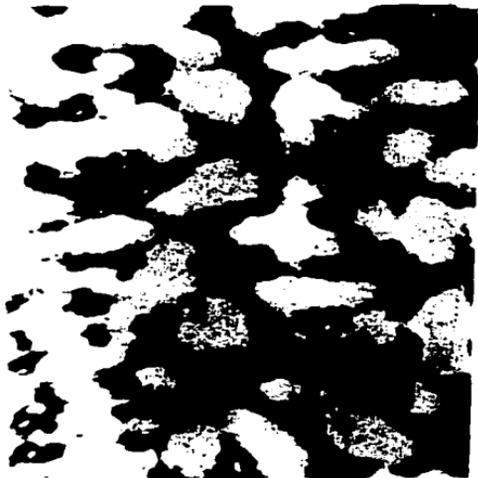
Micrografia 5, tomada a 1000x

### PROBETAS 6 Y 7

Las micrografías 6 y 7 se trataron térmicamente a 800°C por 5 hrs. entradas por agua y aire respectivamente. Observamos carburos intercrystalinos de cromo ( $Cr_7C_3$ ) en mayor abundancia, mayor cantidad de carburos transcrystalinos, con respecto a las probetas 4 y 5.



Micrografía 6, tomada a 400x.



Micrografía 7, tomada a 400x.

Probeta 6 y 7



Micrografia 6, tomada a 1000x



Micrografia 7, tomada a 1000x

### PROBETA 8 Y 9.

Las micrografías 8 y 9 muestran las probetas trabajadas a  $800^{\circ}\text{C}$  por espacio de 20 hrs., con un enfriamiento por agua y aire, respectivamente. De igual forma, se observa la presencia de carburos de cromo ( $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ) en una cantidad mayor en los alrededores de los límites de grano y una mayor presencia de carburos transcrystalinos.



Micrografía 8, tomada a 400x.

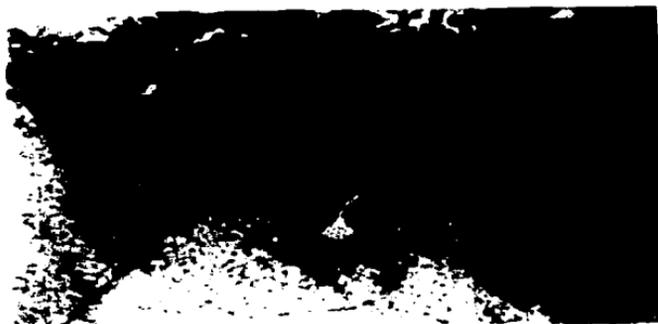


Micrografía 9, tomada a 400x.

Probetas 8 y 9



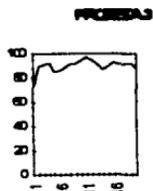
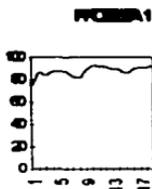
Micrografia 8, tomada a 1000x



Micrografia 9, tomada a 1000x

**DATOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE DUREZA.**

<b>ORIGINAL</b>	<b>700 °C - 5HRS.</b>	<b>700 °C - 5 HRS</b>
	<b>AIRE</b>	<b>AGUA</b>
71.0	56.0	73.0
73.5	79.0	90.0
86.0	92.0	91.0
84.0	87.5	92.0
87.0	90.0	85.0
87.0	91.0	86.0
87.5	95.0	89.0
83.0	95.0	91.0
82.0	95.0	92.0
88.0	97.0	95.0
93.0	94.5	97.0
91.5	94.5	94.5
91.5	98.0	91.5
89.0	97.0	87.0
90.0	97.0	90.0
86.0	99.0	93.0
90.0	91.0	91.0
91.0	96.5	91.0
91.0	93.0	92.0
92.5	90.5	88.0
$\bar{x}=86.72$	$\bar{x}=91.42$	$\bar{x}=89.95$



700°C - 20 hrs.

Agua

82.0

96.5

94.0

97.0

97.0

97.5

97.0

96.5

98.5

99.5

97.0

96.5

99.0

98.0

98.0

98.0

700°C - 20hrs

Aire

80.5

92.0

94.5

95.5

96.5

96.0

96.5

100.0

95.5

98.0

96.0

99.5

98.0

97.0

98.0

98.0

800°C- 5hrs

Agua

63.0

95.0

87.0

88.0

91.0

92.0

89.0

88.0

92.0

91.0

91.0

89.0

92.0

89.0

91.0

86.0

98.0

99.0

98.0

96.0

$\bar{\chi}=96.65$

85.0

97.0

94.5

92.0

$\bar{\chi}=95.5$

88.0

89.0

89.0

91.0

$\bar{\chi}=88.05$

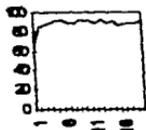
**PROBEM**



**PROBEM**



**PROBEM**



800°C- 5 HRS.

Aire

75.0

90.0

90.0

86.0

89.0

91.0

87.0

92.5

90.0

88.0

92.0

95.0

92.0

88.0

89.0

91.0

94.0

92.0

92.0

91.0

$\bar{x}=89.72$

800°C-20HRS

Agua

61.0

75.5

70.0

90.0

90.0

90.0

91.0

90.0

88.0

92.0

88.0

90.0

92.5

87.0

85.0

85.0

81.0

89.0

89.0

93.0

$\bar{x}=85.5$

800°C-20 HRS.

Aire

46.0

85.0

87.0

77.0

77.5

76.0

77.0

88.0

74.0

85.5

67.0

74.0

77.0

74.0

84.0

74.0

78.0

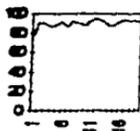
88.0

86.0

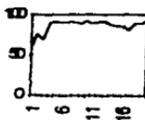
73.0

$\bar{x}=77.4$

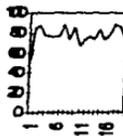
**PROMEDIO 7**



**PROMEDIO 8**



**PROMEDIO 9**



**PROMEDIOS**



RESULTADOS DE LA CUANTIFICACION METALOGRAFICA

FOTOGRAFIA 1 - MUESTRA ORIGINAL



FOTOGRAFIA 2 - MUESTRA A 700°C 5hrs (a) (b)



FOTOGRAFIA 3 - MUESTRA A 700°C - 5hs (100x)



FOTOGRAFIA 4 - MUESTRA A 700°C - 70hs (100x)



FOTOGRAFIA 5 - MUESTRA A 700 C. (20 hrs. Carga)



FOTOGRAFIA 6 - MUESTRA A 800 C. (5 HRS. CARGA)



FOTOGRAFIA 7 - MUESTRA A 800 °C (5HRS CAIRL)



FOTOGRAFIA 8 - MUESTRA A 800 °C (20HRS CAIRL)



FOTOGRAFIA 9 - MUESTRA A 800 °C ( 20 HRS CAIRE )



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

## DATOS OBTENIDOS DE LA CUANTIFICACION METALOGRAFICA.

	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5	PROBETA 6	PROBETA 7	PROBETA 8	PROBETA 9
	ORIGINAL	700 - 5HRS	700-5HRS	700-20HRS	700-20HRS	800-5HRS	800-5HRS	800-20HRS	800-20 HRS
		AGUA	AIRE	AGUA	AIRE	AGUA	AIRE	AGUA	AIRE
Area parcial total de carbonos	1271.29	6083.62	2167.5	6674.6	5138.75	8861.5	8457.5	9101.25	10385.00
Area total	14746.00	14847.00	16905.00	14746.00	14342.00	14897.50	14746.00	14847.00	14847.00
% de humedad	91.37	59.02	88.0	41.16	64.17	40.52	42.65	38.7	30.5
% de carbonos de ceniza.	8.62	40.97	12.0	58.82	35.83	59.48	57.35	61.3	69.94

## **ANALISIS DE RESULTADOS**

De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos mencionar que en el rango de temperatura de entre 700°C a 800°C, hay una presencia mayor de carburos precipitados del tipo  $Cr_{23}C_6$ , en las mediaciones de los limites de grano (ver fotos).

Así mismo, podemos decir que en el rango de 700°C de temperatura influye mucho el tiempo de permanencia de la probeta, ya que con un mayor tiempo la dureza se incrementa con respecto a la otra. (ver gráficas )

Ahora en el rango de 800°C con una permanencia de 5 y 20 hrs la dureza es casi semejante por que la diferencia son de 3 o 4 puntos, los cuales aparentemente no afectan a la microestructura. ( ver gráficas de probetas 7, 8 y 9).

De acuerdo a la metalografía cuantitativa, los resultados obtenidos nos muestran que el incremento de carburos es función del tiempo y temperatura.

El medio de enfriamiento tiene una influencia en la cantidad y forma de los carburos precipitados en cada una de las muestras.

## **CONCLUSIONES**

Se puede decir que el intervalo en el cual el material tiene una precipitación de carburos de cromo y una presencia de fase sigma es entre 700°C y 800°C. lo cual provocan un cambio en la microestructura del material, teniendo como consecuencia un aumento en el valor de la dureza, la cual siendo mayor provoca que el material se vuelva mas frágil.

El material en la temperatura de 800° C disminuye la dureza, probablemente por una precipitación y disolución de ellos.

La velocidad de enfriamiento tiene un gran significado en la precipitación de los carburos así como la presencia de la fase sigma.

La presencia de los carburos y fase sigma es propiedad de la temperatura y tiempo de la precipitación.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.**

- 1.-Aceros inoxidables y Aceros resistentes al calor.**  
Ing. Adrian Incurza.
- 2.-Metals Hand - Book**  
Vol 8ª Edición, American Society for Metals; 1961.
- 3.- Metals Hand - Book.**  
Vol 9ª Edición, American Society for metals, 1985.
- 4.- Fundamentals of physical Metallurgy, John D. Verhoeven, John - wiley;**  
1987.
- 5.-Hand - book of stainless steel.**
- 6.- Tecnologia de materiales**  
Lawrance H. Van vlack.
- 7.-Tool steel.**  
Roberts G. y R. Cary.
- 8.-Tratamiento termico de los metales**  
Pere Mora Sola.
- 9.-Tratamiento termico de los aceros.**  
Jose Apriz Barreiro.
- 10.-Fabricación de hierro, aceros y fundiciones.**  
J. Apriz Barreiro.
- 11.-Ingenieria Metalurgica.**  
Raymon A. Higgins.